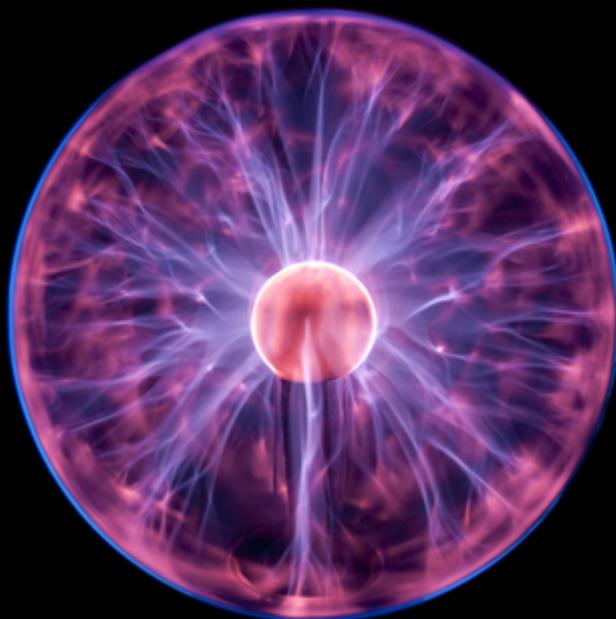


أساسيات الفيزياء

بنان راجي الكريم

450

مثال وتمارين
محلولة



2018/1439

أساسيات الفيزياء

بنان راجي الكريم

الإصدار 3.3 5 نوفمبر 2018

كتاب مجاني

الإهداء إلى كل طالب علم

المقدمة

الحمد لله رب العالمين والصلاة والسلام على أشرف المرسلين محمد بن عبد الله عليه وعلى آله أفضل الصلاة والتسليم.

أحمد الله جل وعلا، على أن امتن علي بكتابة هذا الكتيب الخاص بتبسيط الفيزياء، ومع أنه لا يشمل كل أبواب هذا العلم الكريم إلا أنني أرجو أن يكرمني رب العالمين بإضافة ما ييسر في إصدارات قادمة إن شاء الله. وادعوا الله بفضله وكرمه أن يجعلني ممن يشملهم الحديث الشريف «من سلك طريقا يلتمس فيه علما سهل الله له به طريقا إلى الجنة».

حقوق الملكية الفكرية

هذا الكتيب مجاني.

- التصميم وتحرير الكتاب باستخدام برنامج ليك *Lyx* الخاص بكتابة الكتب والبحوث العلمية ورسائل الماجستير والدكتوراه، ولغة لتيك *Latex* مفتوح المصدر.

- الرسومات التوضيحية ورموز الباركود باستخدام برنامج انكسكيب *inkscape* المفتوح المصدر وبرنامج *gnuplot* للرسوم البيانية المجاني والمفتوح المصدر وبرنامج بلندر *Blender* للرسوم المجسمة.

- الاستشهادات مملوكة لأصحابها.

- تم كتابة النصوص بخط شهرزاد، والغلاف بخط *KacstTitle* ، وجميعها مجانية ومفتوحة المصدر.

- قاعدة بيانات قائمة المراجع *bibtex* تم إنشاؤها وتحريرها باستخدام برنامج *JabRef* المجاني والمفتوح المصدر.

* مرفق مع الكتاب ملف *HPhysics.py* يحتوي كود بايثون لحل المسائل الخارجية الموضوع على قوانين هذا الكتاب (راجع فصل الملحقات في آخر الكتاب).

* لأفضل قراءة: ليس كل مستعرضات *pdf* على الأندرويد و *ios* تدعم اللغة العربية، أو الروابط التشعبية *hyperlink* ، والرسوم بصيغة *svg* المتجهية، لذا أنصح بتركيب برنامج *adobe acrobat reader* الأصلي.

المحتويات

15	أساسيات الفيزياء	1
16	1.1 أساسيات الفيزياء	1.1
16	1.1.0.1 الكميات الفيزيائية	1.1.0.1
16	1.1.0.2 وحدات النظام الدولي	1.1.0.2
17	1.1.0.3 تقريب الأرقام	1.1.0.3
17	1.1.0.4 التدوين العلمي للأرقام	1.1.0.4
17	1.1.0.5 بادئات الوحدات	1.1.0.5
18	1.1.0.6 تحويل الوحدات	1.1.0.6
19	1.1.0.7 أشهر الثوابت الفيزيائية	1.1.0.7
19	1.1.0.8 الدقة وعدم اليقين	1.1.0.8
21	1.2 التدريبات	1.2
23	2 الحركة	2
24	2.0.1 الحركة	2.0.1
24	2.0.1.1 الإطار المرجعي	2.0.1.1
24	2.0.1.2 الموضوع	2.0.1.2
24	2.0.1.3 الإزاحة والمسافة	2.0.1.3
25	2.0.1.4 الزمن	2.0.1.4
25	2.0.1.5 الكمية القياسية والكمية المتجهة	2.0.1.5
25	2.0.1.6 قوانين نيوتن	2.0.1.6
28	2.0.1.7 معادلات الحركة الخطية	2.0.1.7
29	2.0.1.8 الوزن	2.0.1.8
29	2.0.1.9 السقوط الحر	2.0.1.9
32	2.0.1.10 المقذوفات	2.0.1.10
35	2.1 التدريبات	2.1
39	3 الحركة الدورانية	3
40	3.1 وصف الحركة الدورانية	3.1
40	3.1.1 الإزاحة الزاوية	3.1.1
41	3.1.2 السرعة الزاوية	3.1.2
42	3.1.3 التسارع الزاوي	3.1.3
42	3.1.4 القوة المركزية	3.1.4
43	3.1.4.1 معادلات الحركة الزاوية	3.1.4.1
44	3.1.5 العزم	3.1.5
45	3.1.6 محصلة العزوم	3.1.6
46	3.2 الاتزان	3.2
46	3.2.1 مركز الكتلة	3.2.1
46	3.2.2 مركز الكتلة والثبات	3.2.2
47	3.2.3 شرط الاتزان	3.2.3
48	3.3 التدريبات	3.3
51	4 الزخم وحفظه	4
52	4.1 الدفع والزخم	4.1
52	4.1.1 الدفع	4.1.1
52	4.1.2 الزخم	4.1.2

53	العلاقة بين الدفع والزخم	4.1.3
53	حفظ الزخم	4.2
54	التصادم في بعد واحد	4.2.1
54	التصادم في بعدين	4.2.2
55	الدفع في الحياة	4.2.3
56	التدريبات	4.3
59	الشغل والطاقة	5
60	الشغل والقدرة	5.1
60	الشغل	5.1.1
60	الطاقة الحركية	5.1.2
61	نظرية الشغل الطاقة	5.1.3
61	القدرة	5.1.4
62	الآلات	5.2
62	الفائدة الميكانيكية	5.2.1
62	الفائدة الميكانيكية المثالية	5.2.2
62	الكفاءة	5.2.3
64	التدريبات	5.3
65	الطاقة وحفظها	6
66	الطاقة وأشكال الطاقة	6.1
66	الطاقة الحركية	6.1.1
66	الطاقة المخزنة	6.1.2
66	طاقة الوضع الناشئة عن الجاذبية	6.1.2.1
67	طاقة الوضع المرئية	6.1.2.2
67	طاقة الوضع السكونية	6.1.2.3
67	قانون حفظ الطاقة	6.1.3
68	التصادمات	6.1.3.1
69	التدريبات	6.2
71	الطاقة الحرارية	7
72	درجة الحرارة وكمية الحرارة	7.1
72	درجة الحرارة	7.1.1
72	كمية الحرارة	7.1.2
72	العلاقة بين درجة الحرارة وكمية الحرارة	7.1.3
72	الاتزان الحراري	7.1.4
72	الحرارة النوعية والسعة الحرارية	7.1.5
73	تحولات حالات المادة	7.2
74	الطاقة الكامنة للانصهار	7.2.1
75	الطاقة الكامنة للغليان	7.2.2
75	التدفق الحراري وطرقه	7.2.3
77	قوانين الديناميكا الحرارية	7.3
78	القانون الثاني للديناميكا الحرارية	7.3.1
80	التدريبات	7.4
83	حالات المادة	8
84	الموائع	8.1
84	الكثافة	8.1.0.1
84	الضغط	8.1.0.2
86	قوانين الغاز	8.1.1
86	قانون بويل	8.1.1.1
86	قانون شارل	8.1.1.2

87	القانون العام للغازات	8.1.1.3	
87	قانون الغاز المثالي	8.1.1.4	
88	المول وعدد أفوغادرو	8.1.1.5	
88	الطاقة الحركية لجزيئات الغاز	8.1.1.6	
89	الموائع الساكنة والمتحركة		8.2
89	الموائع الساكنة	8.2.1	
89	مبدأ باسكال	8.2.1.1	
90	السوائل في الأنابيب المتشعبة	8.2.1.2	
90	قوة الطفو	8.2.1.3	
92	القوى داخل السوائل	8.2.1.4	
93	الموائع المتحركة	8.2.2	
94	مبدأ برنولي	8.2.2.1	
95	خطوط الانسياب ونقطة الانفصال	8.2.2.2	
96	اللزوجة	8.2.2.3	
97	المواد الصلبة		8.3
97	التمدد الحراري للمواد الصلبة	8.3.1	
97	معامل التمدد الطولي (α)	8.3.2	
98	معامل التمدد الحجمي (β)	8.3.3	
100	التدريبات		8.4
103	الاهتزازات والموجات		9
104	الحركة الاهتزازية		9.1
104	النايظ	9.1.1	
104	قانون هوك	9.1.1.1	
104	طاقة الوضع المرورية للنايظ	9.1.1.2	
105	سرعة النايظ عند نقطة معينة	9.1.1.3	
106	العلاقة بين الحركة التوافقية البسيطة والموجات	9.1.1.4	
107	البندول	9.1.2	
107	أنواع الموجات		9.2
107	الموجات الميكانيكية	9.2.1	
107	الموجات الكهرومغناطيسية	9.2.2	
108	خصائص الموجات		9.3
108	الوسط والنبضة	9.3.0.1	
109	انتقال الموجات وانعكاسها	9.3.0.2	
109	شدة الموجة وطاقتها	9.3.0.3	
111	التدريبات		9.4
113	الصوت		10
114	خصائص الصوت		10.1
114	الموجات الصوتية	10.1.1	
115	تطبيقات على الصوت	10.1.1.1	
115	حدة الصوت	10.1.1.2	
115	علو الصوت	10.1.1.3	
115	شدة الصوت	10.1.1.4	
116	سرعة الصوت		10.2
118	تأثير دوبلر		10.3
118	أمثلة على تأثير دوبلر	10.3.0.1	
119	الرنين في الأنابيب الهوائية والأوتار		10.4
119	الرنين في الأنابيب الهوائية	10.4.1	
119	الرنين في الأنابيب المغلقة	10.4.1.1	
119	الرنين في الأنابيب المفتوحة	10.4.1.2	

120	الرنين في الأوتار	10.4.1.3	
120	الموجات تحت الصوتية	10.5	
120	الموجات فوق الصوتية	10.6	
121	المقاومة الصوتية	10.6.0.1	
122	التدريبات	10.7	
125			11 أساسيات الضوء
126	مصادر الضوء	11.0.1	
126	الاستضاءة	11.0.2	
127	الطبيعة الموجية للضوء	11.0.3	
127	تداخل الألوان الأساسية	11.0.3.1	
128	تأثير دوبلر	11.0.3.2	
130	التدريبات	11.1	
131			12 المرايا والعدسات
132	خصائص الضوء	12.1	
132	سرعة الضوء	12.1.1	
132	قانون الانعكاس	12.1.2	
133	قانون الانكسار	12.1.3	
133	الزاوية الحرجة	12.1.4	
134	الانعكاس الكلي الداخلي	12.1.4.1	
134	المنشور	12.2	
135	العدسات الكروية	12.3	
135	العدسات المحدبة	12.3.1	
137	العدسات المقعرة	12.3.2	
137	تطبيقات على العدسات	12.3.3	
138	القانون العام للعدسات والمرايا	12.4	
138	قانون التكبير للعدسات والمرايا	12.4.1	
140	المرايا الكروية	12.5	
140	المرايا المقعرة	12.5.1	
141	المرايا المحدبة	12.5.2	
142	تطبيقات على المرايا	12.5.3	
142	القانون العام للعدسات والمرايا	12.6	
142	قانون التكبير للعدسات والمرايا	12.6.1	
144	التدريبات	12.7	
147			13 التداخل والحيود
148	التداخل	13.1	
148	أنواع الضوء	13.1.1	
148	تجربة يونج	13.1.2	
149	التداخل في الأغشية الرقيقة	13.1.3	
149	حيود الشق الأحادي	13.1.4	
150	محزوز الحيود	13.1.5	
151	معياري ريليه	13.1.6	
152	التدريبات	13.2	
153			14 الكهرباء الساكنة
154	الشحنات	14.1	
154	مكونات الذرة	14.1.1	
155	الإلكترونات والمواد	14.1.2	
155	شحنة الإلكترون	14.1.3	
155	قانون حفظ الشحنة	14.1.4	

155	قانون كولوم	14.1.5
157	التدريبات	14.2
159	المجالات الكهربائية	15
160	المجال الكهربائي	15.1
160	الشحنة الكهربائية	15.1.0.1
160	القوة الكهربائية بين الشحنات	15.1.0.2
161	ثنائي القطب	15.1.1
161	عزم ثنائي القطب	15.1.1.1
161	تكوين المجال الكهربائي لثنائي القطب	15.1.1.2
162	شدة المجال الكهربائي (E)	15.1.1.3
162	شدة مجال الجاذبية (g)	15.1.1.4
162	قوة المجال الكهربائي على جسيم	15.1.1.5
163	الطاقة الكهربائية الكامنة بين جسيمين مشحونين	15.1.1.6
163	فرق جهد الطاقة الكهربائية الكامنة	15.1.1.7
164	السعة والمكثفات	15.1.1.8
166	التدريبات	15.2
167	التيار المستمر	16
168	مصادر التيار الكهربائي	16.0.0.1
168	التيار والشحنة	16.1
169	الدائرة المغلقة	16.1.0.1
169	القدرة الكهربائية والشغل والتيار	16.2
169	المقاومة الكهربائية	16.3
170	المقاومة النوعية أو المقاومة	16.4
171	القدرة الكهربائية والمقاومة	16.5
171	الطاقة الكهربائية أو الشغل	16.6
173	التدريبات	16.7
175	التوصيل على التوالي والتوازي	17
176	التوصيل على التوالي	17.1
177	التوصيل على التوازي	17.2
179	قوانين كيرشوف	17.3
181	التدريبات	17.4
183	المجال المغناطيسي	18
184	المجال المغناطيسي	18.1
184	المجال المغناطيسي في سلك	18.1.0.1
185	شدة المجال المغناطيسي عند نقطة	18.1.0.2
188	الحث الكهرومغناطيسي	18.2
192	التدريبات	18.3
193	الإلكترونيات الحديثة	19
195	أشباه الموصلات	19.1
195	السيليكون	19.1.1
196	المكونات والنبائط الإلكترونية	19.1.2
197	الوصلة الثنائية	19.1.2.1
198	الخلايا لشمسية	19.1.3
198	الخلايا الكهروحرارية	19.1.4
198	الترانزستور	19.1.5
201	التدريبات	19.2

203	20	ازدواجية الموجة والجسيم
204	20.1	الجسم الأسود
204	20.1.1	قانون بلانك
205	20.2	التأثير الكهروضوئي والانبعاث الحراري
205	20.2.1	التأثير الكهروضوئي
206	20.2.2	تأثير كمبتون
207	20.2.3	الطبيعة الموجية للجسيم
208	20.2.3.1	المجهر الإلكتروني
209	20.3	التدريبات
211	21	النظرية النسبية
212	21.0.0.1	سرعة الضوء
213	21.0.0.2	الحركة النسبية
213	21.0.0.3	الأثير
214	21.0.0.4	معادلات لورنتز
217	21.0.0.5	النظرية النسبية الخاصة
218	21.0.0.6	النظرية النسبية العامة
222	21.1	التدريبات
223	22	الفيزياء الذرية
224	22.1	الإلكترون
225	22.2	الذرة
226	22.2.1	اكتشاف النواة
226	22.2.2	نموذج ذرة بور
229	22.3	الليزر وتطبيقاته
231	22.4	الأشعة السينية
234	22.5	التدريبات
235	23	المفاعلات النووية
236	23.0.1	الذرة
240	23.1	معادلة عمر النصف النشط
241	23.2	الطاقة النووية
241	23.2.1	الانشطار النووي
241	23.2.2	المفاعلات النووية
241	23.2.2.1	المواد المستخدمة في المفاعلات الذرية
242	23.2.2.2	تخصيب اليورانيوم
244	23.2.2.3	المحطة النووية
244	23.2.2.4	أنواع المفاعلات الذرية
244	23.2.2.5	النفايات النووية
246	23.2.3	الاندماج النووي
247	23.2.4	مسرعات الجسيمات
249	23.3	التدريبات
251	24	فيزياء الفضاء
252	24.1	الغلاف الجوي
252	24.1.1	طبقة التروبوسفير
252	24.1.2	طبقة الستراتوسفير
252	24.1.3	طبقة الميزوسفير
252	24.1.4	طبقة الثيرموسفير
252	24.1.5	طبقة الإكسوسفير
252	24.2	الصواريخ الفضائية
253	24.3	الأقمار الصناعية

256	التدريبات	24.4
257	تحصيلي الفيزياء	25
263	ملحقات	26
264	أساسيات الرياضيات للفيزيائيين	26.1
272	الجدول الدوري	26.2
273	أشهر رموز الدوائر الكهربائية	26.3
274	بايثون للفيزيائيين	26.4
279	برنامج Gnuplot	26.5
279	الرسم المسطح باستخدام <i>plot</i>	26.5.1
283	الرسم المجسم يتم باستخدام الأمر <i>splot</i>	26.5.2
285	برنامج Maxima	26.6
285	برنامج Octave	26.7
285	برنامج PHET	26.8
285	برنامج Inkscape	26.9
285	برنامج R	26.10
285	برنامج Lyx	26.11

أساسيات الفيزياء

- الكميات الفيزيائية
- الوحدات
- بادئات
والتحويلات

مقدمة



1.1 أساسيات الفيزياء

إن أول ردة فعل لنا عند سماعنا لكلمة «فيزياء» هي شيء من الخوف، لأننا سنتذكر المعادلات والمسائل الحسابية، وأيضاً النظرة السلبية التي ينقلها لنا بعض الناس. في الحقيقة إن الفيزياء هي شيء أكبر من ذلك، إنها كل ما يحيط بنا، إنها الطبيعة التي خلقها الله من حولنا، وما يسر لنا من أجهزة وآلات. الفيزياء ساعدتنا في صناعة ما يسر حياتنا مثل السيارة، وما جعلها ممتعة مثل التلفزيون.

إذا نظرت إلى السماء ورأيت النجوم وحركتها، أو فتحت غرفتك ونظرت إلى حاسبك أو هاتفك فأنت ترى الفيزياء، لقد خلق الله سبحانه وتعالى الإنسان لأمرين عبادته وعمارة الأرض، والفيزياء هي من خير ما يعينك على القيام بالإنئين.

1.1.0.1 الكميات الفيزيائية

الكميات الفيزيائية هي أي شيء يمكن قياسه. مثل القوة والكتلة والطول.

1.1.0.2 وحدات النظام الدولي

الوحدات الفيزيائية هي تعابير تدل على نوع الكمية الفيزيائية.

فإذا قلنا مثلاً سار رجل 10 ، فإن الجملة تكون مبهمه لأننا لم نحدد إن كان الرجل سار 10 أمتار أم 10 أميال أم 10 كيلومتر ، ولهذا تعتبر الوحدات الفيزيائية أداة لا غني عنها عند كتابة الكميات الفيزيائية. والوحدات الفيزيائية تنقسم إلى قسمين: كميات أساسية وكميات مشتقة

Symbol	Unit	quantity Base		
الرمز	الوحدة	الكمية الأساسية		
<i>m</i>	<i>metre</i>	المتر	<i>Length</i>	الطول
<i>Kg</i>	<i>Kilogram</i>	الكيلو غرام	<i>Mass</i>	الكتلة
<i>s</i>	<i>Second</i>	الثانية	<i>Time</i>	الزمن
<i>A</i>	<i>Ampere</i>	الأمبير	<i>Electric Current</i>	التيار الكهربائي
<i>K</i>	<i>Kelvin</i>	الكالفن	<i>Temperature</i>	درجة الحرارة
<i>mol</i>	<i>Mole</i>	المول	<i>Amount of substance</i>	كمية المادة
<i>cd</i>	<i>Candela</i>	الشمعة	<i>Luminous Intensity</i>	شدة الإضاءة

جدول 1.1: الكميات الفيزيائية الأساسية

أهم الوحدات الأساسية هي:

الثانية الثانية في النظام الدولي للوحدات تساوي $\frac{1 \text{ day}}{86,400}$ ، ثم في عام 1967 تم قياسها بدلالة الساعة الذرية فالثانية الواحدة تساوي 9.192,631,770 اهتزازة لذرة السيزيوم.

المتر المتري في النظام الدولي للوحدات، تم قياسه في عام 1791 باعتباره $1/10,000,000$ من المسافة بين خط الاستواء والقطب الشمالي للأرض، ثم في عام 1889 تم تحديده بأنه طول مسطرة من البلاتينيوم والإيريديوم محفوظة في باريس، ثم تم تحديده بأنه طول شعاع ضوئي يرتقالي صادر عن ذرة كريبتون وطوله 1,650,763,73 طول موجي، وفي عام 1983 تم تعيينه بأنه المسافة التي يقطعها الضوء في زمن مقداره $1/299,792,458$ ثانية في الفراغ.

الكيلو غرام الكيلو غرام في النظام الدولي للوحدات، يساوي كتلة أسطوانة من البلاتينيوم والإيريديوم محفوظة في باريس.

النظام الدولي للوحدات SI

هو نظام تم إنشائه وتطويره بعد الثورة الفرنسية، وسمي النظام الدولي الفرنسي للوحدات، ثم تم اعتماده دولياً وحذفت كلمة الفرنسي ليصبح الاسم «النظام الدولي للوحدات». ويحتوي هذا النظام على سبع كميات فيزيائية أساسية موضحة في الجدول أما البقية فيمكن اشتقاقها من هذه السبعة. وعندما نريد كتابة وحدة كمية فيزيائية فإننا نجعل الحرف الأول كبير إذا كانت الوحدة مشتقة من اسم شخص مثل نيوتن N وهيرتز Hz أما إذا لم تكن مشتقة من اسم إنسان فإننا نكتبها بحرف صغير مثل المتري m والمول $mole$.

ويمكن اشتقاق الوحدات من المعادلات الفيزيائية بالتعويض بالوحدات بدلا من الأرقام، مثل اشتقاق وحدة القوة:

$$F=ma=kg \times m/s^2=kg.m.s^{-2}$$

وكنوع من الاختصار والتكريم أيضا تم تسمية تركيبة وحدة القوة $kg.m.s^{-2}$ باسم العالم نيوتن $Newton$ وتختصر N .

1.1.0.3 تقريب الأرقام

تقريب الأرقام *Rounding Off* ، عند حلنا لمسألة فيزيائية فإننا في الكثير من الأحيان نحصل على عدد يحتوي رقم عشري طويل مثل 6.8274629 وغالبا نحن لا نحتاج الحصول على نتيجة ذات دقة عالية جدا، ولهذا تم التعارف على جعل تقريب العدد العشري (يمين الفاصلة) إلى 3 خانات. مع إضافة 1 للخانة الثالثة إذا كان العدد العشري الرابع 5 أو أكبر، وإبقاءها كما هي إذا كان العدد العشري الرابع أقل من 5 .

مثال 1.1.1 السؤال

قرب الأعداد التالية 3.761514 و 89.2673549 ؟

الحل

تعيين المعطيات: العدد الأول 3.761514 ، العدد الثاني 89.2673549

التطبيق:

النتيجة: نضيف واحد للخانة الثالثة يمين الفاصلة إذا كانت الخانة الرابعة أكبر أو تساوي 5 ونقيها كما هي إذا كانت الخانة الرابعة أقل من 5 .

أخيرا إذا كانت المسألة مكونة من عدة فقرات مبنية على بعضها فإننا نقرب النتيجة النهائية فقط، وذلك للحصول على نتيجة دقيقة. وإذا كان الصفر هو آخر رقم في العدد العشري يمين الفاصلة فإننا نحذفه مثل 2.510 يصبح 2.51 .

1.1.0.4 التدوين العلمي للأرقام

التدوين العلمي للأرقام *Scientific notation* ، تختصر الأرقام العلمية عادة بضرب الرقم في $10^{\pm x}$ حيث x عدد خانات تحريك الفاصلة، وتكون موجبة إذا حركنا الفاصلة لليسار وسالبة إذا حركناها لليمين.

مثال 1.1.2 السؤال

أكتب العدد التالي بعدة طرق علمية 4729.1835 ؟

الحل

تعيين المعطيات: العدد 4729.1835

التطبيق:

النتيجة: إذا حركنا الفاصلة لليسار نضيف 1 للأس، وإذا حركنا الفاصلة لليمين نضيف -1 للأس.

1.1.0.5 بادئات الوحدات

بادئات الوحدات *Prefixes of Units* ، توجد عدة اختصارات توضع قبل الوحدات للتعبير عن رقم معين مثل كلمة كيلو تعني ألف، فإذا قلنا 1Km فهذا يعني 1000m وفي الجدول التالي أشهر بادئات الوحدات.

Prefix	Symbol	Exponent	Prefix	Symbol	Exponent	Prefix	Symbol	Exponent
deca	da	$\times 10^1$	exa	E	$\times 10^{18}$	micro	μ	$\times 10^{-6}$
hecto	h	$\times 10^2$	zetta	Z	$\times 10^{21}$	nano	n	$\times 10^{-9}$
kilo	k	$\times 10^3$	yotta	Y	$\times 10^{24}$	pico	p	$\times 10^{-12}$
mega	M	$\times 10^6$	-	-	-	femto	f	$\times 10^{-15}$
giga	G	$\times 10^9$	deci	d	$\times 10^{-1}$	atto	a	$\times 10^{-18}$
tera	T	$\times 10^{12}$	centa	c	$\times 10^{-2}$	zepto	z	$\times 10^{-21}$
peta	P	$\times 10^{15}$	milli	m	$\times 10^{-3}$	yocto	y	$\times 10^{-24}$

جدول 1.2: بادئات الوحدات

مثال 1.1.3 السؤال

$$0.003l=3ml$$

اختصر الأرقام التالية باستخدام بادئات الوحدات؟

الحل

$$8000000kg=8Mkg$$

تعيين المعطيات: $1100m$ ، $0.003l$ ، $8000000kg$

التطبيق:

النتيجة: أننا نستطيع اختصار كتابة الأرقام العلمية باستخدام بادئات الوحدات.

$$1100m=1.1km$$

1.1.0.6 تحويل الوحدات

تحويل الوحدات *Change or Conversion Units* ، للتحويل بين الوحدات نستخدم عادة العمليات الحسابية المعروفة مثل الجمع والطرح والقسمة والضرب، ولكل تحويل طريقته الخاصة، ولنأخذ بعض الأمثلة.

مثلا لتحويل المسافة من $5km$ إلى m : حيث أن كل $kilo$ يساوي 1000 فإن $5 \times 1000 = 5000m$.

مثال لتحويل السرعة من $72km/h$ إلى m/s : حيث أن كل $km=1000m$ وكل ساعة $h=3600s$ فإن $72 \times \frac{1000}{3600} = 20m/s$. ويمكن اختصارها في العلاقة:

$$km/h \xrightarrow{\div 3.6} m/s$$

مثال لتحويل درجة الحرارة من $^{\circ}C$ إلى $^{\circ}F$: توجد صيغة عامة للتحويل بين أي وحدتين لدرجة الحرارة وتوجد صيغ أخرى مختصرة ومشتقة من الصيغة العامة.

ΔT	درجة الغليان	درجة التجمد	
180	212	32	F
100	100	0	C
100	373	273	K

$$\frac{T_{a1}-T_{a0}}{\Delta T_a} = \frac{T_{b1}-T_{b0}}{\Delta T_b}$$

حيث a مقياس الحرارة الأول و b مقياس الحرارة الثاني، T_{a0} درجة تجمد الماء في المقياس الأول، T_{a1} الدرجة الحالية، ΔT_a الفرق بين درجة تجمد وغليان الماء في المقياس الأول.

مثال 1.1.4 السؤال

$$\frac{60-0}{100} = \frac{T_{b1}-32}{180}$$

$$0.6 \times 180 = T_{b1} - 32$$

$$T_{b1} = 108 + 32 = 140 \cdot F$$

النتيجة: درجة الحرارة تساوي 140 درجة فهرنهايت.

حول 60°C إلى °F ؟

الحل

تعيين المعطيات: $T_{a1} = 60 \cdot C$

التطبيق:

$$\frac{T_{a1} - T_{a0}}{\Delta T_a} = \frac{T_{b1} - T_{b0}}{\Delta T_b}$$

من الصيغ المشتقة منها $T_k = T_c + 273$ للتحويل بين الكالفن والسليزيوس.

1.1.0.7 أشهر الثوابت الفيزيائية

مقدارها	الكمية الفيزيائية	مقدارها	الكمية الفيزيائية
$c = 3 \times 10^8 \text{ m/s}$	سرعة الضوء	$m_e = 9.11 \times 10^{-31} \text{ kg}$	كتلة الإلكترون
$h = 6.63 \times 10^{-34} \text{ J.s}$	ثابت بلانك	$e = -1.6 \times 10^{-19} \text{ C}$	شحنة الإلكترون
$h = 4.14 \times 10^{-15} \text{ eV.s}$	ثابت بلانك	$N_A = 6.02 \times 10^{23}$	عدد أفوغادرو
$\epsilon_0 = 8.85 \times 10^{-12} \text{ C}^2 / \text{N.m}^2$	ثابت النفاذية المغناطيسية	$R = 8.31 \text{ J/mol.K}$	ثابت الغاز العام
$\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7} \text{ T.m/A}$	ثابت السماحية الكهربائية	$k = 1.38 \times 10^{-23} \text{ J/K}$	ثابت بولتزمان
$g = 9.8 \text{ m/s}^2$	تسارع الجاذبية الأرضية	$G = 6.67 \times 10^{-11} \text{ m}^3 / \text{kg.s}^2$	ثابت الجاذبية العام
$1 \text{ A} = 1 \times 10^{-10} \text{ m} = 0.1 \text{ nm}$	الأنجستروم	$1 \text{ atm} = 1 \times 10^5 \text{ N/m}^2 = 1 \times 10^5 \text{ Pa}$	وحدة الضغط الجوي

1.1.0.8 الدقة وعدم اليقين

قد يسألك شخص ما كم كتلتك؟ فإذا لم تكن قد وقفت على الميزان حديثاً فإنك ستقول شيئاً قريباً من: كتلتي 60 kg تزيد 3 kg أو تقل 3 kg ، إن عدم التأكد التام من مقدار الكمية الفيزيائية يسمى بعدم اليقين *Uncertainty* ويرمز له بالرمز δA وينطق دلنا (دلنا الصغيرة)، ولو طبقناه على المثال السابق سنكتب كتلتك بالشكل التالي $60 \text{ kg} \pm 3$ والرمز \pm يعني أن المقدار قد يزيد أو ينقص.

أسباب عدم اليقين: توجد الكثير من الأسباب في عدم اليقين لكن أهمها.

- محدودية جهاز القياس المستخدم.
- خطأ في تصميم الشيء المقاس.
- ضعف مهارة الشخص الذي يجري القياس.
- العوامل الأخرى المؤثرة أثناء عملية القياس مثل الحرارة والرياح أو غيرهما.

نسبة عدم اليقين

يمكن أن يمثل عدم اليقين بالنسبة المئوية بدلا من القيمة بالتعويض في القانون:

$$\text{unc \%} = \frac{\delta A}{A} \times 100 \quad (1.1)$$

حيث A الكمية الفيزيائية، δA مقدار عدم اليقين.

مثال 1.1.5 السؤال

$$\text{unc \%} = \frac{3}{60} \times 100 = 5\%$$

احسب نسبة عدم اليقين في المثال السابق؟

الحل

تعيين المعطيات: $\delta A = 3$ ، $A = 60$

التطبيق:

$$\text{unc \%} = \frac{\delta A}{A} \times 100$$

نكتب الكمية الفيزيائية بالشكل التالي: $60 \text{ kg} \pm 5\%$.

* إذا ضربنا أو قسمنا كميتين فيزيائيتين أو أكثر، فإن نسبة عدم اليقين للنتيجة النهائية تساوي مجموع نسب عدم اليقين لهم جميعاً.

1.2 التدرّيات

1- سيارة تسير بسرعة 110km/h فكم تكون سرعتها بوحدة m/s ؟

الحل

تعيين المعطيات: $v=110\text{km/h}$
التطبيق:

$$v = \frac{110}{3.6} = 2.778\text{m/s}$$

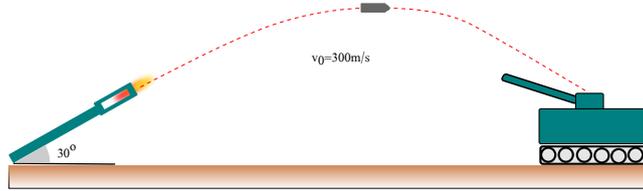
2- تتحرك الصفائح التكتونية للأرض بسرعة 4cm/year ،
احسب سرعتها بوحدة m/s ؟ ثم احسب المسافة التي
تتحركها خلال مليون سنة؟

3- يبلغ متوسط كتلة الحروف 30kg وقد يزيد أو ينقص
 5kg ، كم نسبة عدم اليقين؟

أ ($\sqrt{16.667\%}$) ج (0%)

ب (60%) د (4.847%)

4- جسم يتحرك بسرعة 50m/s ونسبة عدة اليقين له 8% ،
فكم تكون الزيادة أو النقصان في سرعته δA ؟
5- يدق قلب شخص ما 75 ضربة في الدقيقة ، احسب عدد
الضربات في عام ، مع اختصار النتيجة باستخدام بادئات
الوحدات؟



- دراسة قوانين نيوتن الثلاثة
- دراسة السقوط الحر
- دراسة المقذوفات

مقدمة

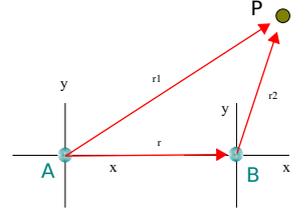
علم الحركة هو علم يدرس حركة الأجسام بدون النظر في مسبباتها، ويشمل حركة الأجسام في بعد أو بعدين. مثل حركة العداء أو السيارة، واكتسب اسمه من كلمة *Kinematics* في اللغة اليونانية والتي تعني الحركة، ومنها اشتقت كلمة *Cinema* أي تحريك الصور.



2.0.1 الحركة

2.0.1.1 الإطار المرجعي

الإطار المرجعي *Frame of reference* ، حين نتحدث عن جسم P متحرك بطريقة معينة فإننا يجب أن نصف حركته بالنسبة لمراقب معين، فالشخص الجالس بجوارنا في السيارة سرعتنا صفر بالنسبة لنا لكن سرعتنا تساوي سرعة السيارة بالنسبة لمراقب يقف على الرصيف، والاتجاه يتأثر أيضا بالنسبة للإطار المرجعي، فالسيارة تسير من اليسار لليمين بالنسبة لمراقب على الرصيف الأيمن، لكنها تتجه من اليمين لليسار بالنسبة لمراقب على الرصيف المقابل. ولهذا تمثل السرعة كمية متجهة بالنسبة لراصد في إطار مرجعي $r_1=(x_1,y_1,z_1)$ ، إن الإطار المرجعي r هو الإحداثيات (x,y,z) للجسم بالنسبة لمراقب معين.



شكل 2.1: الأطر المرجعية لمراقبين

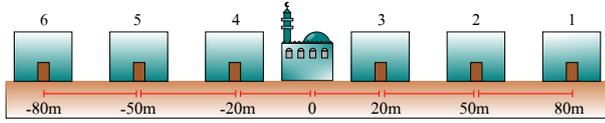
وإذا اردنا أن نصف حركة نفس الجسم بالنسبة لراصد مختلف B فإننا نحتاج لتحديد الإطار المرجعي بالنسبة للراصد الثاني $r_2=(x_2,y_2,z_2)$. كما في الرسم ، عند رسم المتجه الأول والمتجه الثاني نلاحظ أنه تكون لدينا مثلث الحركة النسبية للجسم بالنسبة لراصدين وتسمى نسبية جاليليو :

$$r_1=r+r_2$$

وبالطريقة نفسها يمكن إيجاد السرعة $v_{r_1}=v+v_{r_2}$ والتسارع $a_{r_1}=a+a_{r_2}$ ، نلاحظ أنه في حالة حركة المراقبين بسرعة ثابتة بالنسبة لبعضهما فإن التسارع $a=0$ وبالتالي $a_{r_1}=a_{r_2}$. أخيرا إن نسبية جاليليو صحيحة فقط عند السرعات الأقل كثيرا من سرعة الضوء $v \ll C$ ، أما في حالة السرعات القريبة من سرعة الضوء فإننا نستخدم معادلات لورنتز في النسبية.

2.0.1.2 الموضع

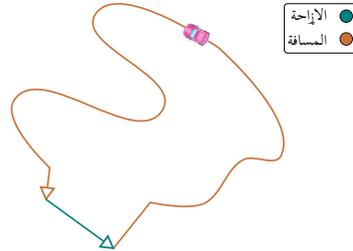
الموضع *Position* هو مقياس للموقع، مع مرجع لنقطة أصل معينة. وهذا يعني أن الموضع قد يكون على يمين نقطة الأصل (موجب)، وقد يكون على يسارها (سالب)، فمثلا لو اعتبرنا أن



المسجد هو نقطة الأصل فإن موضع المنزل رقم 1 على بعد $+80m$ أي على يمين نقطة الأصل، بينما المنزل رقم 6 موضعه على بعد $-80m$ أي على يسار نقطة الأصل التي هي المسجد في هذا المثال.

2.0.1.3 الإزاحة والمسافة

الإزاحة *Displacement* هي التغير في موضع الجسم. وهي كمية متجهة لها مقدار واتجاه، ووحدة الإزاحة هي المتر.



شكل 2.2: الإزاحة والمسافة

$$\Delta x = x_f - x_i$$

مثلا لو اردنا أن نعرف إزاحة الجسم عند انتقاله من المنزل 3 إلى المنزل 1 : $\Delta x = 80 - 20 = 60m$ والإشارة الموجبة تعني أننا انتقلنا باتجاه اليمين، ولو انتقل الجسم من المنزل 2 إلى المنزل 5 فإن الإزاحة $\Delta x = -50 - 50 = -100m$ والإشارة السالبة تعني أننا تحركنا باتجاه اليسار.

المسافة Distance هي طول المسار الذي قطعه الجسم دون تحديد للاتجاه. لأن المسافة كمية قياسية وليست متجهة، وطول المسار يمثل المسافة الفعلية التي قطعها الجسم. بينما الإزاحة تمثل الخط المستقيم بين نقطة البداية ونقطة النهاية كما في الشكل التوضيحي.

2.0.1.4 الزمن

معظم الكميات الفيزيائية تعرف بدلالة الكميات الفيزيائية الأخرى، أو بطريقة قياسها، والزمن كذلك من المستحيل أن نعرفه بدون ربطه بالتغير الحاصل في كمية فيزيائية أو أكثر، إن توقف التغير يعني عدم وجود الزمن. عندما تطلع الطائرة 9A.M وتصل 10A.M فإننا نقول أن الطائرة قطعت المسافة بين المطارين في زمن مقداره ساعة واحدة، فربطنا الزمن بدلالة التغير في المسافة، وكذلك هو بدلالة التغير في السرعة فنقول سيارة زادت سرعتها من 0m/s إلى 10m/s خلال 5s فربطنا الزمن بالتغير في السرعة. يرمز للزمن بالحرف t ونجعله t_0 للدلالة على الزمن الابتدائي و t_f للزمن النهائي.

2.0.1.5 الكمية القياسية والكمية المتجهة

الكمية القياسية *Scalar* هي كمية فيزيائية لها مقدار فقط مثل المسافة، والكمية المتجهة *Vector* هي كمية لها مقدار واتجاه مثل السرعة.

2.0.1.6 قوانين نيوتن

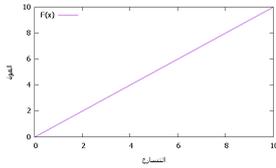
القانون الأول - قانون القصور الذاتي يبقى الجسم محافظا على سرعته ($v \geq 0$) ما لم تؤثر عليه قوة خارجية غير متزنة.¹ حين نركل جسما كالكرة إلى الأمام فإنه يبدأ بالسير بسرعة كبيرة ثم تبدأ سرعته بالتناقص شيئا فشيئا إلى أن يتوقف، وهذا التناقص في السرعة ناتج عن قوة خارجية نسميها قوة الاحتكاك، ولو لم توجد تلك القوة الخارجية لاستمر الجسم في حركته بتأثير القصور الذاتي، والجسم الساكن مثل الكتاب على الرف سيبقى ثابتا في مكانه بتأثير القصور الذاتي ما لم يأت إنسان ويؤثر عليه بقوة خارجية فيرفعه من مكانه، وكلما كانت كتلة الجسم أكبر كلما كان تحريكه أصعب، أي أن قصوره الذاتي يزداد بزيادة كتلته.



شكل 2.3: الشاحنة الكبيرة يصعب تحريكها إن كانت ساكنة، ويصعب إيقافها إن كانت متحركة لأن قصورها الذاتي كبير نتيجة لكبر كتلتها.

* هدف وجداني

إن ربط حزام الأمان في السيارة يحمي الركاب وخصوصا الأطفال من آثار القصور الذاتي عند الاصطدام.



شكل 2.4: نيوتن الثاني: يزداد التسارع بزيادة القوة.

$$\sum F_i = 0 \quad (2.1)$$

وقد وجد نيوتن أن مقاومة الجسم للتغير في حركته لا تتأثر فقط بكتلة الجسم وإنما بسرعته أيضا، فالسيارة المتوقفة يمكن تحريكها بصعوبة، لكن بمجرد بدء حركتها $v > 0$ نلاحظ أن تحريكها أصبح أسهل، فاستنتج نيوتن قانون كمية الحركة المعروف بقانون الزخم $P = mv$ والذي سيتم دراسته لاحقا. وحاجة الزخم لقوة خارجية تنتجه جعلت نيوتن يستنتج القانون الثاني للحركة.

القانون الثاني - قانون الديناميكا القوة المؤثرة على جسم تتناسب طرديا مع تسارعه في إطار مرجعي معين.

حين يبدأ القطار  بالانطلاق من المحطة فإن سرعته تبدأ بالزيادة من الصفر أثناء وقوفه ثم 1 م/ث، 2، 3، ...، إن هذه الزيادة المطردة في السرعة يطلق عليها فيزيائيا «التسارع الموجب» وهو عكس التسارع السالب الناتج عن تباطؤ الجسم، وقد نتجت الزيادة في سرعة القطار عن قوة يبذلها محركه في اتجاه الحركة، فالقوة ولدت زيادة في السرعة أي تسارع موجب، والعكس صحيح، فحين نبذل قوة عكسية بالمكابح (الفرامل) فإن السرعة تقل أي أن التسارع سالب، وهذا هو ما يعنيه قانون نيوتن الثاني.

توصل نيوتن إلى أن التغير في الزخم خلال زمن معين يحتاج لقوة خارجية [9]:

$$F = \frac{dP}{dt} = \frac{m \times dv}{dt} \quad (2.2)$$

$$\therefore a = \frac{dv}{dt} \Rightarrow \sum F = ma \quad (2.3)$$

حيث F القوة N ، m الكتلة Kg ، a التسارع m/s^2 .

¹ نيوتن فيزيائي انجليزي توفي عام 1727م.

مثال 2.0.6 السؤال

$$=4 \times 3$$

أوجد القوة اللازمة لإكساب جسم ساكن كتلته $4kg$ تسارعا مقداره $3m/s^2$ ؟

$$=12N$$

الحل

تعيين المعطيات: $a=3m/s^2$ ، $m=4Kg$

التطبيق:

$$F=ma$$

النتيجة: القوة التي يجب بذلها على الجسم تساوي 12 نيوتن.

الاحتكاك هو قوة معاكسة للحركة النسبية بين الأنظمة.

عندما نحاول دفع صندوق على أرض خرسانية خشنة سنجد أن الصندوق لا يتحرك بسبب احتكاكه بالخرسانة، ونسميه الاحتكاك السكوني وتكون قوة الاحتكاك السكوني أصغر أو تساوي مضروب القوة في معامل الاحتكاك السكوني $f_s \leq \mu_s N$ ، وبعد أن يتحرك الجسم تتولد قوة احتكاك جديدة تسمى قوة الاحتكاك الحركي.

$$f_k = \mu_k N \quad (2.4)$$

μ_k	μ_s	النظام	μ_k	μ_s	النظام
0.03	0.05	حديد مع حديد مزيت	0.7	1	مطاط مع خرسانة
0.015	0.016	مفاصل العظام	0.3	0.5	خشب مع خشب
0.02	0.4	معدن على الثلج	0.3	0.6	حديد مع حديد

جدول 2.1: معاملات الاحتكاك لبعض الأنظمة

مثال 2.0.7 السؤال

كم الحد الأدنى من القوة لتحريك صندوق مطاطي كتلته $10kg$ على أرض خرسانية، وكما الاحتكاك الحركي له؟

$$f_k = \mu_k N \quad (2.5)$$

الحل

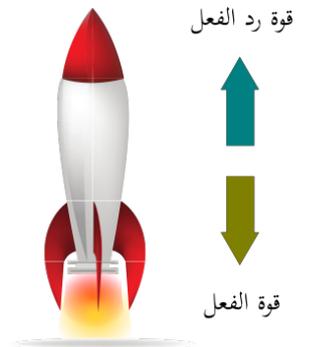
تعيين المعطيات: $\mu_k=0.7$ ، $\mu_s=1$

التطبيق:

$$=0.7 \times 98 = 68.6N$$

النتيجة: ليتحرك يجب أن تكون القوة المؤثرة أكبر من $98N$ ، والاحتكاك الحركي له 68.6 نيوتن.

$$\mu_s N = 1 * 10 * 9.8 = 98N$$



شكل 2.5: قانون نيوتن الثالث: قوة اندفاع الغاز تولد قوة رد فعل ترفع الصاروخ.

القانون الثالث - قانون رد الفعل لكل قوة فعل قوة رد فعل مساوية لها في المقدار ومعاكسة لها في الاتجاه.

تدخل أحيانا حبات من الغبار إلى الأنف فيعطس الإنسان، ويخرج الهواء من الفم بسرعة $160km/h$ ، نلاحظ عندها ارتداد الرأس إلى الخلف في اتجاه معاكس لاندفاع هواء العطسة، وهذا ما يحدث أيضا حين يخرج الهواء من مؤخرة الصاروخ، فالغازات المحترقة تندفع بقوة للأسفل ونسميها قوة الفعل بينما جسم الصاروخ يندفع بقوة معاكسة للأعلى وهي ما نسميها قوة رد الفعل وتكونان متساويتان في المقدار ومتعاكستان في الاتجاه، ويجب أن تنتبه إلى الخطأ الشائع القائل لكل فعل/رد فعل مساو له في المقدار ومعاكس له في الاتجاه، فليس لكل فعل رد فعل مساوي له في المقدار، فحين تدفع الكرسي للأمام مترا واحدا لن يندفع جسمك للخلف مترا واحدا مع أن الكرسي قد أثر على جسمك بقوة معاكسة تساوي القوة التي بذلتها عليه أثناء الدفع.²

² أبو البركات ابن ملكا أشهر العلماء المسلمين في القرن السادس الهجري الذين سبقوا في الحديث عن قوانين نيوتن ومبدأ جاليليو.

$$F_a = -F_b \quad (2.6)$$

حيث F_a قوة الفعل، F_b قوة رد الفعل، والإشارة السالبة تدل على الاتجاه المعاكس.

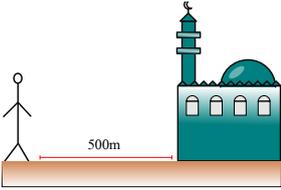
السرعة يوجد ثلاثة أنواع من السرعة هي السرعة القياسية *speed* هي المسافة التي يقطعها الجسم خلال زمن معين. والسرعة المتوسطة *Average velocity* هي الإزاحة التي يقطعها الجسم خلال زمن معين. ونستخدم أحيانا السرعة اللحظية والسرعة اللحظية *Instantaneous* هي السرعة عند لحظة معينة، ويمكن أن نعوض فيها بالمسافة فتكون لحظية قياسية، أو نعوض فيها بالإزاحة فتكون لحظية متجهة.

إن زيادة السرعة تعني زيادة المسافة المقطوعة خلال وحدة الزمن، فإذا كان لدينا سيارة تقطع 10km في الساعة وسيارة أخرى تقطع 20km في الساعة، فهذا يعني أن السيارة الثانية أسرع من الأولى، لأنها تقطع مسافة أكبر في نفس وحدة الزمن وهي هنا الساعة، كما يجب ملاحظة أن السرعة كمية قياسية بينما السرعة المتوسطة كمية متجهة، فالطائرة التي تطير بسرعة 1000km/h لن تصل يوما إلى مطار الرياض إذا كان اتجاهها إلى مطار أبها.

$$\text{speed} = \frac{d}{\Delta t} \quad (\text{السرعة})$$

$$v = \frac{\Delta d}{\Delta t} \quad (\text{السرعة المتوسطة})$$

حيث v السرعة m/s ، Δd التغير في الإزاحة m ، Δt التغير في الزمن s .



شكل 2.6: السرعة

مثال 2.0.8 السؤال

ذهب شاب للمسجد خلال 20 دقيقة وصلى ثم رجع لمنزله خلال مدة مساوية، فإذا علمت أنه يسكن على بعد 500m عن المسجد، احسب سرعته وسرعته المتوسطة؟

الحل

تعيين المعطيات: $t=40\text{min}=40 \times 60=2400\text{s}$

$$d=500+500=1000\text{m}$$

$$\Delta d=500-500=0$$

التطبيق:

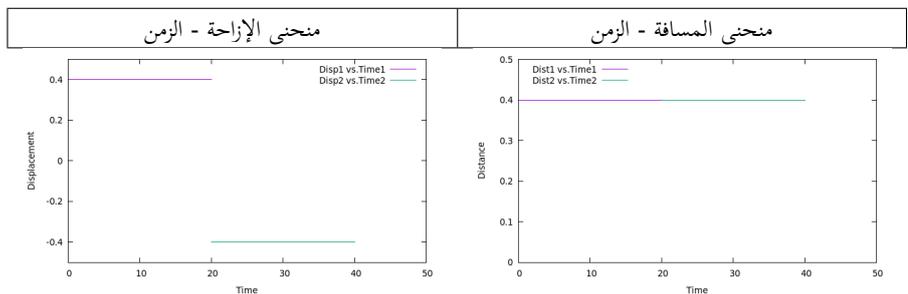
$$= \frac{1000}{2400} = 0.4\text{m/s}$$

$$v = \frac{\Delta d}{\Delta t} \quad (\text{السرعة المتوسطة})$$

$$= \frac{500-500}{2400} = 0\text{m/s}$$

النتيجة: السرعة التي يسير بها الشاب للوصول للمسجد 0.4m/s لكن السرعة المتوسطة 0m/s .

$$\text{speed} = \frac{d}{\Delta t} \quad (\text{السرعة})$$



التسارع هو معدل تغير السرعة المتجهة خلال وحدة الزمن. وهو كمية متجهة لها مقدار واتجاه. التسارع كمية فيزيائية تعبر بها عن الزيادة أو النقصان في سرعة جسم ما خلال فترة زمنية معينة، فحين ينطلق العداء في مضمار السباق، نقول أن له تسارع موجب، أي زادت سرعته من صفر إلى 10m/s مثلا، وحين يضغط راكب الدراجة على المكابح الهوائية إلى أن يتوقف، فإننا نقول إن تسارعه سالب، أي نقصت سرعته إلى أن أصبحت صفر، ويجب أن لا ننسى أن اتجاه التسارع قد لا يكون في نفس اتجاه الحركة، فحين نزيد السرعة $+a$ فإن اتجاه التسارع يكون في نفس اتجاه الحركة بينما حين نبطيء السرعة $-a$ فإن اتجاه التسارع يكون عكس اتجاه الحركة.

$$a = \frac{\Delta v}{\Delta t} \quad (2.7)$$

حيث a التسارع m/s^2 ، Δv التغير في السرعة m/s .

مثال 2.0.9 السؤال

سيارة تستطيع الوصول إلى 100km/h من السكون خلال 3.5s ، أحسب تسارعها؟

$$a = \frac{v}{t}$$

$$= \frac{27.77}{3.5} = 7.93\text{m/s}^2$$

النتيجة: تسارع السيارة 7.93 متر/ثانية مربعة.

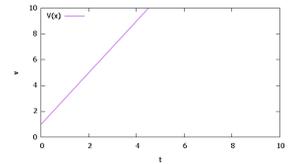
الحل

تعيين المعطيات: $v = 100\text{km/h} = 27.77\text{m/s}$ ، $t = 3.5\text{s}$

2.0.1.7 معادلات الحركة الخطية

معادلات الحركة هي معادلات متعلقة بالحركة الخطية، وتتعامل مع اربع متغيرات هي المسافة والزمن والسرعة والتسارع، والبعض يعتبرها ثلاث معادلات والبعض يعتبرها اربع وبعضهم يقول إنها خمس، لكن الحقيقة أنها جميعا مشتقة من معادلتين، ومنهما يمكننا اشتقاق الثالثة والرابعة و...، واختيار القانون المناسب يتوقف على المعطيات والمجهول في السؤال.

$$v_f = a_0 t + v_0 \quad (2.8)$$



شكل 2.7: المعادلة الأولى للحركة: تزداد السرعة بزيادة الزمن.

مثال 2.0.10 السؤال

سيارة تسير بسرعة 10m/s ثم زادت سرعتها بتسارع مقداره 4m/s^2 ، احسب السرعة التي ستصلها بعد 8 ثوان ؟

$$v_x(t) = a_0 t + v_0$$

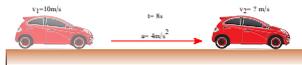
$$= (4 \times 8) + 10$$

$$= 42\text{m/s}$$

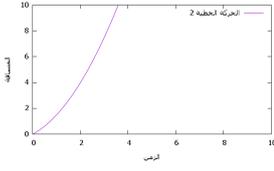
النتيجة: السرعة التي ستصلها السيارة بعد 8 ثوان تساوي 42 متر/ثانية.

الحل

تعيين المعطيات: $t = 8\text{s}$ ، $v_0 = 10\text{m/s}$ ، $a = 4\text{m/s}^2$



$$x = \frac{1}{2}at^2 + v_0 t \quad (2.9)$$



شكل 2.8: المعادلة الثانية للحركة: تزداد المسافة المقطوعة بزيادة الزمن.

مثال 2.0.11 السؤال

$$= (\frac{1}{2} \times 5 \times 9^2) + (0 \times 9)$$

$$= 202.5 + 0 = 202.5m$$

النتيجة: المسافة التي قطعها الجسم تبلغ 202.5 متر.

جسم ساكن انطلق بتسارع مقداره $5m/s^2$ لمدة $9s$ ، احسب المسافة التي قطعها ؟

الحل

تعيين المعطيات: $t=9s$ ، $a=5m/s^2$ ، $v_0=0$

التطبيق:

$$x(t) = \frac{1}{2}at^2 + v_0t$$

أشهر المعادلات المستنتجة منهما $v_f^2 = v_0^2 + 2a\Delta x$.

2.0.1.8 الوزن

الوزن هو قوة جذب الأرض للأجسام. وهو يدل على جذب الأرض للأجسام باتجاه مركزها، وهذه القوة تنخفض كلما ابتعدنا وتزداد كلما اقتربنا من مركز الأرض، ويرمز أحيانا للوزن F_g ويعني قوة الجاذبية.

$$Weight = mg$$

m الكتلة، g تسارع الجاذبية ويساوي $9.8m/s^2$ بالنسبة للأرض

ويمكن أن نستخدم نفس القانون لحساب الوزن على الكواكب الأخرى بشرط تغيير تسارع الجاذبية والذي يساوي $2.34m/s^2$ للمشتري، 0.38 للمريخ.

2.0.1.9 السقوط الحر

السقوط الحر هو سقوط الجسم باتجاه الأرض دون تأثير قوة خارجية عدا الجاذبية الأرضية.

وما يميز هذا النوع من الحركة أننا نستبدل التسارع الخطي a بتسارع الجاذبية الأرضية g ذو القيمة الثابتة $9.8m/s^2$ مهما تغيرت كتلة الجسم أو حجمه.

$$x(t) = \frac{1}{2}at^2 + v_0t$$

$$x(t) = \frac{1}{2}gt^2 + v_0t$$

$$v_f(t) = at + v_0$$

$$v_f(t) = gt + v_0$$

الزمن في السقوط الحر

$$t_g = \sqrt{\frac{2h}{g}} \quad (2.10)$$

حيث t_g زمن السقوط الحر، g تسارع الجاذبية الأرضية m/s^2 ، h الارتفاع m .

السرعة في السقوط الحر

القانون البسيط

حين نريد حساب سرعة الجسم الساقط سقوط حر، مع تجاهل الاحتكاك بالهواء فإننا نستخدم قانون بسيط، يعتمد على متغير واحد فقط هو الارتفاع، وثابت واحد هو ثابت الجاذبية الأرضية، لكن يجب علينا الانتباه إلى أن السرعة التي نتحدث عنها هي السرعة الرأسية.

$$v_g = \sqrt{2gh} \quad (2.11)$$

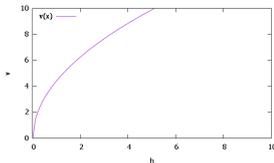
حيث v_g سرعة الجسم عند ارتفاع معين، g تسارع الجاذبية الأرضية، h الارتفاع.



شكل 2.9: الشهب هي جسيمات فضائية تسقط إلى الأرض سقوطا حرا، وإذا وصلت سرعتها 10 ماخ تنوهج. [6]

* طريقة علمية

أعلى سقوط حر للأمريكي ايكتر الذي قفز من ارتفاع 25 ألف قدم بدون مظلة وسقط على شبكة دون أن يصاب بأذى.



شكل 2.10: زيادة سرعة السقوط الحر كلما زاد الارتفاع بسبب تسارع الجاذبية الأرضية.

مثال 2.0.12 السؤال

$$=2.85s$$

سقطت كرة كتلتها $10Kg$ ونصف قطرها $1m$ من أعلى مبنى ارتفاعه $40m$ ، احسب الزمن اللازم لوصولها إلى الأرض، وسرعتها عند ذلك؟

الحل

تعيين المعطيات: $g=9.8m/s^2$ ، $h=40m$

التطبيق:

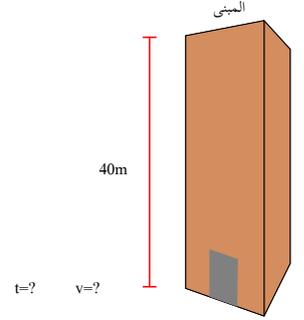
$$= \sqrt{2 \times 9.8 \times 40}$$

$$=28m/s$$

$$t_g = \sqrt{\frac{2h}{g}} \quad (\text{الزمن})$$

$$= \sqrt{\frac{2 \times 40}{9.8}}$$

النتيجة: سيصل الجسم للأرض بعد 2.85 ثانية وبسرعة 28 متر/ثانية، لاحظ أننا لم نستخدم الكتلة و نصف القطر.



شكل 2.11: السقوط الحر

القانون الدقيق

عندما نزيد حساب سرعة الجسم الذي يسقط سقوط حر، بدقة ومع مراعاة نوع الوسط المادي ولزوجته، فإننا نحتاج قانون أدق.

$$v = \frac{mg}{b} (1 - e^{-\frac{b}{m}t}) \quad (2.12)$$

$$b = -6\pi\eta r \quad (2.13)$$

$$F_D = \frac{1}{2} C \rho A v^2 \quad (\text{قوة السحب})$$

$$v_{\text{الحدية}} = \sqrt{\frac{2mg}{\rho A C_d}} \quad (2.14)$$

حيث b معامل السحب السطحي $N \cdot s/m$ ، η معامل اللزوجة إيتا $N \cdot s/m^2$ ، r نصف قطر الكرة الساقطة m ، ρ كثافة الوسط رو، A مساحة الجسم، C_d معامل الإعاقة أو السحب (لجسم معين في مائع معين).

الماء	الهواء	درجة الحرارة
1.792cp	171μp	0°C
1.005cp	181μp	20°C
0.656cp	190μp	40°C
0.284cp	218μp	100°C

جدول 2.2: معامل لزوجة الهواء والماء [18]

السرعة تتوقف عن الزيادة $a=0m/s^2$ عند الوصول لسرعة معينة تسمى السرعة الحدية، وهذه السرعة تتغير بتغير لزوجة الوسط وكتلة المادة وحجمها. وقوة الإعاقة F_D هي قوة ممانعة معاكسة لاتجاه حركة الجسم مثل الاحتكاك، وتستخدم لدراسة انسيابية الأجسام في الموائع، ولكل نوع من السيارات أو الطائرات معامل إعاقة خاص بها، وكلما كان معامل الإعاقة أقل كلما كان قوة السحب أقل وبالتالي استهلاك للوقود أقل والعكس صحيح.

الجسم	C	الجسم	C
الدراجة الهوائية	0.9	مظلي رأسي	0.7
الكرة	0.45	مظلي أفقي	1.0

جدول 2.3: بعض معاملات الإعاقة

مثال 2.0.13 السؤال

$$=32.23 \times 10^{-7}$$

$$v = \frac{mg}{b} (1 - e^{-\frac{b}{m}t}) \quad (\text{السرعة})$$

$$= \frac{0.1 \times 9.8}{32.23 \times 10^{-7}} (1 - e^{-\frac{32.23 \times 10^{-7}}{0.1} \times 2.85})$$

$$= 304064.53 \times (1 - e^{-9.18 \times 10^{-5}})$$

$$= 27.91 \text{ m/s}$$

النتيجة: ستكون سرعة الكرة 27.91 متر/ثانية، لاحظ انخفاض قيمة السرعة عن المثال السابق نتيجة مراعاة اللزوجة.

سقطت كرة كتلتها 0.1Kg ونصف قطرها 1cm من أعلى مبنى ارتفاعه 40m ، احسب سرعتها بعد 2.85s حيث معامل لزوجة الهواء 171μp (ميكروبواز) عند صفر سلزيوس؟

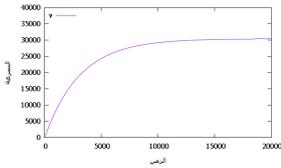
الحل

تعيين المعطيات: $t=2.85s$ ، $r=0.01m$ ، $h=40m$ ، $\eta=171 \times 10^{-6}p=171 \times 10^{-7}Pa.s$ ،

التطبيق:

$$b = 6\pi\eta r \quad (\text{معامل السحب السطحي})$$

$$= 6\pi \times 171 \times 10^{-7} \times 0.01$$



شكل 2.12: يخفئ التسارع عند الوصول للسرعة الحدية.

مثال 2.0.14 السؤال

$$v_{\text{الحدية}} = \sqrt{\frac{2mg}{\rho AC_d}}$$

$$= \sqrt{\frac{2 \times 70 \times 9.8}{1.21 \times 0.68 \times 0.7}}$$

$$= 48.8 \text{ m/s}$$

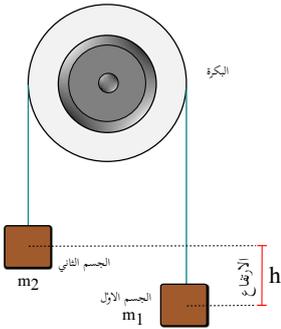
النتيجة: السرعة الحدية (السرعة القصوى) للمظلي على بطنه 48.8 متر/ ثانية.

قفز مظلي كتلته 70Kg من الطائرة، احسب السرعة الحدية له أثناء سقوطه على بطنه ؟ اعتبره مستطيل مصمت (طول الرجل 1.7m وعرضه 0.4m)

الحل

تعيين المعطيات: $\rho=1.21Kg/m^3$ ، $m=70Kg$ ، $C_d=0.7$ ، $A=0.68m^2$

التطبيق:



شكل 2.13: آلة أتوود

السرعة في آلة أتوود

آلة أتوود³ هي جهاز معلمي مكون من عمود مثبت على قاعدة، وفي أعلى العمود توجد بكرة يحيط بها خيط تعلق في طرفيه كتلتين مختلفتين، بحيث يتحرك الخيط باتجاه الكتلة الأكبر.

البكرة هي عجلة بها فتحة في وسطها وتعمل كمحور دوران لها، وقد تحتوي أنظمة البكرات على أكثر من بكرة، وتتميز أنظمة البكرات بكفاءتها العالية في نقل الطاقة، أي أن نسبة الطاقة المفقودة خلال عملية نقل الطاقة منخفضة جدا.

$$v_x = \sqrt{\left(\frac{m_1 - m_2}{m_1 + m_2}\right) 2gh} \quad (2.15)$$

حيث m_1 كتلة الجسم الأول، m_2 كتلة الجسم الثاني، h فرق الارتفاع بين مركزي الجسمين.

³آلة تم اختراعها في عام 1784 على يد الانجليزي جورج أتوود.

مثال 2.0.15 السؤال

$$v_x = \sqrt{\frac{m_1 - m_2}{m_1 + m_2} 2gh}$$

$$= \sqrt{\left(\frac{10-8}{10+8}\right) \times 2 \times 9.8 \times 0.2}$$

$$= 0.659 \text{ m/s}$$

النتيجة: سرعة حركة الجسمين ستكون 0.659 متر/ثانية.

احسب سرعة حركة جسمين معلقين في طرفي حبل على بكرة حرة الحركة، عندما يصبح الارتفاع بينهما 20cm وكتلتهما 10 و 8 كيلوغرام على التوالي؟

الحل

تعيين المعطيات: $m_2 =$ ، $m_1 = 10 \text{ kg}$ ، $h = 20 \text{ cm}$
8kg

التطبيق:

مثال 2.0.16 السؤال

$$v_f^2 = v_0^2 + 2a\Delta x$$

$$v_f = \sqrt{(0 + 2 \times 1.088 \times 0.2)}$$

$$= 0.659 \text{ m/s}$$

النتيجة: سرعة حركة الجسمين ستكون 0.659 متر/ثانية.

ويمكن حلها بطريقة أخرى..
التطبيق:

$$\Delta F = ma$$

$$(10 \times 9.8) - (8 \times 9.8) = (10 + 8) \times a$$

$$19.6 = 18a$$

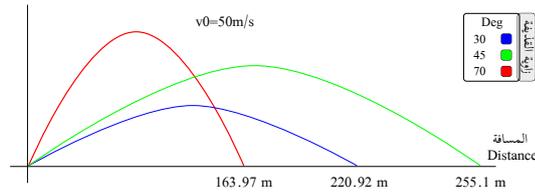
$$a = 1.088 \text{ m/s}^2$$

2.0.1.10 المقذوفات

عند انطلاق أو قذف جسم ما إلى الهواء، نسميه في هذه الحالة مقذوف، أي أنه اكتسب طاقة أولية، نتيجة بذل قوة عليه، ثم أصبح يتحرك في الهواء تحت تأثير قوة الجاذبية فقط، وبدون قوة دفع أخرى، سواء داخلية مثل قوة دفع أجنحة الطائر، أو خارجية مثل قوة دفع الرياح. إن هذا الجسم سيتحرك في الهواء لفترة ما، ثم يبدأ بالهبوط إلى الأرض بتأثير الجاذبية الأرضية، وأيضاً نتيجة فقد جزء من الطاقة الحركية بتأثير الاحتكاك بالهواء، وغالباً يتم تجاهل الاحتكاك في الأمثلة البسيطة غير التخصصية، إن السرعة الرأسية للجسم المقذوف تساوي صفر في أعلى نقطة يصلها، أما السرعة الأفقية فتحسب بالمعادلة $V_h = V_0 \cos \theta$ ، وإذا كانت نقطة الانطلاق ونقطة الوصول في مستوى أفقي واحد، يمكننا التعويض مباشرة في القانونين التاليين.

* طرفة علمية

توصل أكثر من باحث فيزيائي إلى أن أفضل رميات كرة السلة التي ينتج عنها هدف في الدوري الأمريكي تكون بزاوية 55° .



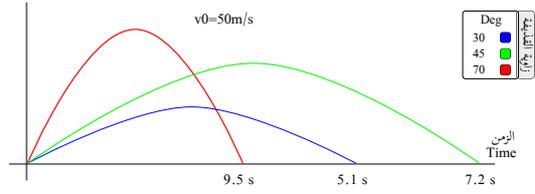
شكل 2.14: أكبر إزاحة للمقذوف عند 45 درجة

المسافة النهائية الأفقية في المقذوفات بعد أن نقذف الجسم، يبدأ بالارتفاع ثم السقوط على الأرض، فإذا أردنا حساب المسافة الأفقية بين نقطة الإطلاق ونقطة الاصطدام بالأرض أو الهدف، نستخدم القانون:

$$x = \frac{2v_0^2 \sin(\theta) \cos(\theta)}{g} = \frac{v_0^2 \sin(2\theta)}{g} \quad (2.16)$$

حيث θ الزاوية بين الأفق وخط إطلاق القذيفة، v_0 السرعة الابتدائية أو سرعة الإطلاق.

وكما في الرسم البياني السابق فإن الزاوية 45° تعطي أبعد إزاحة للمقذوف لكن نظرياً أي مع إهمال مقاومة الهواء، ووجد أن الزاوية 38° تعطي أبعد إزاحة في الحالة العادية العملية أي في وجود مقاومة الهواء.

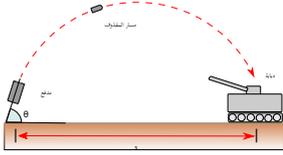


شكل 2.15: زمن المقذوف يزيد بزيادة الزاوية

زمن الوصول الأفقي في المقذوفات ولحساب الزمن الذي يحتاجه المقذوف من لحظة إطلاقه إلى لحظة اصطدامه بالأرض نستخدم القانون:

$$t = \frac{2v_0 \sin(\theta)}{g} \quad (2.17)$$

إن الصيغتين أو المعادلتين السابقتين هي مجرد صيغ لتبسيط وتسريع حل المسائل، لكن أنصح بالتعامل مع الصيغ العامة كما في طريقة الحل الثانية في المثال التالي، لأنها تسمح لنا بحفظ المعادلات الأساسية، ثم نعتمد على ذكائنا وفهمنا للسؤال. قوانين حساب السرعة الرأسية:



شكل 2.16: المسافة الأفقية في المقذوفات

$$v_f^2 = v_0^2 + 2gt$$

$$v_f(t) = gt + v_0$$

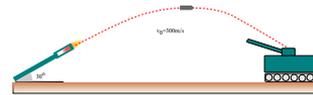
$$x(t) = \frac{1}{2}gt^2 + v_0t$$

مثال 2.0.17 السؤال

أطلقت قذيفة مدفع بسرعة ابتدائية مقدارها 300m/s وبزاوية 30° مع الأفق، احسب بعد الهدف الذي ستصيبه، والزمن اللازم لذلك؟

الحل

تعيين المعطيات: $\theta = 30^\circ$, $v_0 = 300 \text{ m/s}$



التطبيق:

$$= \frac{300^2 \times \sin(2 \times 30)}{9.8}$$

$$= 7953.29 \text{ m}$$

$$t = \frac{2v_0 \sin(\theta)}{g} \quad (\text{الزمن})$$

$$= \frac{2 \times 300 \times \sin 30}{9.8}$$

$$= 30.61 \text{ s}$$

النتيجة: بعد الهدف الذي ستصيبه القذيفة 7953.29 متر، وتصله القذيفة بعد 30.61 ثانية من إطلاقها.

$$x = \frac{v_0^2 \sin(2\theta)}{g} \quad (\text{المسافة الأفقية})$$

مثال 2.0.18 السؤال

هذا زمن الصعود، وزمن الهبوط مثله، فيكون الزمن الكلي
30.6s .

$$v_x = v \cos \theta \quad (\text{المركبة الأفقية})$$

$$= 300 \cos 30 = 259.8 \text{ m/s}$$

$$x = vt = 259.8 \times 30.6 = 7950 \text{ m} \quad (\text{المسافة})$$

النتيجة: بعد الهدف الذي ستصيبه القذيفة 7953.29
متراً، وتصله القذيفة بعد 30.61 ثانية من إطلاقها.

حل آخر باستخدام معادلات الحركة..
التطبيق:

$$v_y = v_0 \sin \theta \quad (\text{المركبة الرأسية})$$

$$= 300 \sin 30 = 150 \text{ m/s}$$

$$v_f = v_0 + gt \quad (\text{زمن الصعود})$$

$$0 = 150 + 9.8 \times t$$

$$t = -150 / (-9.8) = 15.3 \text{ s}$$

2.1 التدرّيات

$$= \sqrt{\left(\frac{15-10}{15+10}\right) \times 2 \times 9.8 \times 0.35}$$

$$= 1.171 \text{ m/s}$$

5- احسب الزمن الذي يحتاجه الأسد للوصول إلى سرعة 60 km/h إذا علمت أنه يتسارع من السكون بمقدار 4.2 m/s^2 ؟

الحل

تعيين المعطيات: $v_x = 60 \text{ km/h}$ ، $a = 4.2 \text{ m/s}^2$
التطبيق:

$$v_f = a_0 t + v_0$$

$$t = \frac{v_f - v_0}{a} = \frac{16.66 - 0}{4.2}$$

$$t = 3.966 \text{ s}$$

6- القوس الانجليزي الطويل يطلق السهم بقوة تساوي 470 N ، احسب تسارع السهم الذي كتلته 0.25 Kg ، ثم احسب سرعته بعد 2 ثانية؟

الحل

تعيين المعطيات: $F = 470 \text{ N}$ ، $m = 0.25 \text{ Kg}$ ، $t = 2 \text{ s}$
التطبيق:

$$F = ma$$

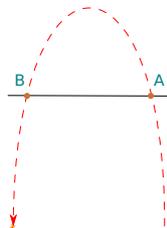
$$a = \frac{470}{0.25} = 1880 \text{ m/s}^2$$

أي أن سرعته 1880 m/s في الثانية الأولى، ومنه نحسب سرعة السهم المقذوف

$$v_f = gt + v_0$$

$$v_f = ((-9.8) \times 2) + 1880 = 1860.4 \text{ m/s}$$

7- في المقذوفات الحرة، تتساوى سرعة الجسم في أي نقطتين تقعان في مستوى أفقي واحد :



1- احسب الزاوية التي يجب استخدامها لإطلاق قذيفة مدفع هاوترز 155 mm بسرعة $v_0 = 827 \text{ m/s}$ لكي يصيب هدف على بعد $x = 24 \text{ km}$ ؟ ثم احسب الزمن اللازم لإصابة الهدف ؟

الحل

تعيين المعطيات: $x = 24000 \text{ m}$ ، $v_0 = 827 \text{ m/s}$
التطبيق:

$$x = \frac{v_0^2 \sin(2\theta)}{g}$$

$$24000 = \frac{827^2 \times \sin(2 \times \theta)}{9.8}$$

$$\sin(2 \times \theta) = \frac{24000 \times 9.8}{827^2}$$

$$\theta = \frac{\sin^{-1}(0.343)}{2} = 10.05 \text{ degrees}$$

$$t = \frac{2v_0 \sin(\theta)}{g}$$

$$= \frac{2 \times 827 \times \sin(10.05)}{9.8} = 29.45 \text{ s}$$

2- ترك جسم ليسقط رأسياً بسرعة 0 m/s من أعلى جرف ارتفاعه 85 m ؟ كم الزمن اللازم لوصوله للأرض؟

الحل

تعيين المعطيات: $v_0 = 0 \text{ m/s}$ ، $x = 80 \text{ m}$
التطبيق:

$$x = \frac{1}{2} at^2 + v_0 t$$

$$85 = 0.5 \times 9.8 \times t^2$$

$$t = \sqrt{\frac{85}{4.9}} = 4.165 \text{ s}$$

3- قام نسر بالإمساك بسلاحفة كتلتها 1.3 kg ثم حملها إلى ارتفاع 70 m وألقاها على صخرة لكي تنكسر صدفتها، احسب سرعة اصطدامها بالصخرة الموجودة على الأرض ؟

الحل

تعيين المعطيات: $h = 70 \text{ m}$ ، $m = 1.3 \text{ Kg}$
التطبيق:

$$v = \sqrt{2gh}$$

$$= \sqrt{2 \times 9.8 \times 70}$$

$$= 37.04 \text{ m/s}$$

4- علق جسمين كتلتها 10 ، 15 كيلوغرام في طرفي آلة آتود، احسب سرعة حركتهما عندما تكون المسافة الرأسية بينهما 35 سنتيمتر ؟

الحل

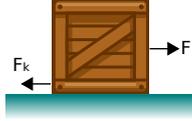
تعيين المعطيات: $m_1 = 10 \text{ Kg}$ ، $m_2 = 15 \text{ Kg}$ ، $h = 35 \text{ cm} = 0.35 \text{ m}$

التطبيق:

$$v_x = \sqrt{\left(\frac{m_1 - m_2}{m_1 + m_2}\right) 2gh}$$

- ج (40m/s)
ب (3m/s)
د (25m/s)
ب (12.5m/s)
ج (15m/s)
ب (10m/s)
د (12m/s)
ب (50m/s)

15- احسب السرعة التي سيصل لها جسم بعد قطعه 10m ، إذا انطلق من السكون بتسارع $5m/s^2$ ؟
 $V_f^2 = V_0^2 + 2ax$



- ج (44.1N)
ب (4.5N)
د (15.3N)
ب (50N)
ج (17- المساحة تحت منحنى السرعة والزمن تعطي ؟
ب (17- المساحة تحت منحنى السرعة والزمن تعطي ؟
ج (17- المساحة تحت منحنى السرعة والزمن تعطي ؟
ب (17- المساحة تحت منحنى السرعة والزمن تعطي ؟

18- الوعل التبتى تبلغ سرعته $100Km/h$ ، احسب المسافة التي يقطعها خلال 10 ثوان، منطلقاً من السكون؟

الحل

تعيين المعطيات: $v_0=0m/s$ ، $a_{\text{الوعل}}=6m/s^2$ ، $t=10s$
التطبيق:

$$v_f = a_0t + v_0 \quad (\text{ زمن التسارع })$$

$$t = \frac{v}{a} = \frac{27.77}{6} = 4.62s$$

$$x = \frac{1}{2}at^2 + v_0t \quad (\text{ المسافة أثناء التسارع })$$

$$x = 0.5 \times 6 \times 4.62^2 + 0 = 64.03m$$

$$x = vt \quad (\text{ المسافة بعد التسارع })$$

أ (صحيح ✓)
ب (خاطيء)

8- سقوط قائد الدراجة عن دراجته حين توقفها فجأة مثال على :

أ (الخاصية الاسموزية)
ج (القصور الذاتي) ✓

ب (قانون نيوتن الثالث)
د (قانون نيوتن الثاني)

9- سقط جسم من أعلى مبنى، وبعد 10 ثوان وصل إلى الأرض، فتكون سرعة اصطدامه بالأرض بالمتراً/ثانية :

أ (9.8)
ج (980)

ب (98 ✓)
د (9800)

10- سيارة A تغيرت سرعتها من $10m/s$ إلى $30m/s$ خلال 4s ، وسيارة B تغيرت سرعتها من $22m/s$ إلى $33m/s$ خلال 11s ، أيهما تسارعه أكبر :

أ (A ✓)
ج (متساويتان)

ب (B)
د (تسارعهما صفر)

11- إذا قذف جسم إلى الأعلى بسرعة $100m/s$ ، احسب سرعته بعد 5s ؟

أ (100+5)
ج (5)

ب (100-5×9.8)
د (100+5×9.8 ✓)

12- تصبح سرعة الجسم المقذوف صفر، عند أعلى نقطة نتيجة ؟

أ (التسارع الموجب)
ج (التسخين)

ب (التسارع السالب ✓)
د (الشحنة الكهربائية)

13- تسارع جسم تتغير سرعته من $10m/s$ إلى $30m/s$ خلال 10s ؟

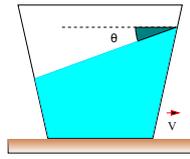
أ (3m/s)
ج (40m/s)

ب (20m/s)
د ($2m/s^2$ ✓)

14- ينطلق جسم من السكون بتسارع $2.5m/s^2$ ، احسب سرعته بعد 10s ؟

$$V_f = V_0 + at$$

20- ينزلق الدلو (في الرسم) على الأرض باتجاه اليمين، فهل تزداد سرعته أم تنقص؟ ركز على جهة اندفاع الماء



(أ) تزداد (ب) تنقص ✓

21- احسب المسافة والإزاحة التي يقوم بها الحاج بين الصفا والمرورة خلال الأشواط السبعة؟



المسافة تساوي $d=395 \times 7=2765m$.

الإزاحة تساوي $d=4 \times 395 - 3 \times 395=395m$.

$$=27.77 \times 5.38=149.4m$$

$$x_{total} = 64.03 + 149.4 = 213.43m \quad (\text{المسافة الكلية})$$

19- تصل سرعة انقضااض الصقر على فريسته $320km/h$ ، احسب أقل ارتفاع يسمح للصقر بالوصول لهذه السرعة عند سقوطه سقوط حر؟

الحل

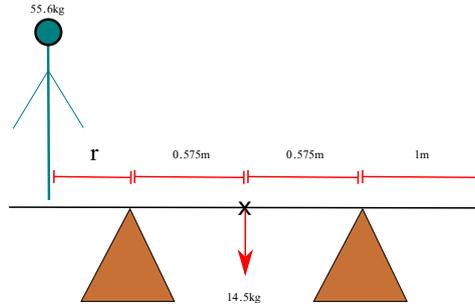
تعيين المعطيات: $v=320Km/h=88.88m/s$
التطبيق:

$$v=\sqrt{2gh}$$

$$88.88=\sqrt{2 \times 9.8 \times h}$$

$$h=\frac{(88.88)^2}{2 \times 9.8}=403.12m$$

الحركة الدورانية



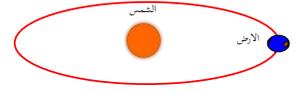
- الحركة الدائرية
- العزم
- التوازن

مقدمة

عندما تتحرك الأرض حول الشمس في مسار منحنى نقول أنها تتحرك حركة دورانية، وإذا دارت ريش المروحة حول محورها فإنها تتحرك حركة دائرية، في هذا الفصل سندرس الحركة الدائرية والعوامل المؤثرة فيها، وأهم القوانين التي تحكمها.



عندما يتحرك جسم في مدار دائري مثل حركة القمر حول الأرض أو حركة عقرب الساعة، فإننا نحتاج إلى وصف هذه الحركة بطريقة فيزيائية لدراستها والاستفادة منها، ولهذا يعتمد العلماء إلى وصف هذه الحركة بطريقتين: الأولى تصف حركة الجسم بدلالة الزاوية التي يقطعها الجسم حول المركز (الإزاحة الزاوية)، وفي هذه الحالة نسمي حركة الجسم بالحركة الزاوية. أما إذا وصفنا الحركة بدلالة الإزاحة التي يقطعها الجسم على محيط المسار الدائري فإننا نسمي حركة الجسم بالحركة الخطية. وفي كلتا الطريقتين نحن نصف الحركة الدورانية، ولهذا فإننا نستطيع التحويل بين كميات الحركة الزاوية وكميات الحركة الخطية لنفس الجسم باستخدام قوانين سهلة وبسيطة.



شكل 3.1: الشمس والأرض

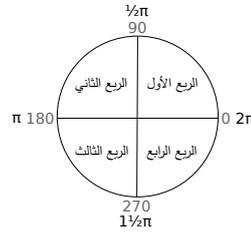
3.1 وصف الحركة الدورانية

3.1.1 الإزاحة الزاوية

الإزاحة الزاوية هي الزاوية التي يقطعها الجسم أثناء حركته.

Grad	Rad	Deg	
400	2π	360	الدائرة
$\frac{1}{400}$	$\frac{1}{2\pi}$	$\frac{1}{360}$	الوحدة الوحدة
0.9	57.29	1	بالدرجات

جدول 3.1: وحدات الحركة الزاوية

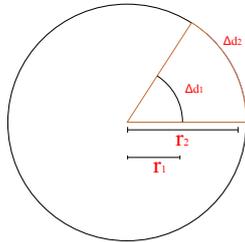


شكل 3.2: الزوايا

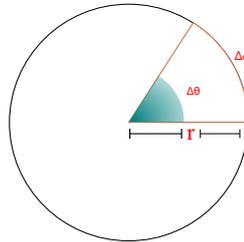
ولكي نحسب الإزاحة الزاوية المقطوعة فإننا نقسم المسافة القوسية المقطوعة Δd على نصف قطر المدار الدائري r حسب القانون:

$$\Delta\theta = \frac{\Delta d}{r} \quad (3.1)$$

والراديان هو وحدة الزوايا في النظام الدولي للوحدات ولهذا فإننا نستخدمه كوحدة أساسية للإزاحة الزاوية، ونعرف الراديان بأنه من الدورة الكاملة، وهندسيا هو الإزاحة الزاوية التي يساوي قوسها نصف قطر دائرتها.



شكل 3.4: تناسب المسافات القوسية



شكل 3.3: الإزاحة الزاوية

كما أن المسافات القوسية المختلفة ترتبط ببعضها بالعلاقة: $\frac{\Delta d_1}{r_1} = \frac{\Delta d_2}{r_2}$ كما في الرسم السابق. إذا أتم الجسم المتحرك دورة كاملة فهذا يعني أنه قطع مسافة قوسية تساوي محيط الدائرة، ومحيط الدائرة يساوي $d=2\pi r$ وبالتعويض به في القانون السابق $\Delta\theta = \frac{\Delta d}{r} = \frac{2\pi r}{r}$ نجد أن الإزاحة الزاوية لكل دائرة مكتملة تساوي $\Delta\theta=2\pi$ ، ومنه نستنتج القانون التالي:

$$\theta = 2\pi \times \text{عدد الدورات} \quad (3.2)$$

θ الإزاحة الزاوية بوحدة راديان rad .

مثال 3.1.19 السؤال

إذا تحرك عقرب الساعات من الساعة 12 إلى الساعة 6، فاحسب المسافة القوسية التي يقطعها طرف العقرب، علماً أن طول العقرب 10 سنتيمتر؟

الحل

تعيين المعطيات: $\theta = \pi$ ، $r = 10cm = 0.1m$

التطبيق:

$$\therefore \text{الدائرة} = 2\pi rad$$

$$\therefore \text{نصف الدائرة} = (\pi rad)$$

$$\Delta d = r \times \Delta \theta$$

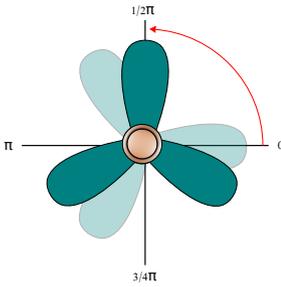
$$\Delta d = 0.1 \times \pi$$

$$\Delta d = 0.314m$$

النتيجة: المسافة القوسية التي قطعها طرف عقرب الساعات على محيط الساعة يساوي 0.314 متر.

* هدف وجداني

الطواف حول الكعبة في مكة المكرمة يكون عكس عقارب الساعة، أي إشارته موجبة.



شكل 3.5: كل دورة كاملة تتمها ريشة المروحة تمثل 2 باي .

3.1.2 السرعة الزاوية

السرعة الزاوية هي معدل الإزاحة الزاوية التي يقطعها الجسم خلال وحدة الزمن.

تدور المروحة حول محورها، وأثناء دورانها تقطع كل ريشة منها إزاحة زاوية، تبدأ من صفر، وحين تتم دورة كاملة نقول إنها قطعت 2π ، وإذا أتمت دورتين تكون الإزاحة الزاوية 4π وهكذا، لنفرض أنها أنجزت دورتين خلال دقيقة، إذا ستكون السرعة الزاوية $4\pi rad/min$. تستخدم السرعة الزاوية في معرفة معدل دوران محركات السيارات، الطائرات، مولدات الكهرباء وغيرها من الأجهزة والآلات.

$$\omega = \frac{\Delta \theta}{\Delta t} = \frac{\theta_2 - \theta_1}{t_2 - t_1} \quad (3.3)$$

$$v = r\omega \quad (3.4)$$

حيث v السرعة الخطية m/s ، r نصف قطر الدائرة m ، ω السرعة الزاوية rad/s .

مثال 3.1.20 السؤال

مروحة نصف قطرها 1.2 متر، دارت إزاحة زاوية مقدارها 6 راديان خلال ثانيتين، أوجد السرعة الزاوية والسرعة الخطية لطرفها الخارجي؟

الحل

تعيين المعطيات: $r = 1.2m$ ، $\theta = 6rad$ ، $t = 2s$

التطبيق:

$$v = r\omega \quad (\text{السرعة الخطية})$$

$$v = 1.2 \times 3$$

$$v = 3.6m/s$$

$$\omega = \frac{\Delta \theta}{\Delta t} \quad (\text{السرعة الزاوية})$$

$$\omega = \frac{6}{2} = 3rad/s$$

النتيجة: السرعة الزاوية للمروحة 3 راديان/ثانية، والسرعة الخطية لها 3.6 متر/ثانية.

3.1.3 التسارع الزاوي

التسارع الزاوي هو معدل السرعة الزاوية التي يقطعها الجسم خلال وحدة الزمن. التسارع هو تغير في السرعة إما بالزيادة $+\alpha$ أو النقصان $-\alpha$ ، أما إذا كانت السرعة ثابتة عند قيمة معينة فإن التسارع يكون صفراً.

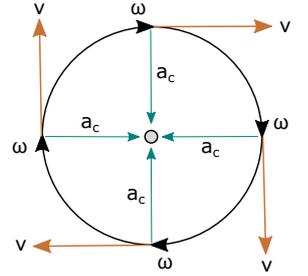
$$\alpha = \frac{\Delta\omega}{\Delta t} = \frac{\omega_2 - \omega_1}{t_2 - t_1} \quad (3.5)$$

$$a = r\alpha \quad (3.6)$$

$$a_c = \frac{v^2}{r}$$

$$a_c = \omega^2 r$$

حيث التسارع الخطي، a نصف قطر الدائرة، r التسارع الزاوي.



شكل 3.6: اتجاه التسارع الزاوي

حيث التسارع الخطي بوحدة mls^2 ، والتسارع الزاوي بوحدة rad/s^2 ، ونصف القطر بوحدة m .

مثال 3.1.21 السؤال

من المثال السابق، احسب التسارع الزاوي والتسارع الخطي؟

الحل

تعيين المعطيات: $t=2s$ ، $\theta=6rad$ ، $r=1.2m$

التطبيق:

$$a = r\alpha \quad (\text{التسارع الخطي})$$

$$a = 1.5 \times 3$$

$$a = 4.5m/s^2$$

$$\alpha = \frac{\Delta\omega}{\Delta t} \quad (\text{التسارع الزاوي})$$

$$\alpha = \frac{3}{2} = 1.5rad/s^2$$

النتيجة: التسارع الزاوية للمروحة 1.5 راديان/ثانية مربعة، وتسارعها الخطي 4.5 متر/ثانية مربعة.

3.1.4 القوة المركزية

القوة المركزية هي أي قوة تسبب حركة دائرية لجسم ما. ويكون اتجاه القوة المركزية F_c في نفس اتجاه التسارع المركزي

$$F_c = \frac{mv^2}{r} = mr\omega^2 \quad (3.7)$$

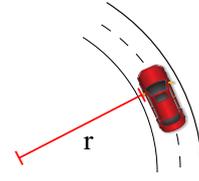
حيث m كتلة الجسم، r نصف قطر الدائرة، ω السرعة الزاوية.

مثال 3.1.22 السؤال

احسب القوة المركزية المؤثرة على سيارة كتلتها 1000kg وسرعتها 30m/s أثناء حركتها في مسار منحني نصف قطره 500m ؟

الحل

تعيين المعطيات: $v=30m/s$ ، $m=1000kg$ ، $r=500m$



التطبيق:

$$F_c = \frac{mv^2}{r}$$

$$= \frac{1000 \times 30^2}{500} = 1800N$$

النتيجة: القوة المركزية تساوي 1800 نيوتن.

3.1.4.1 معادلات الحركة الزاوية

معادلات الحركة الزاوية هي معادلات متعلقة بالحركة الزاوية، وتعامل مع اربع متغيرات هي الإزاحة الزاوية والزمن والسرعة الزاوية والتسارع الزاوي، والبعض يعتبرها ثلاث معادلات والبعض يعتبرها اربع وبعضهم يقول أنها خمس، لكن الحقيقة أنها جميعا مشتقة من معادلتين، ومنهما يمكننا اشتقاق الثالثة والرابعة و...، واختيار القانون المناسب يتوقف على المعطيات والمجهول في السؤال. [8]

$$\omega(t) = \alpha_0 t + \omega_0 \quad (3.8)$$

مثال 3.1.23 السؤال

تتحرك بكرة من السكون، بتسارع ثابت $2.6rad/s^2$ ، بعد زمن 6s احسب السرعة الزاوية ؟

الحل

تعيين المعطيات: $t=6s$ ، $\alpha=2.6m/s^2$ ، $\omega_0=0$

التطبيق:

$$\omega(t) = \alpha_0 t + \omega_0$$

$$=(2.6 \times 6) + 0$$

$$=15.6rad/s$$

النتيجة: السرعة الزاوية للبكرة تساوي 15.6 راديان/ثانية.

$$\Delta\theta(t) = \frac{1}{2}\alpha t^2 + \omega_0 t \quad (3.9)$$

مثال 3.1.24 السؤال

$$=46.8+0=46.8rad$$

$$rev's = \frac{\Delta\theta}{2\pi}$$

$$= \frac{46.8}{2\pi} = 7.4rev$$

النتيجة: الإزاحة الزاوية للجسم 46.8 راديان، وعدد الدورات 7.4 دورة.

من المثال السابق:

احسب الإزاحة الزاوية التي يقطعها الجسم خلال

نفس الزمن؟ احسب عدد الدورات؟

الحل

تعيين المعطيات: $t=6s$ ، $\alpha=2.6m/s^2$ ، $\omega_0=0$

التطبيق:

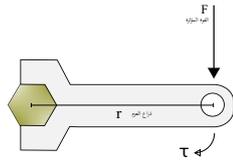
$$\Delta\theta = \frac{1}{2}\alpha t^2 + \omega_0 t$$

$$= (\frac{1}{2} \times 2.6 \times 6^2) + (0 \times 6)$$

3.1.5 العزم

عندما نزيد فك صامولة فإننا نحضر المفك المناسب، ونضغط على المفك بقوة مع التدوير إلى أن ننتهي من إخراج الصامولة من مكانها، إن تأثير قوتنا على المفك لتدويره يسمى بالعزم.

العزم هو مقدرة القوة على إحداث دوران حول محور.



شكل 3.7: العزم

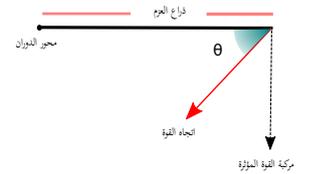
العوامل المؤثرة في العزم:

(3) زاوية القوة

(2) ذراع العزم

(1) القوة المؤثرة

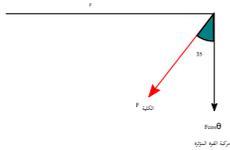
ويزداد العزم بزيادة القوة فكلما زدنا القوة كلما كان تدوير المفك أسهل وأسرع، وكذلك ذراع العزم فكلما كان ذراع العزم أطول كلما كان تدوير المفك أسهل، أي أن القوة وطول ذراع العزم تتناسب تناسباً طردياً مع العزم.



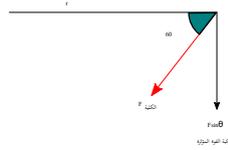
شكل 3.8: العزم

$$\tau = Fr \times \sin\theta \quad (3.10)$$

حيث τ العزم وينطق تاو ، F المركبة العمودية للقوة على ذراع العزم ، r طول ذراع العزم ، θ الزاوية بين اتجاه القوة وذراع العزم.



شكل 3.11: $\tau = Fr \cos\theta$

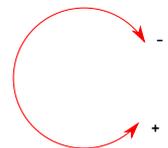


شكل 3.10: $\tau = Fr \sin\theta$



شكل 3.9: عملية تفريغ القلاب مثال عملي على العزم. [6]

حيث وحدة العزم $N.m$ ، وحدة القوة نيوتن N ، وحدة طول ذراع العزم المتر m ، وتكون إشارة العزم + إذا كانت ذراع العزم تتحرك عكس عقارب الساعة، وتكون - إذا كانت الذراع تتحرك مع عقارب الساعة.

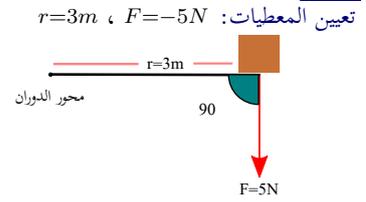


شكل 3.12: إشارة العزم

مثال 3.1.25 السؤال

أثرنا بقوة مقدارها 5 نيوتن بشكل عمودي على عتلة طولها 3 أمتار، فاحسب العزم إذا كان تأثير القوة باتجاه عقارب الساعة؟

الحل



التطبيق:

$$\therefore \sin 90 = 1$$

$$\therefore \tau = Fr$$

$$\tau = -5 \times 3 = -15 N.m$$

النتيجة: العزم يساوي 15 نيوتن والإشارة السالبة تدل على اتجاه العزم.

والأمثلة على العزم كثيرة، من مفكات البراغي والصواميل، إلى رافعة السيارة، والزرادية ∞ ، مروراً بفك الفم السفلي الذي يتحرك مسيحا الله واليد التي ترفع المصحف.

3.1.6 محصلة العزم

عند وجود جسم متزن تؤثر عليه أكثر من قوة، نقوم بجمع العزم¹ جمع جبري مع مراعاة الإشارة (مع عقارب الساعة سالب، عكس عقارب الساعة موجب).

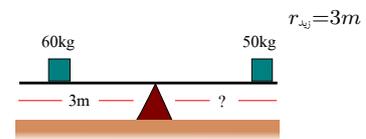
$$\sum \tau = \tau_1 + \tau_2 + \dots = 0$$

مثال 3.1.26 السؤال

يجلس عمرو (كتلته 50 كيلوجرام) وزيد (كتلته 60 كيلوجرام) على أرجوحة في وضع إتران، فإذا كان بعد زيد عن نقطة الارتكاز 3 أمتار، فما بعد عمرو عنها؟

الحل

تعين المعطيات: $m_2=60Kg$ ، $m_1=50Kg$ ، $r_{زيد}=3m$



$$\tau_1 + \tau_2 = 0$$

$$F_{زيد} \times r_{زيد} - F_{عمرو} \times r_{عمرو} = 0$$

$$60 \times 9.8 \times 3 = 50 \times 9.8 \times r_{عمرو}$$

$$180 = 50 r_{عمرو}$$

$$r_{عمرو} = \frac{180}{50} = 3.6m$$

النتيجة: بعد عمرو عن نقطة الارتكاز يساوي 3.6 متر.

التطبيق: سنعتبر أن عمرو يؤثر مع عقارب الساعة وزيد

الرافعة هي جسم جامد يستخدم نقطة ارتكاز أو محور دوران لمضاعفة القوة التي يمكن تطبيقها على جسم آخر.

ومن الأمثلة عليها رافعة السيارة والشيلول.

كيف تضاعف الرافعة القوة؟

الرافعة آلة لا تستطيع استحداث الطاقة من العدم، أي أن الشغل المبذول يساوي الشغل الناتج (يفقد جزء على شكل احتكاك)، لكن بما أن الشغل $W = Fd$ فإننا نحتاج لسحب سلك الرافعة 2m لكي نستطيع رفع جسم ثقيل لمسافة 1m .

¹العزم جمعه عزائم، مثل «إن الله يحب أن تؤتى رخصه كما يحب أن تؤتى عزائمه» .

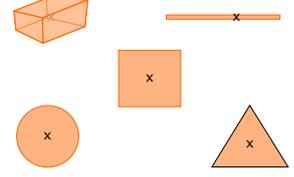
3.2 الاتزان

3.2.1 مركز الكتلة

يعرف مركز الكتلة بأنه نقطة على الجسم تتحرك بالطريقة نفسها التي يتحرك بها الجسم النقطي، ونستطيع القول أن مركز الكتلة قد يكون نقطة خارج الجسم مثل حدوة الفرس والحلقة المعدنية، لكن غالباً ما يكون مركز الثقل نقطة على الجسم.

التوازن

ونستطيع تحديد مركز الكتلة بطريقتين:



شكل 3.13: مركز الكتلة

• إذا كان الجسم منتظم الشكل فإن مركز كتلته هو مركزه الهندسي، مثل مركز كتلة المستطحة المنتصفها، ومركز كتلة القرص الدائري وسطه، وهكذا بالنسبة لبقية الأشكال الهندسية المنتظمة.

• إذا كان الجسم غير منتظم، نقوم بتعليقه من أي نقطة فيه وبعد أن يستقر، نرسم خط عمودي على الأرض ويخرج من نقطة التعليق، ثم نعيد تعليق الجسم من نقطة أخرى ونرسم خط جديد، فيكون مركز الكتلة هو نقطة تقاطع الخطين.

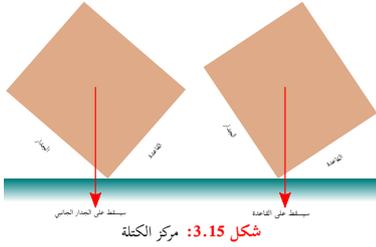
إذا كان الجسم مرن وغير جامد وليس له شكل ثابت مثل جسم الإنسان فإن مركز كتلته يتغير بتغير شكله أثناء الحركة، لكن بالعموم مركز كتلة الإنسان يقع في الجزء العلوي من جسمه، ولهذا فإن الإنسان الذي يسقط من مكان مرتفع جداً، يستدير جسمه تلقائياً بحيث يصبح الرأس للأسفل والأرجل للأعلى.



شكل 3.14: حدوة الفرس

3.2.2 مركز الكتلة والثبات

حين نجعل مركز كتلة جسم ما على نقطة ارتكاز فإنه يستقر بغض النظر عن شكل هذا الجسم، ولكن قد نحتاج إلى فائدة أعمق قليلاً، وهي دراسة استقرار الأجسام المتحركة سواء كانت الحركة بسيطة موضعية مثل تحريك صندوق، أو حركة انتقالية مثل حركة السيارة.



شكل 3.15: مركز الكتلة

مثلاً لو كان لدينا صندوق وأملناه بحيث يرتكز على إحدى زواياه، فهل سيعود لوضعه السابق ويستقر أم يسقط على جانبه؟ ببساطة نسقط خط من مركز الكتلة وعمودي على الأرض، فإن مر الخط بقاعدة الصندوق سيستقر الصندوق على قاعدته، وإن مر الخط بالضلع الجانبي للصندوق فسيسقط على جانبه، أما إذا مر بنقطة ارتكاز الصندوق فإنه سيبقى ثابتاً وهي الفكرة نفسها التي يستخدمها لاعبي السيرك عند سيرهم على الحبل، فيحرص لاعب السيرك على إبقاء مركز كتلته فوق موضع قدمه التي يقف عليها لكي يتزن جسمه على الحبل.

وتحرص شركات السيارات عموماً على جعل مركز كتلة السيارة منخفض لكي يصعب انقلابها، كما أن الإنسان الذي ينزل من الجبل يميل بجسمه للخلف أثناء نزوله لكي يجعل مركز كتلته ماراً بقدميه، فإن اخطأ ومال بجسمه للأمام سيمر مركز كتلته أبعد من قدميه وعندها سيدأ بالتدحرج والسقوط.



شكل 3.16: اتزان صهريج المطافي في المنعطفات

كانت المطافي تستخدم صهاريج مياه عادية، وهذا أدى إلى انقلابها في المنعطفات نتيجة لتجمع المياه في جهة واحدة بفعل القصور الذاتي مما يحرك مركز الكتلة إلى اليمين أو اليسار، ثم تم تطوير هذه الصهاريج بصهاريج حديثة مجزأة من داخلها بحواجز معدنية تمنع اندفاع الماء باتجاه واحد في المنعطفات بحيث يبقى مركز الكتلة في المنتصف، والحواجز بها ثقوب صغيرة تسمح بانسياب الماء عند إطفاء الحريق.

3.2.3 شروط الاتزان

يوجد شرطان للاتزان:

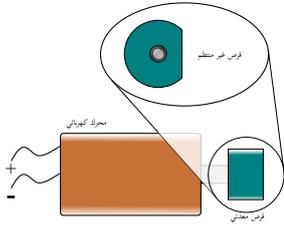
- أن يكون الجسم في حالة اتزان انتقالي (ساكن أو سرعته منتظمة).

$$\sum F = F_1 + F_2 + F_3 + \dots = 0$$

- أن يكون الجسم في حالة اتزان دوراني.

$$\sum \tau = \tau_1 + \tau_2 + \tau_3 + \dots = 0$$

ويمكن أن يكون الجسم متزن انتقاليا لكن غير متزن دورانيا مثل مروحة السقف حيث أنها ثابتة في مكانها (متزنة انتقاليا) لكنها تدور حول نفسها (عدم اتزان دوراني)، أو مثل حركة مقود السيارة بتأثر اليدين معا. ويمكن أن يكون الجسم متزن دوراني وغير متزن انتقاليا مثل سيارة تتسارع في خط مستقيم، حيث أن سرعتها غير منتظمة (غير ثابتة) لكنها لا تدور حول نفسها (متزنة دورانيا)، ويمكن أن تكون غير متزنة دورانيا وغير متزنة انتقاليا مثل كرة تقذف بشكل مبروم حيث تنطلق بتسارع (غير متزنة انتقاليا) وتدور حول نفسها (غير متزنة دورانيا).



شكل 3.17: هزاز الجوال عبارة عن محرك مثبت عليه قرص غير منتظم، وعند عمله يهتز لأن محصلة العزم والقوة لا تساوي صفر.

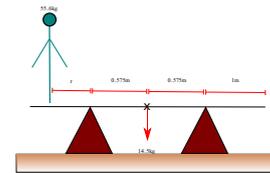
مثال 3.2.27 السؤال

يقف رجل كتلته 55.6kg على لوح خشبي متزن وكتلته 14.5kg وطوله 3.15m ، ومحمول على قاعدتين تبعد كل منهما 1m عن طرفي اللوح، احسب بعد الرجل عن طرف اللوح؟

الحل

تعيين المعطيات: $m_{\text{الرجل}} = 55.6\text{Kg}$ ، $m_{\text{اللوح}} =$

14.5Kg ، $r_{\text{مركز اللوح}} = 0.575\text{m}$



التطبيق: نعتبر القاعدة القريبة من الرجل هي محور الدوران

$$\sum \tau = 0 = \tau_1 + \tau_2 + \tau_3 + \dots$$

$$14.5 \times 0.575 = 55.6 \times r$$

$$r = \frac{14.5 \times 0.575}{55.6} = 0.15\text{m}$$

النتيجة: الرجل يبعد 0.15 متر عن طرف اللوح.

3.3 التدريبات

4- إذا علمت أن نصف قطر مدار القمر حول الأرض يساوي $384 \times 10^6 m$ ، احسب المسافة الخطية المقطوعة في الشهر؟

الحل

تعيين المعطيات: $r=384 \times 10^6 m$
التطبيق:

$$d=r\theta$$

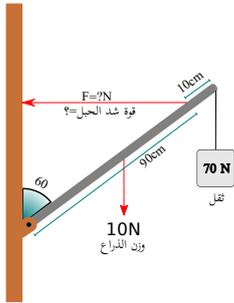
$$=384 \times 10^6 \times 188.49$$

$$=72.382 \times 10^9 m$$

5- احسب قوة الشد في الحبل الموضح بالشكل ، إذا كان الذراع في حالة اتزان ؟

الحل

تعيين المعطيات:



$$\theta=60^\circ$$

التطبيق:

$$\tau_1 + \tau_2 + \tau_3 = 0$$

$$F \times 0.9 \times \sin 30 - 10 \times 0.5 \times \sin 60 - 70 \times 1 \times \sin 60 = 0$$

$$F \times 0.9 \times \sin 30 = 4.33 + 60.62$$

$$F = \frac{64.96}{0.779} = 83.38 N$$

6- وحدة العزم هي:

أ) N ج) N/m^2

ب) N/m د) $\sqrt{N.m}$

7- الإزاحة الزاوية في كل دورة كاملة تساوي:

أ) π ج) 3π

ب) 2π د) 4π

8- مركز كتلة المربع يوجد في:

أ) نقطة تقاطع القطريه. ج) الركن العلوي الأيسر.

ب) الركن العلوي الأيمن. د) منتصف قاعدته.

1- ساعة مكة هي أكبر ساعة برج في العالم، ويبلغ طول عقرب الدقائق 22 متر، أوجد السرعة الزاوية والسرعة الخطية للعقرب على محيط الساعة ؟

الحل

تعيين المعطيات: $t=1h=3600s$ ، $\Delta\theta=2\pi$ ، $r=22m$
التطبيق:

$$\omega = \frac{\Delta\theta}{\Delta t}$$

$$\omega = \frac{2\pi}{3600} = 0.00174 \text{ rad/s}$$

السرعة الخطية:

$$v = r\omega$$

$$v = 0.00174 \times 22$$

$$v = 0.038 m/s$$

2- يتعلق طفل صغير كتلته 20 كيلوغرام بكامل ثقله بأكره الباب لكي يستطيع فتحه، احسب العزم الذي يؤثر به الطفل على طرف الأكرة علماً أن طول الأكرة عشر سنتيمترات؟

الحل

تعيين المعطيات:



$$r = 10 \text{ cm} = 0.1 \text{ m} , m = 20 \text{ Kg}$$

التطبيق:

$$\tau = Fr$$

$$= -20 \times 9.8 \times 0.1 = -19.6 \text{ N.m}$$

3- احسب الإزاحة الزاوية التي يتمها القمر حول الأرض خلال شهر قمري كامل؟

الحل

تعيين المعطيات: عدد الدورات = 30
التطبيق:

$$\theta = 2\pi \times \text{عدد الدورات}$$

$$= 2\pi \times 30 = 188.49 \text{ rad}$$

- 9- يكون الجسم الذي تؤثر عليه قوتين، في حالة اتزان إذا كانت :
- (أ) $36N$ (ج) $100N$ ✓
(ب) $60.6N$ (د) $124N$

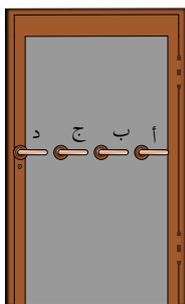
14- جسم يتحرك على محيط دائرة نصف قطرها $0.5m$ بسرعة $50m/s$ ، احسب سرعته الزاوية ؟

- (أ) $500rad/s$ (ج) $50.5rad/s$ ✓
(ب) $25rad/s$ (د) $49.5rad/s$

15- جسم يتحرك على محيط دائرة نصف قطرها $2m$ بتسارع مركزي $8m/s^2$ ، احسب سرعته الخطية ؟ $a_c = \frac{v^2}{r}$

- (أ) $4m/s$ (ج) $10m/s$ ✓
(ب) $16m/s$ (د) $6m/s$

16- أي أكره (يد الباب) تحتاج بذل قوة أقل لفتح الباب $\tau = Fr$ ؟



- (أ) أ (ج) ج ✓
(ب) ب (د) د ✓

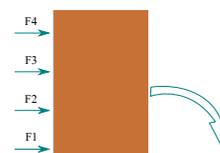
17- إذا كانت الإزاحة الزاوية للمروحة $30\pi rad$ فهذا يعني أنها أتمت دورة ؟

- (أ) 30 (ج) 1 ✓
(ب) 15 (د) 6.5 ✓

9- يكون الجسم الذي تؤثر عليه قوتين، في حالة اتزان إذا كانت :

- (أ) محصلة العزم ومحصلة القوة = صفر ✓
(ب) محصلة القوة صفر ومحصلة العزم لا تساوي صفر
(ج) محصلة العزم صفر ومحصلة القوة لا تساوي صفر
(د) محصلة القوة ومحصلة العزم لا تساوي صفر

10- أي القوى (المتساوية) التالية تحدث أكبر إمالة للجسم :



- (أ) F_1 (ج) F_3 ✓
(ب) F_2 (د) F_4 ✓

11- إذا كانت الأرض تتم دورة واحدة خلال يوم، كم الإزاحة الزاوية التي تتمها خلال نصف يوم ؟

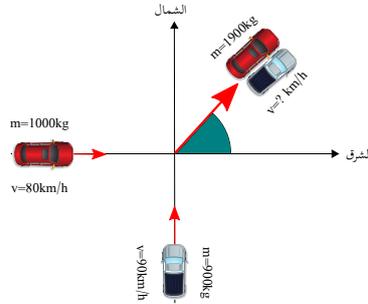
- (أ) $\frac{\pi}{2}$ (ج) $\frac{3\pi}{2}$ ✓
(ب) π (د) 2π

12- جسم كتلته $5Kg$ يسير في مدار دائري بسرعة منتظمة، إذا كان يتم دورته في $4s$ ، فاحسب سرعته الزاوية ؟

- (أ) $\frac{\pi}{4}$ (ج) $\frac{\pi}{2}$ ✓
(ب) $\frac{3\pi}{2}$ (د) 2π

13- إذا كان العزم يساوي $60N.m$ وطول ذراع القوة $0.6m$ ، احسب القوة العمودية المؤثرة على الذراع ؟

الزخم وحفظه



- الدفع
- الزخم
- التصادم في بعد وبعدين



4.1 الدفع والزخم

4.1.1 الدفع

الدفع هو حاصل ضرب القوة المؤثرة على الجسم في زمن تأثيرها.

$$J = F\Delta t = m\Delta v \quad (4.1)$$

حيث Δv التغير في سرعة الجسم، m كتلة الجسم، F القوة المؤثرة، t زمن التأثير، و J هو الدفع.

ويكتب بصيغة متقدمة على الشكل التالي: $J_x = \int_{t_1}^{t_2} F_x(t)dt$
إن الدفع والزخم لهما نفس الوحدة $Kg.m/s=N.s$.

مثال 4.1.28 السؤال

$$v_2 = 100 \text{ km/h}$$

التطبيق: تحويل السرعة من km/h إلى m/s

$$v_1 = \frac{80}{3.6} = 22.22 \text{ m/s}$$

$$v_2 = \frac{100}{3.6} = 27.77 \text{ m/s}$$

$$J = m\Delta v \quad (\text{الدفع})$$

$$= m \times (v_2 - v_1)$$

$$= 1000 \times (27.77 - 22.22)$$

$$= 5550 \text{ N.s}$$

النتيجة: الدفع اللازم لزيادة سرعة السيارة 5550 نيوتن. ثانية.

1- أثرت بقوة مقدارها 100 نيوتن على سيارة لمدة 5

ثوان، فتحررت لمسافة 725 متر أوجد الدفع المبذول؟

الحل

تعيين المعطيات: $F=100N$ ، $t=5s$



التطبيق:

$$J = F\Delta t$$

$$= 100 \times 5 = 500 \text{ N.s}$$

النتيجة: الدفع المبذول 500 نيوتن. ثانية.

2- سيارة كتلتها 1000 كيلوغرام، وسرعتها 80

كيلومتر/ساعة، احسب الدفع اللازم لكي تزيد سرعتها

إلى 100 كيلومتر/ساعة؟

الحل

تعيين المعطيات: $m=1000Kg$ ، $v_1=80km/h$

4.1.2 الزخم

الزخم هو حاصل ضرب كتلة الجسم في سرعته.

$$p = mv \quad (4.2)$$

حيث v السرعة الخطية، m الكتلة، p الزخم.

مثال 4.1.29 السؤال

$$p=mv$$

$$=4 \times 30 = 120 \text{ kg.m/s}$$

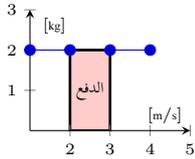
تتحرك قذيفة مدفع كتلتها 4 كيلوغرام بسرعة 30 متر/ثانية، أحسب زخم القذيفة؟

الحل

تعيين المعطيات: $v=30\text{m/s}$ ، $m=4\text{kg}$

النتيجة: زخم القذيفة 120 كجم.متر/ثانية (نيوتن.ثانية).

التطبيق:



شكل 4.1: الدفع - الزخم

4.1.3 العلاقة بين الدفع والزخم

نظرية الدفع - الزخم هي نظرية تربط بين الدفع والزخم، وتنص على أن الدفع يساوي الفرق بين الزخم النهائي والزخم الابتدائي (التغير في الزخم ΔP).

$$F\Delta t = p_f - p_i \quad (4.3)$$

$$F\Delta t = mv_f - mv_i$$

حيث p_i الزخم الابتدائي، p_f الزخم النهائي .

مثال 4.1.30 السؤال

$$F \times 7 = (9 \times 50) - (9 \times 20)$$

$$F \times 7 = 450 - 180$$

$$F \times 7 = 270$$

$$F = \frac{270}{7} = 38.57 \text{ N}$$

النتيجة: القوة المؤثرة على الجسم تساوي 38.57 نيوتن.

زادت سرعة جسم كتلته 9kg من 20m/s إلى 50m/s وذلك خلال زمن مقداره 7s ، أوجد القوة المؤثرة؟

الحل

تعيين المعطيات: $v_2=50\text{m/s}$ ، $v_1=20\text{m/s}$ ، $m=9\text{kg}$ ، $t=7\text{s}$

التطبيق:

$$F\Delta t = p_f - p_i$$

4.2 حفظ الزخم

ينص قانون حفظ الزخم على أن زخم أي نظام معزول لا يتغير. أي بعد حدوث التصادم بين جسمين فإن المجموع الجبري للزخم قبل التصادم يساوي المجموع الجبري للزخم بعد التصادم، أي أننا يجب أن نراعي نوع الإشارة \pm حسب الاتجاه. ومعنى نظام معزول:

$$(1) \text{ الكتلة ثابتة داخل النظام، فلا تفقد ولا تكتسب } \sum m = \text{constant}.$$

$$(2) \text{ محصلة القوى الخارجية المؤثرة على النظام تساوي صفر } \sum F_{\text{الخارجية}} = 0.$$

$$p_{ai} + p_{bi} = p_{af} + p_{bf} \quad (4.4)$$

$$(mv)_{ai} + (mv)_{bi} = (mv)_{af} + (mv)_{bf} \quad (4.5)$$

حيث a الجسم الأول، b الجسم الثاني.

4.2.1 التصادم في بعد واحد

التصادم في بعد واحد يحدث عندما تكون الأجسام المتصادمة على خط عمل واحد بغض النظر عن كون الأجسام تتحرك بنفس الاتجاه أم باتجاهين متعاكسين، ولا يشترط أن تكون جميع الأجسام المشاركة في التصادم متحركة، فقد يكون بعضها ساكن قبل التصادم.

موجب (+)	سالب (-)
الشرق (اليمين)	الغرب (اليسار)
الشمال (الأعلى)	الجنوب (الأدنى)

جدول 4.1: إشارات الزخم

مثال 4.2.31 السؤال

اصطدمت كرة كتلتها 4kg ومتحركة بسرعة 8m/s باتجاه الشرق بكرة أخرى كتلتها 1kg ومتحركة بسرعة 3m/s باتجاه الشرق أيضاً، احسب سرعة الكرة الثانية بعد التصادم إذا علمت أن سرعة الكرة الأولى أصبحت 2m/s باتجاه الشرق؟

التطبيق:

$$p_{ai} + p_{bi} = p_{af} + p_{bf}$$

$$(mv)_{ai} + (mv)_{bi} = (mv)_{af} + (mv)_{bf}$$

$$(4 \times 8) + (1 \times 3) = (4 \times 2) + (1 \times v_b)$$

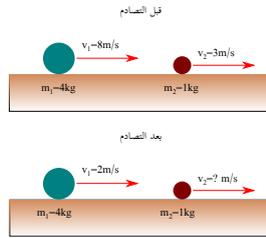
$$32 + 3 = 8 + v_b$$

$$v_b = 35 - 8 = 27\text{m/s}$$

النتيجة: حيث أن السرعة موجبة، إذاً الكرة الثانية تتحرك باتجاه الشرق بسرعة 27m/s .

الحل

تعيين المعطيات: $m_b = 1\text{kg}$ ، $v_{bi} = 3\text{m/s}$ ، $m_a = 4\text{kg}$ ، $v_{ai} = 8\text{m/s}$ ، $v_{af} = 2\text{m/s}$ ، $v_{bf} = 3\text{m/s}$ ، 1Kg



4.2.2 التصادم في بعدين

وهو تصادم يحدث نتيجة اصطدام جسمين أو أكثر ولا يتحركان على خط عمل واحد، أي توجد زاوية أكبر من صفر بين خطي عمل الجسمين قبل التصادم.

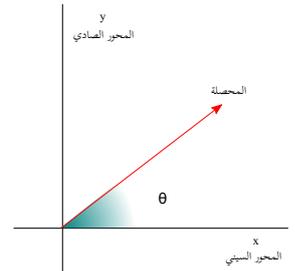
ولحساب محصلة الزخم لقوتين ليستا على خط عمل واحد، نتبع الخطوات التالية:

1- نحسب مركبة الزخم على المحور السيني (X): $p_{xi} = (mv)_a + (mv)_b$

2- نحسب مركبة الزخم على المحور الصادي (Y): $p_{yi} = (mv)_a + (mv)_b$

3- نحسب محصلة الزخم: $p_i = \sqrt{p_x^2 + p_y^2}$

4- نحسب زاوية محصلة الزخم (عادة المحصورة بين المحصلة والمحور السيني) إلا إذا طلب غير ذلك) بواحد من ثلاث طرق:



شكل 4.2: زاوية محصلة الزخم

بين المحصلة والمحور السيني	بين المحصلة والمحور الصادي
$\theta = \tan^{-1}\left(\frac{p_y}{p_x}\right)$	$\theta = \tan^{-1}\left(\frac{p_y}{p_x}\right)$
$\theta = \cos^{-1}\left(\frac{p_x}{p_f}\right)$	$\theta = \cos^{-1}\left(\frac{p_x}{p_f}\right)$
$\theta = \sin^{-1}\left(\frac{p_y}{p_f}\right)$	$\theta = \sin^{-1}\left(\frac{p_y}{p_f}\right)$

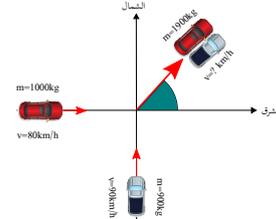
جدول 4.2: زاوية محصلة التصادم

مثال 4.2.32 السؤال

سيارة كتلتها 1000kg وسرعتها 80km/h باتجاه الشرق، اصطدمت بسيارة أخرى كتلتها 900kg وسرعتها 90km/h باتجاه الشمال، فالتصقتا معا، وسارا لمسافة معينة، أوجد سرعتهما واتجاههما بعد التصادم؟

الحل

تعيين المعطيات: $m_a=1000\text{kg}$ ، $v_a=80\text{km/h}$ ،
 $m_b=900\text{kg}$ ، $v_b=90\text{km/h}$ ،



التطبيق:

أولا نحسب محصلة الزخم في اتجاه المحور x (شرق-غرب):

$$\begin{aligned} p_{xi} &= (mv)_a + (mv)_b \\ &= (1000 \times 80) + (900 \times 0) \\ &= 22220\text{kg.m/s} \end{aligned}$$

ثانيا نحسب محصلة الزخم في اتجاه المحور y (شمال-جنوب):

$$\begin{aligned} p_{yi} &= (mv)_a + (mv)_b \\ &= (1000 \times 0) + (900 \times 25) \end{aligned}$$

∴ محصلة الزخم في اتجاه x و y موجبة \Leftarrow السيارتين في الربع الأول بعد التصادم.

خامسا نحسب سرعة الجسمين بعد التصادم:

$$p_f = v_f \times (m_a + m_b)$$

$$\therefore v_f = \frac{p_f}{(m_a + m_b)}$$

$$v_f = \frac{31622.43}{(1000+900)}$$

$$= 16.64\text{m/s}$$

النتيجة: سرعة السيارتين بعد التصادم 16.64m/s ثانية.

p_y	p_x	
+	+	الربع الأول
+	-	الربع الثاني
-	-	الربع الثالث
-	+	الربع الرابع

جدول 4.3: إشارات الموقع بعد التصادم

4.2.3 الدفع في الحياة

في السيارات يستخدم مفهوم الدفع كثيرا في الحياة، فمثلا يوجد في السيارة كيس هواء يفتح عند حدوث تصادم، وذلك لتقليل شدة اصطدام الجسم بعجلة القيادة، عن طريق زيادة زمن التأثير $F = \frac{I}{t}$ وبالتالي تقليل القوة. أيضا أصبحت مصدات السيارات الأمامية والخلفية تصنع من البلاستيك ومحشوة بمادة رغوية لتقليل القوة عند التصادم.

في الرياضة يضع حارس المرمى قفازات سميكة لإبطاء الكرة وبالتالي زيادة الزمن وإنقاص القوة، أيضا تغلف كرات التنس الأرضي بنسيج قماشي لتقليل القوة لحظة تصادم الكرة بالمضرب، فيستطيع اللاعب التحكم بالكرة.

الكمية الفيزيائية	رمزها	الوحدة	رمزها
الدفع	J	نيوتن.ثانية	N.s
الزخم	P	نيوتن.ثانية	N.s

جدول 4.4: وحدات الزخم وحفظه

4.3 التدريبات

$$F \times 0.007 = (0.44 \times 81.28) - 0$$

$$F = \frac{35.76}{0.007} = 5109N$$

$$p = mv \quad \text{الزخم}$$

$$= 0.44 \times 81.28 = 35.76 \text{ Kg.m/s}$$

6- سيارة كتلتها 800kg وسرعتها 50km/h باتجاه الشرق، اصطدمت بسيارة أخرى كتلتها 750kg وسرعتها 74km/h باتجاه الشمال، فالتصقتا معا، وسارتا لمسافة معينة، أوجد سرعتيهما واتجاهيهما بعد التصادم؟

الحل

تعيين المعطيات: $m_a = 800 \text{ Kg}$ ، $v_a = 55 \text{ km/h}$ ، $m_b = 750 \text{ Kg}$ ، $v_b = 74 \text{ km/h}$ ،
التطبيق:

محصلة الزخم في اتجاه المحور x :

$$p_{xi} = (800 \times 15.27) + (750 \times 0)$$

$$= 12216 \text{ kg.m/s}$$

محصلة الزخم في اتجاه المحور y :

$$p_{yi} = (800 \times 0) + (750 \times 20.55)$$

$$= 15412.5 \text{ kg.m/s}$$

محصلة الزخمين:

$$p_i = \sqrt{(12216)^2 + (15412.5)^2}$$

$$= 19666.22 \text{ kg.m/s}$$

زاوية المحصلة:

$$\theta = \tan^{-1} \left(\frac{15412.5}{12216} \right)$$

$$= 51.59^\circ$$

7- الزخم يساوي حاصل ضرب كتلة الجسم في :

(أ) سرعته الزاوية (ب) تسارعه الزاوي (ج) إزاحته الزاوية (د) سرعته المتجهة ✓

8- جسم كتلته 50Kg وزخمه 250Kg.m/s ، احسب سرعته؟ $p = mv$

(أ) 5m/s ✓ (ب) 300m/s (ج) 250m/s (د) 20m/s

9- إذا كانت كتلة جسمين متساوية، وسرعة الأول ضعف سرعة الثاني، فإن :

1- شاحنة كتلتها 5 طن وتسير بسرعة مقدارها 60 كيلومتر/ساعة، خرجت عن مسارها واصطدمت بجدار، أحسب زخم الشاحنة لحظة الاصطدام؟

الحل

تعيين المعطيات: $v = 60 \text{ km/h}$ ، $m = 5000 \text{ Kg}$
التطبيق:

$$p = mv = 5000 \times \left(\frac{60}{3.6} \right)$$

$$= 83333.33 \text{ Kg.m/s}$$

2- وحدة الدفع هي :

(أ) N (ب) J (ج) J.s (د) ✓ N.s

3- إن زخم أي نظام معزول لا يتغير:

(أ) صحيح ✓ (ب) خطأ

4- رجل كتلته 75kg ينطلق من السكون بتسارع 1 m/s^2 لمسافة 8 أمتار، ثم يقفز وهو مندفع، على عربة صغيرة كتلتها 25kg، احسب سرعتيهما مع تجاهل الاحتكاك؟

الحل

تعيين المعطيات: $m_1 = 75 \text{ Kg}$ ، $v_0 = 0$ ، $a = 1 \text{ m/s}^2$ ، $m_2 = 25 \text{ Kg}$ ، $x = 8 \text{ m}$ ،
التطبيق:

$$v_f^2 = v_i^2 + 2ax \quad \text{السرعة}$$

$$v_f = \sqrt{0 + 2 \times 1 \times 8} = 4 \text{ m/s}$$

$$P_i = m_1 v_1 + m_2 v_2 \quad \text{الزخم قبل}$$

$$= 75 \times 4 + 0 = 300 \text{ N.s}$$

$$P_f = P_i = m_1 v_1' + m_2 v_2' \quad \text{الزخم بعد}$$

$$300 = v_f (m_1 + m_2) = 100 v_f$$

$$v_f = \frac{300}{100} = 3 \text{ m/s}$$

5- اسرع ركلة كرة قدم مسجلة، قام بها رونو هيرسون في مباراة لشيونون ونافال عام 2006م، وكانت سرعتها 292.61km/h ، وكتلتها 440grams ، أحسب القوة التي أثرت بها قدم اللاعب على الكرة لمدة 0.007s ، ومقدار الزخم الكلي؟

الحل

تعيين المعطيات: $v_1 = 0$ ، $v_2 = 292.61 \text{ km/h}$ ، $m = 440 \text{ g} = 0.44 \text{ Kg}$ ، $t = 0.007 \text{ s}$ ،
التطبيق:

$$Ft = m_2 v_2' - m_1 v_1' \quad \text{القوة}$$

$$\checkmark \tau_1 > \tau_2 \quad (\text{ج}) \quad \tau_1 = \tau_2 \quad (\text{ا})$$

$$\tau_1 \leq \tau_2 \quad (\text{د}) \quad \tau_1 < \tau_2 \quad (\text{ب})$$

10- إذا اصطدم جسمان مختلفان في الكتلة والسرعة، ثم التحما ببعضهما بعد التصادم، فإن سرعتهما بعد التصادم؟

$$v_1 > v_2 \quad (\text{ج}) \quad \checkmark v_1 = v_2 \quad (\text{ا})$$

$$v_1 \leq v_2 \quad (\text{د}) \quad v_1 < v_2 \quad (\text{ب})$$

11- أثبت أن وحدة الدفع هي نفسها وحدة الزخم؟
يمكن إثباتها بطريقتين:

طريقة الفهم فيما أن الدفع هو فرق الزخم $J = P_f - P_i$

فيكون فرقهما بوحدة الزخم.

طريقة الإثبات الرياضي

$$\text{وحدة الدفع} = N \cdot s$$

$$\text{وحدة الزخم} = kg \cdot m/s$$

12- طائرة مروحية كتلتها $5000kg$ وسرعتها $300m/s$ ، احسب سرعتها لحظة إطلاق صاروخ كتلته $50kg$ وسرته $700m/s$ ؟

الحل

تعيين المعطيات: $m = 5000Kg$ ، $v_i = 300m/s$

$m = 50Kg$ ، $v_f = 700m/s$

التطبيق:

$$m_1 v_i + m_2 v_i = m_1 v_f + m_2 v_f$$

$$5000 \times 300 + 50 \times 300 = 5000 \times v_f + 50 \times 700$$

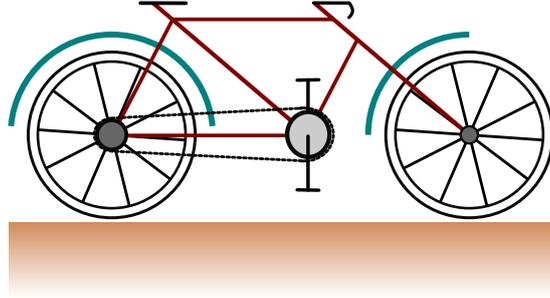
$$15 \times 10^5 + 15 \times 10^3 = 5000 \times v_f + 35 \times 10^3$$

$$1515 \times 10^3 - 35 \times 10^3 = 5000 \times v_f$$

$$v_f = \frac{148 \times 10^4}{5000} = 296m/s$$

سرعة الطائرة تنخفض بتأثير ردة فعل انطلاق الصاروخ.

$$\text{من قانون الثاني} \quad \checkmark \quad = \frac{kg \times m}{s^2}$$



- الشغل والقدرة
- نظرية الشغل والطاقة
- الفائدة الميكانيكية



5.1 الشغل والقدرة

5.1.1 الشغل

الشغل هو حاصل ضرب القوة في الإزاحة التي تحدثها القوة. يجب ملاحظة أن القوة المؤثرة هي القوة في اتجاه الحركة، وعند وجود زاوية بين اتجاه القوة واتجاه الحركة، فإننا نأخذ مركبة القوة التي في اتجاه القوة، أما القوة (أو مركبة القوة) العمودية على اتجاه الحركة فإنها تؤثر على اتجاه الحركة وليس على سرعتها.

$$W = Fd \quad (5.1)$$

حيث W الشغل جول J ، F القوة نيوتن N ، d الإزاحة متر m.

مثال 5.1.33 السؤال

لسحب الحقيبة لمسافة 8 أمتار؟

الحل

تعيين المعطيات: لأن القوة تؤثر بزاوية 35 درجة مع اتجاه الحركة، فإننا يجب أن نأخذ مركبتها الأفقية وليس القوة بالكامل.

$$d=8m , \theta=35^\circ , F=20N$$

التطبيق:

$$W = Fd$$

$$= 20 \times \cos 35 \times 8 = 131.06 J$$

النتيجة: الشغل الذي يبذله الرجل 131.06 جول.

1- أثنا بقوة مقدارها 10N على عربة صغيرة،

فسيبت لها إزاحة 5m، احسب الشغل المبذول على العربة؟

الحل

$$d=5m , F=10N$$

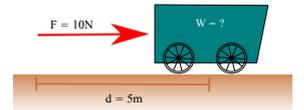
التطبيق:

$$W = Fd$$

$$= 10 \times 5 = 50 J$$

النتيجة: الشغل المبذول على العربة 50 جول.

2- رجل يجرف خلفه حقيبة سفر بعجلات بقوة مقدارها 20N، عن طريق ذراع الحقيبة الذي يرتفع عن الأفق بزاوية 35 درجة، احسب الشغل الذي يبذله الرجل



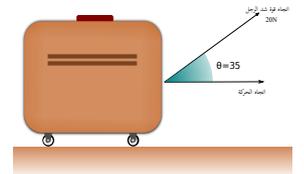
شكل 5.1: الشغل

5.1.2 الطاقة الحركية

الطاقة الحركية هي الطاقة الناتجة عن حركة الجسم.

$$KE = \frac{1}{2}mv^2 \quad (5.2)$$

حيث KE الطاقة الحركية جول J ، m الكتلة كيلوغرام kg ، v السرعة متر/ثانية m/s.



شكل 5.2: شغل الحقيبة

مثال 5.1.34 السؤال

$$KE = \frac{1}{2}mv^2$$

جسم كتلته 3kg ويسير بسرعة مقدارها 6m/s،

احسب طاقته الحركية؟

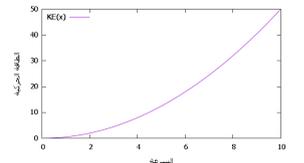
الحل

$$= \frac{1}{2} \times 3 \times 6^2 = 54 J$$

$$v=6m/s , m=3kg$$

التطبيق:

النتيجة: الطاقة الحركية للجسم 54 جول.



شكل 5.3: الطاقة الحركية

5.1.3 نظرية الشغل الطاقة

تنص نظرية الشغل الطاقة على أن الشغل يساوي التغير في الطاقة الحركية.

$$W = \Delta KE \quad (5.3)$$

$$W = \frac{1}{2}mv_f^2 - \frac{1}{2}mv_i^2$$

حيث KE الطاقة الحركية جول ، m الكتلة كيلوغرام kg ، v السرعة متر/ثانية m/s.

مثال 5.1.35 السؤال

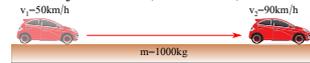
التطبيق:

سيارة كتلتها 1000kg تسير بسرعة 50km/h ، احسب الشغل اللازم لزيادة سرعتها إلى 90km/h ؟

الحل

تعيين المعطيات: $m=1000\text{kg}$ ، $v_i=50\text{km/h}$ ،

$v_f=90\text{km/h}=25\text{m/s}$ ، 13.88m/s



$$W = \frac{1}{2}mv_f^2 - \frac{1}{2}mv_i^2$$

$$W = \frac{1}{2} \times 1000 \times (25^2 - 13.88^2)$$

$$W = 216172.8\text{J}$$

النتيجة: الشغل الذي يبذله محرك السيارة لزيادة سرعتها من 50 إلى 90 كم/ساعة يساوي 216 كيلو جول.

5.1.4 القدرة

القدرة هي الشغل المبذول مقسوما على زمن إنجازه.

$$P = \frac{W}{t} \quad (5.4)$$

$$P = Fv \quad (5.5)$$

حيث W الشغل جول ، P القدرة وات ، t الزمن ثانية ، F القوة نيوتن ، v السرعة متر/ثانية.

للقدرة وحدة أخرى هي الحصان الميكانيكي وتساوي 746 وات.

مثال 5.1.36 السؤال

تحويل السرعة للنظام الدولي؟

الحل

تعيين المعطيات: $F=100N$ ، $v=36km/h=10m/s$

التطبيق:

$$P=Fv$$

$$=100 \times 10 = 1000 \text{ watt}$$

النتيجة: القدرة تساوي 1000 وات.

احسب قدرة رجل بذل شغلا مقداره $50J$ لمدة

20 ثانية؟

الحل

تعيين المعطيات: $t=20s$ ، $W=50J$

التطبيق:

$$P = \frac{W}{t}$$

$$= \frac{50}{20} = 2.5 \text{ watt}$$

النتيجة: القدرة تساوي 2.5 وات.

2- راكب دراجة هوائية يبذل قوة مقدارها $100N$ ليصل لسرعة $36km/h$ ، احسب قدرة هذا الرجل؟ لا تنس

* ومضة

للتحويل من كم/ساعة إلى م/ث نقسم على 3.6

5.2 الآلات

5.2.1 الفائدة الميكانيكية

الفائدة الميكانيكية هي نسبة قوة المقاومة إلى القوة المبذولة.

$$MA = \frac{F_r}{F_e} = \frac{F_{\text{الخرج}}}{F_{\text{الدخل}}} = \frac{v_{\text{الدخل}}}{v_{\text{الخرج}}} \quad (5.6)$$

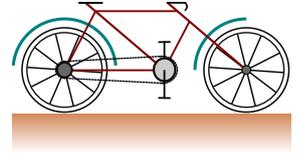
حيث MA الفائدة الميكانيكية بدون وحدة، F_r قوة المقاومة وحدتها نيوتن N ، F_e القوة المبذولة على الجسم وحدتها نيوتن N .

5.2.2 الفائدة الميكانيكية المثالية

الفائدة الميكانيكية المثالية هي الفائدة الميكانيكية القصوى للآلة، وسميت مثالية لأنها غير موجودة في الطبيعة، وكل ما يتمناه صانع الآلة، أن تكون الفائدة الميكانيكية لآلته قريبة من الفائدة الميكانيكية المثالية لها.

$$IMA = \frac{d_e}{d_r} = \frac{d_{\text{الدخل}}}{d_{\text{الخرج}}} \quad (5.7)$$

حيث IMA الفائدة الميكانيكية المثالية بدون وحدة، d_e إزاحة القوة المبذولة، d_r إزاحة القوة المقاومة.



شكل 5.4: الفائدة الميكانيكية للدراجة تساوي سرعة الدواسة مقسوما على سرعة العجلة الخلفية.

5.2.3 الكفاءة

الكفاءة هي مقياس لأداء الآلة أو النسبة المئوية للشغل الناتج إلى الشغل المبذول.

$$e = \frac{W_o}{W_i} \times 100 \quad (5.8)$$

حيث e كفاءة الآلة، W_i الشغل المبذول، W_o الشغل الناتج.

صاغ أخرى لقانون الكفاءة

$$e = \frac{F_r d_r}{F_e d_e} \times 100$$

$$e = \frac{MA}{IMA} \times 100$$

مثال 5.2.37 السؤال

أثرت بقوة مقدارها $200N$ على رافعة، لرفع صندوق وزنه $1300N$ لمسافة $20cm$ ، احسب المسافة التي يجب علينا تحريك الرافعة إليها علماً أن كفاءة الرافعة 90% ؟

الحل

تعيين المعطيات: $F_e=200N$ ، $F_r=1300N$ ،
 $d_r=20cm=0.2m$

التطبيق:

$$e = \frac{F_r d_r}{F_e d_e} \times 100$$

$$90 = \frac{1300 \times 0.2}{200 \times d_e} \times 100$$

$$d_e = \frac{1300 \times 0.2 \times 100}{90 \times 200}$$

$$d_e = 1.44m$$

النتيجة: يجب تحريك هذه الرافعة هذه 1.44 متر لكي نستطيع رفع الصندوق 0.2 متر.

5.3 التدريبات

5- وحدة القدرة هي:

(أ) \checkmark Watt (ج) N

(ب) J (د) ليس لها وحدة

6- الفائدة الميكانيكية المثالية تكون الفائدة الميكانيكية:

(أ) \leq (ج) \geq

(ب) $>$ (د) $<$ \checkmark

7- جسم كتلته 2Kg وسرعته 1m/s ، احسب طاقته الحركية ؟

(أ) \checkmark 1J (ج) 0.5J

(ب) 2J (د) 3J

8- جسم وزنه 3000N رفع إلى الأعلى مسافة 9m ، احسب قدرة الشغل المبذول لمدة 10s ؟

(أ) \checkmark 2700W (ج) 3019W

(ب) 0.03W (د) 270W

9- لا يمكن أن تصل الكفاءة إلى 100% بسبب ؟

(أ) طول الجسم (ج) سعر الوقود

(ب) الحرارة

(د) وزن الجسم \checkmark المفقودة

10- احسب الشغل المبذول لزيادة سرعة جسم كتلته 2Kg

من سرعة 5m/s إلى 10m/s ؟ $W=0.5 \times m \times (v_f^2 - v_i^2)$

(أ) \checkmark 75J (ج) 15J

(ب) 25J (د) 5J

11- الحصان الميكانيكي يساوي كم وات ؟

(أ) \checkmark 746 (ج) 467

(ب) 476 (د) 647

12- ما هي وحدة الفائدة الميكانيكية ؟

(أ) بدون وحدة \checkmark (ج) نيوتن

(ب) وات (د) حصان

1- احسب الشغل اللازم بذله على سيارة كتلتها 1200kg لكي تزيد سرعتها من 60km/h إلى 80km/h مع تجاهل الاحتكاك ؟

الحل

تعيين المعطيات: $m=1200Kg$ ، $v_i=60km/h$ ، $v_f=80km/h$
التطبيق:

$$W = \frac{1}{2}mv_f^2 - \frac{1}{2}mv_i^2$$

$$= 0.5 \times 1200 \times \left(\left(\frac{80}{3.6} \right)^2 - \left(\frac{60}{3.6} \right)^2 \right)$$

$$= 0.5 \times 1200 \times \left((22.222)^2 - (16.666)^2 \right)$$

$$= 129637.03J$$

2- يقوم قارب بجر متزلج بسرعة 20km/h وقوة جر $F=450N$ ، احسب القدرة المؤثرة على المتزلج؟

الحل

تعيين المعطيات: $F=450N$ ، $v=20km/h$
التطبيق:

$$P = Fv$$

$$= 450 \times \frac{20}{3.6} = 2500Watt$$

3- تقوم سيارة بسحب أخرى متعطللة على طريق مستوي ، فإذا كانت تبذل شغل مقداره 2500J لمدة 10min ، احسب القدرة المؤثرة على السيارة؟

الحل

تعيين المعطيات: $W=2500J$ ، $t=10min=600s$
التطبيق:

$$P = \frac{W}{t}$$

$$= \frac{2500}{600} = 4.16Watt$$

4- منظومة بكرات رفع (بلنكو) تحتاج لقوة مقدارها 10N لرفع جسم وزنه 75N ، احسب كفاءة الآلة له إذا كانت $IMA=9$ ؟

الحل

تعيين المعطيات: $IMA=9$ ، $F_r=75N$ ، $F_e=10N$

التطبيق: نحسب الفائدة الميكانيكية MA

$$MA = \frac{F_r}{F_e}$$

$$= \frac{75}{10} = 7.5$$

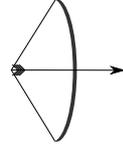
ثم نحسب الكفاءة

$$e = \frac{MA}{IMA} \times 100$$

$$= \frac{7.5}{9} \times 100$$

$$= 83.33\%$$

الطاقة وحفظها



- الطاقة وأشكالها
- قانون حفظ الطاقة
- التصادمات

مقدمة



6.1 الطاقة وأشكال الطاقة

الطاقة هي مقدرة الجسم على إحداث تغير في نفسه أو الأشياء المحيطة به.

أشكال الطاقة للطاقة أشكال كثيرة مثل الطاقة الميكانيكية (الحركية + الكامنة) ، الطاقة الحرارية ، الطاقة النووية ، الطاقة الشمسية ، الطاقة الكيميائية . . . الخ.

6.1.1 الطاقة الحركية

الطاقة الحركية هي الطاقة الناتجة عن حركة الجسم.

$$KE = \frac{1}{2}mv^2 \quad (6.1)$$

حيث KE الطاقة الحركية جول ، m الكتلة كيلوغرام ، v السرعة متر/ثانية m/s.

مثال 6.1.38 السؤال

$$KE = \frac{1}{2}mv^2$$

$$= \frac{1}{2} \times 1200 \times 30.55^2 = 559981.5J$$

النتيجة: الطاقة الحركية للسيارة تساوي 559 كيلوجول.

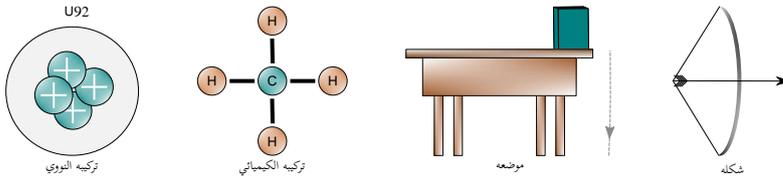
احسب الطاقة الحركية لسيارة كتلتها $1200kg$ وتسير بسرعة مقدارها $110km/h$ ؟

الحل

تعيين المعطيات: $v=110km/h$ ، $m=1200Kg$

التطبيق:

6.1.2 الطاقة المخزنة



شكل 6.1: طاقة الوضع

هي الطاقة المخزنة في النظام نتيجة تغير في شكله أو موضعه أو تركيبه الكيميائي أو النووي. أي أن لدينا عدة أنواع منها طاقة وضع الجاذبية وطاقة الوضع الكهربائية وطاقة الوضع الكيميائية.

6.1.2.1 طاقة الوضع الناشئة عن الجاذبية

هي الطاقة المخزنة في النظام والناشئة عن قوة الجذب بين الأرض والجسم.

$$PE = mgh \quad (6.2)$$

حيث PE طاقة الوضع وحدتها جول ، m الكتلة وحدتها كيلوغرام ، g تسارع الجاذبية الأرضية وحدته متر/ثانية مربعة m/s^2 ، h الارتفاع وحدته متر m .

مثال 6.1.39 السؤال

$$PE=mgh$$

$$=4 \times 9.8 \times 30 = 1176 J$$

النتيجة: طاقة الوضع التي اكتسبها الجسم 1176 جول.

احسب طاقة الوضع الناشئة عن رفع جسم كتلته 4kg إلى ارتفاع 30m عن سطح الأرض؟

الحل

تعيين المعطيات: $h=30m$ ، $m=4Kg$

التطبيق:

6.1.2.2 طاقة الوضع المرورية

هي الطاقة المخزنة في النظام نتيجة تغير في شكل الأجسام المرنة، مثل انضغاط النابض في مسدس الأطفال، وعصا الزانة في رياضة القفز بالزانة، ووتر القوس في رياضة الرماية بالسهم.

6.1.2.3 طاقة الوضع السكونية

هي الطاقة التي تساوي كتلة الجسم مضروبة في مربع سرعة الضوء، ونقيسها بقانون اينشتاين لحساب طاقة الوضع.

$$E_0 = mc^2 \quad (6.3)$$

حيث E_0 طاقة الوضع السكونية وحدتها جول، m الكتلة وحدتها كيلوغرام kg، c سرعة الضوء وحدتها متر/ثانية m/s .

مثال 6.1.40 السؤال

$$E_0=mc^2$$

$$=3 \times (3 \times 10^8)^2 = 2.7 \times 10^{17} J$$

النتيجة: طاقة الوضع السكونية الناتجة عن عملية التحويل تساوي 2.7×10^{17} جول.

احسب طاقة الوضع السكونية الناشئة عن تحويل 3kg من المادة إلى طاقة؟

الحل

تعيين المعطيات: $c=3 \times 10^8 m/s$ ، $m=3Kg$

التطبيق:

6.1.3 قانون حفظ الطاقة

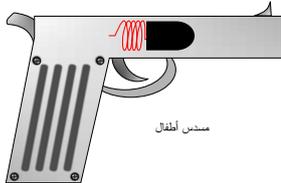
ينص قانون حفظ الطاقة على أنه في نظام معزول، الطاقة لا تفنى ولا تستحدث ولكن تتحول من شكل إلى آخر، أي أن المجموع الكلي للطاقة ثابت لا يتغير.

قانون حفظ الطاقة الميكانيكية ينص على أنه في نظام معزول، مجموع الطاقة الميكانيكية ثابت، إذا لم توجد أشكال أخرى من الطاقة.

أي أن مجموع الطاقة الحركية وطاقة الوضع يبقى ثابت طالما كان النظام معزول، وكل زيادة في الطاقة الحركية يقابلها نقصان في طاقة الوضع، والعكس صحيح، فمثلاً إذا كانت الطاقة الحركية 7N وطاقة الوضع 3N في هذه اللحظة فإن الطاقة الميكانيكية لهما 10N، وإذا تغيرت الطاقة الحركية إلى 6N فإن طاقة الوضع ستكون بالتأكيد 4N لأن مجموع الطاقة الميكانيكية في هذا النظام المعزول يجب أن تظل ثابتة وتساوي 10N.

وفي الحقيقة إن النظام المعزول هو نظام مثالي غير موجود في الطبيعة، فكل نظام يفقد أو يكتسب جزءاً ولو صغيراً من الطاقة، لكننا نعتبر تجاوزاً النظام معزول إذا كان يفقد أو يكتسب جزءاً صغيراً جداً من الطاقة، والنظام الوحيد المعزول هو الكون ككل¹.

¹ اعتبار الكون معزول قد يتعارض مع معتقدات الديانات السماوية إذا اعتبرنا أن السماء خارج الكون، فهم يؤمنون بأن الملائكة من نور أي طاقة، تنزل وتضعد إلى السماء.



شكل 6.2: طاقة الوضع المرورية

* طريقة علمية

القريدس ذو المطرقة يصطاد فريسته بضرب كلابيه ببعضهما مولداً فقاعة يقطر 2 سم من بخار الماء الساخن.

$$E = PE + KE \quad (6.4)$$

$$KE_i + PE_i = KE_f + PE_f \quad (6.5)$$

حيث E الطاقة الميكانيكية، PE طاقة الوضع، KE الطاقة الحركية، i الابتدائية، f النهائية، ووجدتهم جميعا الجول J .

ويجب ملاحظة أن الطاقة الميكانيكية E تفقد جزء منها إذا وجد الاحتكاك كما في القانون $\Delta E = E_f - E_i$.

مثال 6.1.41 السؤال

$$0 + mgh = \frac{1}{2}mv^2 + 0$$

$$9.8 \times 12 = \frac{1}{2} \times v^2$$

$$9.8 \times 12 \times 2 = v^2$$

$$v = \sqrt{9.8 \times 12 \times 2} = \sqrt{235.2}$$

$$v = 15.33 \text{ m/s}$$

النتيجة: سرعة جوزة الهند لحظة التصادم بالأرض تساوي 15.33 متر/ثانية.

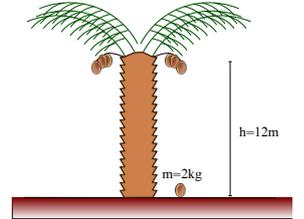
سقطت ثمرة جوز الهند كتلتها 2 kg من أعلى شجرة ارتفاعها 12 m ، احسب سرعتها لحظة اصطدامها بالأرض؟ (تجاهل الاحتكاك بالهواء)

الحل

تعيين المعطيات: الطاقة الحركية لحظة السقوط $0 =$ ، لأن السرعة = صفر
الطاقة الكامنة لحظة ملامسة الأرض $= 0$ ، لأن الارتفاع = صفر
 $h = 12 \text{ m}$ ، $m = 2 \text{ Kg}$

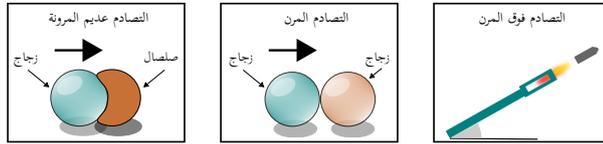
التطبيق:

$$KE_i + PE_i = KE_f + PE_f$$



شكل 6.3: قانون حفظ الطاقة

6.1.3.1 التصادمات



شكل 6.4: أنواع التصادمات

يوجد ثلاثة أنواع من التصادمات:

- (1) التصادم فوق المرن وهو التصادم الذي يكون مجموع الطاقة الحركية للجسمين بعد التصادم أكبر من مجموع الطاقة الحركية للجسمين قبل التصادم $\sum KE_i < \sum KE_f$ ، مثل اصطدام قاذح الزناد بالرصاص.
- (2) التصادم المرن وهو التصادم الذي يكون مجموع الطاقة الحركية للجسمين بعد التصادم مساوي لمجموع الطاقة الحركية للجسمين قبل التصادم $\sum KE_i = \sum KE_f$ ، مثل اصطدام الكرات الزجاجية ببعضها.
- (3) التصادم تحت المرن وهو التصادم الذي يكون مجموع الطاقة الحركية للجسمين بعد التصادم أقل من مجموع الطاقة الحركية للجسمين قبل التصادم $\sum KE_i > \sum KE_f$ ، مثل تصادم كرات الصلصال ببعضها.

6.2 التدرّيبات

1- يرغب فتية الكشافة في نصب سارية العلم التي ارتفاعها $4m$ وكتلتها $10Kg$ ، احسب الشغل اللازم لذلك؟

الحل

تعيين المعطيات: $m=10Kg$ ، $h=4m$
التطبيق: * مركز كتلة السارية منتصفها.

$$W=mgh$$

$$=10 \times 9.8 \times 2$$

$$=196J$$

2- احسب الطاقة الحركية لحبة فشار (ذرة جافة) كتلتها $5grams$ قفزت من المقلاة بسرعة $5m/s$ ؟ ثم احسب أقصى ارتفاع تصل له ؟

الحل

تعيين المعطيات: $m=5grams=5 \times 10^{-3}Kg$ ، $v=12m/s$
التطبيق:

$$KE=\frac{1}{2}mv^2$$

$$=\frac{1}{2} \times 0.005 \times 5^2$$

$$=0.0625J$$

$$PE=mgh$$

أقصى ارتفاع

$$0.0625=0.005 \times 9.8 \times h$$

$$h=\frac{0.0625}{0.049}=1.27m$$

3- انزلق طفل كتلته $40Kg$ على لعبة ترحلق ارتفاع قمتها عن الأرض $2m$ ، فوصل الأرض بسرعة $5m/s$ أوجد طاقة الاحتكاك المؤثرة عليه ؟

الحل

تعيين المعطيات: $v=5m/s$ ، $h=2m$ ، $m=40Kg$
التطبيق: طاقة الوضع الكامنة

$$PE=mgh$$

$$PE=40 \times 9.8 \times 2=784J$$

$$KE=\frac{1}{2}mv^2$$

الطاقة الحركية

$$=\frac{1}{2} \times 40 \times 5^2$$

$$=500J$$

$$E_{\text{الاحتكاك}}=PE-KE$$

طاقة الاحتكاك

$$=784-500=284J$$

4- وحدة طاقة الوضع هي:

$$Kg \quad (أ) \quad N \quad (ج)$$

$$Watt \quad (ب) \quad J \quad (د)$$

5- أي من مصادر الطاقة التالية من مصادر الطاقة المتجددة:

$$\checkmark \quad (أ) \quad \text{الشمس}$$

$$(ج) \quad \text{اليورانيوم}$$

$$(د) \quad \text{سدود الأنهار}$$

✓

$$\checkmark \quad (ب) \quad \text{الرياح}$$

6- الطاقة التي يحتفظ بها الجسم :

$$(أ) \quad \text{طاقة الوضع}$$

✓

$$(ج) \quad \text{الطاقة}$$

الكهربائية

$$(د) \quad \text{الطاقة}$$

الكهرومغناطيسية

$$(ب) \quad \text{الطاقة الحركية}$$

7- التصادم الذي لا يصاحبه فقد أو اكتساب في الطاقة :

$$(أ) \quad \text{تحت المرن}$$

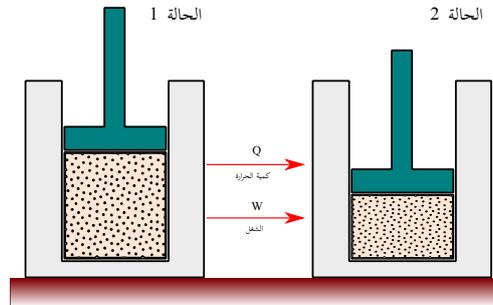
$$(ج) \quad \text{فوق المرن}$$

$$(ب) \quad \text{المرن}$$

✓

$$(د) \quad \text{عديم المرونة}$$

الطاقة الحرارية



- درجة الحرارة وكمية الحرارة
- الاتزان الحراري
- الديناميكا الحرارية



الحرارة والإنسان صديقان يصعب أن يفترقا، بدءا من حرارة الشمس (الأشعة فوق البنفسجية) التي تمدد بفيتامين د مروراً بحرارة نار الطبخ، وحرارة المدفأة، ولا ننسى أهم شيء وهو حرارة جسم الإنسان التي يجب أن لا تقل أو تزيد كثيراً عن $37.5^{\circ}C$ ، ولهذا حرص الإنسان على البحث عن مصادر الحرارة من الخشب إلى البترول إلى الغاز إلى الطاقة النووية الانشطارية. فما هي الحرارة؟ الحرارة ببساطة هي الطاقة المنقولة لحظياً نتيجة لاختلاف درجة الحرارة بين المواد أو الأجسام.

7.1 درجة الحرارة وكمية الحرارة

7.1.1 درجة الحرارة

درجة الحرارة هي صفة في المادة تحدد اتجاه انتقال الحرارة من جسم إلى آخر في الوضع الطبيعي، ففي الطرق الصناعية مثل المبردات يتم انتقال الحرارة من الجزء البارد إلى الجزء الساخن.

ونستطيع قياس درجة الحرارة باستخدام أي خاصية في المادة تتأثر بالحرارة، مثلاً المادة تتمدد بالحرارة وهذا يمكننا من صنع الترمومتر الذي يعتمد على تمدد السائل في أنبوب زجاجي. أيضاً المادة إذا ارتفعت درجة حرارتها تصدر أشعة تحت حمراء وهذا يمكننا من صنع البايروميتر الذي يعتمد على قياس كمية الأشعة تحت الحمراء الصادرة من الجسم وبالتالي معرفة درجة الحرارة، أيضاً بعض المواد البلاستيكية يتغير لونها بتغير درجة الحرارة وهذا ساعدنا على صنع مقياس درجة حرارة لوني.

7.1.2 كمية الحرارة

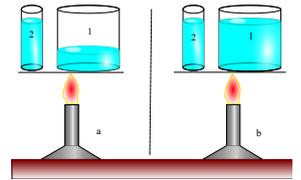
كمية الحرارة أو الطاقة الحرارية هي متوسط الطاقة الحركية لجميع جزيئات المادة. وتقاس كمية الحرارة بالجول J ، لكن تستخدم وحدة أخرى لقياسها وهي الكالوري أو السعر Cal والعلاقة بينهما $1 Cal = 4.186 J$ ، مع ملاحظة أن مصانع الأغذية تستخدم الكالوري الكبير على العبوات، فإذا كتبت $10 Cal$ فهذا يعني $10000 Cal$.

الكالوري هو الطاقة اللازمة لرفع درجة حرارة $1gram$ من الماء $1^{\circ}C$.

7.1.3 العلاقة بين درجة الحرارة وكمية الحرارة

العلاقة بين كمية الحرارة ودرجة الحرارة تشبه العلاقة بين كمية الماء ومستوى الماء في إناء، كيف؟

- إذا كان لدينا وعاءين غير متساويين في الحجم ووضعنا في الأول لتر من الماء، ووضعنا في الثاني لتر من الماء، فإن مستوى الماء في الإناء الكبير سيكون بالتأكيد أقل من مستوى الماء في الإناء الصغير رغم تساوي كمية الماء فيهما، أي أن تساوي كمية الماء في الوعاءين لا يعني بالضرورة تساوي مستوى الماء فيهما.
- إذا ملأنا الوعاءين السابقين بحيث يصبح مستوى الماء فيهما متساوي، فإننا سنلاحظ أن كمية الماء في الوعاء الكبير أكبر من كمية الماء في الوعاء الصغير رغم تساوي مستوى الماء فيهما، أي أن تساوي مستوى الماء في الوعاءين لا يعني بالضرورة تساوي كمية الماء فيهما.



شكل 7.1: كمية الحرارة

وكذلك بالنسبة لكمية الحرارة ودرجة الحرارة، فحين نرغب بتسخين كميتي ماء مختلفتين في الحجم من 10 درجات مئوية إلى 50 درجة مئوية فإن الكمية الأكبر تحتاج إلى كمية حرارة أكبر رغم تساوي درجة حرارتهما، والعكس صحيح، أي أن تساوي درجة حرارة الجسمين لا يعني بالضرورة تساوي كمية حرارتهما، وتساوي كمية حرارة جسمين لا يعني بالضرورة تساوي درجة حرارتهما.

7.1.4 الاتزان الحراري

الاتزان الحراري هو الحالة التي يصبح عندها معدل التدفق الحراري بين الجسمين متساوي، ودرجة حرارتهما متساوية أيضاً، فحين يضع الإنسان يده على جسم ساخن فإنه يشعر بالحرارة لأن الطاقة الحرارية بدأت تنتقل من الجسم الساخن إلى يده، أما إذا وضع يده على جسم بارد فإن الحرارة تبدأ بالانتقال من يده إلى الجسم البارد فيشعر حينها بالقشعريرة.

7.1.5 الحرارة النوعية والسعة الحرارية

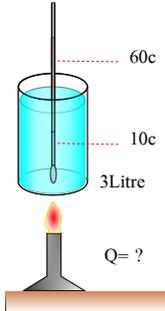
إن كمية الحرارة المنتقلة للجسم تعتمد على ثلاثة أشياء: كتلة المادة - نوعها - التغيير في درجة الحرارة. لكن لكل كتلة معينة من المادة سعة معينة من الحرارة، أي لا نستطيع نقل كمية لا نهائية من الحرارة إلى الجسم.

الحرارة النوعية هي كمية الطاقة الحرارية اللازمة لرفع درجة حرارة وحدة كتلة من المادة لدرجة مئوية واحدة.

السعة الحرارية هي كمية الطاقة الحرارية اللازمة لرفع درجة حرارة الجسم لدرجة مئوية واحدة.

$$Q = mC(T_f - T_i) \quad (7.1)$$

حيث Q كمية الحرارة، m الكتلة، T_f درجة الحرارة النهائية، T_i درجة الحرارة الابتدائية.



شكل 7.2: الحرارة النوعية والسعة الحرارية

المادة	C	المادة	C	المادة	C	المادة	C
الألمنيوم	900	النحاس	387	الخشب	1700	الهواء	721
الحديد	452	الخرسانة	840	الماء 15°C	4186	الأمونيا	1670

جدول 7.1: الحرارة النوعية لبعض المواد

مثال 7.1.42 السؤال

$$=3 \times 4180 \times (60 - 10)$$

$$=627 \text{ kJ}$$

احسب كمية الحرارة اللازمة لرفع درجة حرارة 3 لتر من الماء من 10 سلزيوس إلى 60 سلزيوس؟

الحل

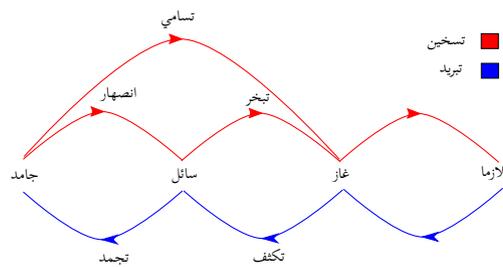
تعيين المعطيات: الحرارة النوعية للماء
 $m=3L=3Kg$ ، $4180J/kg.^{\circ}C$

النتيجة: الطاقة الحرارية اللازمة لتسخين هذا الماء 50° سلزيوس تبلغ 627 كيلوجول.

التطبيق:

$$Q = mC(T_f - T_i)$$

7.2 تحولات حالات المادة



شكل 7.3: حالات المادة

إن المادة عند فقدانها أو اكتسابها للطاقة الحرارية يحدث لها تغير في الطاقة الحركية لجزيئاتها، فإذا اكتسبت طاقة حرارية تزداد حركة جزيئاتها وإذا فقدت طاقة حرارية تقل حركتها، وهذا التغير في الطاقة الحركية والذي يؤدي عند حد معين إلى تغير في الروابط بين جزيئاتها. مثل الانصهار والتبخير.

التسامي هو عملية تحول المادة من الحالة الجامدة إلى الحالة الغازية دون المرور بالحالة السائلة، مثل تسامي اليود عند تسخينه، وتسامي الجليد الموضوع في مجمد الثلاجة (الفريزر) لفترة طويلة، ومثل كرات الفتالين، وبعض المعطرات الحديثة الصلبة.

حالات المادة:

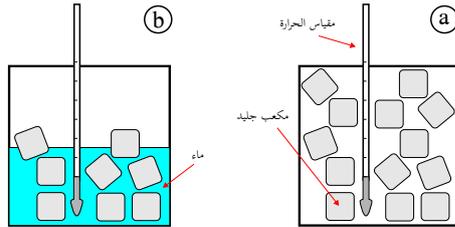
- الجامد: هو الحالة التي يكون للمادة فيها حجم ثابت وشكل ثابت، لأن قوة التماسك بين جزيئاته كبيرة، والمسافة بين ذراته صغيرة، مثل النحاس والصخر، والبلاستيك.
- السائل: هو الحالة التي يكون للمادة فيها حجم ثابت وشكل غير ثابت (تأخذ شكل الإناء الذي توضع فيه)، لأن قوة التماسك والمسافة بين جزيئاته متوسطة، مثل الماء والزيت، والزئبق.

- الغاز: هو الحالة التي يكون للمادة فيها حجم غير ثابت، وشكل غير ثابت (تأخذ حجم وشكل الإناء الذي توضع فيه)، لأن قوة التماسك بين ذراته أو جزيئاته ضعيفة أو معدومة، مثل الأكسجين والهيليوم، والأوزون.
- البلازما: هي الحالة التي تكون فيها ذرات أو جزيئات الغاز في حالة تأين نتيجة درجة الحرارة العالية جداً، مثل خط البرق، أيضا شرارة الولاعة (القداحة الكهربائية) في المطبخ، والشرارة التي تخرج عند خلع بعض أنواع الملابس، ولحام البلازما.



شكل 7.4: البلازما [2]

7.2.1 الطاقة الكامنة للانصهار



شكل 7.5: الطاقة الكامنة للانصهار

عندما نضع مقياس الحرارة في إناء ممتلئ بالثلج سنجد $0^{\circ}C$ وإذا تركنا الثلج زمنا يكفي لذوبان جزء منه ثم أعدنا قياس درجة حرارة محتوى الإناء فإننا سنجد أن درجة الحرارة لا زالت $0^{\circ}C$ ، إن الحرارة التي اكتسبها الثلج من الهواء المحيط لم تؤد لزيادة في درجة الحرارة وإنما أكسبت الثلج طاقة مكنته من تحويل الجليد إلى ماء بعملية الانصهار، ولهذا نسمي هذه الطاقة بالطاقة الكامنة للانصهار H_f .

المادة	H_f	H_v	المادة	H_f	H_v	المادة	H_f	H_v
الماء	334	2256	الألمنيوم	380	11400	النيتروجين	25.5	201
الزئبق	11.8	272	النحاس	134	5069	الأكسجين	13.8	213

جدول 7.2: الطاقة الكامنة لانصهار وغليان بوحدة KJ/kg

الطاقة الكامنة للانصهار كمية الطاقة الحرارية اللازمة لانصهار وحدة الكتل من مادة ما.

$$Q = mH_f \quad (7.2)$$

حيث Q كمية الحرارة، m الكتلة، H_f الحرارة الكامنة للانصهار.

مثال 7.2.43 السؤال

$$Q = mH_f$$

$$= 0.1 \times 334 \times 10^3 = 33400 J$$

النتيجة: الطاقة الحرارية اللازمة لانصهار 100 جرام من الثلج تبلغ 33400 جول.

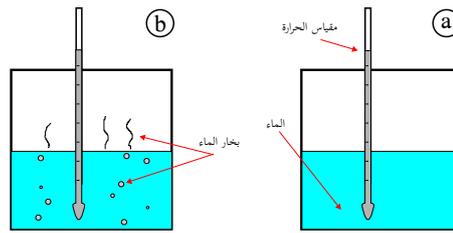
احسب كمية الحرارة اللازمة لانصهار 10 جرام من الثلج عند درجة صفر سلزيوس؟

الحل

تعيين المعطيات: $H_f = 334 KJ/Kg$ ، $m = 100g$

التطبيق:

7.2.2 الطاقة الكامنة للغليان



شكل 7.6: الطاقة الكامنة للغليان

وعندما نضع مقياس الحرارة في إناء به ماء ثم نسخن الماء إلى $100^{\circ}C$ ، ثم نستمر بالتسخين، سنلاحظ أن درجة الحرارة تبقى ثابتة عند $100^{\circ}C$ رغم استمرار التسخين، لأن هذه الحرارة تستهلك في تحويل الماء إلى بخار بعملية الغليان، ولهذا تسمى هذه الطاقة بالطاقة الكامنة للغليان H_v .

الطاقة الكامنة للغليان أو التبخر كمية الطاقة الحرارية اللازمة لغليان (لتبخير) وحدة الكتل من مادة ما.

$$Q = mH_v \quad (7.3)$$

حيث Q كمية الحرارة، m الكتلة، H_f الحرارة الكامنة للتبخير.

مثال 7.2.44 السؤال

$$Q = mH_v$$

احسب كمية الحرارة اللازمة لتبخير 10 جرام من

الماء؟

الحل

تعيين المعطيات: $m=100g$ ، $H_v=2256KJ/Kg$

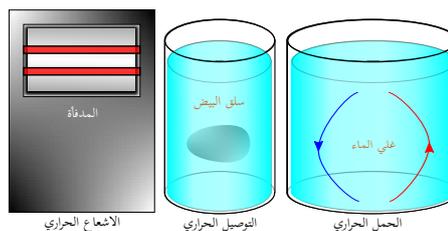
$$=0.1 \times 2256 \times 10^3 = 225600J$$

النتيجة: الطاقة الحرارية اللازمة لتبخير 100 جرام من الماء تبلغ 225600 جول.

التطبيق:

7.2.3 التدفق الحراري وطرقه

إن الأجسام أو المواد غير المتزنة حرارياً تنتقل الحرارة فيما بينها، إلى أن تصل للاتزان الحراري، وقد يكون هذا الانتقال سريعاً مثل عملية الطبخ، أو قد يكون بطيئاً مثل ارتفاع درجة حرارة المنزل بتأثير شروق الشمس. ويمكننا التحكم بهذا الانتقال عن طريق إضافة مواد عازلة أو لون مناسب، فمثلاً الأبيض يعكس الضوء بينما الأسود يمتصه.



شكل 7.7: طرق التدفق الحراري

الطاقة الحرارية تنتقل من جسم إلى آخر بثلاث طرق هي:

1- التوصيل الحراري هو عملية انتقال الحرارة عن طريق تصادم الجزيئات ببعضها عند التلامس أو الخلط. مثل تسخين الملعقة بوضعها في الشاي الساخن، أو خلط ماء بارد وماء ساخن. ويحسب معدل التوصيل الحراري بالقانون

$$\frac{Q}{t} = \frac{KA(T_f - T_i)}{d} \quad (7.4)$$

حيث $\frac{Q}{t}$ معدل التوصيل الحراري، K معامل التوصيل الحراري، T_f درجة الحرارة النهائية، T_i درجة الحرارة الابتدائية، A مساحة السطح، d سمك السطح.

المادة	K	المادة	K	المادة	K	المادة	K
الخشب	0.08-0.16	الفلين	0.042	الألياف الزجاجية	0.042	الفوم الرغوي	0.01
الخرسانة	0.84	الصفوف	0.04	الهواء	0.023	الحديد	80

جدول 7.3: التوصيلية الحرارية لبعض المواد $J/s.m.^{\circ}C$

مثال 7.2.45 السؤال

$$\frac{Q}{86400} = 13.3$$

$$Q = 13.3 \times 86400 = 1.15 \times 10^6 J$$

$$Q = mH_f$$

$$m = \frac{Q}{H_f} = \frac{1.15 \times 10^6}{334 \times 10^3} = 3.44 kg$$

النتيجة: كتلة الثلج الذي سيذوب خلال يوم يساوي 3.44 كيلو غرام.

وضع رجل كمية من الثلج داخل حاوية من الفوم الرغوي الذي توصيلته الحرارية $0.01 J/s.m.^{\circ}C$ ، احسب كتلة الجليد الذي سيذوب خلال يوم واحد في درجة حرارة خارجية $35^{\circ}C$ ؟

الحل

تعيين المعطيات: $K = 0.01 J/s.m.^{\circ}C$ ، $t = 86400s$

التطبيق:

$$\frac{Q}{t} = \frac{KA(T_f - T_i)}{d}$$

$$\frac{Q}{86400} = \frac{0.01 \times 0.95 \times (35 - 0)}{0.025} = 13.3$$

2- الحمل الحراري هو عملية انتقال الحرارة عن طريق حركة جزيئات المادة من مكان لآخر.

مثل انتقال الماء الساخن من قعر الإناء إلى أعلاه، وانتقال التيارات الهوائية والمائية من خط الاستواء إلى القطبين.

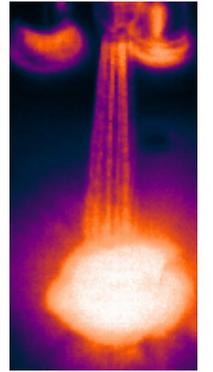
3- الإشعاع الحراري هو عملية انتقال الحرارة عن طريق الموجات الكهرومغناطيسية.

مثل انتقال الحرارة من الشمس إلى الأرض، أو الأشعة تحت الحمراء الصادرة عن الماء الساخن الظاهر في الصورة بالهامش، ويمكن أن يكون الإشعاع الصادر بعدة ترددات فقد يكون موجات ضوء مرئي أو أشعة تحت حمراء أو فوق بنفسجية أو أشعة سينية. ويزداد تردد الموجة الصادرة بزيادة درجة الحرارة، ولهذا تكون شعلة اللحام الغازي حمراء في بداية الإشعاع ثم تبدأ بالتغير للون الأبيض (البنفسجي الساطع). ويحسب معدل الإشعاع الحراري بمعادلة ستيفان - بولتزمان:

$$\frac{Q}{t} = \sigma eAT^4 \quad (7.5)$$

$$\frac{Q}{t} = \sigma eA(T_2^4 - T_1^4)$$

حيث $\frac{Q}{t}$ معدل التوصيل الحراري، $\sigma = 5.67 \times 10^{-8} J/s.m^2.k^4$ ويسمى ثابت ستيفان - بولتزمان وينطق الرمز سجمًا، A مساحة السطح، T درجة الحرارة بالكلفن، e معامل الانبعاثية.



شكل 7.8: الماء الساخن يصدر الأشعة تحت الحمراء.

معامل الانبعاثية e يتراوح بين 0-1 ولا يزيد أو يقل عن هذا المدى، حيث 1 تعني أن الجسم لا يبعث أو يشع أي شيء مثل الجسم الأسود المثالي، بينما السطح العاكس المثالي يساوي 0، مثل $e = 0.97$ لجسم الإنسان، و $e = 0.99$ لحبر طابعة الليزر.

مثال 7.2.46 السؤال

$$\frac{Q}{t} = 5.67 \times 10^{-8} \times 0.97 \times 1.5 \times (293^4 - 310^4)$$

$$= -153.872 \text{ J/s} = -153.872 \text{ Watt}$$

النتيجة: أي أن هذا الإنسان يخسر حرارة تساوي 153.8 جول في كل ثانية، ولهذا من الأفضل تقليل برودة المكيف لتقليل الطعام الذي نحتاجه لتعويض الحرارة المفقودة.

احسب معدل الإشعاع الحراري من جسم إنسان مساحة جسمه 1.5 m^2 ودرجة حرارته 37°C ويقف داخل غرفة سوداء درجة حرارتها 20°C ؟ تجاهل تأثير الملابس.

الحل

تعيين المعطيات: $\sigma = 0.97$ ، $A = 1.5 \text{ m}^2$

التطبيق:

$$\frac{Q}{t} = \sigma e A (T_2^4 - T_1^4)$$

7.3 قوانين الديناميكا الحرارية

الحرارة هي شكل من أشكال الطاقة ولهذا فإنها يمكن أن تتحول إلى أشكال الطاقة المختلفة، لكن ما يميز الطاقة الحرارية أنها تظهر عند تحول الطاقة من شكل لآخر وهي في الغالب حرارة مفقودة، مثلاً عند تحويل الوقود (طاقة كيميائية) إلى طاقة حركية في محرك السيارة فإن جزء من الطاقة يفقد على شكل حرارة تنتقل للهواء المحيط، فما هي القوانين التي تنظم وتشرح عملية انتقال الحرارة؟

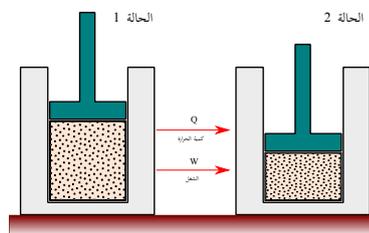
القانون الأول للديناميكا الحرارية

نص القانون الأول إن ارتفاع الطاقة الداخلية لنظام ثرموديناميكي معين يساوي كمية الطاقة الحرارية المضافة للنظام، مطروح منها الشغل الميكانيكي المبذول من النظام إلى الوسط المحيط.

عندما نبذل طاقة معينة Q لإنتاج شغل W ما فإننا نحصل على هذا الشغل بالإضافة إلى أن الجهاز أو المحرك ترتفع درجة حرارته، أي جزء من الطاقة فقد على شكل حرارة ΔU ، مثلاً نضع في السيارة وقود Q فنحصل على شغل يحرك السيارة W وكذلك يسخن محرك السيارة على شكل حرارة مفقودة ΔU تزيد من الطاقة الداخلية للنظام، ومنه $Q = W + \Delta U$ وينقل W للطرف الآخر نحصل على:

$$\Delta U = Q - W \quad (7.6)$$

حيث ΔU التغير في الطاقة الحرارية، Q كمية الحرارة المضافة، W الشغل الذي يبذله الجسم.



شكل 7.9: القانون الأول للديناميكا الحرارية [5]

وتكون Q موجبة إذا كانت الطاقة تضاف إلى النظام وسالبة إذا كان النظام يخسر الطاقة. وتكون W موجبة إذا كان النظام يبذل الشغل، وسالبة إذا كان الشغل يبذل على النظام. إن التغير في الطاقة الداخلية ΔU هو تغير في الطاقة الميكانيكية لذرات المادة أي التغير في الطاقة الحركية والكامنة فيها.

مثال 7.3.47 السؤال

$$Q=100-20=80J$$

$$W=30-5=25J$$

$$\Delta U=Q-W$$

$$\Delta U=80-25=55J$$

النتيجة: التغير في الطاقة الداخلية للنظام تساوي 55 جول.

أعطينا نظاما طاقة مقدارها $100J$ فأنجز النظام شغل مقداره $30J$ ، ثم خسر النظام طاقة مقداره $20J$ نتيجة بذل شغل مقداره $5J$ على النظام، احسب التغير في الطاقة الداخلية للنظام؟

الحل

تعيين المعطيات: $T=$ ، $Q=2.26 \times 10^6 J/kg$ ، 373.15

التطبيق:

7.3.1 القانون الثاني للديناميكا الحرارية

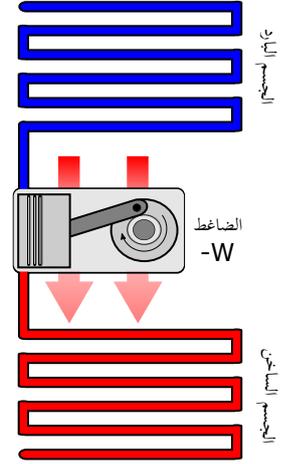
نص القانون الثاني من المستحيل في أي نظام لنقل الحرارة من خزان حراري أن نحول الشغل في دورة معالجة كاملة بحيث يعود النظام لحالته الأولى.

أو لا يمكن أن تنتقل كمية من الحرارة من جسم بارد إلى جسم ساخن إلا ببذل شغل من الخارج. مثلا الحرارة تنتقل من داخل الثلاجة البارد إلى الهواء الخارجي الساخن ببذل شغل خارجي يقوم به ضاغط الثلاجة (الكمبروسور)، فالوضع الطبيعي في الحياة أن الحرارة تنتقل من الجسم الساخن إلى الجسم البارد، لكن حين فعلنا العكس وجب علينا بذل شغل خارجي. إننا إذا استطعنا نقل الحرارة من الخزان الأول إلى الثاني ثم أعدناه إلى الأول مرة أخرى في دورة كاملة فهذا يعني أننا لم نفقد شيئا من الطاقة $\Delta U=0$ ، وهذا يجعل القانون الأول للديناميكا هكذا $0=Q-W$ أي $W=Q$ وحيث أن لدينا خزانين حارين حار $heat$ وبارد $cold$ فهذا يعني أن $Q=Q_h-Q_c$ وبالتعويض في القانون الأول يصبح:

$$W = Q_h - Q_c \quad (7.7)$$

وحيث أننا عمليا نفقد جزء من الطاقة أثناء عملية التحويل لذا نحتاج إلى قانون كفاءة الدورة الحرارية:

$$Eff = \frac{W}{Q_h} = \frac{Q_h - Q_c}{Q_h} = 1 - \frac{Q_c}{Q_h} \quad (7.8)$$



شكل 7.10: الثلاجة

مثال 7.3.48 السؤال

$$=5 \times 10^{12} - 1.5 \times 10^{12}$$

$$=3.5 \times 10^{12} J$$

$$Eff = \frac{W}{Q_h} = \frac{3.5 \times 10^{12}}{5 \times 10^{12}} = 0.7$$

النتيجة: الشغل الناتج يساوي $3.5 \times 10^{12} J$ وكفاءة الآلة 70%.

لدينا محرك يستهلك طاقة مقدارها $5 \times 10^{12} J$ في اليوم، ويفقد حرارة مقدارها $1.5 \times 10^{12} J$ تنتقل بالكامل للهواء الجوي، احسب الشغل الناتج وكفاءة المحرك؟

الحل

تعيين المعطيات: $Q_c=1.5 \times 10^{12} J$ ، $Q_h=5 \times 10^{12} J/kg$ ، $10^{12} J$

التطبيق:

$$W=Q_h-Q_c$$

الانتروبي يتزايد انتروبي أي نظام معزول مع الوقت ويميل الانتروبي للوصول إلى نهاية عظمى سواء في النظام المعزول أو في الكون، ويمكن تعريفه بأنه مقياس لزيادة الحركة العشوائية لمكونات النظام نتيجة ارتفاع درجة حرارته. فالماء حين يغلي تزداد حركة جزيئاته وهذا يسمى زيادة في الانتروبي، والكون يزداد اتساعا وتتبادل مجراته عن بعضها نتيجة زيادة حرارته (الحرارة الصادرة من النجوم)، والطاقة الحرارية تتناسب مع درجة الحرارة بالعلاقة:

$$\frac{Q_h}{T_h} = \frac{Q_c}{T_c}$$

ونسمي العلاقة التالية بالتغير في الانتروبي¹:

$$\Delta S = \frac{Q}{T} \quad (7.9)$$

حيث ΔS التغير في الانتروبي، Q كمية الحرارة المضافة للجسم، T درجة حرارة الجسم بالكلفن.

ونعوض عن Q بالسالب إذا كانت الحرارة خارجة من الخزان الحراري وتكون موجبة إذا كانت داخله إليه. وعند وجود دورة حرارية مثالية أي من الساخن للبارد $-\Delta S$ ومن البارد للساخن ΔS فتكون النتيجة النهائية للانتروبي $-\Delta S + \Delta S = 0$.

مثال 7.3.49 السؤال

$$= -\frac{2.26 \times 10^6}{353.15}$$

$$= -6.4 \times 10^3 \text{ JK}^{-1}$$

احسب التغير في الانتروبي عند تكثف 1 كيلوغرام من بخار الماء عند درجة حرارة 80 مئوية، وواحد ضغط جوي عند نفس الظروف، حيث الطاقة الكامنة للتبخير؟

الحل

تعيين المعطيات: $Q = 2.26 \times 10^6 \text{ J/kg}$ ، $T =$

373.15

التطبيق:

$$\Delta S = \frac{Q}{T}$$

النتيجة: التغير في الانتروبي يساوي -6.4×10^3 جول/كالفن، لاحظنا أن Q سالبة لأن الحرارة تخرج عند التكثف.

¹كلمة الانتروبي entropy تعني الكون المحيط بشيء ما.

7.4 التدريبات

$$Q=mC\Delta T$$

التغير في درجة الحرارة

$$\Delta T = \frac{87922.8}{4180} = 21^\circ C$$

6- وحدة التغير في الانتروبي هي:

$$N \quad (أ) \quad J/s^2 \quad (ج)$$

$$m.s^8 \quad (د) \quad \sqrt{J/K} \quad (ب)$$

7- الجسم الأسود المثالي هو جسم:

(أ) يمتص جميع الأشعة

(ج) يعكس جميع الأشعة

الساقطة عليه

الساقطة عليه

✓

(د) لا يمتص أو يعكس أي أشعة

(ب) يمتص جزء ويعكس جزء من الأشعة

8- الحرارة هي إشعاع موجات:

(أ) كهرومغناطيسية

(ج) ميكانيكية

(ب) طولية

(د) موقوفة

9- انتقال الحرارة في الفراغ بواسطة الموجات

الكهرومغناطيسية يسمى:

(ج) الحمل الحراري

(أ) الإشعاع الحراري

✓

(د) التخزين الحراري

(ب) التوصيل الحراري

الحراري

10- حول درجة الحرارة $70^\circ C$ إلى ما يقابلها في مقياس

$$K=C+273 \quad \text{كالفن ؟}$$

$$300^\circ K \quad (ج) \quad \sqrt{343^\circ K} \quad (أ)$$

$$420^\circ K \quad (د) \quad 203^\circ K \quad (ب)$$

11- أي مما يلي يعتبر مادة؟

(أ) الدخان ✓ (ج) الموجات

(ب) الضوء (د) الحرارة

12- العلاقة بين درجة الحرارة والطاقة الحركية للذرات

(أ) تناسب طردي

عكسي

(ج) عكسي أحيانا

(ب) تناسب

1- احسب كمية الحرارة اللازمة لرفع درجة حرارة 5 لتر من الماء من 10 سلزيوس إلى 60 سلزيوس؟

الحل

تعيين المعطيات: $C=4180J/kg.\circ C$ ، $m=5L=5Kg$

التطبيق:

$$Q=mC(T_f-T_i)$$

$$=5 \times 4180 \times (60-10)$$

$$=1045kJ$$

2- كم الطاقة الحرارية اللازمة لإذابة قطعة زبدة لذينة كتلتها 250g تلزم لإعداد وجبة كبدية؟

الحل

تعيين المعطيات: $H_f=60J/g$ ، $m=250g$

التطبيق:

$$Q=mH_f$$

$$=250 \times 60 = 15000J$$

3- عندما يسعى حاج كتلته 70Kg في الحج، فيقطع مسافة 2765m في سبعة أشواط، احسب الزيادة في درجة حرارة لتر من الماء حين يكتسب الطاقة التي يستهلكها الحاج في السعي؟

الحل

تعيين المعطيات: $d=2765m$ ، $m=70Kg$

التطبيق: الطاقة التي يستهلكها الحاج في السعي

$$E = \frac{m \times d}{1.6} = \frac{70 \times 2.765}{1.6}$$

$$=121Cal \times 4.1868 = 506.6J$$

$$Q=mC\Delta T$$

$$506.6 = 1 \times 4180 \times \Delta T$$

$$\Delta T = \frac{506.6}{4180} = 0.12^\circ C$$

4- احسب الزيادة في درجة حرارة لتر من الماء حين يكتسب الطاقة التي يستهلكها الحاج في الطواف حيث متوسط طول أشواط الطواف السبعة 1830 متر؟

5- إذا علمت أن الإنسان يحتاج لحرق 7000 كالوري لكي يفقد 1Kg من كتلته، احسب التغير في درجة حرارة 1Kg من الماء، إذا اكتسب الماء الطاقة المبذولة لحرق 3Kg من جسم الإنسان؟

الحل

تعيين المعطيات: $C=4180J/Kg.\circ C$ ، $m=3Kg$

التطبيق: الطاقة بالجول

$$=87922.8J$$

13- نجلس أمام النار فنشعر بحرارتها، ما نوع التدفق الحراري؟

ج (التوصيل الحراري)
الحمل الحراري

د (التبريد الحراري)
ب (الإشعاع الحراري) ✓

14- ضغط سائق شاحنة كتلتها 10000kg على المكابح وأوقفها أثناء سيره على منحدر نزولا، احسب التغير في درجة حرارة المكابح، إذا علمت أن حرارتها النوعية $800J/kg \cdot ^\circ C$ و فرق الارتفاع بين نقطة البداية ونقطة النهاية $75m$ ؟

الحل
تعيين المعطيات: $C=800J/kg \cdot ^\circ C$ ، $m_{truck}=10000Kg$
 $m_{brake}=100Kg$ ،
التطبيق:

$$PE=mgh$$

$$=10 \times 10^3 \times 9.8 \times 75 = 735 \times 10^4 J$$

$$Q=mC\Delta T$$

$$\Delta T = \frac{735 \times 10^4}{100 \times 800} = 91.875^\circ C$$

15- وضعنا ربع كيلو غرام ماء درجة حرارته $20^\circ C$ في إناء من الألمونيوم كتلته نصف كيلو جرام ودرجة حرارته $150^\circ C$ ، احسب درجة الاتزان الحراري؟

الحل

تعيين المعطيات: $C_{Al}=$ ، $C_{water}=4186J/kg \cdot ^\circ C$
 $4186J/kg \cdot ^\circ C$

$$m_{Al}=0.5Kg$$
 ، $m_{water}=0.25Kg$

التطبيق:

$$Q=mC\Delta T$$

$$Q_{المكتسبة} = 0.25 \times 4180 \times (T_f - 20)$$

$$Q = 1045T_f - 20900$$

$$Q_{المفقودة} = 0.5 \times 900 \times (150 - T_f)$$

$$Q = 67500 - 450T_f$$

$$Q_{المكتسبة} = Q_{المفقودة} \therefore$$

$$1045T_f - 20900 = 67500 - 450T_f$$

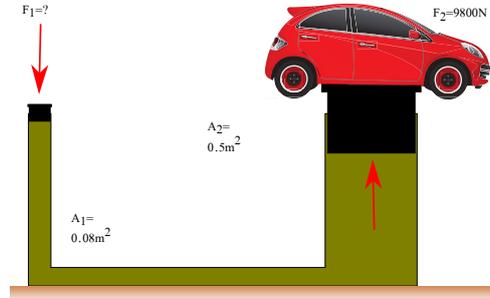
$$1045T_f + 450T_f = 67500 + 20900$$

$$T_f = \frac{88400}{1495} = 59.13^\circ C$$

16- يستخدم الماء لتبريد محرك السيارة لأنه؟

ج (يتبخر بسرعة)
أ (شفاف)

د (حرارته النوعية عالية) ✓
ب (نظيف)



- القانون العام للغازات
- مبدأ أرخميدس
- التمدد الحراري



المادة قد تكون جامدة أو سائلة أو غازية، الجامدة تحتفظ بشكلها وحجمها لأن الروابط بين جزيئاتها قوية وتشبه النواض في تأثيرها، وتتحرك جزيئاتها حركة اهتزازية موضعية. بينما السائلة تكون الروابط بين جزيئاتها أضعف ولهذا يمكن أن تنزلق جزيئاتها حول بعضها وهذا يسمح لها بأن تأخذ شكل الإناء الذي توضع فيه، لكن المادة السائلة مثل الجامدة لا يتغير حجمها بالضغط عليها. أما المادة الغازية فإن الروابط بين جزيئاتها ضعيفة جدا أو معدومة ولهذا فإنها تأخذ شكل وحجم الإناء الذي توضع فيه.

8.1 الموائع

الموائع هي المواد التي لها خاصية الجريان أو الانتشار، فهي تشكل السوائل والغازات.

8.1.0.1 الكثافة

الكثافة هي الكتلة في وحدة الحجم من المادة.

$$\rho = \frac{m}{V} \quad (8.1)$$

حيث ρ الكثافة وتطلق رو، m الكتلة، V الحجم

الجامد	ρ	السائل	ρ	الغاز	ρ
الحديد	7.8	الماء	1	الهواء	1.29×10^{-3}
الألمنيوم	2.7	الزئبق	13.6	الهيليوم	0.18×10^{-3}
الخشب	0.3–0.9	زيت الزيتون	0.92	CO_2	1.98×10^{-3}

جدول 8.1: كثافة بعض المواد

8.1.0.2 الضغط

قد لا يمر علينا بضعة ساعات إلا ونسمع كلمة الضغط، فبعد كل نشرة أخبار نشاهد نشرة الأحوال الجوية والتي تتحدث عن الضغط الجوي، وإذا ذهبنا للطبيب نشاهد جهاز قياس الضغط ونسمع عن مرض الضغط المرتفع والمنخفض.

الضغط هو القوة المؤثرة عموديا على وحدة المساحات من المادة.

$$P = \frac{F}{A} \quad (8.2)$$

أي أن الضغط يزداد بزيادة القوة (الوزن)، وكذلك بنقصان المساحة التي تؤثر عليها القوة، ولهذا نجعل مساحة رأس المسامير صغيرة، ووحدة الضغط هي الباسكال $Pa=1 N/m^2$.

مثال 8.1.50 السؤال

$$= \frac{100}{2}$$

$$= 50 N/m^2$$

احسب الضغط الذي ينتج عن وضع ثقل مقداره

100N على سطح مساحته $2m^2$ ؟

الحل

تعيين المعطيات: $F=100N$ ، $A=2m^2$

التطبيق:

$$P = \frac{F}{A}$$

النتيجة: ضغط الجسم على السطح يساوي 50 نيوتن لكل متر مربع.



شكل 8.1: السد [2]

تغير ضغط السائل بتغير العمق عندما نسيح في الماء سواء داخل المسبح أو في البحر أو النهر نشعر بالألم في آذاننا بمجرد غوصنا، وكلما زاد العمق يزداد الألم في الأذن؟! إن هذه الألم ناتج عن كمية فيزيائية تسمى ضغط السائل، وللتخلص من الألم نقفل أنوفنا باليد ثم ننفخ الهواء في أعلى الحنجرة لكي يدخل الهواء لقناة ستاكوس ويعادل الضغط الخارجي للماء.

ضغط السائل عند نقطة هو وزن عمود السائل المؤثر على نقطة معينة.

$$P = hgp \quad (8.3)$$

حيث P ضغط السائل، h ارتفاع السائل، g تسارع الجاذبية الأرضية، ρ كثافة السائل.

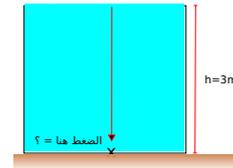
مثال 8.1.51 السؤال

أوجد ضغط الماء على نقطة في قاع مسبح عمقه $3m$ وكثافة الماء $1000kg/m^3$ ؟ (تجاهل الضغط الجوي)

الجوي

الحل

تعيين المعطيات: $h=3m$ ، $\rho=1000kg/m^3$



التطبيق:

$$P=hgp$$

$$=3 \times 9.8 \times 1000$$

$$=29400Pa$$

النتيجة: ضغط الماء على قاع المسبح يساوي 29.4 كيلوباسكال.

ويزداد ضغط السائل على النقطة كلما زاد عمقها فيه، ولهذا تكون السدود سميكة من أسفلها، لأن ضغط الماء على قواعدها أكبر من الضغط على قممها.

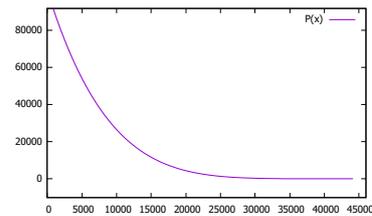
الضغط الجوي هو وزن عمود الهواء الممتد من النقطة إلى نهاية الغلاف الجوي والمؤثر على وحدة المساحات.

ويعادل عند مستوى سطح البحر 1013 ملي بار أو $10kg/cm^2$ أو $100kN/m^2$ أو $760mmHg$ أو $760Torr$ ، بالاسكال Pa يساوي N/m^2 ، لكن هذه القيمة تتأثر أيضا بدرجة الحرارة والارتفاع عن مستوى سطح البحر، ويمكن حسابه بالقانون التالي.

$$P = P_0 \cdot \left(1 - \frac{L \cdot h}{T_0}\right)^{\frac{g \cdot M}{R \cdot L}} \quad (8.4)$$

حيث P الضغط الجوي، P_0 الضغط عند سطح البحر $101325Pa$ ، L معدل تغير درجة الحرارة مع الارتفاع $0.0065K/m$ ، h الارتفاع عن سطح البحر، T_0 درجة الحرارة عند سطح البحر $288.15K$ ، g تسارع الجاذبية الأرضية $9.80665m/s^2$ ، M الكتلة المولية للهواء الجاف $0.0289644kg/mol$ ، R ثابت الغازات العام أو ثابت بولتزمان $8.31447J/mol \cdot K$.

وكما في الرسم البياني، ينخفض الضغط الجوي بزيادة الارتفاع عن مستوى سطح البحر، إلى أن يساوي صفر عند $44000m$ تقريبا.



شكل 8.3: علاقة الضغط الجوي بالارتفاع عن مستوى سطح البحر

* ومضة



ضغط الدم الطبيعي 80 Torr الضغط الانبساطي و 120 Torr الضغط الانقباضي لعضلة القلب.

* طريقة علمية



من السنة النبوية، التكبير عند صعود الجبال والتسبيح عند النزول منها، وهذا يفتح قناة ستاكوس فيتعادل الضغط حول الطبلية، ولا نشعر بالألم في الأذن.

* ومضة



عندما ينخفض الضغط الجوي عن القيمة 1013 ملي بار تزداد سرعة الرياح (منخفض جوي) وإذا زادت عنها تقل سرعة الرياح (مرتفع جوي).

مثال 8.1.52 السؤال

$$101325 \times \left(1 - \frac{0.0065 \times 1000}{288.15}\right)^{\frac{9.80665 \times 0.0289644}{8.31447 \times 0.0065}}$$

$$= 90098.297 Pa$$

$$\Delta T = 1000 \times 0.0065$$

$$= 6.5^\circ K$$

النتيجة: التغير في درجة الحرارة يساوي 6.5 كالفن.

احسب الضغط الجوي عند ارتفاع 1000 متر عن سطح البحر، ثم احسب التغير في درجة الحرارة بفعل الارتفاع عن مستوى سطح البحر؟

الحل

تعيين المعطيات: $h=1000m$

التطبيق:

$$P = P_0 \cdot \left(1 - \frac{L \cdot h}{T_0}\right)^{\frac{g \cdot M}{R \cdot L}}$$

=

8.1.1 قوانين الغاز

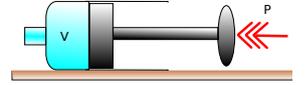
الغازات هي مواد في حالة غازية، أي أن جزيئاتها في حالة حركة انتقالية مستمرة نظراً لعدم وجود روابط بين جزيئاتها، وهذه الحركة عشوائية أو براونية¹، وتنشأ هذه الحركة نتيجة لتصادمات جزيئات الغاز ببعضها، ووجد أن الغازات تتأثر بثلاث عوامل رئيسية هي الحجم والضغط ودرجة الحرارة، ونتيجة لدراسة هذه العوامل تم التوصل لعدة قوانين مهمة.

8.1.1.1 قانون بويل

ينص قانون بويل على أنه عند ثبوت درجة الحرارة فإن حجم غاز معين يتناسب عكسياً مع ضغطه. مثل تغير حجم الغاز في حقنة طبية مليئة بالغاز عند ضغطها.

$$P_1 V_1 = P_2 V_2 = \text{ثابت} \quad (8.5)$$

حيث P_1, P_2 الضغط الأول والثاني للغاز، V_1, V_2 الحجم الأول والثاني للغاز



شكل 8.4: إذا أغلقنا مخرج حاوية ممتلئة بالهواء ثم كبسناها فإن حجم الغاز سيصغر بزيادة الضغط.

مثال 8.1.53 السؤال

$$P_1 V_1 = P_2 V_2$$

$$101.3 \times 100 = P_2 \times 80$$

$$P_2 = \frac{101.3 \times 100}{80} = 126.62 kPa$$

النتيجة: ضغط الغاز سيصبح 126 كيلوباسكال.

غاز حجمه $100cm^3$ وضغطه $101.3kPa$ ، أوجد ضغطه عندما نجعل حجمه $80cm^3$ مع ثبوت درجة الحرارة؟

الحل

$$P_1 = \quad , \quad v_1 = 100cm^3 \quad \text{تعيين المعطيات:}$$

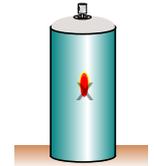
$$v_2 = 80cm^3 \quad , \quad 101.3kPa$$

التطبيق:

8.1.1.2 قانون شارل

ينص قانون شارلز على أنه عند ثبوت الضغط فإن حجم الغاز يتناسب طردياً مع درجة حرارته بالكالفن، وتحديدًا عند زيادة درجة حرارة الغاز درجة كالفن واحدة فإن حجمه يزداد بمعدل $\frac{1}{273}$ من حجمه الأصلي.

$$\frac{V_1}{T_1} = \frac{V_2}{T_2} = \text{ثابت} \quad (8.6)$$



شكل 8.5: زيادة درجة الحرارة ستؤدي لزيادة الضغط ثم الانفجار لأن الحجم ثابت.

¹براون عالم نبات انجليزي لاحظ الحركة العشوائية لجسيمات اللقاح في الماء فسميت باسمه.

حيث T_1, T_2 درجة الحرارة الأولى والثانية للغاز، V_1, V_2 الحجم الأول والثاني للغاز

مثال 8.1.54 السؤال

$$\frac{V_1}{T_1} = \frac{V_2}{T_2}$$

$$\frac{25}{280} = \frac{V_2}{320}$$

$$V_2 = \frac{25 \times 320}{280} = 28.57 \text{ cm}^3$$

النتيجة: حجم الغاز سيصبح 28.57 سنتيمتر مكعب.

غاز حجمه 25 cm^3 ودرجة حرارته 280 K ، أوجد حجم الغاز عندما نجعل درجة حرارته 320 K مع ثبوت الضغط؟

الحل

تعيين المعطيات: $T_1 = 280 \text{ K}$ ، $V_1 = 25 \text{ cm}^3$ ، $T_2 = 320 \text{ K}$

التطبيق:

8.1.1.3 القانون العام للغازات

في بويل ثبتنا درجة الحرارة وفي شارل ثبتنا الضغط، لكن ماذا نفعّل إذا اردنا دراسة مثال مثل أسطوانة محرك الاحتراق الداخلي، فدرجة الحرارة متغيرة والضغط متغير والحجم متغير؟، يتميز القانون العام للغازات بأنه يوضح العلاقة بين الحجم والضغط ودرجة الحرارة دون ثبات أحدها.

$$\frac{P_1 V_1}{T_1} = \frac{P_2 V_2}{T_2} = \text{ثابت} \quad (8.7)$$

حيث T_1, T_2 درجة الحرارة الأولى والثانية للغاز، V_1, V_2 الحجم الأول والثاني للغاز، P_1, P_2 الضغط الأول والثاني للغاز.

مثال 8.1.55 السؤال

$$\frac{P_1 V_1}{T_1} = \frac{P_2 V_2}{T_2}$$

$$\frac{101.3 \times 50}{290} = \frac{P_2 \times 70}{340}$$

$$P_2 = \frac{101.3 \times 50 \times 340}{290 \times 70} = 119.76 \text{ Pa}$$

النتيجة: الضغط الناتج سيكون 119.76 باسكال.

غاز هيليوم حجمه 50 cm^3 ودرجة حرارته 290 K وضغطه 101.3 kPa ، أوجد ضغطه عندما نجعل درجة حرارته 480 K وحجمه 70 cm^3 ؟

الحل

تعيين المعطيات: $T_1 = 290 \text{ K}$ ، $V_1 = 50 \text{ cm}^3$ ، $T_2 = 480 \text{ K}$ ، $P_1 = 101.3 \text{ kPa}$ ، $V_2 = 70 \text{ cm}^3$

التطبيق:

8.1.1.4 قانون الغاز المثالي

الغاز المثالي هو نموذج لغاز افتراضي (غير موجود) وضعه ماكسويل وبولتزمان لتسهيل دراسة الغازات، ويُفترض أن المسافات بين جزيئاته كبيرة نتيجة انخفاض ضغطه، وتتحرك جزيئاته عشوائياً وتتصادم ببعضها تصادماً مرناً. وتزداد دقة نتائج الغاز الحقيقي الموجود في حياتنا كلما زادت درجة حرارته وانخفض ضغطه.

$$PV = KNT \quad (8.8)$$

حيث K ثابت بولتزمان ويساوي $1.38 \times 10^{-23} \text{ Pa} \cdot \text{m}^3 / \text{k}$ ، و N عدد جزيئات الغاز.

$$PV = nRT \quad (8.9)$$

حيث n عدد المولات، و R ثابت بولتزمان $8.31 \text{ Pa} \cdot \text{m}^3 / \text{mol} \cdot \text{k}$.

- من المولات إلى عدد جزيئات $KN=nR$
 - من المولات إلى كتلة $m=Mn$
 حيث m الكتلة، M الكتلة المولية.

8.1.1.5 المول وعدد أفوغادرو

في بعض العمليات الفيزيائية أو الكيميائية نحتاج إلى معرفة عدد الذرات أو الجزيئات في المادة التي نتعامل معها، وطبعاً لأن الجزيئات صغيرة جداً وغير مرئية لذا من المستحيل عدّها كما نعد حبات البرتقال، فما الحل؟! قام العالم أفوغادرو بوضع فرضية لحل هذه المشكل.

فرضية أفوغادرو إن المول الواحد من أي مادة يحتوي على عدد ذرات أو جزيئات يساوي 6.02×10^{23} إذا كانت كتلة الكمية مساوية لعدد الكتلة بالغرام.

مثلاً الكربون C_{12}^{12} عدد الكتلة له 12 وهذا يعني أن 12grams من الكربون تحتوي على عدد ذرات يساوي 6.02×10^{23} ذرة، والحديد Fe_{56}^{56} وهذا يعني أن كل 56grams من الحديد تحتوي على عدد أفوغادرو² من الذرات. وتسمى كمية المادة التي تحتوي على عدد أفوغادرو من الذرات أو الجزيئات بالكتلة المولية.

مثال 8.1.56 السؤال

$$=12+64=76grams$$

1- كم عدد الذرات في 100grams من مادة

الأمونيا CH_4 ؟

$$N = \frac{100}{76} \times 6.02 \times 10^{23}$$

الحل

تعيين المعطيات: CH_4

$$=7.92 \times 10^{23} atoms$$

التطبيق:

النتيجة: عدد الذرات في مادة الأمونيا 7.92×10^{23} ذرة.

$$(1 \text{ moles of } C) \times (12grams/mole) + (4 \text{ moles of } O) \times (16grams/mole) =$$

$$=4 \times 2.1 \times 10^{-6}$$

2- من المثال قبل السابق أوجد عدد مولات غاز

الهيليوم إذا علمت أن الكتلة المولية للهيليوم $4g/mol$ ، ثم أوجد كتلة الغاز وعدد جزيئاته؟

$$=8.4 \times 10^{-6} g$$

الحل

تعيين المعطيات: $M=4g/mol$

التطبيق:

$$KN = nR \quad (\text{عدد الجزيئات})$$

$$PV = nRT \quad (\text{عدد المولات})$$

$$N = \frac{nR}{K}$$

$$n = \frac{PV}{RT}$$

$$= \frac{2.1 \times 10^{-6} \times 8.31}{1.38 \times 10^{-23}}$$

$$= \frac{101.3 \times 50 \times 10^{-6}}{8.31 \times 290}$$

$$= 1.26 \times 10^{18} \text{ جزيء}$$

$$n = 2.1 \times 10^{-6} mol$$

النتيجة: عدد جزيئات غاز الهيليوم تساوي 1.26×10^{18} جزيء.

$$m = Mn \quad (\text{كتلة الغاز})$$

8.1.1.6 الطاقة الحركية لجزيئات الغاز

يمكن حساب الطاقة الحركية³ لجزيئات مول من غاز معين بالقانون التالي

² أفوغادرو عالم إيطالي توفي عام 1856م.

³ قام بحسابها الفيزيائي برنولي المتوفي عام 1782م.

$$KE = \frac{1}{2}mv^2 = \frac{3}{2}KT \quad (8.10)$$

حيث K ثابت بولتزمان ويساوي $1.38 \times 10^{-23} \text{ Pa} \cdot \text{m}^3/\text{k}$ ، و T درجة الحرارة بالكالفن.

مثال 8.1.57 السؤال

$$m = \frac{2 \times 4 \times 10^{-3}}{6.02 \times 10^{23}} = 1.329 \times 10^{-26} \text{ Kg}$$

$$KE = \frac{1}{2}mv^2$$

$$4.409 \times 10^{-21} = \frac{1}{2} \times 1.329 \times 10^{-26} \times v^2$$

$$v = \sqrt{\frac{2 \times 4.409 \times 10^{-21}}{1.329 \times 10^{-26}}} = 814.559 \text{ m/s}$$

النتيجة: الطاقة الحركية تساوي 4.409×10^{-21} جول،
والسرعة 814.559 متر/ثانية.

أحسب الطاقة الحركية لمول واحد من الهيليوم
درجة حرارته 40°C ؟ ثم احسب سرعة ذراته؟

الحل

تعيين المعطيات: He_2

التطبيق:

$$KE = \frac{3}{2}KT$$

$$= \frac{3}{2} \times 1.38 \times 10^{-23} \times 213$$

$$= 4.409 \times 10^{-21} \text{ J}$$

8.2 الموائع الساكنة والمتحركة

8.2.1 الموائع الساكنة

8.2.1.1 مبدأ باسكال

قد نسمع أحيانا بأن شخصا ما دخل المستشفى بعد انفجار شريان في المخ نتيجة زيادة في ضغط الدم، فما الذي ولد هذا الضغط؟! إن القلب حين ينقبض يدفع بالدم ويضغطه في كل الشرايين من الرأس إلى الأرجل، ولأن المخ طري ولا يحتوي عضلات تحيط بالشرايين المخية لذا تنفجر إذا وصل الضغط لمقدار معين. إن هذه الظاهرة مثال على أن ضغط السائل المحصور يتوزع في جميع الاتجاهات وليس للأسفل أو الأعلى فقط، وقد تم صياغة هذه الحقيقة في مبدأ باسكال.

مبدأ باسكال ينص على أن أي تغير في الضغط المؤثر على مائع محصور يتوزع بالتساوي على جميع نقاط السائل. وبالتالي لا يتأثر ضغط المائع بشكل الإناء الذي يوضع فيه.

إن أعظم مثال تطبيقي على مبدأ باسكال هو الأنظمة الهيدروليكية التي حسنت وسهلت الحياة من حولنا، إنها من يحرك ذيل الطائرة وجناحها، ومن يشغل المكابح فيها وفي السيارة، وهي من تعتمد عليها الجرافات والمعدات الثقيلة. إن أرجل العنكبوت لا تحتوي عضلات ولكنها تتحرك بناء على ضخ سائل فيها وفق مبدأ باسكال.

$$\frac{F_1}{A_1} = \frac{F_2}{A_2} \quad (8.11)$$

$$\mu = \frac{F_1}{F_2} = \frac{A_1}{A_2}$$

حيث F_1, F_2 القوة المؤثرة والقوة الناتجة، و A_1, A_2 مساحتي المقطع العرضي للمكبس الأول والثاني، μ الفائدة الميكانيكية، 1 المكبس الكبير، 2 المكبس الصغير.

مثال 8.2.58 السؤال

$$\frac{9800}{0.5} = \frac{F_2}{0.08}$$

$$F_2 = \frac{9800 \times 0.08}{0.5}$$

$$= 1568 N$$

$$\mu = \frac{F_1}{F_2} = \frac{A_1}{A_2} \quad (\text{الفائدة الميكانيكية})$$

$$\mu = \frac{9800}{1568}$$

$$= 6.25$$

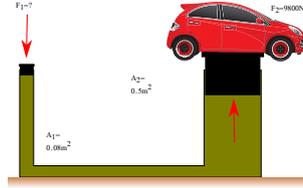
النتيجة: القوة المؤثرة على مكبس الرافعة الهيدروليكية تساوي 1568 نيوتن، والفائدة الميكانيكية 6.25 (من 100) أي غير جيد.

احسب القوة المؤثرة اللازم التأثير بها على مكبس رافعة هيدروليكية مساحته $0.08 m^2$ لرفع سيارة وزنها 9800N موضوعة على المكبس الآخر الذي مساحته $0.5 m^2$ ؟ ثم احسب الفائدة الميكانيكية للرافعة؟

الحل

تعيين المعطيات: $F_1 = 9800 N$ ، $A_2 = 0.08 m^2$ ،

$$A_1 = 0.5 m^2$$



التطبيق:

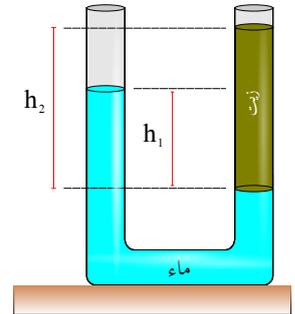
$$\frac{F_1}{A_1} = \frac{F_2}{A_2} \quad (\text{الكرة})$$

8.2.1.2 السوائل في الأنابيب المتشعبة

$$P_a + h_1 g \rho_1 = P_a + h_2 g \rho_2 \quad (8.12)$$

$$h_1 \rho_1 = h_2 \rho_2 \quad (\text{عند تجاهل الضغط الجوي})$$

حيث h الارتفاع، P_a الضغط الجوي، g تسارع الجاذبية الأرضية، ρ الكثافة.



شكل 8.6: مستوى السائل الأقل كثافة يكون أعلى من مستوى السائل الأكبر كثافة.

مثال 8.2.59 السؤال

$$h_1 = \frac{h_2 \times \rho_2}{\rho_1}$$

$$= \frac{10 \times 1000}{800}$$

$$= 12.5 cm$$

احسب ارتفاع الزيت الذي كثافته $800 Kg/m^3$ ، إذا وضع مع الماء في أنبوب متشعب، علماً أن ارتفاع الماء $10 cm$ ؟

الحل

تعيين المعطيات: $\rho_1 = 800 Kg/m^3$ ، $\rho_2 = 1000 Kg/m^3$ ، $h_2 = 10 cm$ ،

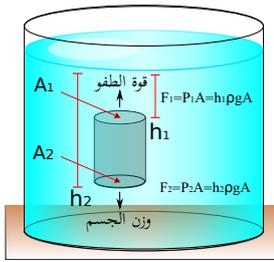
التطبيق:

النتيجة: ارتفاع الزيت في الأنبوب المتشعب 12.5 سنتيمتر.

$$h_1 \rho_1 = h_2 \rho_2$$

8.2.1.3 قوة الطفو

عندما نصطاد سمكة كبيرة أثناء الغوص فإننا نشعر أنها خفيفة، لكن بمجرد إخراجها من الماء نشعر بثقلها؟! ، أيضاً ما الذي يجعل السفن الضخمة تطفو على الماء؟! وما الذي يحمل مناطيد الهيليوم في الهواء؟ إن الماء يؤثر على الأجسام الموجودة فيه بقوة تدفعها للأعلى وتسمى هذه القوة بقوة الطفو، وكذلك كل الموائع (السوائل والغازات) تؤثر بقوة طفو على كل ما يوضع فيها،



شكل 8.7: مبدأ أرخميدس

مبدأ أرخميدس إن الجسم المغمور في مائع تؤثر عليه قوة طفو رأسية إلى أعلى تساوي وزن المائع المزاح.

$$F_B = \rho v g \quad (8.13)$$

حيث F_B قوة الطفو، ρ كثافة السائل، v حجم السائل المزاح، g تسارع الجاذبية الأرضية.

وعند وضع الجسم في المائع (السائل والغاز) فإن له ثلاث حالات:

- عندما يكون وزن الجسم $W_g < F_B$ قوة الطفو F_B ينغمر الجسم.

- عندما يكون وزن الجسم $>$ قوة الطفو $<$ يطفو الجسم.

- عندما يكون وزن الجسم $=$ قوة الطفو $<$ يتعلق الجسم.

كيف نحسب قوة الطفو عمليا؟

بطريقتين:

• نقوم بوزن الجسم في الهواء، ثم نقوم بوزن الجسم داخل السائل (الوزن الظاهري)، وبطرح الوزنين نحصل على قوة الطفو: $F_{\text{الظاهري}} - F_{\text{الوزن}} = F_{\text{الطفو}}$.

• نقوم بوضع الجسم في إناء الإزاحة الممتلئ تماما بالماء، ثم نقوم بوزن السائل المزاح، فيكون هذا الوزن مساوي لقوة الطفو.

* طريقة علمية

يمكن تذكّر قصة أرخميدس مع تاج الإمبراطور، أو قصة الزبير بن العوام في حرب الحبشة، حيث ربط على ظهره قربة جلدية ممتلئة بالهواء ليعبر النهر.

مثال 8.2.60 السؤال

$$= 2.3 \times 10^3 \times 2 \times 9.8 = 45080 N$$

$$F_{\text{الطفو}} = \rho_{\text{الماء}} v g$$

$$= 1 \times 10^3 \times 2 \times 9.8 = 19600 N$$

النتيجة: بما أن قوة الطفو $19600 N$ أصغر من وزن المكعب $45080 N$ $<$ المكعب سينغمر.

إذا ألقى مكعب حجمه $2 m^3$ من مادة كثافتها $2.3 \times 10^3 kg/m^3$ في حوض ماء، فهل سيطفو أم سينغمر في الماء؟

الحل

تعيين المعطيات: $V = 2 m^3$ ، $\rho = 2.3 \times 10^3 kg/m^3$

التطبيق:

$$F_{\text{الطفو}} = \rho_{\text{المكعب}} v g$$

وقوة الطفو تتأثر بكثافة السائل المزاح ρ_L وكثافة الجسم ρ_O ولهذا:

$$\frac{V_L}{V_O} = \frac{m_L \times \rho_O}{m_O \times \rho_L}$$

الوزن النوعي هو نسبة كثافة الجسم إلى كثافة السائل المزاح (الماء عادة).

$$\text{الوزن النوعي} = \frac{\rho_O}{\rho_w}$$

وهو القانون الذي يعمل عليه جهاز قياس كثافة السائل المسمى الهيدرومتر.

مثال 8.2.61 السؤال

$$0.85 = \frac{\rho_o}{1000}$$

$$\rho_o = 0.85 \times 1000 = 850 kg/m^3$$

النتيجة: متوسط كثافة جسم الرجل 850 كيلوغرام/متر مكعب.

رجل يسبح في الماء العذب، احسب كثافته إذا كان الجزء المغمور منه 85% ؟

الحل

تعيين المعطيات: $\rho_w = 1000 kg/m^3$

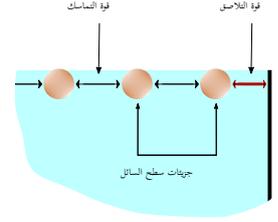
التطبيق:

$$\text{الوزن النوعي} = \frac{\rho_o}{\rho_w}$$

8.2.1.4 القوى داخل السوائل

يوجد قوتين تربط جزيئات السائل بما يحيط بها من جزيئات :

قوة التماسك هي قوة التجاذب بين جزيئات السائل.



شكل 8.8: قوة التماسك والالتصاق

قوة التلاصق هي قوة التجاذب بين جزيئات السائل والسطح الملاصق لها.

عندما تكون قوى التماسك أكبر من قوة التلاصق نلاحظ أن سطح السائل يميل للتحذب ويضعف التصاقه بالأسطح التي تلامسه مثل الزيتق وتسبب هذه القوة لزوجة السوائل، وعندما تكون قوى التلاصق أكبر فإن سطح السائل يميل للتقعر والالتصاق بالسطح الملاصق له وتسبب هذه القوة ارتفاع السوائل في الأنابيب الشعرية.

* طريقة علمية



يقوم جنود البحرية بقذف جسم صلب إلى الماء قبل قفزهم من مكان مرتفع لإضعاف قوة التماسك بين جزيئات سطح الماء فتخفف شدة اصطدامهم به.

التوتر السطحي ظاهرة تنشأ عن قوة تماسك بين جزيئات سطح السائل مما يجعلها تميل للانكماش في أصغر مساحة ممكنة.

إن التوتر السطحي مفيد للنباتات فهو يساعدها على رفع الماء من الجذور إلى الأوراق، كذلك تحتوي رئتي الإنسان على ملايين الحويصلات الهوائية التي يصل قطرها $0.1mm$ وتحتوي هذه الحويصلات سائلا مخاطيا له توتر سطحي يزداد أثناء الشهيق لانتساع مساحة السطح مما يجعل الحويصلات تنقبض بسرعة أثناء الزفير فيطرد CO_2 بسرعة. ويقاس التوتر السطحي بوحدة N/m ويرمز له بالرمز غاما γ .

المادة	γ	المادة	γ	المادة	γ
الماء $0^\circ C$	0.0756	الزئبق	0.465	الذهب $1070^\circ C$	1
الماء $100^\circ C$	0.0589	الدم	0.058	الهيليوم $-269^\circ C$	0.00012

جدول 8.2: التوتر السطحي لبعض المواد

مثال 8.2.62 السؤال

احسب ضغط الهواء داخل فقاعة صابون نصف

قطرها $0.2mm$ ؟

الحل

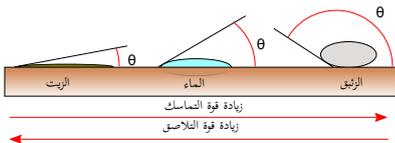
تعيين المعطيات: $r=0.2 \times 10^{-3}m$ ، $\gamma=0.037N/m \times 10^{-3}m$

$$P = \frac{4\gamma}{r}$$

$$= \frac{4 \times 0.037}{0.2 \times 10^{-3}} = 740 Pa$$

النتيجة: الضغط داخل فقاعة الصابون 740 باسكال.

الخاصية الشعرية هي ظاهرة ارتفاع أو انخفاض السائل في الأنابيب الرفيعة (الشعرية).



شكل 8.9: زاوية الاتصال

عندما تسقط قطرة من الماء على الورق فإنها تصبح مسطحة

بينما لو سقطت على سطح دهني أو شمعي فإنها تتكور؟! إن

قوة التلاصق بين السوائل والأسطح المختلفة تؤدي إلى تغير

في تحذب سطح السائل أو تكوره، فكلما كانت قوة التلاصق

بينهما أكبر كلما كان سطح السائل يميل للاستواء وكلما كانت

قوة التلاصق أصغر كلما مال سطح السائل للتحذب. كما

تؤدي قوة التلاصق إلى الارتفاع أو التسلق في الأنابيب الشعرية،

ويتناسب ارتفاع السائل في الأنابيب الشعرية عكسيا مع زاوية

الاتصال.

زاوية الاتصال هي الزاوية المحصورة بين السطح الموضوع عليه السائل وسطح السائل الذي يلامسه.

المادتين	θ	المادتين	θ
زئبق - زجاج	140°	ماء - بارافين	107°
ماء - فضة	90°	كبروسين - زجاج	26°

جدول 8.3: زاوية الاتصال أو التماس

مثال 8.2.63 السؤال

التطبيق:

$$h = \frac{2\gamma \cos\theta}{\rho g r}$$

$$= \frac{2 \times 0.0728 \times \cos 5^\circ}{1050 \times 9.8 \times 2.5 \times 10^{-5}} = 0.56m$$

النتيجة: الارتفاع الذي يصل له السائل في الشجرة بتأثير الخاصية الشعرية يساوي 0.56 متر.

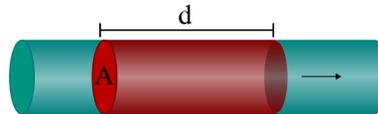
احسب الارتفاع الذي تصل له عصارة الغذاء القادم من جذور شجرة نصف قطر الأنابيب الشعرية بها $2.5 \times 10^{-5}m$ إذا علمت أن كثافة العصارة $1050kg/m^3$ والتوتر السطحي له $0.0728N/m$ وزاوية الاتصال 5° ؟

الحل

تعيين المعطيات: $\rho=1050kg/m^3$ ، $\gamma=0.0728N/m \times 10^{-3}m$

لقد وجدنا في نتيجة المثال السابق أن الخاصية الشعرية تجعل العصارة ترتفع إلى ارتفاع نصف متر، لكن معظم الأشجار أطولها أكثر من ذلك بكثير، فكيف تستطيع الأشجار رفع العصارة لارتفاع 30m مثلاً؟! لا توجد إجابة دقيقة على هذه السؤال، لكن يعتقد أن هناك عدة ظواهر فيزيائية تساعد النبتة على القيام بذلك، منها الخاصية الشعرية، ومنها الخاصية الأسموزية في الجذور والتي تعمل كمضخة تنقل السائل من التربة إلى الجذر، وأيضاً ظاهرة التفريغ (اختلاف الضغط)، حيث يتبخر الماء من الأوراق في عملية النتح مما يولد انخفاضاً في ضغط السائل في منطقة الأوراق التي توجد في الجزء العلوي من الشجرة، فيرتفع السائل من الجزء السفلي للشجرة لمعادلة الضغط في أعلاها.

8.2.2 الموائع المتحركة



شكل 8.10: تدفق السائل

تحرك السوائل غالباً في الأنابيب، ولهذا يعبر عن معدل التدفق بحجم السائل المار في الأنبوب خلال وحدة الزمن بالمعادلة $Q=V/t$ ، وحيث أن شكل السائل داخل الأنبوب أسطواني وحجم الأسطوانة $V=Ad$ لذا يصبح التدفق:

$$Q = \frac{Ad}{t} = A \frac{d}{t} = Av$$

مثال 8.2.64 السؤال

$$Q = \frac{V}{t}$$

$$V = 8.33 \times 10^{-5} \times 1.89 \times 10^9$$

$$= 157437m^3$$

النتيجة: متوسط كمية الدم التي يضخها القلب تساوي 157 ألف متر مكعب.

قلب الإنسان يضخ $5L/min$ ، احسب متوسط الدم الذي يضخه خلال 60 سنة؟

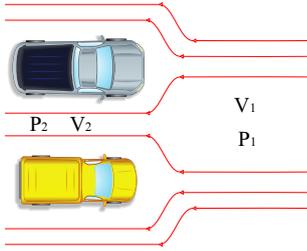
الحل

تعيين المعطيات: $Q=5L/min = \frac{5}{1000 \times 60} = 8.33 \times 10^{-5}m^3/s$

$$t=60years=1.89 \times 10^9s$$

التطبيق:

8.2.2.1 مبدأ برنولي



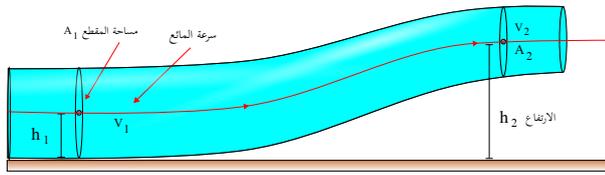
شكل 8.11: مبدأ برنولي

$$W = \frac{1}{2}mv_2^2 - \frac{1}{2}mv_1^2$$

ولأن المنطقة ضيقة والمائع سريع، لذا تكون كثافة الهواء في المنطقة الضيقة منخفضة وبالتالي الضغط منخفض، وهذا يعني أن المائع المتحرك حين ينتقل من منطقة واسعة إلى منطقة ضيقة فإن سرعته تزداد $v_1 < v_2$ وضغطه ينخفض $P_1 > P_2$ ولهذا عند مرورنا بسيارة مسرعة نشعر بانجذابنا إليها عندما تكون موازية لنا وقريبة بشكل كاف.

مبدأ برنولي إن ضغط المائع يقل كلما زادت سرعته،

وينطق مبدأ برنولي (بكسر الباء في برنولي)، وضغط المائع بين جسمين يقل بزيادة سرعته أو سرعتيهما، فحين تمر سفينتين بجانب بعضهما ينخفض ضغط الماء بينهما ويصبح أقل من ضغطه في الجهة الأخرى، فتندفع السفينتان إلى الداخل وتصطدم ببعضهما، لذا يجب ترك مسافة مناسبة بينهما، وينطبق هذا الأمر على الطائرات حيث يجب ترك مسافة بينها وإلا تجاذبت بفعل انخفاض الضغط بينها.



شكل 8.12: تدفق السائل في الأنبوب

$$P_1 + \frac{1}{2}\rho v_1^2 + \rho gh_1 = P_2 + \frac{1}{2}\rho v_2^2 + \rho gh_2 \quad (8.14)$$

$$\rho A_1 v_1 = \rho A_2 v_2$$

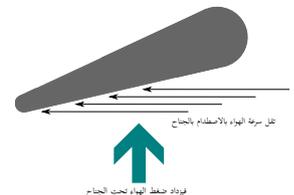
$$Q = Av$$

حيث P ضغط السائل، و ρ كثافة السائل، و v سرعة السائل، و h الارتفاع عن سطح الأرض، A مساحة المقطع، و Q كمية السائل المنساب.

والمعادلة السابقة تسمى معادلة برنولي، أما إذا كان طرفي الأنبوب عند مستوى واحد $h_1 = h_2$ فإن المعادلة تسمى مبدأ برنولي:

$$P_1 + \frac{1}{2}\rho v_1^2 + \rho gh_1 = P_2 + \frac{1}{2}\rho v_2^2 + \rho gh_2$$

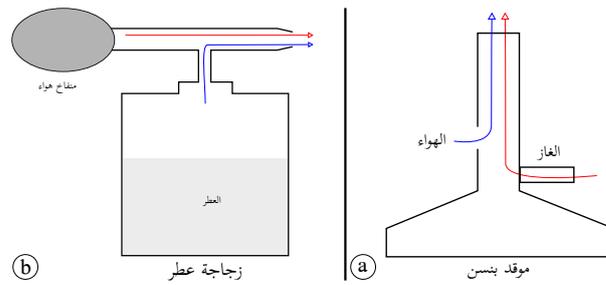
$$P_1 + \frac{1}{2}\rho v_1^2 = P_2 + \frac{1}{2}\rho v_2^2$$



شكل 8.13: مبدأ برنولي

* طريقة علمية

قم بقص قطعتين من الورق $4\text{cm} \times 10\text{cm}$ وضعهما أمام فمك بشكل متوازي ثم انفخ بينهما، ستفاجأ بالتصاقهما نتيجة انخفاض الضغط بينهما!؟



شكل 8.14: تطبيقات على مبدأ برنولي

بعض التطبيقات على مبدأ برنولي ويستفاد من هذه الظاهرة التي يوضحها مبدأ برنولي، في صنع بعض بخاخات العطور وكذلك في عملية رش الأصباغ الملونة في تلوين المنازل فحين يندفع الهواء بسرعة داخل الأنبوب ينخفض الضغط ويصبح أقل منه في زجاجة العطر، فيندفع العطر من منطقة الضغط المرتفع (الزجاجة) إلى منطقة الضغط المنخفض (الأنبوب). كما تستخدم في مضخة الفولترين الكهربائية الخاصة بمرضى الربو شفاهم الله، حيث يمر بخار الماء بسرعه فوق عبوة الفولترين حاملا الفولترين إلى الرئتين. وفي موقد بنسن يندفع الغاز بسرعة إلى داخل الأنبوب فينخفض الضغط وهذا يجعل الهواء يندفع للأنبوب بفعل اختلاف الضغط.

مثال 8.2.65 السؤال

$$v_2 = \sqrt{v_1^2 + \frac{2(P_1 - P_2)}{\rho}}$$

ونتجاهل الضغط الجوي لأنه يؤثر من الجهتين

$$P_1 - P_2 = \left(\frac{F}{A_1} + P_{atm}\right) - (P_{atm})$$

$$= \frac{F}{A_1}$$

$$= \frac{2}{2.5 \times 10^{-5}} = 8 \times 10^4 \text{ Pa}$$

$$v_2 = \sqrt{0 + \frac{2 \times 8 \times 10^4}{1 \times 10^3}} = 12.6 \text{ m/s}$$

النتيجة: سرعة خروج السائل من الحقنة الطبية 12.6 متر/ثانية.

أثنا بقوة مقدارها 2N على مكبس حقنة طبية، مساحة مقطعه $2.5 \times 10^{-5} \text{ m}^2$ وكان السائل يخرج من الطرف الآخر إلى الهواء الذي ضغطه 1atm، والحقنة موضوعة بشكل أفقي، وكثافة الماء $1 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$ واعتبر أن سرعة المكبس الأول تقارب الصفر، احسب سرعة خروج السائل؟ [13]

الحل

تعيين المعطيات: $A_1 = 2.5 \times 10^{-5} \text{ m}^2$ ، $F = 2 \text{ N}$

التطبيق:

$$\therefore h_1 = h_2$$

$$P_1 + \frac{1}{2} \rho v_1^2 + \rho g h_1 = P_2 + \frac{1}{2} \rho v_2^2 + \rho g h_2$$

$$P_1 + \frac{1}{2} \rho v_1^2 = P_2 + \frac{1}{2} \rho v_2^2$$

8.2.2.2 خطوط الانسياب ونقطة الانفصال

حين نمرر الهواء لاختبار انسيابية جسم ما مثل الطائرة أو السيارة فإن هذه الخطوط إما أن تكون متوازية وفي هذه الحالة نقول أن التدفق منتظم، أو تكون خطوط على شكل دوامات وفي هذه الحالة نقول أن التدفق مضطرب، ويكون تدفق المائع منتظم إذا كان:

- (1) لا يوجد احتكاك بين طبقات المائع.
- (2) معدل تدفق المائع ثابت في جميع نقاط مساره.
- (3) سرعة المائع لا تساوي صفر عند أي نقطه في مساره.
- (4) لا يحتوي على دوامات.

في حالة التدفق المنتظم فإن خطوط الانسياب تتقارب من بعضها كلما زادت سرعة المائع وقل ضغطه، والعكس صحيح حيث أن تباعد خطوط الانسياب عن بعضها دليل على انخفاض سرعة المائع وزيادة ضغطه.

أما نقطة الانفصال فهي النقطة التي يعكس فيها اتجاه الضغط، فعند اختراق مقدمة السيارة للهواء فإنها تشتت أو تبعد جزئيات الهواء بعيدا عن جسم السيارة باتجاه الأعلى، لكن هذا الهواء لا يلبث أن يعود ضاغطا على سطح السيارة، وتسمى النقطة التي يعود عندها ضغط الهواء على سطح السيارة بنقطة الانفصال، وتحدد بأنها النقطة التي يبدأ عندها انحدار الجسم إلى الأسفل، مثلا هي في السيارة عند نهاية سقف السيارة وبداية انحدار زجاجها الخلفي، وللتخلص من هذا الضغط يعتمد صانعو السيارات الحديثة إلى تقصير طول الجزء الواقع بعد نقطة الانفصال.

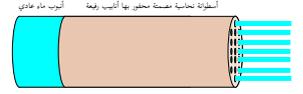


شكل 8.15: خطوط الانسياب

كما يقوم صانعو كرة القدم بصنعها من قطع مزلعه تشتت الهواء مما يمنع أو يقلل من زيادة الضغط على الجزء الواقع بعد نقطة الانفصال، وفي الطائرات المدنية يعتمد صانعوها إلى جعل مقدمتها محدبة وليست مدببة، لتشتيت الهواء لمسافة تدفع نقطة الانفصال من منتصف الطائرة إلى ذيلها، وهو ما يحميها من التآكل والتدمير عند السرعات العالية ويوفر من الوقود.

8.2.2.3 اللزوجة

اللزوجة هي خاصية في المادة تسبب مقاومة أو احتكاك بين طبقات السائل مما يعيق انزلاقها.



شكل 8.16: في أنابيب المطافي يتم وضع أسطوانة تحتوي على أنابيب رفيعة لمنع اضطراب الماء، فيصل لإرتفاع كبير دون أن يتشتت لأن عدد رينولد منخفض.

$$N_R = \frac{\rho v r}{\eta} \quad (\text{رقم رينولد})$$

$$v_{\text{الحسم}} = \frac{2r_s^2(\rho_s - \rho)g}{9\eta} \quad (8.15)$$

حيث N_R رقم رينولد، η معامل اللزوجة وتنطق ايتا، A مساحة السطح، v سرعة انزلاق السائل، r نصف قطر السائل الاختباري الذي ندرس عدد رينولد فيه (أو الأنبوب)، ρ_s كثافة الجسم، ρ كثافة المائع، r_s نصف قطر الجسم.

الوصف	N_R	الوصف	N_R
متردد	2001–2999	طبقي مثالي	0–10
مضطرب	$3000 \leq$	طبقي	11–2000

جدول 8.4: رقم رينولد في الأنابيب [11]

الوحدة الشائعة للزوجة هي البواز *poise* وتساوي $1 \text{ Pa.s} = 0.1 \text{ N.s/m}^2 = 1 \text{ Pa.s}$ ، مثلاً لزوجة الزيت 0.99 Pl ، ونستخدم رقم رينولد (ليس له وحدة) في معرفة مدى اضطراب السائل، كما في الجدول للأنابيب، بينما في البحار والبحيرات يكون الرقم 300 ألف، وقطر السائل r هو قطر الأنبوب، أما في البحار والبحيرات فنأخذ أي رقم بين 15 - 100 متر لحساب اضطراب الماء حول الغواصات مثلاً، وكلما نقص قطر الأنبوب قل عدد رينولد وقل الاضطراب.

الماء	الهواء	درجة الحرارة
1.792cp	171μp	0°C
1.005cp	181μp	20°C
0.656cp	190μp	40°C
0.284cp	218μp	100°C

جدول 8.5: معامل لزوجة الهواء والماء، لاحظ لزوجة الهواء تزداد بارتفاع درجة الحرارة. [18]

مثال 8.2.66 السؤال

$$= \frac{2 \times (18 \times 10^{-6})^2 \times (2100 - 1000) \times 9.8}{9 \times 0.001}$$

$$= 7.76 \times 10^{-4} \text{ m/s}$$

$$t = \frac{d}{v} = \frac{0.2}{7.76 \times 10^{-4}}$$

$$= 257.73 \text{ s} = 4.29 \text{ min}$$

ملئنا جالونا بماء السيل الذي يحتوي على الطمي، كم الزمن اللازم لترسيب جميع الطين في اسفل الجالون حيث متوسط أنصاف أقطار حبات الطمي $18 \mu\text{m}$ وكثافتها 2100 Kg/m^3 ولزوجة الماء 1 mPl وارتفاع الجالون 20 cm ؟ مع إهمال السرعة الحدية

الحل

تعيين المعطيات: $r_s = 18 \mu\text{m}$ ، $\rho_s = 2100 \text{ Kg/m}^3$ ، $\eta = 1 \text{ mPl}$ ،

التطبيق:

$$v = \frac{2r_s^2(\rho_s - \rho)g}{9\eta}$$

النتيجة: الزمن اللازم لترسيب جميع الطين الموجود في الماء يساوي 4.29 دقيقة تقريباً.

مثال 8.2.67 السؤال

$$v = \frac{3000 \times 0.001}{1000 \times 0.1}$$

$$= 0.03 \text{ m/s}$$

النتيجة: أقصى سرعة للماء في الأنبوب دون أن يضطرب تساوي 0.03 متر/ثانية.

احسب السرعة القصوى للماء بدون أن يضطرب في أنبوب قطره 10cm ؟

الحل

تعيين المعطيات: $\rho = 1000 \text{ Kg/m}^3$ ، $d = 0.1 \text{ m}$ ، $\eta = 1 \text{ mPl}$ ، $R = 3000$

التطبيق:

$$R = \frac{\rho v d}{\eta}$$

من تطبيقات اللزوجة

- في الطب، إن نقصان سرعة ترسيب كريات الدم الحمراء يدل على الأنيميا، والغدد المخاطية في الجهاز التنفسي والهضمي تساعد على حمايته، ولزوجة الدمع تحمي قرنية العين من التآكل بسبب رمش العين المستمر.

- في الميكانيكا، إن لزوجة زيوت التشحيم في السيارات وغيرها تساعد في التبريد والحماية من التآكل.

- حماية الأرض، إن لزوجة الهواء تؤدي إلى إبطاء وحرق النيازك والشهب قبل اصطدامها بالأرض.

- في الطيران، إن زيادة سرعة الطائرة تزيد لزوجة الهواء ويصبح قادرا على حمل الطائرة.

8.3 المواد الصلبة

8.3.1 التمدد الحراري للمواد الصلبة

إن المواد مهما كانت حالتها تزداد حركة جزيئاتها بالتسخين، وهذا يجعل المسافات بين الجزيئات تكبر باطراد مع زيادة درجة الحرارة، طبعاً الزيادة في المسافات بين الجزيئات يؤدي لزيادة الحجم ونقصان الكثافة، لننظر مثلاً للحليب الذي يفور أو يزداد حجمه بالتسخين، والرئيق الذي يزداد حجمه في الترمومتر، أيضاً يشعر الإنسان بألم في الأسنان التي تحتوي على حشوات معدنية لأنها تتمدد عند أكل أو شرب شيء ساخن وتقلص من الأشياء الساخنة (بالإضافة لتوصيليتها العالية للحرارة)، إن هذه الزيادة في الحجم بتأثير الزيادة في درجة الحرارة يطلق عليها التمدد الحراري.

التمدد هو عملية زيادة في حجم المادة نتيجة التغير في درجة حرارتها⁴، ويمكن أن تتمدد المواد الجامدة سواء أكانت هذه المواد لها بعد واحد مثل الأسلاك، أو لها بعدين مثل الصفائح المعدنية، أو لها ثلاثة أبعاد مثل مكعبات الحديد.



مكعب معدني



صفحة معدنية



سلك معدني

شكل 8.17: تمدد المواد الصلبة

8.3.2 معامل التمدد الطولي (α)

معامل التمدد الطولي يساوي التغير في الطول مقسوماً على الطول الأصلي والتغير في درجة الحرارة.

$$\alpha = \frac{\Delta L}{L_1 \Delta T} \quad (8.16)$$

⁴ بعض المواد تتمدد بالتبريد مثل الجليد والبيزوموت والانتيمون

المادة	α	المادة	α	المادة	α
الألمنيوم	25×10^{-6}	الزجاج البايركس	3×10^{-6}	الحديد	12×10^{-6}
الزجاج العادي	9×10^{-6}	النحاس	17×10^{-6}	الذهب	14×10^{-6}

جدول 8.6: معامل التمدد الطولي لبعض المواد

مثال 8.3.68 السؤال

$$\alpha = \frac{\Delta L}{L_1 \Delta T}$$

$$25 \times 10^{-6} = \frac{\Delta L}{3.66 \times (39 - (-28))}$$

$$\Delta L = 25 \times 10^{-6} \times 3.66 \times 67$$

$$= 0.006m$$

النتيجة: الزيادة في طول القطعة 0.006 متر.

قطعة من الألمنيوم طولها 3.66 متر عند درجة حرارة $-28^\circ C$ كم يزداد طول القطعة عندما تصبح درجة حرارتها $39^\circ C$ ؟

الحل

تعيين المعطيات: $T_1 = -28^\circ C$ ، $L_1 = 3.66m$ ، $T_2 = 39^\circ C$

التطبيق:

* ومضة

ع

لحل المسألة:

- حدد المعطيات.
- اكتب الرمز فوق المعطيات.
- حدد المعادلة المناسبة.
- عوض بهدوء ولا تتعجل.

8.3.3 معامل التمدد الحجمي (β)

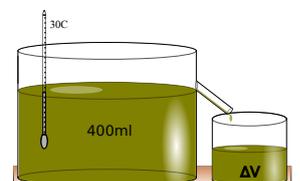
معامل التمدد الحجمي يساوي التغير في الحجم مقسوماً على الحجم الأصلي والتغير في درجة الحرارة.

$$\beta = \frac{\Delta V}{V_1 \Delta T} \quad (8.17)$$

وحدة التمدد الطولي والحجمي $\frac{1}{C}$ أو C^{-1} .

المادة	β	المادة	β	المادة	β
الألمنيوم	75×10^{-6}	الزجاج البايركس	9×10^{-6}	الحديد	35×10^{-6}
الزجاج العادي	27×10^{-6}	النحاس	51×10^{-6}	الخرسانة	36×10^{-6}
الزئبق	180×10^{-6}	الماء	210×10^{-6}	الهواء	3400×10^{-6}

جدول 8.7: معامل التمدد الحجمي لبعض المواد



شكل 8.18: التمدد الحجمي

مثال 8.3.69 السؤال

$$\beta = \frac{\Delta V}{V_1 \Delta T}$$

$$210 \times 10^{-6} = \frac{\Delta V}{400 \times (30 - 4.4)}$$

$$\Delta V = 210 \times 10^{-6} \times 400 \times 25.6$$

$$= 2.15 \text{ ml}$$

النتيجة: التغير في الحجم يساوي 2.15 ملي لتر.

سائل حجمه 400ml ودرجة حرارته $4.4^\circ C$ ، كم يزداد حجمه عندما تصبح درجة حرارته $30^\circ C$ ، حيث معامل تمدده الحجمي $\beta = 210 \times 10^{-6} C^{-1}$ ؟

الحل

تعيين المعطيات: $T_1 = 4.4^\circ C$ ، $V_1 = 400 \text{ ml}$ ، $T_2 = 30^\circ C$

التطبيق:

أمثلة على التمدد الطولي والحجمي

لا تتقوس بالحرارة.

- زجاج الأفران والمختبرات الذي يتمدد بأقل ما يمكن.
- التيرموستات الذي ينظم عمل البرادات والسخانات.
- تقلص النجوم عندما تبرد وتحولها لثقوب سوداء.

- توضع مادة السيليكون الطري بين رخام المطاف في الحرم لكي لا يتفتت عند تمدده.
- تمدد الجسور ولهذا تترك فواصل على شكل فجوات صغيرة.
- ترك فراغات بين قضبان السكك الحديدية لكي

تمدد الماء

يختلف الماء عن بقية المواد في أن عملية تمدده وتقلصه تنعكس بين $0-4^\circ C$ حيث يتمدد بالتبريد ويتقلص بالتسخين أما في درجات الحرارة الأخرى فهو يتمدد بالتسخين ويتقلص بالتبريد مثل بقية المواد.

8.4 التدريبات

1- غاز حجمه 40cm^3 ودرجة حرارته 280K ، أوجد حجم الغاز عندما نجعل درجة حرارته 350K مع ثبوت الضغط؟

الحل

تعيين المعطيات: $T_1=280\text{K}$ ، $V=40\text{cm}^3$ ، $T_2=350\text{K}$
التطبيق:

$$A_1 = \pi r^2 \quad \text{مساحة المقطع}$$

$$= \pi \times 0.0125^2 = 49 \times 10^{-5} \text{m}^2$$

$$A_2 = \pi \times 0.0025^2 = 6.36 \times 10^{-5} \text{m}^2$$

$$\frac{V_1}{T_1} = \frac{V_2}{T_2}$$

$$\frac{40}{280} = \frac{V_2}{350}$$

$$V_2 = \frac{40 \times 350}{280} = 50 \text{cm}^3$$

$$\rho A_1 V_1 = \rho A_2 V_2 \quad \text{التدفق}$$

$$49 \times 10^{-5} \times 0.4 = 18 \times 6.36 \times 10^{-5} \times V_2$$

$$V_2 = 0.17 \text{m/s}$$

5- وحدة ضغط الغاز هي:

(أ) m/K (ب) C^{-1}

(ج) N (د) Pa

6- لماذا توجد مسافة بين السكك الحديدية
القضبان:

- (أ) السماح بتقلص (ب) السماح بتبريد
(ج) زيادة سماكة (د) السماح بتمدد

7- إذا وقف شخص على رجل واحدة، فإن وزنه وضغط رجله على الأرض:

- (أ) ثابتان (ب) الوزن ثابت والضغط يزداد
(ج) الوزن يزداد والضغط ثابت (د) الوزن يقل والضغط يقل

8- يعتمد المكبس الهيدروليكي على

- (أ) مبدأ باسكال (ب) مبدأ أرخميدس
(ج) قانون نيوتن (د) الخاصية الأسموزية

9- المواعع هي؟

- (أ) الجامد والغاز (ب) الجامد والسائل
(ج) الغاز والسائل (د) الغاز والبلازما

10- أكبر المواعع التالية لزوجية؟

2- عند إنشاء الأبنية المسلحة يراعى أن يكون تمدد قضبان الحديد مساوي لتمدد خليط الخرسانة، وذلك لمنع تفتت أعمدة المبنى بفعل تغير درجة الحرارة في الليل والنهار، والصيف والشتاء، احسب تمدد قضيب حديد طوله 4 أمتار عند تغير درجة حرارته من 20°C إلى 40°C ؟

الحل

تعيين المعطيات: $T_1=20^\circ\text{C}$ ، $L_1=4\text{m}$ ، $T_2=40^\circ\text{C}$

التطبيق:

$$\alpha = \frac{\Delta L}{L_1 \Delta T}$$

$$1.1 \times 10^{-5} = \frac{\Delta L}{4 \times (40 - 20)}$$

$$\Delta L = 1.1 \times 10^{-5} \times 4 \times 20$$

3- إناء زجاجي حجمه 3 لتر، ممتلئ تماماً بالجلسرين، احسب كمية الجلسرين المنسكب من الإناء نتيجة زيادة درجة حرارته 50 درجة مئوية؟

الحل

تعيين المعطيات: $\Delta T=20^\circ\text{C}$ ، $V_1=3\text{L}$ ، $\beta_{\text{جلسرين}} = 53 \times 10^{-5} \text{C}^{-1}$ ، $\beta_{\text{زجاج}} = 83 \times 10^{-7} \text{C}^{-1}$
التطبيق:

$$\beta = \frac{\Delta V}{V_1 \Delta T}$$

$$\Delta V_{\text{جلسرين}} - \Delta V_{\text{زجاج}} = (\beta_{\text{ج}} - \beta_{\text{ز}}) V \Delta T$$

$$= (53 \times 10^{-5} - 83 \times 10^{-7}) \times 3 \times 50$$

$$= 0.078 \text{L}$$

4- يبلغ قطر الشريان الأبهر (الأورطي) 2.5cm ، وسرعة تدفق الدم فيه 0.4m/s ، ويتفرع إلى 18 شريان فرعي، نفترض أن نصف قطر كل واحد منها 0.45cm ، احسب سرعة تدفق الدم في كل شريان فرعي؟

الحل

تعيين المعطيات: $r_1=1.25\text{cm}$ ، $V_1=0.4\text{m/s}$ ، $r_2=0.45\text{cm}$
التطبيق:

$$=210 \times 10^6 \times 6.06$$

$$= \frac{79720.915}{3600}$$

$$=22.14 \text{ hours}$$

15- إذا أحضرنا كوب ممتليء تمام بالماء ووضعنا دبوس على سطح الماء فإنه لا يغرق، بسبب:

(أ) التوتر السطحي ✓
(ب) الخاصية الكهربية

(ج) المغناطيسية

(د) الكهربائية

16- إذا أحضرنا كوب ممتليء تمام بالماء ووضعنا ورقة تغطي سطح الكوب ثم قلبناه فإن الورقة لا تسقط، بسبب:

(أ) لزوجة الماء الجوي ✓
(ب) التوتر السطحي

(ج) الضغط الجوي

(د) قوة التلاصق

17- احسب سرعة خروج البول، إذا علمت أن الضغط الأقصى لمئاته الرجل $150 \text{ mmHg} = 19950 \text{ N/m}^2$ ، وسرعته الابتدائية تؤول للصفير، وكثافته 1020 kg/m^3 ؟

الحل

تعيين المعطيات: $P = 19950 \text{ N/m}^2$ ، $v_1 = 0 \text{ m/s}$ ،

$$T_2 = 350 \cdot K$$

التطبيق:

$$P_1 + \frac{1}{2} \rho v_1^2 = P_2 + \frac{1}{2} \rho v_2^2$$

$$(101300 + 19950) + 0 = 101300 + \frac{1}{2} \times 1020 \times v_2^2$$

$$V_2 = \sqrt{\frac{19950 \times 2}{1020}} = 6.254 \text{ m/s}$$

18- أغلقنا جزئياً فتحة أنبوب ماء بلاستيكي بحيث زادت سرعة اندفاع الماء من 2 m/s إلى 15 m/s احسب الضغط داخل الأنبوب؟

الحل

تعيين المعطيات: $P_2 = 1013 \times 10^2 \text{ N/m}^2$ ، $v_1 =$

$$v_2 = 15 \text{ m/s} ، 2 \text{ m/s}$$

التطبيق:

$$P_1 + \frac{1}{2} \rho v_1^2 = P_2 + \frac{1}{2} \rho v_2^2$$

$$P_1 = P_2 + \frac{1}{2} \times \rho \times (v_2^2 - v_1^2)$$

$$P_1 = 1013 \times 10^2 + \frac{1}{2} \times 1000 \times (15^2 - 2^2)$$

$$P_1 = 1013 \times 10^2 + 1105 \times 10^2$$

$$P_1 = 2118 \times 10^2 \text{ Pa}$$

(أ) العسل

(ب) اللابة ✓

(ج) الماء

(د) الكحول

11- إذا كانت نسبة القوتين في طرفي مكبس هيدروليكي 3:8 فإن نسبة مساحتي طرفيه لبعضهما هي ؟

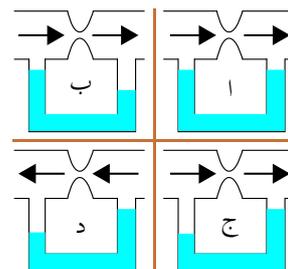
(أ) 3:8 ✓

(ج) 4:2

(ب) 1:2

(د) 1:1

12- بناء على مبدأ برنولي أي الرسومات التالية صحيح ؟ ج



13- زيت كثافته 800 Kg/m^3 ومعامل لزوجته 0.99 Pl يتحرك في أنبوب قطره 5 cm بسرعة 2 m/s ، هل سيكون مضطرب أم طبقي منتظم؟ وكم حجم الزيت المتدفق في الثانية الواحدة ؟

الحل

تعيين المعطيات: $V = 2 \text{ m}^3$ ، $\rho = 800 \text{ Kg/m}^3$ ، $d =$ ، $\eta = 0.99 \text{ Pl}$ ، 0.05 m
التطبيق:

$$R = \frac{\rho v d}{\eta}$$

$$= \frac{800 \times 2 \times 0.05}{0.99}$$

$$= 80.8$$

$$\text{التدفق} = \frac{\pi v d^2}{4}$$

$$= \frac{\pi \times 2 \times 0.05^2}{4}$$

$$= 39 \times 10^{-4} \text{ m}^3/\text{s}$$

حيث أن معامل رينولد 80.8 أصغر من 3000 إذا الزيت غير مضطرب أثناء حركته في الأنبوب.

14- خزان ماء مساحته 200 m^2 وعمقه 3 m ، احسب الزمن اللازم لإفراغه باستخدام أنبوب قطره 2.5 cm وموجود في قاعدته ؟

الحل

تعيين المعطيات: $a_1 = 200 \text{ m}^2$ ، $a_2 = 19.63 \times$

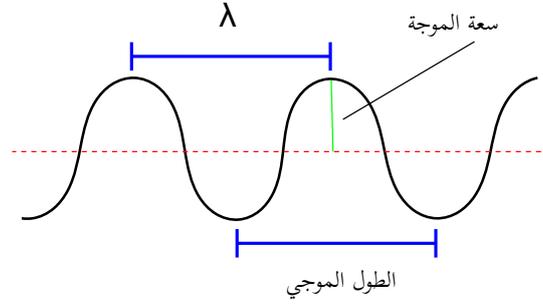
$$h_0 = 3 \text{ m} ، 10^{-4} \text{ m}^2$$

التطبيق:

$$t = \frac{a_1}{a_2} \sqrt{\frac{2h_0}{g}}$$

$$= \frac{200}{19.63 \times 10^{-4}} \times \sqrt{\frac{2 \times 3}{9.8}}$$

الاهتزازات والموجات



- الحركة الموجية
- قانون هوك
- الموجات



9.1 الحركة الاهتزازية

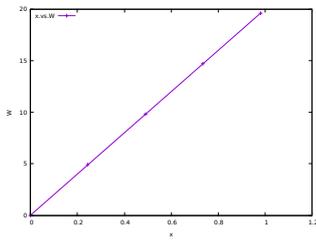
حين نضع ايدينا على قلوبنا نشعر بالنبضات المتكررة له، وحين ننظر في المرآة نشاهد جفون عيوننا تتحرك للأعلى والأسفل في حركة متكررة، وإذا ذهبنا للبحر نشاهد سطحه يتموج في حركات متكررة، إن كل الأمثلة السابقة يطلق عليها اهتزازات، أي أن المادة تتحرك حركة متكررة بانتظام.

الحركة الاهتزازية هي حركة تتكرر في دورة منتظمة.

الحركة التوافقية البسيطة هي حركة تتناسب فيها إزاحة الجسم طردياً مع القوة التي تعيد الجسم لموضع اتزانته. وتحدث الموجات الموقوفة في الأوتار ويحسب طولها الموجي بالقانون $\lambda = \frac{2L}{n-1}$ حيث n عدد العقد، L طول الوتر.

9.1.1 النابض

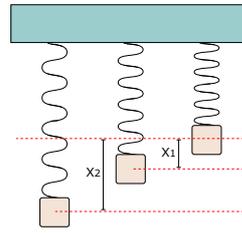
9.1.1.1 قانون هوك



شكل 9.2: منحنى القوة - الاستطالة

x	W	m
0.245	4.9	0.5
0.49	9.8	1
0.735	14.7	1.5
0.98	19.6	2

جدول 9.1: القوة - الاستطالة



شكل 9.1: الاستطالة بتأثير القوة

عندما نعلق ثقلاً W في طرف النابض فإنه يستطيل x بسبب الإجهاد الذي يؤثر على ذراته، وفي كل مرة نزيد فيها النقل المعلق نحصل على زيادة في الاستطالة إلى أن نصل للنقطة نتجاوز فيها حد المرونة فيفقد النابض مرونته ويصبح غير قادر على العودة لوضعه الأصلي. إن مقدار التغير في طول النابض - الزنبرك - يتناسب تناسباً طردياً مع مقدار القوة المؤثرة على النابض.

$$F = -kx \quad (9.1)$$

حيث F القوة التي يؤثر بها النابض، k ثابت النابض، x الاستطالة أو الانضغاط في النابض.

مثال 9.1.70 السؤال

علقنا ثقل مقداره $2450N$ في طرف نابض فاستطال $0.5m$ ، احسب ثابت النابض؟

الحل

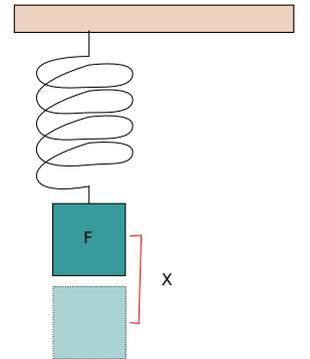
تعيين المعطيات: $F=2450N$ ، $x=0.5m$

التطبيق:

$$k = -\frac{F}{x}$$

$$= -\frac{2450}{0.5} = 4900N/m$$

النتيجة: ثابت النابض تساوي 4900 نيوتن/متر.



شكل 9.3: قانون هوك

9.1.1.2 طاقة الوضع المرئية للنابض

إن حركة النابض للأعلى والأسفل يصاحبها تغير في طاقته الحركية وطاقته الكامنة، وكل زيادة في أحدهما يصاحبه نقصان في الآخر لأن الطاقة لا تستحدث من العدم، والذي يحصل هو أن جزءاً من الطاقة الكامنة يتحول لطاقة حركية أو العكس. وتكون الطاقة الكامنة أكبر ما يمكن عند أعلى نقطة وأدنى نقطة لأن $v=0$ وبالتالي الطاقة الحركية $KE=0$ ، أما الطاقة الحركية فتكون أكبر ما يمكن في منتصف مدى الحركة (نقطة الاتزان) لأن $x=0$ وبالتالي طاقة الوضع $PE=0$.

$$PE_{\text{النايـض}} = \frac{1}{2} kx^2 \quad (9.2)$$

حيث PE طاقة الوضع المرورية للنايـض، k ثابت النايـض، x الاستطالة أو الانضغاط في النايـض.
والطاقة الميكانيكية الكلية = الطاقة الحركية + طاقة الوضع المرورية

$$E = \frac{1}{2} ka^2 = \frac{1}{2} mv^2 + \frac{1}{2} kx^2 \quad (9.3)$$

وعند أدنى وأعلى نقطة الطاقة الحركية $KE = \frac{1}{2} mv^2 = 0$
حيث KE الطاقة الحركية، a السعة القصوى لحركة النايـض.

مثال 9.1.71 السؤال

$$PE = \frac{1}{2} kx^2$$

$$= \frac{1}{2} \times 10 \times 0.12^2 = 0.072 J$$

حساب طاقة الحركة عند 12 cm :

$$KE_{\text{الحركة}} = PE_{32 \text{ cm}} - PE_{12 \text{ cm}}$$

$$= 0.51 - 0.072 = 44 J$$

النتيجة: الطاقة الحركية للجسم عند 12 cm تساوي 44 جول.

تم تعليق ثقل في نايـض معاملته 10 N/m فكانت أقصى استطاله له 32 cm ، أوجد طاقة الوضع فيه عند 32 cm ثم احسب طاقة الوضع وطاقة الحركة عند 12 cm ؟

الحل

تعيين المعطيات: $K = 10 \text{ N/m}$ ، $x = 32 \text{ cm}$

التطبيق: - حساب طاقة الوضع عند 32 cm :

$$PE = \frac{1}{2} kx^2$$

$$= \frac{1}{2} \times 10 \times 0.32^2 = 0.51 J$$

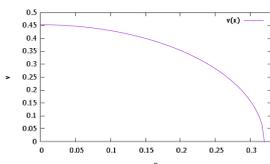
- حساب طاقة الوضع عند 12 cm :

9.1.1.3 سرعة النايـض عند نقطة معينة

$$v = \pm \sqrt{\frac{k}{m} (a^2 - x^2)} \quad (9.4)$$

حيث v سرعة النايـض، k ثابت النايـض، m كتلة النايـض، a السعة القصوى لحركة النايـض، x الإزاحة أو الاستطالة عند النقطة الحالية.
ولحساب السرعة القصوى للنايـض

$$v_{\text{القصوى}} = \pm \sqrt{\frac{k}{m}} \times a$$



شكل 9.4: السرعة - السعة

مثال 9.1.72 السؤال

- حساب السرعة عند 0.12 m :

$$v = \sqrt{\frac{k}{m} (a^2 - x^2)}$$

$$v = \sqrt{\frac{10}{5}} \times \sqrt{0.32^2 - 0.12^2}$$

$$= 0.42 \text{ m/s}$$

النتيجة: سرعة النايـض عندهما 0.45 m/s و 0.42 m/s على التوالي.

من المثال السابق احسب سرعة النايـض عند 32 cm و 12 cm علماً أن كتلة الثقل المعلق في النايـض 5 kg ؟

الحل

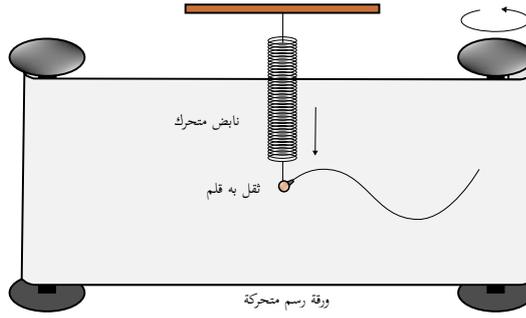
تعيين المعطيات: $m = 5 \text{ kg}$

التطبيق: - حساب السرعة عند 0.32 m :

$$v_{\text{القصوى}} = \sqrt{\frac{k}{m}} \times a$$

$$= \sqrt{\frac{10}{5}} \times 0.32 = 0.45 \text{ m/s}$$

9.1.1.4 العلاقة بين الحركة التوافقية البسيطة والموجات



شكل 9.5: موجة النايض

حين يتحرك النايض حركة توافقية بسيطة فإنه يرسم موجة لها قمة وقاع وتعرف بموجة الجيب (Sin) وتمثل العلاقة بين الزمن والأزاحة، وحركة النايض نفسه للأعلى والأسفل عبارة عن موجة طولية مكونة من سلسلة من التضاعطات والتخلخلات. ويمكن حساب سعة الموجة الناتجة بالقانون

$$x_t = X_{max} \cos\left(\frac{2\pi t}{T}\right) \quad (9.5)$$

حيث X السعة القصوى، T الزمن الدوري، t الزمن المطلوب تحديد السعة عنده.

ونحسب سرعة الموجة بالقانون

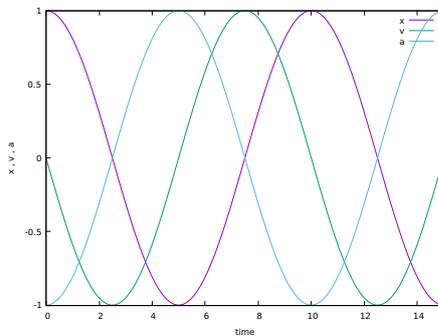
$$v_t = -v_{max} \sin\left(\frac{2\pi t}{T}\right) \quad (9.6)$$

حيث v_{max} السرعة القصوى، T الزمن الدوري، t الزمن المطلوب تحديد السعة عنده.

وتكون السرعة $v=0$ عند أقصى سعة (إزاحة) للأعلى أو الأسفل، والإشارة السالبة لظهور اتجاه الحركة، فالنتيجة السالبة تعني أن الجسم يتحرك عائداً لنقطة الاتزان وإذا كانت موجبة فهو يتحرك مبتعداً عنها. ونحسب تسارع الموجة بالقانون

$$a_t = -\frac{kx}{m} \cos\left(\frac{2\pi t}{T}\right) \quad (9.7)$$

حيث k ثابت النايض، m كتلة النايض.



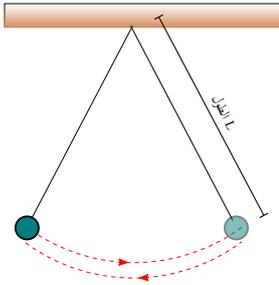
شكل 9.6: السعة والسرعة والتسارع

لاحظ في الرسم البياني أن موضع الجسم (إزاحته) في البداية كان أكبر ما يمكن (1) بينما التسارع كان أكبر ما يمكن ولكن بإشارة سالبة (-1) أي أنه متجه عائداً لنقطة الاتزان، أما السرعة فكانت صفر لأن الموجة عندما وصلت لأقصى إزاحة توقفت لكي تغير اتجاهها عائداً لنقطة الاتزان.

9.1.2 البندول

$$T = 2\pi\sqrt{\frac{l}{g}} \quad (9.8)$$

حيث T الزمن الدوري، l طول البندول، g تسارع الجاذبية الأرضية.



شكل 9.7: البندول

مثال 9.1.73 السؤال

احسب الزمن الدوري لبندول طوله $0.61m$ ؟

الحل

تعيين المعطيات: $L=0.61m$

التطبيق:

$$T = 2\pi\sqrt{\frac{l}{g}}$$

$$= 2\pi\sqrt{\frac{0.61}{9.8}} = 1.57s$$

النتيجة: الزمن الدوري للبندول يساوي 1.57 ثانية.

9.2 أنواع الموجات

الموجات هي انتقال للطاقة على شكل اهتزازات. فمن منا لم يشاهد ما تفعله أمواج البحر على صخور الشاطئ، إن سطح البحر يهتز على شكل موجات تحمل طاقة اكتسبتها من الطاقة الحركية للرياح، أو من حركة صفائح الأرض في ظاهرة التسونامي.

9.2.1 الموجات الميكانيكية

الموجات الميكانيكية هي موجات تحتاج لوسط مادي لانتقالها. وتنقسم إلى:

1- الموجات الطولية هي موجات تهتز فيها جزيئات الوسط في اتجاه مواز لاتجاه انتشار الموجه. وتتكون الموجه الطولية من تضاعفات وتخلخلات.

2- الموجات المستعرضة هي موجات تهتز فيها جزيئات الوسط في اتجاه عمودي على اتجاه انتشار الموجات. وتتكون الموجه المستعرضة من قمم وقيعان.

الموجات السطحية هي موجات سطح الماء التي تهتز فيها جزيئات الوسط في الاتجاه الرأسي والأفقي معاً، فموجة البحر تتحرك للأعلى والأسفل وفي نفس الوقت تتحرك باتجاه الشاطئ وترتد عنه. من الأمثلة على الموجات الميكانيكية، اهتزاز النابض، حركة البندول، الأصوات (صوت الإنسان، صوت الآلة، ...)، الشبكة الرنانة، حركة لعبة يستخدمها الأطفال مكونة من كرتين مربوطتين بحبل وتحرك بحيث تصطدم الكرتين مصدر صوت عال.

9.2.2 الموجات الكهرومغناطيسية

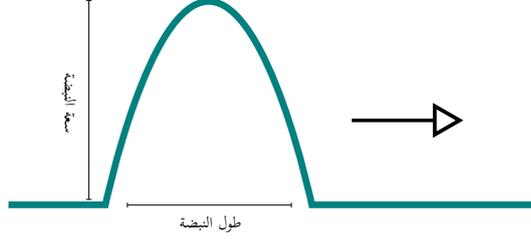
الموجات الكهرومغناطيسية هي موجات لا تحتاج لوسط مادي لانتقالها.

والموجات الكهرومغناطيسية كثيرة في حياتنا، منها موجات الهاتف الجوال، وموجات مايكرويف الطبخ، وموجات ضوء المصابيح، وموجات القنوات الفضائية، موجات الأشعة السينية X التي تستخدم لتصوير العظام المكسورة، وموجات الأشعة فوق البنفسجية التي تستخدم لتطهير المياه وأدوات الحلاقة في محلات الحلاقة، وموجات الأشعة تحت الحمراء في جهاز التحكم عن بعد، وموجات أشعة الليزر، وموجات القيور (الغاما ليزر) المستخدمة في حرب النجوم.

9.3 خصائص الموجات

9.3.0.1 الوسط والنبضة

الوسط هو المادة التي تتحرك خلالها الموجة، مثل الهواء الذي ينتقل فيه الصوت، ويمكن أن يكون الوسط جامد أو سائل أو غاز. وعند انتقال الموجة في الوسط تتحرك جزيئاته.



النبضة هي إضطراب فردي ينتقل في الوسط.

وتتحرك النبضة باتجاه الأمام (يمين - يسار)، بينما تتحرك جزيئات الوسط للأعلى والأسفل في الموجات المستعرضة (عمودي على اتجاه النبضة)، ولليمين واليسار في الموجات الطولية (في اتجاه النبضة). ويمكننا تعريف الموجة بأنها سلسلة من النبضات.

الطول الموجي هو المسافة بين قمتين متتاليتين أو قاعين متتاليين أو أي نقطتين متتاليتين تتحركان بكيفية واحدة (لهما نفس الطور)، ورمزه لمدًا λ .

الإزاحة هي بعد الجسم المهتز في أي لحظة عن موضع سكونه أو اتزانه الأصلي.

التردد هو عدد الاهتزازات التي يتمها الجسم في الثانية الواحدة، ورمزه نيو ν .

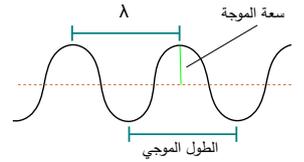
الطور هو الفرق الزاوي بين أي موجتين تتحركان على محور واحد.

الزمن الدوري هو الزمن اللازم لإتمام اهتزازة كاملة.

سعة الاهتزازة هي أقصى إزاحة تتحركها الموجة عن موضع سكونها.

أو هي المسافة بين نقطتين في مسار حركتها وتكون سرعة إحداهما أقصاها وسرعة الأخرى منعدمة، أي هي أقصى إزاحة عمودية عن مركز الاهتزازة (عمودية على اتجاه الحركة في المستعرضة، وعمودية في اتجاه الحركة في الطولية).

سرعة الموجة هي المسافة التي تقطعها الموجة خلال زمن معين. ولا تعتمد على طول الموجة وسعتها وإنما على نوع الوسط الذي تنتقل فيه الموجة.



شكل 9.8: الطول الموجي

$$Tf = 1 \quad (9.9)$$

حيث T الزمن الدوري، f التردد.

$$v = \lambda f \quad (9.10)$$

حيث λ الطول الموجي، f التردد، v سرعة الموجة.

$$v = \sqrt{\frac{T}{\mu}} \quad (9.11)$$

حيث v سرعة الموجة في وتر، T الزمن الدوري، μ كتلة وحدة الأطوال من الوتر (الكثافة الطولية).

مثال 9.3.74 السؤال

$$= \sqrt{\frac{3}{0.015}}$$

$$= \sqrt{200} = 14.14 \text{ m/s}$$

النتيجة: سرعة الموجة تساوي 14.14 متر/ ثانية .

احسب سرعة الموجة في وتر كتلة وحدة الأطوال له $\mu = 0.015 \text{ kg/m}$ والزمن الدوري للموجة $T = 3 \text{ s}$ ؟

الحل

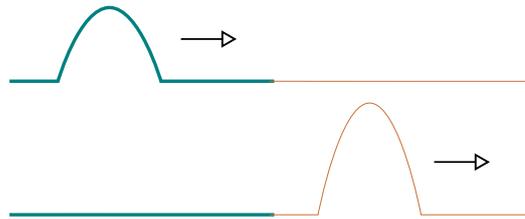
تعيين المعطيات: $T = 3 \text{ s}$, $\mu = 0.015 \text{ Kg/m}$

التطبيق:

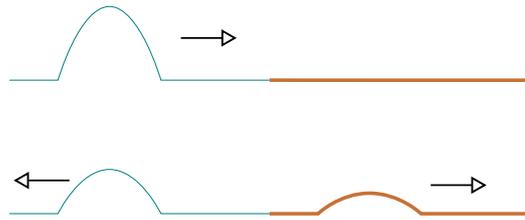
$$v = \sqrt{\frac{T}{\mu}}$$

9.3.0.2 انتقال الموجات وانعكاسها

عندما تنتقل الموجة من وسط لآخر فإنها تنقسم لجزئين، الأول ينعكس ويعود والجزء الآخر ينتقل للوسط الآخر في حالتين:



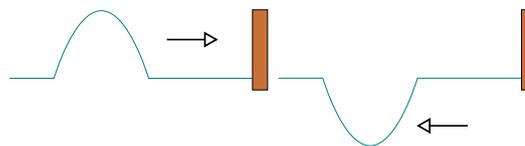
• تصبح سعة الموجة في الوسط الثاني أكبر من سعة الموجة الأصلية، إذا كانت كثافة الوسط الثاني أقل من كثافة الوسط الأول.



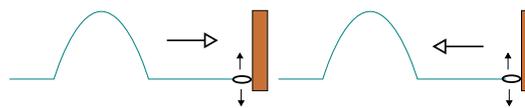
• تصبح سعة الموجة في الوسط الثاني أقل من سعة الموجة الأصلية، إذا كانت كثافة الوسط الثاني أكبر من كثافة الوسط الأول.

انعكاس الموجة عن في حبل طرفه ثابت

يكون لدينا حالتين:



• إذا كان طرف الحبل ثابت تماما فإن الموجة تنعكس منقلبة، أي عكس اتجاه قمة الموجة الأصلية.



• إذا كان طرف الحبل معلق بحلقة (حرة) تتحرك للأعلى والأسفل، فإن الموجة تنعكس دون أن تنقلب، أي في نفس اتجاه قمة الموجة الأصلية.

9.3.0.3 شدة الموجة وطاقتها

قد تكون الموجات ضعيفة وبسيطة غالبا، لكنها تكون عاتية ومدمرة في أحيان أخرى، فمن منا لم يشاهد ما تحدثه الموجات الزلزالية من دمار، أو تسببه أمواج البحر العاصف من تخريب. إن شدة الموجة تتأثر بالمساحة التي تؤثر عليها وزمن تأثيرها .

شدة الموجة هي قدرة الموجة المؤثرة على وحدة المساحات.
وتحسب بالقانون

$$I = \frac{P}{A} \quad (9.12)$$

حيث I شدة الموجة، P القدرة، A مساحة السطح الذي تؤثر عليه الموجة.

مثال 9.3.75 السؤال

$$\therefore P = IA = \frac{E}{t}$$

$$\therefore E = IAt$$

$$= 700 \times 2.5 \times 21600$$

$$= 3.78 \times 10^7 J$$

النتيجة: كمية الطاقة الساقطة تساوي 3.78×10^7 جول.

احسب كمية الطاقة الساقطة من ضوء الشمس على سطح مساحته $2.5m^2$ خلال $6hours$ ، حيث متوسط الطاقة الشمسية الساقطة على الأرض $700W/m^2$ ؟

الحل

تعيين المعطيات: $A=2.5m^2$ ، $t=6h$ ، $I=700W/m^2$

التطبيق:

$$t=6 \times 3600=21600s$$

9.4 التدريبات

1- أثرت قوة مقدارها $12N$ على نابض فأحدثت به استطالة مقداره $15cm$ ، فما هي القوة اللازمة لإحداث استطالة مقدارها $75cm$ على السلك؟ [14]

الحل

تعيين المعطيات: $F_1=12N$ ، $x_1=15cm$ ، $x_2=75cm$
التطبيق:

$$\frac{F_1}{x_1} = \frac{F_2}{x_2}$$

$$\frac{12}{15} = \frac{F}{75}$$

$$F = \frac{12 \times 75}{15}$$

$$= 60N$$

2- وحدة التردد هي:

(أ) Hz ✓ (ج) s

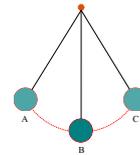
(ب) m/s (د) m

3- جسم يهتز 60 مرة خلال 20 ثانية ، احسب تردده بالهيرتز:

(أ) 3 ✓ (ج) 80

(ب) 40 (د) 1200

4- إذا انتقل الجسم من B إلى C في الشكل، فإن طاقة الوضع:



(أ) تزداد ✓ (ج) تبقى ثابتة

(ب) تقل (د) تساوي صفر

5- تشترك موجات الراديو والميكرويف في جميع الخصائص عدا:

(أ) تساويهما في الطول الموجي ✓ (ج) أنها تنتقل في الفراغ

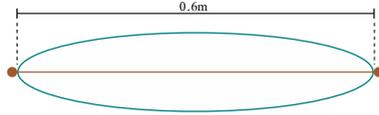
(ب) أنها موجات كهرومغناطيسية (د) أنها تنتقل في الهواء

6- أشعة غاما عبارة عن:

(أ) موجات كهرومغناطيسية ✓ (ب) إلكترونات (ج) جسيمات ألفا

(د) موجات طولية

7- كم الطول الموجي للوتر في الرسم التالي :



(أ) $1.2m$ ✓ (ج) $3.6m$

(ب) $0.6m$ (د) صفر

8- الطول الموجي لموجة ترددها $50Hz$ ، وتسير بسرعة $100m/s$ ؟

(أ) $2m$ ✓ (ج) $0.5m$

(ب) $150m$ (د) $50m$

9- أي الترددات التالية لها الطاقة الأعلى:

(أ) $25 \times 10^{11} Hz$ ✓ (ج) $10 \times 10^{11} Hz$

(ب) $35 \times 10^8 Hz$ (د) $8 \times 10^{12} Hz$

10- احسب الطول الموجي لموجة ترددها $25Hz$ ؟

(أ) $0.04m$ ✓ (ج) $12.5m$

(ب) $25m$ (د) $100m$

11- احسب تردد نابض يهتز 60 اهتزازة خلال $30s$ ؟
 $f = \frac{\text{عدد الاهتزازات}}{t}$

(أ) $2Hz$ ✓ (ج) $30Hz$

(ب) $90Hz$ (د) $1800Hz$

12- في الموجات الكهرومغناطيسية :

(أ) يقل التردد (ج) يزداد الطول الموجي بزيادة طاقتها ✓ (ب) يزداد الطول الموجي بزيادة طاقتها

(ب) يزداد التردد (د) يقل التردد بزيادة الطول الموجي (ج) يزداد الطول الموجي بزيادة طاقتها

13- إذا كان طول البندول يساوي تسارع الجاذبية الأرضية، فإن زمنه الدوري يساوي؟
 $T = 2\pi \sqrt{\frac{l}{g}}$

15- ركب شخص كتلته 75Kg في السيارة فانخفضت بمقدار 2cm ، احسب (متوسط) ثابت نظام النوابض الموجودة في السيارة؟

الحل

تعيين المعطيات: $m=75\text{kg}$ ، $x=2\text{cm}=0.02\text{m}$
التطبيق:

$$F=-kx$$

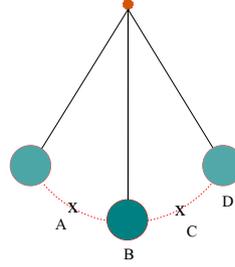
$$k=-\frac{74 \times 9.8}{-0.02}$$

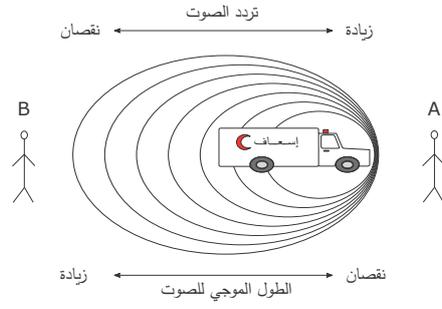
$$=36750\text{N/m}$$

ج ($\sqrt{2\pi s}$) ا ($0.5\pi s$)

د ($1.5\pi s$) ب (πs)

14- عند أي نقطة تكون سرعة البندول صفر ؟ D





- خصائص الصوت
- تأثير دوبلر
- الرنين في الأوتار والأنابيب



سبق لنا أن درسنا الموجات الطولية التي تهتز جزيئات الوسط فيها في اتجاه مواز لاتجاه انتشار الموجة. والصوت هي أهم مثال لها، ولهذا أي صوت نسمعه سواء كان صوت مرتفع أو منخفض، أو صوت إنسان أم حيوان أم جماد مثل السيارة جميعها هي موجات طولية.

الصوت هو موجات طولية تهتز في نفس اتجاه انتشار الموجة وتحتاج لوسط مادي لانتقالها. ويسير الصوت على شكل كمات تسمى فونون *phonon* وتحسب طاقة الفونون بالقانون

$$E = h\nu \quad (10.1)$$

حيث E طاقة الفونون، و h ثابت بلانك، و ν التردد.

وكما هو واضح من القانون فإن طاقة الموجة تتناسب طردياً مع تردد الموجة، وبما أن طاقة الموجة تقل تدريجياً أثناء انتقال الموجة بفعل احتكاك جزيئات الهواء فإننا سنجد أن تردد الموجة الصوتية يقل كلما ابتعدنا عن مصدر الصوت.

مثال 10.0.76 السؤال

$$=6.625 \times 10^{-34} \times 12000$$

احسب طاقة فونون موجة صوتية ترددها 12000Hz

؟

$$=7.95 \times 10^{-30} \text{ J}$$

الحل

تعيين المعطيات: $h=6.625 \times 10^{-34} \text{ J.s}$ ، $\nu=12000\text{Hz}$

التطبيق:

النتيجة: طاقة فونون الموجة الصوتية $7.95 \times 10^{-30} \text{ J}$ ، لاحظ أن طاقته صغيرة جداً وهذه نعمة كبيرة، فلو كانت طاقته عالية، لما استطاع الفقير أو المريض أن يتكلم أو يسبح أو يقرأ القرآن لأن طاقة جسمه ستستنفد.

$$E=h\nu$$

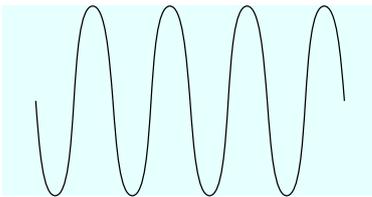
10.1 خصائص الصوت

10.1.1 الموجات الصوتية

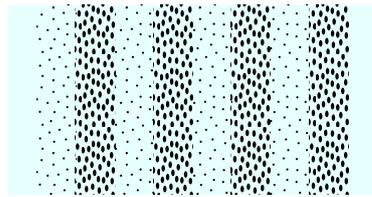
الموجة الصوتية هي انتقال تغيرات الضغط خلال مادة.

الموجة الطولية هي اهتزاز جزيئات الوسط في نفس اتجاه انتشار الموجات.

الموجة المستعرضة هي اهتزاز جزيئات الوسط في اتجاه عمودي على اتجاه انتشار الموجات.



موجات مستعرضة



موجات طولية

شكل 10.1: أنواع الموجات

10.1.1.1 تطبيقات على الصوت

• في الطبيعة : الأذن البشرية

تقوم موجات الصوت الطولية بالضغط على طبلة الأذن فتتحرك للداخل، وهذا يحرك عظام المطرقة والسندان والركاب على التوالي، ومنها إلى الأذن الداخلية التي تحتوي عضو كورتي المسئول عن عملية السمع والذي يحتوي 15 ألف خلية شعرية سمعية.

• في الأجهزة : الميكروفون

يحتوي المايك (اللاقط) على مغناطيس يحيط به ملف كهربائي، والملف ملصق بغشاء معدني أو بلاستيكي، فإذا وصل ضغط الموجة الصوتية إلى الغشاء فإنه يهتز محركا الملف حول المغناطيس، وهذا يولد تيار كهربائي صغير تستقبله الدائرة الكهربائية لللاقط، ثم تضخمه للسماعة أو تحفظه كملف wav مثلا.

10.1.1.2 حدة الصوت

حدة الصوت هي خاصية إدراكية تسمح بترتيب الأصوات حسب تردداتها.

• ميرسن وجاليلو أول من توصل إلى أن حدة

الصوت تعتمد على تردد الاهتزاز.

• عند سن 70 سنة لا يتمكن معظم الناس من

سماع الترددات الأعلى من 8000 هيرتز.

• الإنسان العادي يسمع الترددات من 20 -

وتسمى الترددات الأعلى من 20000Hz بالموجات فوق الصوتية *UltraSound* والترددات الأقل من 20Hz بالموجات

تحت السمعية *InfraSound*.

وتختلف قدرات آذان الكائنات الحية على سماع الصوت، وهذه بعض منها، فيظهر في الجدول الحد الأدنى والأعلى

الذي نستطيع سماعه.

التردد الأعلى	التردد الأدنى	الكائن
20 000Hz	20Hz	الإنسان
45 000Hz	50Hz	الكلب
85 000Hz	45Hz	القط
120 000Hz		الخفاش
200 000Hz		الدلفين
10 000Hz	5Hz	الفيل

10.1.1.3 علو الصوت

يعتمد علو الصوت أو جهارته على سعة موجة الضغط في المقام الأول والذي يرتبط بطاقة الموجة، كما يتأثر بتردد الموجة

الصوتية، ويتأثر أيضا بحساسية أذن السامع للأصوات.

مدى ضغط الصوت المسموع بالأذن البشرية :

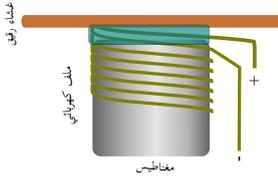
$$2 \times 10^{-5} Pa - 20 Pa$$

10.1.1.4 شدة الصوت

شدة الصوت هو الطاقة الصوتية المنقولة خلال وحدة المساحات في الثانية. ويقاس بوحدة W/m^2

$$Intensity = \frac{E}{t \times A} = \frac{P}{A} \quad (10.2)$$

حيث E الطاقة، t الزمن، A المساحة، P القدرة.



شكل 10.2: الميكروفون

* طريقة علمية

يمتلك حوت الغنير أعلى مستوى صوت في الكائنات الحية حيث يساوي 230 ديسبل.

الديسيل عمليا هو كسب الجهد ويساوي $20\log_{10}\frac{V_2}{V_1}$ ، أو معدل الكسب لأي شيء. ومعدل الكسب لشدة الصوت أو مستوى شدة الصوت يحسب ايضا بالعلاقة $\beta=10\log_{10}(\frac{I}{I_0})$ حيث الشدة المرجعية $I_0=10^{-12}W/m^2$ ويقصد بها أدنى شدة صوت يستطيع الانسان العادي سماعها عند تردد $1000Hz$ ، ويجب أن لا نخلط بين شدة الصوت I ومستوى شدة الصوت β ، فمستوى شدة الصوت β لا يقيس شدة الصوت وإنما يعطي معدل أو نسبة شدة الصوت الحالية بالنسبة للشدة المرجعية I_0 .

الصوت	β	I	الصوت	β	I	الصوت	β	I
بداية السمع عند $1000Hz$	0	1×10^{-12}	مكتب هاديء	05	1×10^{-7}	إزعاج داخل مصنع	100	1×10^{-2}
حفيف أوراق الشجر	10	1×10^{-11}	محاضرة عادية	60	1×10^{-6}	فقد السمع بعد $30min$	110	1×10^{-1}
همس على بعد $1m$	20	1×10^{-10}	طريق مزدحم	70	1×10^{-5}	حفار على بعد $2m$	120	1
منزل هاديء	30	1×10^{-9}	حصة دراسية	80	1×10^{-4}	محرك نفثات على بعد $30m$	140	1×10^2
منزل معتدل	40	1×10^{-8}	داخل شاحنة	90	1×10^{-3}	انفجار طيلة الأذن	160	1×10^4

جدول 10.1: شدة الصوت في بعض المواد

مثال 10.1.77 السؤال

$$A_v = 20\log_{10}\left(\frac{V_2}{V_1}\right)$$

$$= 20 \times \log_{10}\left(\frac{12}{1.5}\right) = 16.97db$$

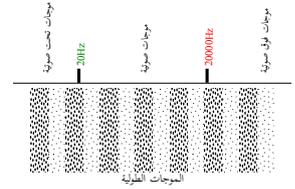
النتيجة: إن مقدار كسب الجهد الأقصى الذي سنحصل عليه 17 ديسيل تقريبا من السماع.

احسب كسب الجهد الأقصى الذي نحصل عليه عند تركيبنا لسماحة جهدها الكهربائي $12V$ ، والجهد الكهربائي للاقط (المايك) $1.5V$ ؟

الحل

تعيين المعطيات: $V_2=12V$ ، $V_1=1.5V$

التطبيق:



شكل 10.3: الموجات الطولية

- وحدة مستوى الصوت تسمى ديسيل db منحوتة من كلمة «ديسي» وتعني عُشر $(\frac{1}{10})$ ، وكلمة «بل» هي وحدة مستوى الصوت الأساسية وأخوذة من اسم مخترع الهاتف جراهام بل.
- أصغر صوت يمكن سماعه بصعوبة 0 ديسيل، و 60 ديسيل هو مستوى صوت الكلام العادي.
- أعلى مستوى صوت يمكن سماعه بدون ضرر للأذن 99 ديسيل.
- التعرض المستمر لمستوى صوت 100 ديسيل أو أكبر يؤدي إلى ضرر دائم لحاسة السمع.

10.2 سرعة الصوت

تتأثر سرعة الصوت بعوامل عدة منها درجة الحرارة وكثافة المادة وضغطها، وتبلغ سرعته $331m/s$ عند درجة حرارة $1^\circ C$ وعند مستوى سطح البحر.

$$V_{\text{الصوت}} = 331 + 0.6 \times T_{\text{سيزوس}} \quad (10.3)$$

$$v = 331\sqrt{\frac{T}{273}} \quad (10.4)$$

معامل الحجم P_a	المادة
1.41×10^5	الهواء
4×10^{10}	الزجاج
4.42×10^{11}	الماس
2.08×10^9	الماء

جدول 10.2: معامل الحجم لبعض المواد.

$$v_{Gass} = \sqrt{\frac{3kT}{m}} \quad (10.5)$$

$$v = \sqrt{\frac{K}{\rho}} \quad (\text{معادلة نيوتن-لابلاس})$$

حيث v سرعة الصوت، K معامل الحجم، ρ كثافة الوسط، k ثابت بولتزمان، m كتلة الغاز، T درجة الحرارة بالكالفن.

معامل الحجم يعبر عن ممانعة المادة للضغط المنتظم عليها. وإذا تجاوزت سرعة الجسم سرعة الصوت $331m/s$ فإننا نقول أنه اخترق حاجز الصوت، أي سرعته 1 ماخ.

المادة	v in $0^\circ C$	المادة	v in $20^\circ C$	المادة	v in $20^\circ C$	المادة	v in $20^\circ C$
الهواء	331	الحديد	5960	البولي إيثيلين	920	المطاط المقوى	54
الهيليوم	965	الزجاج البايركس	5640	ماء العذب	1480		
				ماء البحر	1540		

جدول 10.3: سرعة الصوت في بعض المواد

مثال 10.2.78 السؤال

النتيجة: سرعة الصوت عند 45 سيلزيوس تساوي 358 متر / ثانية وطوله الموجي 1.715 متر.
2- إذا وقفت عند طرف المكان السابق وصرخت، وسمعت الصدى بعد مرور $0.8s$ ، فما بعد السطح العاكس للصوت؟

الحل

تعيين المعطيات: $t=0.8s$

التطبيق:

$$d=V \times t$$

$$=358 \times 0.4 = 143.2m$$

النتيجة: المسافة بين مصدر الصوت والسطح العاكس للصوت تساوي 143.2 متر.

1- موجة صوتية ترددها $200Hz$ ، احسب سرعتها وطولها الموجي في الهواء عند درجة حرارة $45^\circ C$ ؟

الحل

تعيين المعطيات: $T=45^\circ C$

التطبيق:

$$V=331+0.6T$$

$$=331+27=358m/s$$

$$\lambda = \frac{V}{f} \quad (\text{الطول الموجي})$$

$$= \frac{358}{200} = 1.79m$$

مثال 10.2.79 السؤال

احسب سرعة الصوت في الماء إذا علمت أن معامل الحجم للماء $2.08 \times 10^9 Pa$ و كثافة الماء $1000Kg/m^3$ ؟

الحل

تعيين المعطيات: $K=2.08 \times 10^9 Pa$ ، $\rho=1000Kg/m^3$

التطبيق:

$$v = \sqrt{\frac{K}{\rho}}$$

$$= \sqrt{\frac{2.08 \times 10^9}{1000}}$$

$$= 1442.2m/s$$

النتيجة: سرعة الصوت في الماء تساوي 1442.2 متر / ثانية.

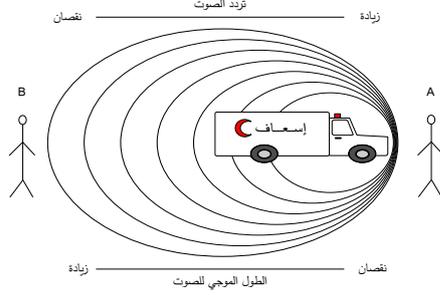
* ومضة

لحل المسألة:

- حدد المعطيات.
- اكتب الرموز فوق المعطيات.
- حدد المعادلة المناسبة.
- عوض بهدوء ولا تتعجل.

10.3 تأثير دوبلر

تأثير دوبلر هو تغير في تردد الصوت عند اقتراب مصدر الصوت أو ابتعاده عن المراقب (السامع).



شكل 10.4: تأثير دوبلر

قانون تأثير دوبلر

$$f_d = f_s \left(\frac{v - v_d}{v - v_s} \right) \quad (10.6)$$

حيث f_d التردد الواصل للمراقب، و f_s تردد المصدر، و v سرعة الصوت في الهواء، و v_d سرعة المراقب، و v_s سرعة المصدر.

مثال 10.3.80 السؤال

$$\begin{aligned} f_d &= f_s \left(\frac{V - V_d}{V - V_s} \right) \\ &= 365 \times \left(\frac{343 - (-25)}{343 - 0} \right) \\ &= 391.6 \text{ Hz} \end{aligned}$$

النتيجة: تردد الصوت الذي سيسمعه مستقبل الصوت يساوي 391.6 هيرتز.

افتراض أنك في سيارة تتحرك بسرعة 25 m/s في اتجاه صفارة إنذار ساكنه، إذا كان تردد صوت الصفارة 365 Hz ، فما التردد الذي ستسمعه، علماً أن سرعة الصوت في الهواء 343 m/s ؟

الحل

تعيين المعطيات: $V_s = 0$ ، $V_d = 25 \text{ m/s}$ ، $f_s = 365 \text{ Hz}$ ، $V = 343 \text{ m/s}$

التطبيق:

* ومضة *

- لحل مسائل تأثير دوبلر تتبع الخطوات التالية:
- 1- نكتب البيانات بحيث يكون المصدر على اليسار والمراقب على اليمين.
 - 2- نحدد إشارة سرعة المصدر وسرعة المراقب بناء على اتجاه الحركة على المحور x ، حيث الاتجاه لليمين موجب والاتجاه لليسار سالب.
 - 3- نعوض في قانون تأثير دوبلر.

10.3.0.1 أمثلة على تأثير دوبلر

- رادار الطقس
- جهاز تصوير قلب الجنين بالموجات فوق الصوتية.
- دراسة المجرات وبعُد النجوم.
- الخفاش والدلفين.

10.4 الرنين في الأنابيب الهوائية والأوتار

10.4.1 الرنين في الأنابيب الهوائية

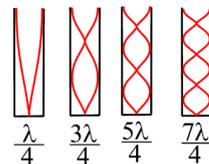
10.4.1.1 الرنين في الأنابيب الهوائية المغلقة



شكل 10.6: الشوكة الرنانة [6]

الرنين	التردد
1	$f_1 = \frac{v}{4L}$
2	$f_2 = 3f_1$
3	$f_3 = 5f_1$

جدول 10.4: تردد الرنين في الأنابيب المغلقة



شكل 10.5: الأعمدة الهوائية المغلقة

نحسب طول الأنبوب الذي يحدث الرنين باستخدام العلاقة:

$$L = \frac{n\lambda}{4} \quad (10.7)$$

حيث n عدد فردي [1 - (الرنين × 2)]: 1 ، 3 ، 5 ، 7 ،

مثال 10.4.81 السؤال

طول أنبوب الهواء المغلق للرنين (5) يساوي :

الحل

تعيين المعطيات: رقم الرنين = 5

التطبيق:

$$n = (2 \times 5) - 1$$

$$= 10 - 1 = 9$$

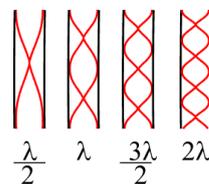
$$L = \frac{9\lambda}{4} \quad (\text{طول الأنبوب})$$

النتيجة: طول الأنبوب عند الرنين الخامس يساوي $\frac{9\lambda}{4}$ متر.

10.4.1.2 الرنين في الأنابيب الهوائية المفتوحة

الرنين	التردد
1	$f_1 = \frac{v}{2L}$
2	$f_2 = 2f_1$
3	$f_3 = 3f_1$

جدول 10.5: تردد الرنين في الأنابيب المفتوحة



شكل 10.7: الأعمدة الهوائية المفتوحة

نحسب طول الأنبوب الذي يحدث الرنين باستخدام العلاقة:

$$L = \frac{n\lambda}{2} \quad (10.8)$$

حيث n عدد يساوي [الرنين] $n=1, 2, 3, 4, \dots$

مثال 10.4.82 السؤال

طول أنبوب الهواء المفتوح للرنين (5) يساوي :

$$L = \frac{5\lambda}{2} \quad (\text{طول الأنبوب})$$

تعيين المعطيات: رقم الرنين = 5

التطبيق:

النتيجة: طول الأنبوب عند الرنين الخامس يساوي $\frac{5\lambda}{2}$ متر.

$$n=5$$

10.4.1.3 الرنين في الأوتار

الموجات التي تنتج في الأوتار هي موجات موقوفة، ويحسب طولها الموجي بالقانون $\lambda = \frac{2L}{n-1}$ حيث n عدد العقد، L طول الوتر.

مثال 10.4.83 السؤال

$$= \frac{2 \times 0.65}{5-1} = 0.325m$$

احسب تردد النغمة الثالثة في وتر طوله $65cm$ ،

إذا كانت سرعة الموجة $140m/s$ ؟

$$f = \frac{v}{\lambda} = \frac{140}{0.325}$$

تعيين المعطيات: $v=140m/s$ ، $L=0.65m$ ،

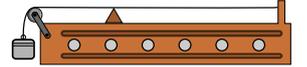
$$= 430.769Hz$$

التطبيق:

النتيجة: تردد النغمة الثالثة يساوي 430.769 هيرتز.

$$\lambda = \frac{2L}{n-1}$$

تعتمد سرعة الموجة في الوتر على:



شكل 10.8: الصنومتر

(2) كتلة وحدة الأطوال.

(1) قوة الشد فيه.

يستخدم جهاز الصنومتر لدراسة الأوتار في المختبر.

10.5 الموجات تحت الصوتية

الموجات تحت الصوتية هي موجات طولية ترددها أقل من 20 هيرتز

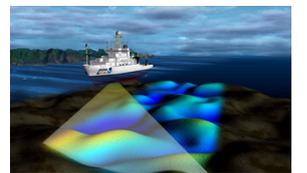
وتوجد هذه الترددات في الطبيعة لدى بعض الكائنات الحية مثل الفيل والزرافة وشيطان البحر (الرقبطة)، حيث تقوم الفيلة والزرافات بالتحادث مع بعضها باستخدام أصوات ترددها أقل من 20 هيرتز، في حين تتخاطب الرقبطة مع بعضها بموجات تحت صوتية تحدثها ضربات أجنحتها، وتستخدم الموجات تحت الصوتية لدراسة الزلازل والاستكشافات البترولية وتخطيط ذبذبات القلب لدراسة ميكانيكية عمله.

10.6 الموجات فوق الصوتية

الموجات فوق الصوتية هي موجات طولية ترددها أعلى من 20000 هيرتز

وتوجد هذه الترددات في الطبيعة لدى بعض الكائنات الحية مثل الدلافين والحيتان، كما يستخدمها الإنسان في أداء بعض الوظائف مثل كاشفات الأعماق (سونار) في السفن والغواصات، كما تستخدم في تبخير الماء بدون تسخين في أجهزة الربو وفي بعض أجهزة تحفيف الشعر (الاستشوار)، و في أجهزة تفتيت حصوات الكلى، وأجهزة تفتيت الخلايا السرطانية (تجريبية).

وكلمة السونار مشتقة من SONAR: Sound Navigation And Ranging



شكل 10.9: سونار [2]

10.6.0.1 المقاومة الصوتية

عندما نوجه موجة فوق صوتية باتجاه سطح ما مثل وضع جهاز الموجات فوق الصوتية فوق الجلد لمشاهدة الجنين أو لتحطيم حصوات الكلى أو لفحص القلب، فإن هذه الموجات تواجه مقاومة عند محاولتها المرور داخل الجلد، ولكل وسط أو مادة مقاومة خاصة به.

المقاومة الصوتية هي مقاومة ومعاوقة الوسط لمرور الموجات فوق الصوتية خلاله.

المادة	ρ	v	Z	المادة	ρ	v	Z
الهواء	1.3	330	429	الشمع	925	1450	1.34×10^6
الماء	1000	1500	1.5×10^6	متوسط العضلات	1075	1590	1.7×10^6
الدم	1060	1570	1.66×10^6	نوع من العظام	1400-1900	4080	$(5.7-7.8) \times 10^6$
تيتانات الباريوم	5600	5500	30.8×10^6				

جدول 10.6: المقاومة الصوتية لبعض المواد

$$Z = \rho v \quad (10.9)$$

v سرعة الصوت في الوسط، و ρ كثافة الوسط.

وبسبب وجود هذه المقاومة الصوتية Z فإن جزءاً من الموجات فوق الصوتية يستطيع النفاذ للسطح المستهدف بينما الجزء الآخر ينعكس ويرتد، ونستطيع معرفة كمية الموجات فوق الصوتية التي تستطيع العبور من سطح إلى آخر باستخدام معامل شدة الانعكاس.

معامل شدة الانعكاس هي نسبة كمية الموجات المنعكسة إلى كمية الموجات النافذة. ويحسب بالقانون التالي:

$$a = \frac{(Z_2 - Z_1)^2}{(Z_2 + Z_1)^2} \quad (10.10)$$

حيث Z_1 مقاومة الوسط الأول، و Z_2 مقاومة الوسط الثاني، و a معامل شدة الانعكاس.

وقيمة a بين 0-1 حيث 1 أكبر انعكاس للموجات فوق الصوتية و 0 أقل انعكاس أي جميع الموجات تنفذ.

مثال 10.6.84 السؤال

$$\begin{aligned} &= \frac{(1.7 \times 10^6 - 429)^2}{(1.7 \times 10^6 + 429)^2} \\ &= \frac{2.889 \times 10^{12}}{2.891 \times 10^{12}} \\ &= 0.999 \end{aligned}$$

النتيجة: أي أن الموجات المنعكسة تبلغ 99.9% ولهذا يقوم الاختصاصي بوضع كريم بين الجلد وجهاز الموجات فوق الصوتية لمنع وجود الهواء وبالتالي خفض نسبة الموجات المنعكسة إلى أقل من 1%.

احسب معامل شدة انعكاس موجات فوق صوتية تنتقل من الهواء إلى اللحم (العضلات) مستعينا بالجدول في الأعلى؟

الحل

تعيين المعطيات: $Z_1 = 429 \text{ kg/m}^2 \cdot \text{s}$ ، $Z_2 = 1.7 \times 10^6 \text{ g/m}^2 \cdot \text{s}$

التطبيق:

$$a = \frac{(Z_2 - Z_1)^2}{(Z_2 + Z_1)^2}$$

10.7 التدريبات

7- احسب سرعة الصوت في الهواء عند درجة حرارة $35^\circ C$ وفي مستوى سطح البحر؟

الحل

تعيين المعطيات: $T=35^\circ C$
التطبيق:

$$v=331+0.6T$$

$$=331+0.6 \times 35$$

$$=352m/s$$

8- الصوت عبارة عن موجات ؟

(ا) مستعرضة (ج) طولية ✓

(ب) كهرومغناطيسية (د) حرارية

9- احسب سرعة الصوت في غاز معين، إذا علمت أن معامل الحجم له $169000Pa$ وكثافته $0.179Kg/m^3$ ؟

الحل

تعيين المعطيات: $K=169000Pa$ ، $\rho=0.179Kg/m^3$
التطبيق:

$$v=\sqrt{\frac{K}{\rho}}$$

$$=\sqrt{\frac{169000}{0.179}}$$

$$=971.66m/s$$

10- احسب معامل شدة الانعكاس لموجات فوق صوتية تنتقل من الماء إلى اللحم (العضلات) مستعينا بالجدول في الأعلى؟

الحل

تعيين المعطيات: $Z_1=1.5 \times 10^6 kg/m^2.s$ ، $Z_2=1.7 \times 10^6 g/m^2.s$

التطبيق:

$$a=\frac{(Z_2-Z_1)^2}{(Z_2+Z_1)^2}$$

$$=\frac{(1.7 \times 10^6 - 1.5 \times 10^6)^2}{(1.7 \times 10^6 + 1.5 \times 10^6)^2}$$

$$=\frac{4 \times 10^{10}}{3.2 \times 10^{13}}$$

$$=0.00125$$

أي نسبة 0.1% تنعكس ولهذا يستخدم حوض الماء في جهاز تفتيت الحصوات، فهو يجعل أكثر من 99% من الموجات فوق الصوتية تنفذ إلى داخل الكلى.

1- افترض أنك في سيارة تتحرك بسرعة $30m/s$ للشرق، وتتحرك سيارة إسعاف مبتعدة للغرب بسرعة $20m/s$ ، فإذا انطلق منيها بتردد $400Hz$ ، فما التردد الذي ستسمعه علما بأن سرعة الصوت في الهواء $343m/s$ ؟

الحل

تعيين المعطيات: $V_s=-20m/s$ ، $V_d=30m/s$ ، $V=343m/s$ ، $f_s=400$
التطبيق:

$$f_d=f_s \left(\frac{V-V_d}{V-V_s} \right)$$

$$=400 \times \left(\frac{343-30}{343-(-20)} \right)$$

$$=344.9Hz$$

2- احسب سرعة الصوت في الفولاذ إذا علمت أن معامل الحجم له $1.6 \times 10^{11}Pa$ وكثافته $7870Kg/m^3$ ؟

الحل

تعيين المعطيات: $K=1.6 \times 10^{11}Pa$ ، $\rho=7870Kg/m^3$
التطبيق:

$$v=\sqrt{\frac{K}{\rho}}$$

$$=\sqrt{\frac{1.6 \times 10^{11}}{7870}}$$

$$=4508.92m/s$$

3- وحدة مستوى الصوت هي:

(ا) ديسبل ✓ (ج) هيرتز

(ب) نيوتن (د) متر

4- تتحرك سيارتان بنفس السرعة والاتجاه، فإذا كان تردد بوق السيارة الأولى $450Hz$ ، احسب تردد الصوت الذي يسمعه سائق السيارة الثانية، حيث سرعة الصوت $343m/s$:

(ا) 450 ✓ (ج) 230

(ب) 343 (د) 510

5- تستخدم الغواصات والسفن السونار لكشف الأعماق، فما هو نوع موجاته ؟

(ا) تحت صوتية (ج) ليزر

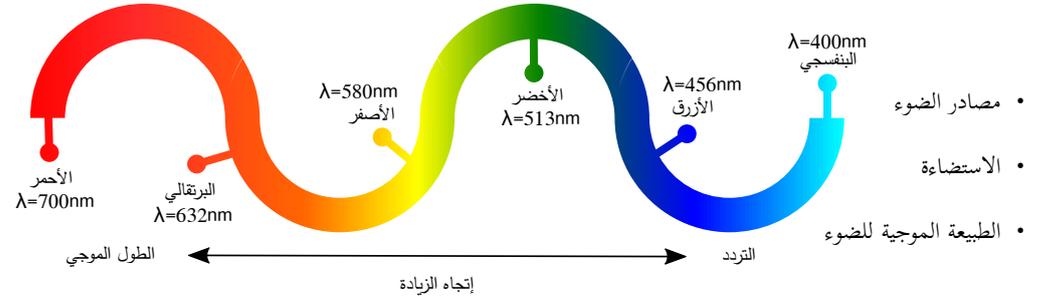
(ب) صوتية (د) فوق صوتية ✓

6- حيوان يستخدم الموجات تحت الصوتية في الاتصال مع جنسه ؟

(ا) الأسد (ج) الحصان

(ب) الزرافة ✓ (د) الثور

أساسيات الضوء



الضوء هو موجات كهرومغناطيسية مستعرضة ومرئية، ترددها محصور في المدى $400-700nm$.

11.0.1 مصادر الضوء

مصادر الضوء تنقسم إلى قسمين:

- (1) مصدر مضيء وهو مصدر ينتج الضوء من ذاته، وينقسم إلى قسمين قسم ينتج الضوء نتيجة ارتفاع درجة حرارته مثل الشمس، وقسم آخر لا يحتاج لرفع درجة حرارته مثل مصابيح الفلوروسنت.
- (2) مصدر مُضاء هو سطح يعكس الضوء من مصدر آخر مثل القمر.



شكل 11.1: أنواع الأسطح

أنواع الأسطح حسب مرور الضوء بها:

- اسطح شفافة تسمح بمرور الضوء ويمكن رؤية الأجسام من خلالها مثل زجاج النظارة.
- اسطح شبه شفافة تسمح بمرور بعض الضوء ويصعب رؤية الأجسام من خلالها مثل الورق الشفاف والزجاج الملجج.
- اسطح معتم لا تسمح بمرور الضوء ولا ترى الأجسام من خلالها، مثل الحديد.

11.0.2 الاستضاءة

التدفق الضوئي هو كمية الضوء الخارجة من المصدر الضوئي.

ووحده اللومن lm هو مقدار الضوء الصادر عن شمعة معيارية ويسقط على سطح مساحته $1foot^2$ من مسافة $1foot$.

شدة الإضاءة هي كمية الضوء الساقطة على سطح مساحته $1m^2$ من كرة نصف قطرها $1m$.

ووحدها الشمعة cd ، وتعريف الشمعة cd هي $\frac{1}{60}$ من الضوء الذي يولده $1cm^2$ من سطح معدن البلاتين المستوي في درجة حرارة تصلبه $6402^\circ K$ في الاتجاه العمودي على السطح.

$$\frac{P}{4\pi} = \text{شدة الإضاءة} \quad (11.1)$$

حيث P التدفق الضوئي.

الاستضاءة هي كمية الضوء الساقطة على نقطة تبعد عن المصدر مسافة معينة. ووحدها اللوكس أو lm/m^2 .

$$E = \frac{P}{4\pi r^2} \quad (11.2)$$

$$E = E_T^2 = \text{شدة الإضاءة}$$

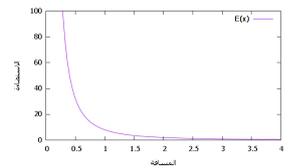
حيث E الاستضاءة، P التدفق الضوئي، r بعد الجسم عن مركز المصدر.

* هدف وجداني

إن استخدام مصابيح Led يوفر في الطاقة ويحافظ على البيئة.

الاستضاءة	الاستخدام
80-170	المسودعات
200-300	الورش
500-700	المكاتب والمختبرات
1000-2000	صيانة الأجهزة الدقيقة والرسم الهندسي

جدول 11.1: الاستضاءة



شكل 11.2: الاستضاءة

مثال 11.0.85 السؤال

$$E = \frac{P}{4\pi r^2}$$

$$= \frac{100}{4\pi \times 2^2} = 1.98 \text{ lux}$$

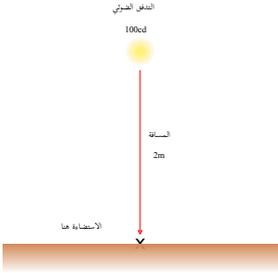
النتيجة: استضاءة النقطة التي تبعد 2 متر عن المصدر تساوي 1.98 لوكس.

احسب استضاءة نقطة وضعت على بعد 2m من مصدر ضوئي التدفق الضوئي له 100cd ؟

الحل

تعيين المعطيات: $r=2m$ ، $P=100cd$

التطبيق:

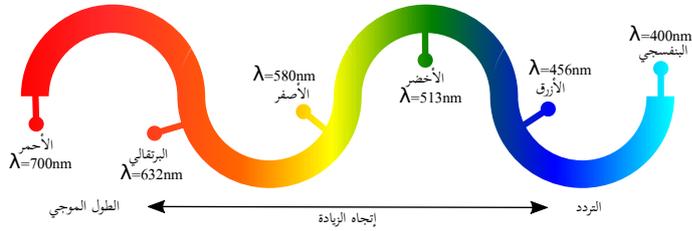


شكل 11.3: الاستضاءة

11.0.3 الطبيعة الموجية للضوء

سرعة الضوء تبلغ سرعة الضوء $3 \times 10^8 \text{ m/s}$

الألوان



شكل 11.4: ألوان الطيف للون الأبيض

يتكون الضوء المرئي من موجات كهرومغناطيسية، وهو مجموعة من الألوان المختلفة في التردد والطول الموجي، وهذه الألوان محصوره بين اللون الأحمر واللون البنفسجي، وكلما غزينا في تردد الموجة الكهرومغناطيسية ينتج لدينا لون جديد، الأحمر هو الأكبر في الطول الموجي لكنه الأصغر تردداً، والبنفسجي عكسه تماماً، فهو الأعلى في التردد والأقل طولاً موجياً.

استقطاب الضوء الاستقطاب هو سماح بعض المواد بنفاذ مركبة المجال الكهربائي ومنع مركبة المجال المغناطيسي للضوء.

$$I_2 = I_1 \cos^2 \theta \quad (11.3)$$

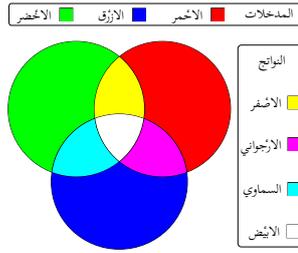
حيث I_2 شدة الضوء الخارج من المرشح الثاني، I_1 شدة الضوء الخارج من المرشح الأول، θ المحصورة بين محوري استقطاب المرشحين.

وقد استطاع مالوس من استخدام ظاهرة الاستقطاب في إثبات أن الضوء عبارة عن موجات مستعرضة، لها قمة وقاع، وهذا الذي منع بعض الموجات من العبور، في حين لو كان الضوء موجات طوليه لاستطاعت كل الموجات من العبور من المادة المستقطبة.

11.0.3.1 تداخل الألوان الأساسية

حين نشاهد شيء ما ملون مثل ورق الشجر الأخضر فإننا نعتقد أن الورقة ملونه باللون الأخضر، لكن الصحيح أن الورقة ليس لها لون، وتكتسب اللون الأخضر نتيجة امتصاصها لألوان الضوء باستثناء الضوء الأخضر، وكذلك بالنسبة لجميع الأشياء الملونة. يوجد نوعين من مصادر الألوان في حياتنا، الأضواء الملونة والأصباغ الملونة:

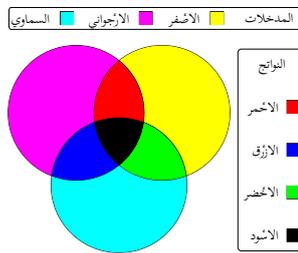
الأول	الثاني	الثالث	الضوء الناتج
الأحمر	الأخضر		الأصفر
الأحمر		الأزرق	الأرجواني
	الأخضر	الأزرق	السماوي
الأحمر	الأخضر	الأزرق	الأبيض



جدول 11.2: مزج الألوان الملونة

الألوان الملونة هي ضوء مكون من أحد ثلاثة ألوان أساسية (الأحمر - الأزرق - الأخضر) ، أو واحد من بقية الألوان التي تنتج من تداخل اثنين أو أكثر من هذه الألوان بدرجات تشبع متفاوتة، وينتج اللون الأبيض عن تداخل الألوان الثلاثة الأساسية.

الأول	الثاني	الثالث	الصيغ الناتج
الأصفر	الأرجواني		الأحمر
	الأرجواني	السماوي	الأزرق
الأصفر		السماوي	الأخضر
الأصفر	الأرجواني	السماوي	الأسود

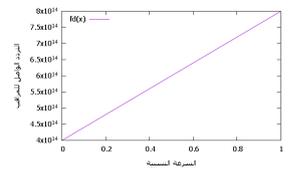


جدول 11.3: مزج الأصباغ الملونة

الأصباغ الملونة هي صيغ مكون من أحد ثلاثة ألوان أساسية (السماوي - الأرجواني - الأصفر) ، أو واحد من بقية الألوان التي تنتج من تداخل اثنين أو أكثر من هذه الأصباغ بدرجات تشبع متفاوتة، وينتج اللون الأسود عن تداخل الأصباغ الثلاثة الأساسية.

11.0.3.2 تأثير دوبلر

تأثير دوبلر هو تغير ظاهري للتردد و الطول الموجي للأمواج عندما ترصد من قبل مراقب متحرك بالنسبة للمصدر الموجي.



شكل 11.5: تأثير دوبلر

حيث يقل تردد الضوء عندما يكون المصدر الضوئي مبتعدا، ويزداد حين يكون المصدر الضوئي مقتربا، فانخفاض تردد الضوء الصادر من نجم ما، هو دليل في الغالب على أنه يسير مبتعدا عنا، ويقترب منا إن كان تردد ضوءه يزداد بمرور الوقت.

$$fd = f_s \left(\frac{c - v_d}{c - v_s} \right) \Rightarrow fd = f_s \left(1 \pm \frac{v}{c} \right) \quad (11.4)$$

حيث f_d تردد الضوء الواسل للمراقب، f_s تردد الضوء الخارج من المصدر، v السرعة النسبية بين المصدر والمراقب، c سرعة الضوء، \pm موجب للاقترب وسالب للابتعاد.

مثال 11.0.86 السؤال

نجم يصدر ضوء أحمر تردده $f_s = 400 \times 10^{12} \text{ Hz}$ و يقترب من الأرض بسرعة تعادل 0.7 من سرعة الضوء $v_s = 0.7c$ ، احسب تردد الضوء الذي يستقبله الراصد على الأرض؟

الحل

تعيين المعطيات: $f_s = 400 \times 10^{12} \text{ Hz}$ ، $v_s = 0.7c$



التطبيق:

$$f_d = f_s \left(1 \pm \frac{v}{c}\right)$$

$$= 400 \times 10^{12} \left(1 + \frac{0.7}{1}\right)$$

$$= 680 \times 10^{12} \text{ Hz}$$

النتيجة: تردد الضوء الذي يستقبله الراصد يساوي 680×10^{12} هيرتز.

11.1 التدريبات

4- أي الألوان التالية أكبر في الطول الموجي:

(أ) البنفسجي (ج) الأخضر

(ب) الأحمر ✓ (د) الأصفر

5- أشعة جاما عبارة عن:

(أ) فوتونات ذات

متفاوتة الشحنة طاقة عالية. ✓

(د) الكثرونات

تبعث من موجبة (ب) جسيمات

النواة

6- لا يمكن لجسم أن يسبق ظله لأن الضوء :

(أ) سرعته عالية. مستقيمة ✓

(ج) طاقته عالية

(د) لونه أبيض (ب) خطوطه

7- اللون المتمم للون الأصفر :

(أ) الأبيض (ج) الأحمر

(ب) الأخضر ✓ (د) الأزرق

1- احسب استضاءة نقطة وضعت على بعد $9m$ من مصدر ضوئي التدفق الضوئي له $350cd$ ؟

الحل

تعيين المعطيات: $P=350cd$ ، $r=9m$
التطبيق:

$$E = \frac{P}{4\pi r^2}$$

$$= \frac{350}{4\pi \times 9^2} = 0.344lux$$

2- نجم يصدر ضوء أصفر تردده $f_s = 5.172 \times 10^{14} Hz$ و يقترب من الأرض بسرعة تساوي $v_s = 2.6 \times 10^8 m/s$ ، احسب تردد الضوء الذي يستقبله الراصد على الأرض ؟

الحل

تعيين المعطيات: $f_s = 5.172 \times 10^{14} Hz$ ، $v_s = 2.6 \times 10^8 m/s$
التطبيق:

$$f_d = f_s \left(1 \pm \frac{v}{c}\right)$$

$$= 400 \times 10^{12} \times \left(1 + \frac{0.866}{1}\right)$$

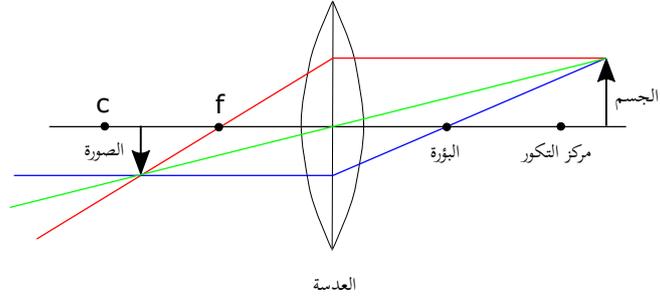
$$= 6.896 \times 10^{13} Hz$$

3- وحدة الاستضاءة هي:

(أ) Lm (ج) Lux ✓

(ب) Cd (د) J

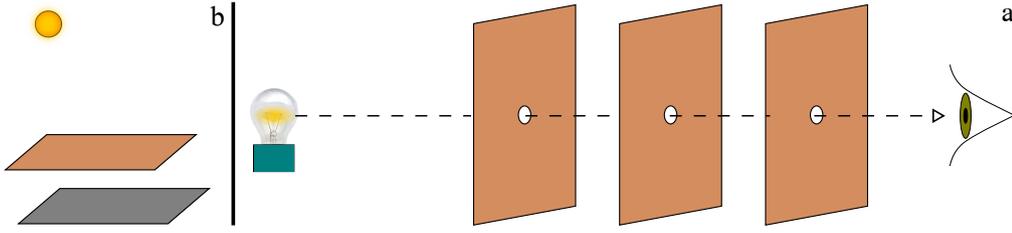
المرايا والعدسات



- قوانين الانعكاس والانكسار
- العدسات الكروية
- المرايا الكروية



الضوء : هو عبارة عن حزم من الجسيمات الكمية تسمى فوتونات.



شكل 12.1: الضوء يسير في خطوط مستقيمة

يمثل الشعاع الضوئي → بخط مستقيم عليه سهم يوضح اتجاه انتقال الشعاع. وهذا السهم يخرج من رأس الجسم (قمة الجسم)، ويمتد للهدف الذي يكون غالباً العين أو العدسة أو المرآة. وكما هو واضح في الرسم *a* فإننا لن نستطيع رؤية المصباح لو لم تكن الثقوب الثلاثة في خط مستقيم لأن الضوء يسير في خطوط مستقيمة. وفي الرسم *b* نلاحظ أن الظل لم تكن لتظهر حوافه مستقيمة لو لم يكن الضوء يسير في خطوط مستقيمة.

12.1 خصائص الضوء

12.1.1 سرعة الضوء

تبلغ سرعة الضوء $3 \times 10^8 m/s$.

يتم حساب سرعة الضوء¹ بالقانون:

$$C = \frac{1}{\sqrt{\mu_0 \epsilon_0}}$$

حيث μ_0 ثابت النفاذية في الفراغ (ثابت النفاذية المغناطيسية)، ϵ_0 ثابت السماحية الكهربائية.

مثال 12.1.87 السؤال

$$C = \frac{1}{\sqrt{\mu_0 \epsilon_0}}$$

$$= \frac{1}{\sqrt{4\pi \times 10^{-7} \times 8.854 \times 10^{-12}}}$$

$$= 3 \times 10^8 m/s$$

النتيجة: سرعة الضوء في الفراغ $3 \times 10^8 m/s$.

احسب سرعة الضوء باستخدام ثابت السماحية الكهربائية وثابت النفاذية المغناطيسية؟

الحل

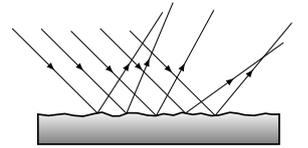
تعيين المعطيات: $\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7} H/m$ ، $\epsilon_0 = 8.854 \times 10^{-12} Farad/m$

التطبيق:

12.1.2 قانون الانعكاس

تنقسم الأسطح التي يسقط عليها الضوء إلى أسطح مصقولة تعكس أشعة الضوء الساقطة عليها بشكل متوازي وأسطح غير مصقولة تشتت أشعة الضوء عند سقوطها عليها، عند سقوط أشعة الضوء على سطح مستوي وعاكس، نجد أن جزء منها ينعكس وجزء ينفذ منكسراً وجزء يمتص.

انعكاس الضوء: ارتداد الضوء عن سطح مصقول.

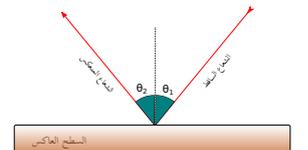


شكل 12.2: السطح غير المصقول

زاوية السقوط تساوي زاوية الانعكاس

$$\theta_1 = \theta_2 \quad (12.1)$$

θ_1 زاوية السقوط و θ_2 زاوية الانعكاس.

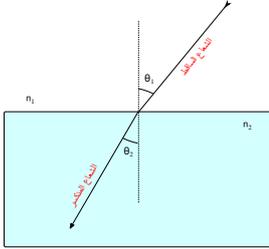


شكل 12.3: قانون الانعكاس الأول

¹شرح تجربة مايكلسون لحساب سرعة الضوء في فصل النظرية النسبية.

12.1.3 قانون الانكسار

عند انتقال الضوء من وسط إلى آخر فإنه ينكسر لأن الضوء يتحرك بسرعات مختلفة في المواد المختلفة. انكسار الضوء²: عند انتقال الشعاع الضوئي من وسط لآخر فإنه ينفذ للوسط الآخر مقترباً أو مبتعداً عن العمود المقام على الفاصل بين الوسطين.



شكل 12.4: انكسار الضوء

$$\frac{\sin\theta_1}{\sin\theta_2} = \frac{n_2}{n_1} = \frac{v_1}{v_2} \quad (12.2)$$

حيث n معامل الانكسار و θ_1 زاوية السقوط و θ_2 زاوية الانكسار.

اقتراب وابتعاد الشعاع المنكسر من العمود المقام على الوسط الفاصل:

- ينكسر الضوء مقترباً إذا كان ينتقل من وسط ذي معامل انكسار أقل إلى وسط ذي معامل انكسار أكبر ($n_1 < n_2$).
- ينكسر الضوء مبتعداً إذا كان ينتقل من وسط ذي معامل انكسار أكبر إلى وسط ذي معامل انكسار أقل ($n_1 > n_2$).
- إذا سقط الضوء عمودياً على السطح (بزاوية سقوط 0° مع العمود المقام) فإنه الضوء لا ينكسر (زاوية انكسار 0°).

مثال 12.1.88 السؤال

$$1 \times \sin\theta = 1.333 \times \sin 25$$

$$\sin\theta = 0.562$$

$$\theta = \sin^{-1}(0.562) = 34.19^\circ$$

النتيجة: زاوية سقوط الشعاع الضوئي تساوي 34.19 درجة.

سقط شعاع ضوئي من الهواء إلى الماء فانكسر في الماء بزاوية 25 درجة، أوجد زاوية السقوط؟

الحل

تعيين المعطيات: $n_1 = 1$ ، $n_2 = 1.333$

التطبيق:

$$\frac{\sin\theta_1}{\sin\theta_2} = \frac{n_2}{n_1}$$

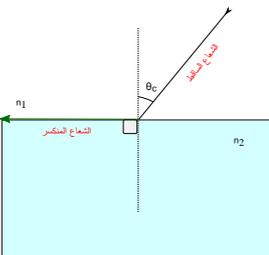
ويحسب معامل الانكسار المطلق n بقسمة سرعة الضوء في الفراغ على سرعته في المادة $n = \frac{c}{v}$. أي أن معامل الانكسار هو معدل سرعة الضوء في الفراغ إلى سرعته في المادة، وكما هو واضح من القانون كلما زادت سرعة الضوء في المادة كلما قل معامل الانكسار (تناسب عكسي)³.

* تستخدم زاوية الانكسار للتعرف على المواد، فلكل مادة زاوية انكسار خاصة بها $n_2 = \frac{n_1 \sin\theta_1}{\sin\theta_2}$.

* تستخدم العلاقة $n = \frac{\text{المعنى الحقيقي}}{\text{المعنى الظاهري}}$ لمعرفة العمق الحقيقي التقريبي للمسطحات المائية.

12.1.4 الزاوية الحرجة

الزاوية الحرجة هي زاوية السقوط التي يقابلها زاوية انكسار 90 درجة، وتوجد فقط إذا انتقل الشعاع الضوئي من وسط معامل انكساره أعلى إلى وسط معامل انكساره أقل.



شكل 12.5: الزاوية الحرجة

n	المادة
1.00293	الهواء
1.333	الماء
2.419	الماس

جدول 12.1: معامل الانكسار لبعض المواد الشفافة.

$$\theta_c = \sin^{-1}\left(\frac{n_2}{n_1}\right) \quad (12.3)$$

حيث θ_c الزاوية الحرجة و n_1 معامل انكسار الوسط الأول و n_2 معامل انكسار الوسط الثاني.

وإذا سقط الشعاع الضوئي على السطح الفاصل بين وسطين شفافين فإنه:

- يعكس إذا كانت زاوية سقوطه أكبر من الزاوية الحرجة ، عندما ينتقل من وسط ذي معامل انكسار أكبر إلى وسط ذي معامل انكسار أقل ($n_1 > n_2$).

² يسمى قانون سنل أو قانون ديسكرايتس
³ التناسب العكسي يعني أن زيادة الأول تؤدي لنقصان الثاني.

- ينكسر إذا كانت زاوية سقوطه أصغر من الزاوية الحرجة ، عندما ينتقل من وسط ذي معامل انكسار أكبر إلى وسط ذي معامل انكسار أقل ($n_1 > n_2$).
- ينكسر دائما عندما ينتقل من وسط ذي معامل انكسار أقل إلى وسط ذي معامل انكسار أكبر ($n_1 < n_2$) ولا توجد له زاوية حرجة.
- إذا كانت زاوية سقوط الشعاع الضوئي مساوية للزاوية الحرجة فإن الشعاع ينكسر منطبقا على الخط الفاصل بين الوسطين.

مثال 12.1.89 السؤال

$$\theta_c = \sin^{-1}\left(\frac{n_2}{n_1}\right)$$

احسب الزاوية الحرجة للماء إذا كان الوسط الثاني

هو الفراغ؟

$$= \sin^{-1}\left(\frac{1}{1.333}\right) = 48.6^\circ$$

الحل

تعيين المعطيات: $n_2 = 1$ ، $n_1 = 1.333$

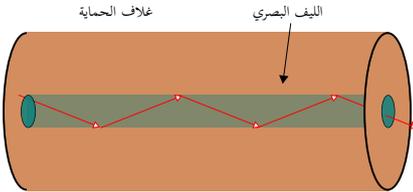
التطبيق:

. النتيجة: الزاوية الحرجة للماء تساوي 48.6° .

ويمكن حساب معامل الانكسار المطلق n بدلالة الزاوية الحرجة $n = \frac{1}{\sin \theta_c}$. ومن الطرائف حول الزاوية الحرجة أن الماس يملك زاوية حرجة صغيرة تبلغ 19 تقريبا، وهذا يعني أن الضوء إذا اخترق سطح الماس فإنه يصبح غير قادر على الخروج منه، فيستمر في الاصطدام بالجدار الداخلي للماس محدثا التوهج المعروف للماس، حيث يتطلب خروج الضوء أن يسقط بزاوية أقل من 19 درجة وهذا يمثل $\frac{19}{90}$ ، أي 1 من كل 5 أشعة يستطيع الخروج، وهذا ما يجعل الماس غالبا لتوهجه، ويجعل الصاغة يقطعونه بشكل مضلع.

12.1.4.1 الانعكاس الكلي الداخلي

الانعكاس الكلي الداخلي هو ظاهرة فيزيائية تعني أن الشعاع الضوئي ينعكس طالما أن زاوية السقوط أكبر من الزاوية الحرجة للمادة المستخدمة. تستخدم لحصر ونقل الضوء داخل أنابيب رقيقة جدا سمكها في حدود $10\mu m$ ومغلقة بمادة حماية تجعل سمكها يصل $125\mu m$ تقريبا، وتصنع هذه الأنابيب من الزجاج أو البلاستيك عادة. وتسمى هذه الأنابيب بالألياف البصرية.



شكل 12.6: الليف البصري

فكرة عمل الألياف البصرية لنفرض أن الليف البصري

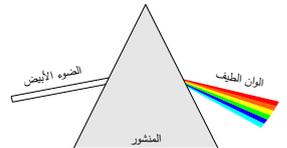
مصنوع من الزجاج الذي معامل انكساره $n = 1.7$ أي أن الزاوية الحرجة له $\theta_c = \sin^{-1}\left(\frac{1}{1.7}\right) = 36^\circ$ ، وهذا يعني أن كل شعاع

ضوئي زاوية سقوطه أكبر من 36° سينعكس ولن ينكسر. فندخل شعاع ليزر بزاوية سقوط أكبر من 36° إلى داخل الليف البصري كما في الرسم، عندها سيستمر الشعاع بالانعكاس على جدران الليف البصري إلى أن يصل للطرف النهائي لليف، ويبلغ طول بعض الألياف البصرية عدة آلاف من الكيلومترات، وتستخدم الألياف البصرية لنقل الأنترنت والاتصالات الهاتفية والتصوير الطبي بالمنظار، والبت التلفزيوني الكبلي.

12.2 المنشور

المنشور هو جسم شفاف له خمسة أوجه، وربما لو قسناه على المستطيل والمربع لقلنا هو مجسم المثلث (مجسم المستطيل يسمى متوازي مستطيلات ومجسم المربع يسمى مكعب). من فوائد المنشور:

- تحليل الضوء الأبيض إلى ألوان الطيف السبعة.
- تغيير اتجاه الضوء مثل استخدامه في المنظار المقرب ونظارة قوقل ومنظار الغواصة.
- التعرف على تركيب المواد الساخنة عن طريق طيف الضوء الصادر عنها، ومعرفة الغازات على أسطح النجوم (راجع فصل الفيزياء الذرية).



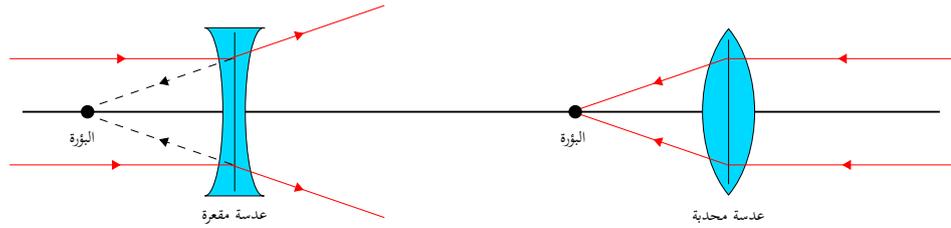
شكل 12.7: المنشور

لاحظ من الرسم أن انحراف الشعاع الضوئي الخارج من المنشور يزداد بنقصان طوله الموجي، فالأحمر هو أقل الألوان انحرافاً لأنه أعلاها طولاً موجياً، والبنفسجي هو أكبرها انحرافاً لأن طوله الموجي هو الأدنى.

12.3 العدسات الكروية

العدسة هي أي مادة شفافة لها شكل مناسب بحيث تجمع الأشعة المتوازية في نقطة أو تفرقها بحيث تتجمع نهاياتها في نقطة،

والشكل المبسط لها على شكل سطح كروي، فإذا كان تكور السطح إلى الداخل فإننا نسميها عدسة مقعرة وإذا كان تكور السطح إلى الخارج نسميها عدسة محدبة.



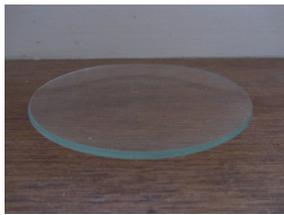
شكل 12.8: أنواع العدسات

12.3.1 العدسات المحدبة

العدسات المحدبة تسمى بهذا الاسم لأن سطحها محدب إلى الخارج وتسمى أيضاً بالعدسات المجمعة لأنها تعمل على تجميع الضوء وتركيزه لكي يمر في البؤرة، وعند وضع جسم أمام العدسة المحدبة تتكون له صورة تختلف في موضعها واعتدالها وحقيقتها بحسب موضع الجسم، لهذا يتم وصف حالة الصورة بثلاث صفات (صفة واحدة من كل عمود في الجدول التالي):

الصفة الأولى	الصفة الثانية	الصفة الثالثة
حقيقية	مقلوبة	مكبرة
خيالية	معتدلة	مساوية
-	-	مصغرة

جدول 12.2: صفات الصور في العدسات



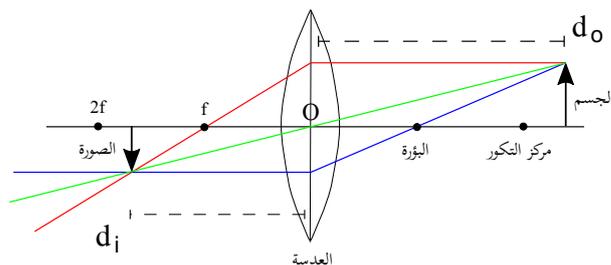
شكل 12.9: عدسة محدبة تجمع الضوء وتركزه في نقطة تسمى البؤرة. [2]

* طريقة علمية

يمكن استخدام العدسات المحدبة لإشعال النار، حيث يتجمع ضوء الشمس في البؤرة.

* مكبرة: الصورة أكبر من الجسم، مصغرة: الصورة أصغر من الجسم، مساوية: الصورة تساوي الجسم، مقلوبة: اتجاه رأس الصورة عكس اتجاه رأس الجسم، معتدلة: رأس الصورة في اتجاه رأس الجسم، حقيقية: يمكن استقبال الصورة على حائل ورقي (هندسيا العدسة بين الجسم والصورة)، خيالية: لا يمكن استقبال الصورة على حائل (هندسيا الجسم والصورة معا في يمين أو يسار العدسة).

لرسم الصور في العدسات المحدبة نحتاج إلى رسم خطين على الأقل من ثلاثة خطوط:



شكل 12.10: رسم الصورة

- (1) خط يخرج من رأس الجسم ويمر في قطب المرآة بشكل مستقيم.
- (2) خط يخرج من رأس الجسم ويمر بالبؤرة وينكسر مواز لمحور العدسة.
- (3) خط يخرج من الرأس ويسير مواز لمحور العدسة وينكسر ماراً بالبؤرة.

حالات تكون الصور في العدسات:

* ومضة

عدسة فرنيل هي صورة مضغوطة من العدسات المحدبة وذات كفاءة عالية.

الرسم	صفات الصورة	الصورة	الجسم	
	حقيقية ومقلوبة ومصغرة	$d_i = f$	$d_o \rightarrow \infty$	1
	حقيقية ومقلوبة ومصغرة	$f < d_i < 2f$	$d_o > 2f$	2
	حقيقية ومقلوبة ومساوية	$d_i = 2f$	$d_o = 2f$	3
	حقيقية ومقلوبة ومكبّرة	$d_i > 2f$	$f < d_o < 2f$	4

جدول 12.3: حالات تكون الصور في العدسات المحدبة 1

الرسم	صفات الصورة	الصورة	الجسم	
	حقيقية ومقلوبة ومكبّرة	$d_i \rightarrow \infty$	$d_o = f$	5
	خيالية ومعتدلة ومكبّرة	$d_i > d_o$	$0 < d_o < f$	6

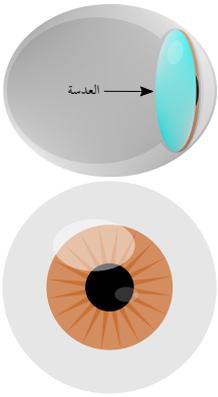
جدول 12.4: حالات تكون الصور في العدسات المحدبة 2

12.3.2 العدسات المقعرة

العدسات المقعرة تسمى بهذا الاسم لأن سطحها مقعر إلى الداخل وتسمى أيضا بالعدسات المفرقة لأنها تعمل على تفريق الضوء وتشتيته، وعند وضع جسم أمام العدسة المقعرة تتكون له صورة لا تختلف في صفاتها ولا تتغير بتغير موضع الجسم، فهي دائما خيالية ومعتدلة ومصغرة.

الرسم	صفات الصورة
	خيالية ومعتدلة ومكبرة

جدول 12.5: حالات تكون الصور في العدسات المقعرة



شكل 12.11: العين

12.3.3 تطبيقات على العدسات

تستخدم العدسات بشكل واسع في حياتنا اليومية، فالعدسات المحدبة تستخدم في النظارة الطبية (طول النظر) والكاميرا والبروجيكتور والعدسة المكبرة المفردة وعدسات مصابيح بعض السيارات، كما تستخدم في التلسكوب والمجهر وعين الإنسان، أما العدسات المقعرة فتستخدم في النظارة الطبية (قصر النظر) وخطوط المساحة الليزرية.



عدسة مكبرة



عدسة محدبة

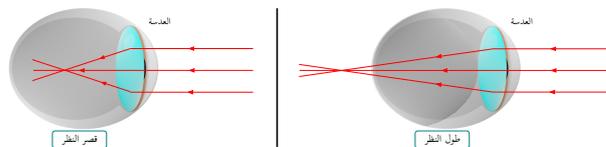
شكل 12.12: تطبيقات على العدسات

* طريقة علمية

كان الفيزيائي الحسن بن الهيثم يستخدم صندوقا لتكوين الصور داخله وسماه القمرة، ومنها اشتق مسمى الكاميرا

عين الإنسان

يدخل الضوء بداية من القرنية ثم يعبر من خلال العدسة وهي مرتبطة بعضلات هدية تتحكم بدرجة تحدبها، وأخيرا يسقط الضوء على الشبكية وهي طبقة حساسة للضوء مكونة نوعين من الأجسام الحساسة لها شكل قضبان ومخاريط. الأول يستقبل الصورة الضوء بالأبيض والأسود والثانية تستقبل الألوان.



شكل 12.13: عيوب النظر

طول النظر ناتج عن ضعف العدسة (نقص تحدب) ولهذا تقويها بإضافة نظارة طبية بعدسة محدبة، أما قصر النظر فينتج عن قوة العدسة (زيادة تحدب) ولهذا نضعفها بإضافة نظارة طبية بعدسة مقعرة. وتوجد طرق علاج طبية أخرى منها الجراحة.

12.4 القانون العام للعدسات والمرايا

سمي بالقانون العام لأنه يشمل العدسات والمرايا، ويتميز بالسهولة إذا تم التعويض بشكل جيد.

$$\frac{1}{f} = \frac{1}{d_o} + \frac{1}{d_i} \quad (12.4)$$

حيث f البعد البؤري، d_o بعد الجسم عن مركز العدسة أو المرآة، d_i بعد الصورة عن مركز العدسة أو المرآة.

ويجب وضع الإشارة الصحيحة أثناء التعويض في القانون حسب الجدول التالي:

d_i		d_o		f		
-	+	-	+	-	+	
صورة خيالية	صورة حقيقية	جسم خيالي	جسم حقيقي		دائما	عدسة محدبة
دائما		جسم خيالي	جسم حقيقي	دائما		عدسة مقعرة
دائما		جسم خيالي	جسم حقيقي	دائما		مرآة محدبة
صورة خيالية	صورة حقيقية	جسم خيالي	جسم حقيقي		دائما	مرآة مقعرة

جدول 12.6: إشارات القانون العام للعدسات والمرايا

12.4.1 قانون التكبير للعدسات والمرايا

$$A = \frac{-d_i}{d_o} = \frac{h_i}{h_o} \quad (12.5)$$

حيث A تكبير الصورة، h_o ارتفاع الجسم، h_i ارتفاع الصورة، والإشارة السالبة في القانون تدل على أن الصورة مقلوبة.

$A < 1$	$A = 1$	$A > 1$
الصورة مصغرة	الصورة مساوية للجسم	الصورة مكبرة

جدول 12.7: قيم تكبير العدسة

مثال 12.4.90 السؤال

$$\frac{1}{d_i} = \frac{3}{20}$$

$$d_i = \frac{20}{3} = 6.66 \text{ cm}$$

إذا وضع جسم على بعد 10 سنتيمتر من عدسة محدبة بعدها البؤري 4 سنتيمتر، فأوجد بعد الصورة وتكبيرها؟

الحل

تعيين المعطيات: $f = 4 \text{ cm}$ ، $d_o = 10 \text{ cm}$

التطبيق:

$$A = -\frac{d_i}{d_o} \quad (\text{حساب تكبير الصورة})$$

$$\frac{1}{f} = \frac{1}{d_o} + \frac{1}{d_i} \quad (\text{حساب بعد الصورة})$$

$$A = -\frac{6.66}{10} = -0.66$$

$$\frac{1}{4} = \frac{1}{10} + \frac{1}{d_i}$$

النتيجة: أي أن الصورة مصغرة وتبعد 6.66 سنتيمتر، والإشارة السالبة تدل على أنها مقلوبة.

$$\frac{1}{d_i} = \frac{1}{4} - \frac{1}{10}$$

* ومضة

- لحل المسألة:
- حدد المعطيات.
- اكتب الرمز فوق المعطيات.
- حدد المعادلة المناسبة.
- عوض بهدوء ولا تتعجل.

مثال 12.4.91 السؤال

يقف رجل على بعد 3 أمتار من عدسة مقعرة بعدها
البؤري 200 سنتيمتر ، فأوجد بعد الصورة عن العدسة
وتكبيرها؟

الحل

تعيين المعطيات: $f=2m$ ، $d_o=3m$

التطبيق:

$$A = -\frac{d_i}{d_o} \quad (\text{حساب تكبير الصورة})$$

$$A = -\frac{6}{3} = -2$$

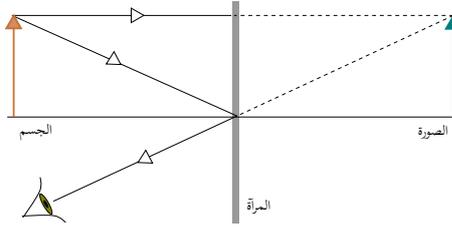
$$\frac{1}{2} = \frac{1}{3} + \frac{1}{d_i} \quad (\text{حساب بعد الصورة})$$

$$\frac{1}{d_i} = \frac{1}{2} - \frac{1}{3}$$

النتيجة: أي أن الصورة مكبرة وتبعد 6 سنتيمتر ،
والإشارة السالبة تدل على أنها مقلوبة.

المرايا هي اسطح عاكسيها عالية، وتنقسم إلى نوعين:

- (1) المرايا المستوية (2) المرايا الكروية



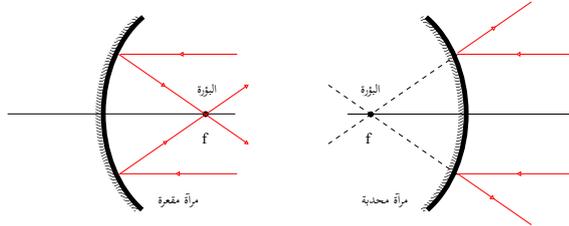
شكل 12.14: الصورة في المرآة المستوية

المرايا المستوية هي مرايا مسطحة تعكس الضوء الساقط عليها بحيث تتميز الصورة بأنها:

- (1) طول الصورة مساوي لطول الجسم الأصلي .
- (2) الصورة الناتجة معتدلة رأسيا، ومقلوبة أفقيا .
- (3) المسافة بين الصورة والمرآة والمسافة بين الجسم والمرآة متساويتان .

12.5 المرايا الكروية

المرايا الكروية هي أسطح مصقولة كروية الشكل وعاكسيها عالية، فإذا كان تكور السطح إلى الداخل فإننا نسميها مرآة مقعرة وإذا كان تكور السطح إلى الخارج نسميها مرآة محدبة.



شكل 12.15: أنواع المرايا

12.5.1 المرايا المقعرة

المرايا المقعرة تسمى بهذا الاسم لأن سطحها مقعر ومنحني إلى الداخل وتسمى أيضا بالمرايا المجمعة لأنها تعمل على تجميع الضوء وتركيزه في البؤرة، وعند وضع جسم أمام المرآة المقعرة تتكون له صورة تختلف في موضعها واعتدالها وحقيقتها بحسب موضع الجسم، لهذا يتم وصف حالة الصورة بثلاث صفات (صفة واحدة من كل عمود في الجدول التالي):

* مكبرة: الصورة أكبر من الجسم، مصغرة: الصورة أصغر من الجسم، مساوية: الصورة تساوي الجسم، مقلوبة: اتجاه رأس الصورة عكس اتجاه رأس الجسم، معتدلة: رأس الصورة في اتجاه رأس الجسم، حقيقية: يمكن استقبال الصورة على حائل ورقي (هندسيا الجسم والصورة معا في يمين أو يسار المرآة)، خيالية: لا يمكن استقبال الصورة على حائل (هندسيا المرآة بين الجسم والصورة).

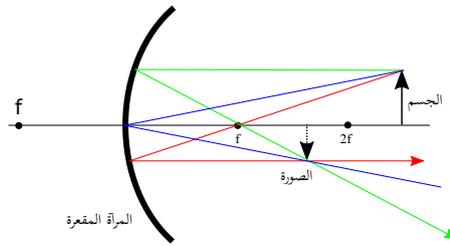
لرسم الصور في المرايا المقعرة نحتاج إلى رسم خطين على الأقل من ثلاثة خطوط:

- (1) خط يخرج من رأس الجسم وينعكس عن قطب المرآة بزواية مساوية لزواية السقوط.
- (2) خط يخرج من رأس الجسم ويمر بالبؤرة وينعكس مواز لمحور المرآة.
- (3) خط يخرج من الرأس ويسير مواز لمحور المرآة وينعكس ماراً بالبؤرة.

* طريقة علمية

يمكن استخدام قاعدة علب المشروبات الغازية لإشعال النار، فهي مرايا مقعرة تجمع ضوء الشمس في البؤرة.

شكل 12.16: رسم الصورة في المرآة المقعرة



حالات تكون الصور في المرايا:

الصفة الأولى	الصفة الثانية	الصفة الثالثة
حقيقية	مقلوبة	مكبرة
خيالية	معدلة	مساوية
-	-	مصغرة

جدول 12.8: صفات الصورة

الرسم	صفات الصورة	الصورة	الجسم	
	حقيقية ومقلوبة ومصغرة	$d_i = f$	$d_o \rightarrow \infty$	1
	حقيقية ومقلوبة ومصغرة	$f < d_i < 2f$	$d_o > 2f$	2
	حقيقية ومقلوبة ومساوية	$d_o = 2f$	$d_o = 2f$	3
	حقيقية ومقلوبة ومكبرة	$d_i > 2f$	$f < d_o < 2f$	4
	حقيقية ومقلوبة ومكبرة	$d_i \rightarrow \infty$	$d_o = f$	5
	خيالية ومعدلة ومكبرة	خلف المرآة	$0 < d_o < f$	6

جدول 12.9: حالات تكون الصور في المرايا المقعرة

12.5.2 المرايا المحدبة

المرايا المحدبة تسمى بهذا الاسم لأن سطحها محدب إلى الخارج وتسمى أيضا بالمرايا المفرقة لأنها تعمل على تفريق الضوء وتشثيته، وعند وضع جسم أمام المرآة المحدبة تتكون له صورة لا تختلف في صفاتها ولا تتغير بتغير موضع الجسم، فهي دائما خيالية ومعدلة ومصغرة.

الرسم	صفات الصورة
	خيالية ومعتدلة ومضغرة

جدول 12.10: حالات تكون الصور في المرايا المحدبة

12.5.3 تطبيقات على المرايا

تستخدم المرايا في حياة الإنسان منذ آلاف السنين وحتى قبل اختراع المرايا الزجاجية المبطنة بالفضة، فارتبطت المرآة بالمرأة على مر العصور، أما أقدم الاستخدامات المذكورة في التاريخ - إن صححت تاريخيا - فهو بلا شك فانار الإسكندرية (إحدى عجائب الدنيا السبع القديمة)، حيث تم وضع مرآة مقعرة كبيرة على قمة الفانار، وحين تقترب سفينة من الميناء توجه المرآة باتجاه السفينة لكي يتجمع الضوء عليها وتحترق.

أيضا تستخدم المرايا المقعرة في محطات توليد الكهرباء من الشمس، وفي أطباق استقبال الأقمار الصناعية، وأطباق الطبخ بحرارة الشمس وخلفيات الكشافات ومصابيح السيارات، أما المرايا المحدبة تستخدم في المرايا الجانبية للسيارة، وتوضع في المنعطفات لكي تسمح للسائقين برؤية السيارات القادمة من الشارع الجانبي.



شكل 12.17: مرآة مصباح الطبيب

12.6 القانون العام للعدسات والمرايا

سمي بالقانون العام لأنه يشمل العدسات والمرايا، ويتميز بالسهولة إذا تم التعويض بشكل جيد.

$$\frac{1}{f} = \frac{1}{d_o} + \frac{1}{d_i} \quad (12.6)$$

حيث f البعد البؤري، d_o بعد الجسم عن مركز العدسة أو المرآة، d_i بعد الصورة عن مركز العدسة أو المرآة.

ويجب وضع الإشارة الصحيحة أثناء التعويض في القانون حسب الجدول التالي:

d_i		d_o		f		
-	+	-	+	-	+	
صورة خيالية	صورة حقيقية	جسم خيالي	جسم حقيقي		دائما	عدسة محدبة
دائما		جسم خيالي	جسم حقيقي	دائما		عدسة مقعرة
دائما		جسم خيالي	جسم حقيقي	دائما		مرآة محدبة
صورة خيالية	صورة حقيقية	جسم خيالي	جسم حقيقي		دائما	مرآة مقعرة

جدول 12.11: إشارات القانون العام للعدسات والمرايا

الصورة الحقيقية يمكن استقبالها على شاشة، بينما الصورة الخيالية لا يمكن استقبالها على شاشة.

12.6.1 قانون التكبير للعدسات والمرايا

يتم حساب نسبة تكبير طول الصورة إلى طول الجسم في العدسات والمرايا بحسب القانون التالي.

$$A = \frac{-d_i}{d_o} = \frac{h_i}{h_o} \quad (12.7)$$

حيث A تكبير الصورة، h_o ارتفاع الجسم، h_i ارتفاع الصورة، والإشارة السالبة في القانون تدل على أن الصورة مقلوبة.

$A < 1$	$A = 1$	$A > 1$
الصورة مصغرة	الصورة مساوية للجسم	الصورة مكبرة

جدول 12.12: قيم تكبير العدسة

مثال 12.6.92 السؤال

بعدها البؤري 200 سنتيمتر، فأوجد بعد الصورة عن المرآة وتكبيرها؟

الحل

تعيين المعطيات: $d_o = 3m$ ، $f = 2m$

التطبيق:

$$\frac{1}{2} = \frac{1}{3} + \frac{1}{d_i} \quad (\text{بعد الصورة})$$

$$\frac{1}{d_i} = \frac{1}{2} - \frac{1}{3}$$

$$\frac{1}{d_i} = \frac{1}{6}$$

$$d_i = \frac{6}{1} = 6m$$

$$A = -\frac{d_i}{d_o} \quad (\text{تكبير الصورة})$$

$$A = -\frac{6}{3} = -2$$

النتيجة: أي أن الصورة مكبرة وعلى بعد 6 متر، والإشارة السالبة تدل على أنها مقلوبة.

1- إذا وضع جسم على بعد 10 سنتيمتر من عدسة محدبة بعدها البؤري 4 سنتيمتر، فأوجد بعد الصورة وتكبيرها؟

الحل

تعيين المعطيات: $d_o = 10cm$ ، $f = 4cm$

التطبيق:

$$\frac{1}{f} = \frac{1}{d_o} + \frac{1}{d_i} \quad (\text{بعد الصورة})$$

$$\frac{1}{4} = \frac{1}{10} + \frac{1}{d_i}$$

$$\frac{1}{d_i} = \frac{1}{4} - \frac{1}{10}$$

$$\frac{1}{d_i} = \frac{3}{20}$$

$$d_i = \frac{20}{3} = 6.66cm$$

$$A = -\frac{d_i}{d_o} \quad (\text{تكبير الصورة})$$

$$A = -\frac{6.66}{10} = -0.66$$

النتيجة: أي أن الصورة مصغرة وعلى بعد 6.66 سنتيمتر، والإشارة السالبة تدل على أنها مقلوبة.

2- يقف رجل أمام على بعد 3 أمتار من مرآة مقعرة

* ومضة

لحل المسألة:

- حدد المعطيات.

- اكتب الرمز فوق المعطيات.

- حدد المعادلة المناسبة.

- عرض بهدوء ولا تتعجل.

12.7 التدريبات

4- الصورة في المرايا المحدبة تكون:

(أ) مكبرة (ج) مساوية

(ب) مصغرة ✓ (د) لا توجد صورة

5- تضخيم الضوء بواسطة الانعكاس المحرض للأشعة هو:

(أ) الأشعة السينية (ج) تحليل الضوء

(ب) الليزر ✓ (د) تجميع الضوء

6- يحدث الانعكاس الكلي الداخلي للضوء عندما تكون زاوية السقوط الزاوية الحرجة:

(أ) أكبر من ✓ (ج) تساوي

(ب) أصغر من (د) أصغر أو تساوي

7- في تكون الصورة وهمية (خيالية) ومعكوسة جانبياً وطول الصورة مساوي لطول الجسم:

(أ) المرآة المستوية ✓ (ج) العدسة المحدبة

(ب) المرآة المحدبة (د) العدسة المقعرة

8- على أي بعد يجب أن نضع جسم أمام مرآة مقعرة بعدها البؤري 10cm لكي تتكون لها صورة على بعد 12cm ؟

(أ) 12cm ✓ (ج) 2cm

(ب) 22cm (د) 1.2cm

9- إذا تكونت صورة على بعد 30cm من عدسة محدبة، ومكبرة 3 مرات، احسب بعد الجسم ؟

(أ) 10cm ✓ (ج) 33cm

(ب) 90cm (د) 27cm

10- وضع جسم على بعد 4cm من عدسة محدبة فتكونت له صورة حقيقية على بعد 4cm ، احسب البعد البؤري ؟

(أ) 2cm ✓ (ج) 8cm

(ب) 16cm (د) 6cm

11- جسم طوله 2cm موضوع أمام مرآة تكبيرها 10 مرات، احسب طول الصورة ؟

(أ) 20cm ✓ (ج) 8cm

(ب) 12cm (د) 5cm

1- سقط شعاع ضوئي من الهواء إلى الماء بزاوية 32° درجة، أوجد زاوية الانكسار؟

الحل

تعيين المعطيات: $n_2=1.33$ ، $\theta_1=32^\circ$ ، $n_1=1$
التطبيق:

$$\frac{n_1}{n_2} = \frac{\sin\theta_2}{\sin\theta_1}$$

$$\sin\theta_2 = \frac{n_1 \sin\theta_1}{n_2}$$

$$\theta_2 = \sin^{-1}\left(\frac{1 \times \sin 32^\circ}{1.33}\right)$$

$$\theta_2 = 44.813^\circ$$

2- إذا وضع جسم على بعد 12 سنتيمتر من عدسة محدبة بعدها البؤري 7 سنتيمتر، فأوجد بعد الصورة وتكبيرها ؟

الحل

تعيين المعطيات: $f=7\text{cm}$ ، $d_o=12\text{cm}$
التطبيق:

$$\frac{1}{f} = \frac{1}{d_o} + \frac{1}{d_i}$$

$$\frac{1}{7} = \frac{1}{12} + \frac{1}{d_i}$$

$$\frac{1}{d_i} = \frac{1}{7} - \frac{1}{12}$$

$$\frac{1}{f} = \frac{5}{84}$$

$$d_i = \frac{84}{5} = 16.8\text{cm}$$

$$A = -\frac{d_i}{d_o}$$

$$A = -\frac{16.8}{12} = -1.4$$

3- يقف رجل أمام على بعد 35 سنتيمتر من مرآة مقعرة بعدها البؤري 9 سنتيمتر، فأوجد بعد الصورة عن المرآة وتكبيرها؟

الحل

تعيين المعطيات: $f=9\text{cm}$ ، $d_o=35\text{cm}$
التطبيق:

$$\frac{1}{9} = \frac{1}{35} + \frac{1}{d_i}$$

$$\frac{1}{d_i} = \frac{1}{9} - \frac{1}{35}$$

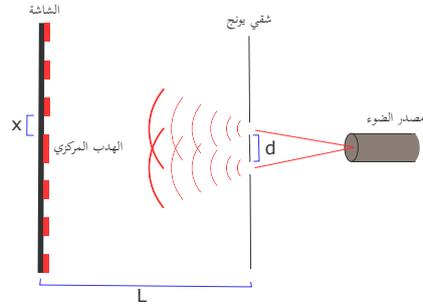
$$\frac{1}{d_i} = \frac{26}{315}$$

$$d_i = \frac{315}{26} = 12.11\text{m}$$

$$A = -\frac{d_i}{d_o}$$

$$A = -\frac{12.11}{35} = -0.34$$

- 12- الانعكاس الذي ينتج صورة خيالية معتدلة، يكون في :
 (ا) المحدبة ✓ (ج) المستوية
 (ب) المقعرة (د) المتموجة
- 13- أوجد بعد جسم موضوع أمام مرآة مقعرة بعدها البؤري 11cm وتعطي صورة على بعد 12cm :
 (ا) عدسة مقعرة (ب) مرآة مقعرة
 (ج) مرآة محدبة ✓ (د) مرآة مقعرة
- 15- إذا كان تكبير المرآة 5 مرات، وطول الجسم 8cm فإن طول الصورة ؟
 (ا) 13cm (ب) 40cm ✓
 (ج) 1.6cm (د) 0.625cm
- 16- الشعاع الذي يسير مواز لمحور مرآة مقعرة، ينعكس عنها ؟
 (ا) مارا بالبؤرة ✓ (ج) مواز للمحور
 (ب) مارا بمركز التكور (د) مارا بقطب المرآة
- 14- المرايا التي تستخدم في جوانب السيارات ؟
 (ا) 23cm (ج) 1cm
 (ب) 132cm ✓ (د) 1.1cm



- أنواع الضوء
- التداخل والحيود
- معيار ريليه



13.1 التداخل

الضوء هو عبارة عن موجات كهرومغناطيسية، ولهذا فإن هذه الموجات حين تلتقي يحدث لها اندماج أو تداخل، ويكون هذا التداخل بناء أو هدام. وهذا التداخل يتأثر بشكل ونوع الوسط الذي تتحرك فيه الموجات الضوئية.

13.1.1 أنواع الضوء

الضوء المترابط: هو ضوء ذو مقدمات موجية متزامنة ويكون ذو خاصية تباعد انتشار منخفضة.
الضوء غير المترابط: هو ضوء ذو مقدمات موجية غير متزامنة.

تداخل الضوء المترابط تداخل الضوء المترابط ينتج أهداب لونية تختلف باختلاف نوع اللون المستخدم، لكنها تتفق في كونها مكونة من أهداب تداخل، وهي أهداب مضيئة (تداخل بناء) وأهداب مظلمة (تداخل هدام).

نوع الضوء	الهدب المركزي	الأهداب الأخرى
أحادي اللون	نفس اللون	نفس اللون
أبيض	أبيض	ألوان الطيف

جدول 13.1: تداخل الضوء المترابط



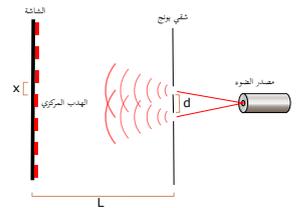
شكل 13.1: الأهداب

13.1.2 تجربة يونج

قام يونج بتجربة لإثبات الطبيعة الموجية للضوء وتوصل إلى أن الضوء يتداخل محدثاً أهداب مضيئة وأهداب مظلمة، أي أن الضوء ذو طبيعة موجية.

$$m\lambda = \frac{xd}{L} \quad (13.1)$$

حيث λ الطول الموجي، x المسافة بين الهدب المركزي والهدب الأول المضيء، d المسافة بين الشقين، L المسافة بين الشقين واللوحه التي تظهر عليها الأهداب، m رقم الهدب (المركزي $m=0$).



شكل 13.2: تجربة يونج

مثال 13.1.93 السؤال

$$m\lambda = \frac{xd}{L}$$

$$x = \frac{5 \times 10^{-7} \times 1}{2 \times 10^{-5}}$$

$$= 0.025m$$

إذا تم إجراء تجربة يونج باستخدام ضوء طول موجي $5 \times 10^{-7}m$ ووضعت الشاشة على بعد $1m$ وكانت المسافة بين شقي يونج $2 \times 10^{-5}m$ فاحسب بعد الهدب المضيء الأول عن الهدب المركزي؟

الحل

تعيين المعطيات: $L=1m$ ، $\lambda=5 \times 10^{-7}m$ ، $d=2 \times 10^{-5}m$

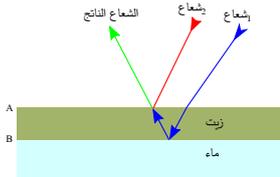
النتيجة: بعد الهدب المضيء الأول عن الهدب المركزي يساوي 0.025 متر.

التطبيق:

13.1.3 التداخل في الأغشية الرقيقة

وهي أغشية رقيقة من مادة شفافة تُحدث تداخل بناء أو هدام للضوء الساقط عليها، حيث ينعكس جزء من الضوء على السطح A كما في الرسم التوضيحي، وجزء ينفذ من السطح A وينعكس على السطح B ثم يخترق السطح A ويعود مرة أخرى للهواء، وإذا انطبق هذا الشعاع الخارج للهواء مع الشعاع الأول المنعكس عن A فإنه ينتج تداخل بناء أو هدام بناء على سمك الغشاء ومعامل انكساره. مثل رؤيتنا للألوان المتموجة والبراقة على غشاء رقيق من الزيت يطفو على الماء أو على أجنحة بعض الحشرات مثل فراشة مورفو وتغير ألوان الحرياء، ويمكن استخدام التداخل البناء في الأغشية الرقيقة في صنع أسطح لامعة متوهجة كما يمكن استخدام التداخل الهدام في صنع ملابس عسكرية أو أسطح خفية للطائرات.

الطول الموجي في الوسط



شكل 13.3: التداخل في الأغشية

$$\lambda_f = \frac{\lambda_0}{n} \quad (13.2)$$

حيث λ_f الطول الموجي في الوسط، λ_0 الطول الموجي في الفراغ، n معامل انكسار الوسط.

حساب سمك التداخل البناء

$$d = \frac{a\lambda_f}{4} \quad \text{حيث } a = 1, 3, 5, \dots \quad (13.3)$$

حساب سمك التداخل الهدام

$$d = \frac{a\lambda_f}{2} \quad \text{حيث } a = 1, 2, 3, \dots \quad (13.4)$$

حيث λ الطول الموجي، a ترتيب السمك، d سمك الغشاء.

مثال 13.1.94 السؤال

$$\lambda_{\text{الوسط}} = \frac{\lambda_{\text{الفراغ}}}{n_{\text{الوسط}}} = \frac{500 \times 10^{-9}}{1.45} = 344.82 \times 10^{-9} \text{ m}$$

$$d_{\text{السمك}} = \frac{\lambda_{\text{الوسط}}}{4} = \frac{344.82 \times 10^{-9}}{4} = 86.2 \times 10^{-9} \text{ m}$$

النتيجة: أقل سمك ينتج تداخل تعمييري 86.2×10^{-9} متر.

أوجد أقل سمك لغشاء رقيق من الزيت معامل انكساره 1.45 لكي ينتج تداخل تعمييري لشعاع ضوئي طوله الموجي في الفراغ 500 nm ؟

الحل

تعيين المعطيات: $\lambda = 5 \times 10^{-7} \text{ m}$ ، $n = 1.45$

التطبيق:

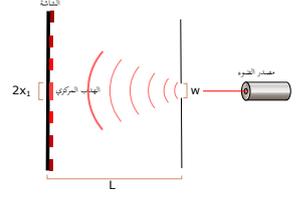
وعند انعكاس الضوء عن وسط معامل انكساره أكبر من الوسط الأول فإن موجة الضوء تنقلب، والعكس صحيح.
 - معامل الانكسار الوسط > 1 معامل انكسار الوسط < 2 تنقلب الموجة عند انعكاسها.
 - معامل الانكسار الوسط < 1 معامل انكسار الوسط > 2 لا تنقلب الموجة عند انعكاسها.

13.1.4 حيود الشق الأحادي

عند مرور الضوء من خلال شق أحادي فإنه ينتج لدينا أهداب مضيئة وأهداب مظلمة.

$$2x_1 = \frac{2\lambda L}{w} \quad (13.5)$$

حيث λ الطول الموجي، $2x_1$ عرض الهدب المركزي المضيء، w عرض الشق، L المسافة بين الشق واللوحه التي تظهر عليها الأهداب.



شكل 13.4: حيود الشق الأحادي

مثال 13.1.95 السؤال

التطبيق:

$$2x_1 = \frac{2\lambda L}{w}$$

$$= \frac{2 \times 400 \times 10^{-9} \times 1}{7 \times 10^{-5}}$$

$$= 0.011m$$

النتيجة: عرض الهدب المركزي يساوي 0.011 متر.

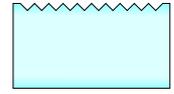
في تجربة الشق الأحادي استخدمنا شعاع ضوئي طوله الموجي $400 \times 10^{-9}m$ ليتمر من خلال شق عرضه $7 \times 10^{-5}m$ ، أوجد عرض الهدب المركزي المتكون على شاشة تقع على بعد 1 متر؟

الحل

تعيين المعطيات: $w=7 \times 10^{-5}m$ ، $\lambda=400 \times 10^{-9}m$ ، $L=1m$ ، $10^{-5}m$

13.1.5 محزوز الحيود

هو سطح شفاف يحتوي على عدد كبير من الأخاديد الدقيقة المتوازية. أنواع محزوز الحيود:



شكل 13.5: محزوز الحيود

- محزوز النفاذ هو سطح شفاف به عدد كبير من الأخاديد الدقيقة والمتوازية.
- محزوز غشائي هو غشاء من مادة لدائنية يلصق على محزوز نفاذ إلى أن تنطبع صورة محفورة من المحزوز الأصلي عليه، و يتميز برخص ثمنه.
- محزوز الانعكاس هو سطح عاكس (معدني أو زجاجي عاكس) به عدد كبير من الأخاديد الدقيقة والمتوازية وعلى سطحه طبقة حماية من مادة شفافة. مثل قرص DVD .



شكل 13.6: قرص DVD

$$m\lambda = d \sin \theta \quad (13.6)$$

حيث λ الطول الموجي، d المسافة بين الشقين، θ الزاوية بين وسط الهدب المركزي والهدب المضيء الأول، m رقم الهدب (المركزي) $(m=0)$.

مثال 13.1.96 السؤال

$$= 6.94 \times 10^{-7}m$$

$$N = \frac{1}{d} \quad (\text{الشقوق في المتر})$$

$$= \frac{1}{4 \times 10^{-6}}$$

$$= 25 \times 10^4$$

النتيجة: الطول الموجي يساوي 6.94×10^{-7} متر.

في تجربة محزوز الحيود، استخدمنا محزوز البعد بين كل شقين $4 \times 10^{-6}m$ فتكون الهدب المضيء الأول بزاوية 10° ، احسب الطول الموجي للضوء الأحادي المستخدم ثم احسب عدد الشقوق؟

الحل

تعيين المعطيات: $d=4 \times 10^{-6}m$ ، $\theta=10^\circ$

التطبيق:

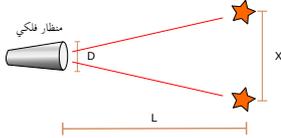
$$m\lambda = d \sin \theta \quad (\text{الطول الموجي})$$

$$\lambda = 4 \times 10^{-6} \times \sin 10$$

من أهم استخدامات محزوز الحيود، استخدامه في جهاز التعرف على نوع الغاز بتحليل طيفه، حيث يستخدم كبديل للمنشور.

13.1.6 معيار ريليه

معيار ريليه ينص على أنه إذا سقطت البقعة المضيئة لصوره أحد النجمين على الحلقة المعتمدة الأولى للنجم الثاني تكون صورتان في حدود التمييز.



شكل 13.7: معيار ريليه

$$x = \frac{1.22\lambda L}{D} \quad (13.7)$$

حيث λ الطول الموجي، x المسافة بين النجمين أو الجسمين، L بعد الجسمين عن المنظار، D قطر فتحة المنظار، 1.22 المعامل الهندسي.

مثال 13.1.97 السؤال

$$\begin{aligned} x &= \frac{1.22\lambda L}{D} \\ &= \frac{1.22 \times 5 \times 10^{-7} \times 370 \times 10^3}{2.43} \\ &= 9.3 \times 10^{-2} m \end{aligned}$$

النتيجة: المسافة الفاصلة بين الجسمين 9.3×10^{-2} متر.

جسيما مضيئان على بعد 370 km يصدران ضوءاً طوله الموجي $5 \times 10^{-7} \text{ m}$ ، تم رصدهما من مقراب قطر فتحة 2.43 m ، احسب المسافة الفاصلة بين الجسمين؟

الحل

تعيين المعطيات: $L = 370 \text{ km}$ ، $\lambda = 5 \times 10^{-7} \text{ m}$ ، $D = 2.43 \text{ m}$

التطبيق:

13.2 التدريبات

4- ترتيب السمك a في قانون التداخل البناء في الأغشية الرقيقة يكون ؟

- (أ) أي عدد حقيقي
 (ب) أي عدد طبيعي
 (ج) أي عدد فردي ✓
 (د) أي عدد زوجي

5- عند حدوث تداخل للضوء الأبيض فإن هدبه المركزي يكون ؟

- (أ) أحمر
 (ب) أسود
 (ج) أبيض ✓
 (د) بنفسجي

6- ضوء مصباحي سيارة طوله الموجي $5 \times 10^{-7} m$ كم أبعد مسافة تسمح لعين الإنسان برؤية المصباحين منفصلين، حيث قطر بؤبؤ العين $3 \times 10^{-3} m$ ، والمسافة بين المصباحين $1.2 m$ ؟

الحل
 تعيين المعطيات: $D=3 \times 10^{-3} m$ ، $\lambda=4 \times 10^{-7} m$ ،
 $x=1.2 m$
 التطبيق:

$$x = \frac{1.22\lambda L}{D}$$

$$1.2 = \frac{1.22 \times 5 \times 10^{-7} \times L}{3 \times 10^{-3}}$$

$$L = 5901 m$$

1- في تجربة الشق الأحادي استخدمنا شعاع ضوئي طوله الموجي $560 \times 10^{-9} m$ ليمر من خلال شق عرضه $6 \times 10^{-5} m$ ، أوجد عرض الهدب المركزي المتكون على شاشة تقع على بعد 1 متر؟

الحل

تعيين المعطيات: $w=6 \times 10^{-5} m$ ، $\lambda=560 \times 10^{-9} m$ ،
 $L=1$ ،
 التطبيق:

$$2x_1 = \frac{2\lambda L}{w}$$

$$= \frac{2 \times 560 \times 10^{-9} \times 1}{6 \times 10^{-5}}$$

$$= 0.0187 m$$

2- في تجربة يونج استخدم ضوء طوله الموجي $4 \times 10^{-7} m$ وكانت المسافة بين شقي يونج $2 \times 10^{-5} m$ ، فتكون الهدب المضيء الأول على بعد $0.03 m$ ، احسب المسافة بين الشقين والشاشة؟

الحل

تعيين المعطيات: $d=2 \times 10^{-5} m$ ، $\lambda=4 \times 10^{-7} m$ ،
 $x=0.03 m$
 التطبيق:

$$m\lambda = \frac{xd}{L}$$

$$L = \frac{xd}{m\lambda}$$

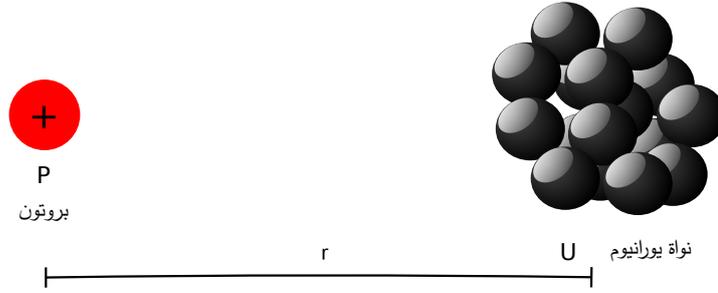
$$= \frac{0.03 \times 2 \times 10^{-5}}{1 \times 4 \times 10^{-7}}$$

$$= 1.5 m$$

3- لون فراشة المورفو ناتج عن:

- (أ) التداخل في الأغشية الرقيقة ✓
 (ج) حيود الشق الأحادي

- (ب) تداخل يونج (د) محزوز الحيود



- دراسة مكونات الذرة
- الإلكترونات والمواد
- شحنة الإلكترون



في موسم هطول الأمطار نشاهد البرق ينزل من السماء فمن أين جاء؟! وحين ندلك المسطرة البلاستيكية ثم نقرها من قصاصات ورقية صغيرة نلاحظ التصاقهن بها؟! وإذا سألنا الطبيب الجراح ماذا يلبس في قدميه أثناء إجراءه للعملية الجراحية؟ ستكون اجابته: جوارب بها شرائح معدنية (الألمونيوم)؟! إن البرق هو عبارة عن شحنات كهربائية ساكنة والمسطرة تجذب قصاصات الورق لأنها مشحونة بشحنة كهربائية ساكنة، والجراح يلبس الجوارب التي بها شرائح الألمونيوم لتفريغ أي شحنات كهربائية ساكنة قد تتجمع على جسمه أو ملابسه. فما هي الكهرباء الساكنة وماذا نستفيد منها؟

لقد عرف الإنسان الكهرباء الساكنة منذ القدم فقد لاحظ اليونانيون القدماء (الاغريق) أن الكهرمان¹ إذا ذلك يجذب القش، وسموا هذه الظاهرة الكهربائية وحيث أن الكهرمان باللغة اليونانية اسمه إلكترون *electron* لهذا سموها *electric*، واشتق العرب كلمة كهرباء من كلمة كهرمان.

14.1 الشحنات

14.1.1 مكونات الذرة

الذرة هي الوحدة الأساسية المكون للمادة، وتتكون

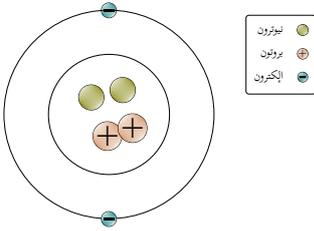
من :

1- نواة وتتكون النواة من :

• بروتونات (p^+) موجبة الشحنة

• نيوترونات (n) متعادلة الشحنة

2- إلكترونات (e^-) سالبة الشحنة

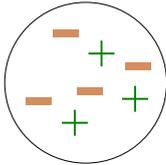


شكل 14.1: الذرة ومكوناتها

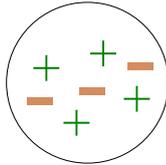
أنواع الشحنات

تنقسم الأجسام حسب شحنتها إلى ثلاثة أقسام :

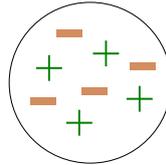
أجسام شحنتها سالبة: وهي التي يزيد عدد شحناتها السالبة عن الموجبة.
سالب الشحنة
 $3p(+)+4e(-) = -1$



أجسام شحنتها موجبة: وهي التي يزيد عدد شحناتها الموجبة عن السالبة.
موجب الشحنة
 $4p(+)+3e(-) = +1$



أجسام شحنتها متعادلة: يتساوى فيها عدد الشحنات الموجبة مع السالبة.
متعادل الشحنة
 $4p(+)+4e(-) = 0$



عند ذلك بعض الأجسام فإنها تصبح مشحونة

بشحنة موجبة مثل الصوف والزجاج، أو مشحونة بشحنة سالبة مثل البلاستيك والمطاط، وتنتج الشحنة الموجبة عن فقد الذرة لإلكترون أو أكثر بينما تنتج الشحنة السالبة عن اكتساب الذرة لإلكترون أو أكثر، أما إذا تساوى عدد الشحنات السالبة مع الموجبة فإن الجسم يكون متعادل الشحنة، إن عملية انتقال الإلكترونات من ذرة إلى أخرى تتطلب طاقة خارجية، ولهذا حين ندلك الزجاج بقطعة من الحرير فإن الطاقة الحركية لذلك تساعد إلكترونات الزجاج على الانتقال من الزجاج إلى الحرير، فيصبح الزجاج موجب الشحنة والحرير سالب الشحنة.

إن الشحنات المتشابهة تتنافر من بعضها، والشحنات المختلفة تتجاذب مع بعضها، ولهذا تقوم بعض مصانع السيارات باستخدام طريقة ذكية لطلاء السيارات حيث توصل السيارة بقطب سالب وتوصل رأس رش الطلاء بقطب موجب، فتخرج قطرات الطلاء وهي مشحونة بشحنة موجبة، عندها تنجذب تلقائياً إلى جسم السيارة السالب وتلتصق به، وبالتالي لن تجد قطرة طلاء واحدة تسقط على الأرض، وتستخدم الشحنات الساكنة في مكائن التصوير حيث تشحن بكرة الطباعة بشحنة مخالفة لشحنة مسحوق الحبر وهذا يجعله ينجذب للبكرة ويلتصق بها، فتضغطه على الورقة، ويستخدم أيضاً في تخصيب اليورانيوم (انظر فصل المفاعلات النووية في الكتاب)، كما يستخدم في الاستمطار حيث توضع مجموعة من الأبراج في المكان المطلوب، وعندما يجد الشخص المختص أن الشحنات الكهربائية في الهواء قد وصلت لدرجة معينة، يطلق شحنات كهربائية إضافية قوية من جميع الأبراج، وهذا يساعد على بدء نزول المطر بإذن الله.

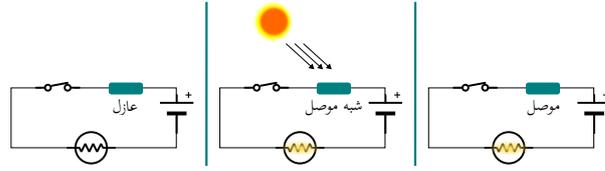


شكل 14.2: بالون سالب الشحنة يجذب الماء الموجب الشحنة [2]

¹الكهرمان حجر كريم عبارة عن صمغ الشجر المتحجر وقد يحتوي حفرات متحجرة.

14.1.2 الإلكترونات والمواد

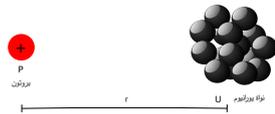
للإلكترونات مع المواد ثلاث حالات:



شكل 14.3: الموصلية الكهربائية في المواد

- 1) المواد الموصلة للكهرباء تتحرك فيها الإلكترونات بحرية وتتجمع عادة على سطحها.
- 2) المواد العازلة للكهرباء تبقى فيها الإلكترونات في مكانها.
- 3) المواد شبه الموصلة تكون حركة إلكتروناتها محدودة وترتبط عادة هذه الحركة بعوامل مثل الشوائب ودرجة الحرارة.

إن انتقال الإلكترونات وحركتها داخل المادة الموصلة كبير، ولذا يستخدم النحاس الموصل في التمديدات الكهربائية داخل المنازل وخارجها، وتستخدم أشباه الموصلات في الأجهزة الإلكترونية، لكن هذا لا يعني أن المادة العازلة لا توصل التيار الكهربائي مطلقاً، إن جميع المواد لها خاصية الموصلية ويقابلها العازلية الكهربائية، وكلما زادت العازلية زادت حاجتنا لطاقة وجهد كهربائي أكبر للتغلب عليها، فالهواء عازل للكهرباء لكن عازليته تنهار ويسمح بمرور البرق الكهربائي لأن فرق جهد البرق يتجاوز 3 ملايين فولت/متر.



شكل 14.4: القوة الكهروستاتيكية بين الأجسام المشحونة

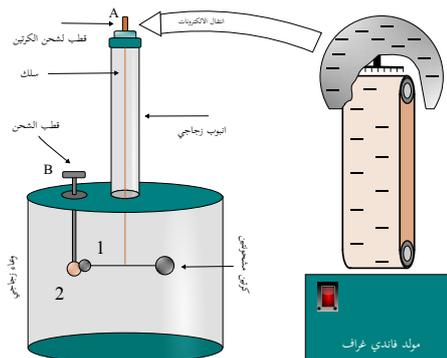
14.1.3 شحنة الإلكترون

إن شحنة الإلكترون الواحد تساوي $e^- = 1.6 \times 10^{-19} C$ ، والكولوم C هي وحدة الشحنة والتي تعادل شحنة 6.25×10^{18} إلكترون، وهي وحدة كبيرة لذا تستخدم الوحدات الأصغر مثل المايكرو كولوم $\mu C = 1 \times 10^{-6} C$. وهذه الشحنات تتنافر مع بعضها إذا كانت متشابهة وتنجذب لبعضها إذا كانت مختلفة، وتسمى القوة المسببة لهذا التجاذب والتنافر بالقوة الكهربائية.

14.1.4 قانون حفظ الشحنة

نصه إن مجموع الشحنة الكلية ثابت في أي عملية. أي أننا إذا حولنا الطاقة إلى جسيمات بناء على قانون اينشتاين $E=mc^2$ فإنه ينتج لدينا جسيم ومضاده واحدهما سالب والآخر موجب وبالتالي تبقى الشحنة الكلية كما هي، مثلاً إذا نتج إلكترون سالب فإنه ينتج بوزترون موجب وبالتالي تكون محصلة الشحنات $e^- + p^+ = 0$ ولو حدث العكس بحيث اندمج جسيمين متضادين مثل المادة وضديد المادة فإنه ينتج لدينا طاقة $E = e^- + p^+$ وتصبح محصلة الشحنة صفر لعدم وجود الجسيمات.

14.1.5 قانون كولوم



شكل 14.5: تجربة قانون كولوم

قام كولوم² بتجربته الشهيرة لدراسة تأثير الشحنة والمسافة بين جسمين على القوة المؤثرة بينهما. فقام أولاً بشحن الكرتين المعلقتين في وسط الجهاز باستخدام مولد فاندي غراف في النقطة A ، فأصبحت الكرة 1 مشحونة بشحنة سالبة، ثم قام بشحن الكرة 2 عن طريق القطب B ، فلاحظ أن الكرتين تتجاذب إذا كانت شحنة الكرة 2 موجبة، وتتنافر إذا كانت شحنتها سالبة، وهذا يعني أن الشحنات المتشابهة تتنافر والمختلفة تتجاذب. ثم أنتقل إلى مرحلة أدق في تجربته، فبدأ يزيد من مقدار الشحنة المستخدمة، فوجد أن التنافر أو التجاذب يزداد بزيادة الشحنة، أي أن القوة تتناسب طردياً مع الشحنة $F \propto q_1 q_2$ ، بعد ذلك قام بدراسة تأثير عامل المسافة بينهما، فوجد أن القوة تقل بزيادة المسافة بينهما، وهذا يعني أن التناسب بين القوة والمسافة تناسب عكسي $F \propto \frac{1}{r^2}$ ، وبمزيد من الدراسة توصل لقانونه المعروف باسمه.

قانون كولوم تتناسب القوة الكهروستاتيكية بين اثنين من نقاط الشحنات الكهربائية تناسباً طردياً مع حاصل ضرب الشحنتين ، وعكسياً مع مربع المسافة بينهما.

$$F = \frac{kq_1q_2}{r^2} \quad (14.1)$$

$$K = \frac{1}{4\pi\epsilon_0}$$

حيث F قوة التجاذب بين الشحنتين، $q_1 q_2$ شحنتي الجسمين، r المسافة بين مركزي الجسمين، k ثابت كولوم ويساوي $9 \times 10^9 N.m^2/C^2$.

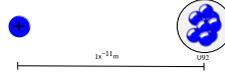
نلاحظ من القانون أن القوة الكهروستاتيكية تتناسب عكسياً مع المسافة بين الشحنتين، أي تزيد القوة بنقصان المسافة بينهما وتقل بزيادتها. وفي حالة وجود أكثر من شحنتين يتم إيجاد محصلة القوى بنفس طريقة إيجاد محصلة القوى العادية، فإذا كان بينهما زاوية قائمة نستخدم $F = \sqrt{F_1^2 + F_2^2}$ على مرحلتين، وإذا لم تكن الزاوية قائمة يتم إيجاد المحصلة بالتحليل.

مثال 14.1.98 السؤال

احسب قوة التنافر الناتجة عن قذف بروتون موجب باتجاه نواة ذرة اليورانيوم التي تحتوي 92 بروتون على اعتبار نواة اليورانيوم شحنة نقطية ، وذلك عندما كانت المسافة بينهما $1 \times 10^{-11} m$ ؟

الحل

تعيين المعطيات: $q_1 = q_2 = 1.6 \times 10^{-19} C$ ، $r = 1 \times 10^{-11} m$



التطبيق:

$$F = \frac{kq_1q_2}{r^2}$$

$$= \frac{9 \times 10^9 \times 92 \times 1.6 \times 10^{-19} \times 1.6 \times 10^{-19}}{(1 \times 10^{-11})^2}$$

$$= 2.1 \times 10^{-4} N$$

النتيجة: قوة التنافر بين البروتون ونواة ذرة اليورانيوم 2.1×10^{-4} نيوتن.

14.2 التدريبات

1- احسب قوة التجاذب الناتجة عن قذف إلكترون سالب باتجاه نواة ذرة البلوتونيوم التي تحتوي 94 بروتون على اعتبار نواة اليورانيوم شحنة نقطية ، وذلك عندما كانت المسافة بينهما $1.3 \times 10^{-11} m$ ؟

الحل

تعيين المعطيات: $r = 1.3 \times 10^{-11} m$
التطبيق:

$$F = \frac{kq_1q_2}{r^2}$$

$$= \frac{9 \times 10^9 \times 94 \times 1.6 \times 10^{-19} \times -1.6 \times 10^{-19}}{(1.3 \times 10^{-11})^2}$$

$$= -1.3633 \times 10^{-6} N$$

2- ما هي وحدة ثابت كولوم ؟

(أ) N (ج) N/m^2

(ب) N/m (د) $N.m^2/C^2$

3- إذا قمنا بتوجيه قضيب مشحون نحو ورقتي كشاف مشحونة، فانفجرت، هذا يدل على أن شحنتي الورقتين ؟

(أ) متشابهتين ✓ (ج) صفر

(ب) مختلفتين (د) متعادلتين

4- احسب القوة التي تؤثر بها شحنة مقدارها $4 \times 10^{-9} C$ على شحنة موجبة مقدارها $1 C$ وتبعد $1 m$ ؟ $F = \frac{kq_1q_2}{r^2}$

(أ) $36 N$ ✓ (ج) $4 N$

(ب) $6 N$ (د) $2 \times 10^{-9} N$

5- احسب القوة التي تؤثر بها أربع شحنات موضوعة في أركان مربع طول ضلعه $10 cm$ على نقطة في مركز المربع، حيث شحنة كل منها $13 \mu C$ ؟

(أ) $152 N$ (ج) $304 N$

(ب) $0 N$ ✓ (د) $608 N$

6- إذا كانت شحنة الجسم النقطة A تساوي $6 C$ و شحنة الجسم النقطة الثاني B تساوي $2 C$ فإن قوة التأثير بينهما ؟ (تذكر قانون نيوتن الثالث)

(أ) $F_A = -F_B$ ✓ (ج) $3F_A = -F_B$

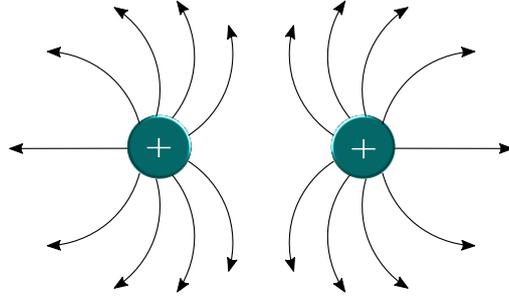
(ب) $F_A = -3F_B$ (د) 0

7- إذا اردنا زيادة القوة بين شحنتين نقطيتين فإننا ؟

(أ) نزيد الشحنة (ج) نقص الشحنة
ونزيد المسافة بينهما ونزيد المسافة بينهما

(ب) نزيد الشحنة (د) نقص الشحنة
ونقص المسافة بينهما ونقص المسافة بينهما

المجالات الكهربائية



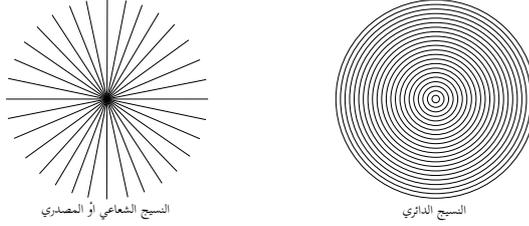
- شدة المجال الكهربائي
- قوة المجال الكهربائي
- السعة والمكثفات



15.1 المجال الكهربائي

المجال الكهربائي عبارة عن كمية فيزيائية لها مقدار واتجاه عند كل نقطة في الفضاء، وتكون هذه المجالات ثلاثية الأبعاد، لكن للتبسيط ترسم في بعدين، ويحتوي رسم كل مجال على ثلاث عناصر:

- مخطط المجال المتجهي: ويمثل بأسهم تختلف في أطوالها وألوانها.
- خطوط المجال: وهي خطوط تنحرف بتأثير حقل المجال عند كل نقطة على طول الخط ولا يمكن أن تتقاطع مع بعضها.
- بذور العشب: ويقصد بها نسيج من الأشرطة المتوازية في حقل المجال. [10]



شكل 15.1: نسيج المجال

وعلى الرغم من أننا لا نستطيع تحديد الاتجاه المطلق، إلا أنه يمكننا تحديد الاتجاه النسبي. مجال الجاذبية الأرضية مثال مشهور على المجالات، حيث يكون اتجاه قوة مجال الجاذبية الأرضية متجهها إلى مركز الأرض:

$$\vec{F}_g = -G \frac{Mm}{r^2} \hat{r} \quad (\text{قوة الجاذبية الأرضية})$$

$$\vec{g} = \frac{\vec{F}_g}{m} = -\frac{GMm/r^2}{m} \hat{r} = -G \frac{M}{r^2} \hat{r} \quad (\text{مجال الجاذبية الأرضية})$$

15.1.0.1 الشحنة الكهربائية

يوجد نوعين من الشحنات الكهربائية: الموجبة والسالبة، ووحدتها كولوم C. شحنة الإلكترون السالب أو البروتون الموجب:

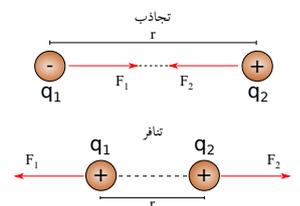
$$\pm e = \pm 1.6 \times 10^{-19} C$$

$$Q = \pm Ne \quad \text{quantized الشحنة الكممة}$$

$$n \rightarrow p + e^- + \bar{\nu} \quad e^+ + e^- \rightarrow \gamma + \gamma \quad \text{conserved الشحنة المحفوظة}$$

15.1.0.2 القوة الكهربائية بين الشحنات

قوة تجاذب إذا كانت الشحنات مختلفة. وقوة تنافر إذا كانت الشحنات متشابهة.



شكل 15.2: القوة الكهربائية

15.1.1 ثنائي القطب

الأجسام التي تحوي شحنة كهربائية قد يكون لها قطب واحد مثل كرة تتجمع الشحنات السالبة على سطحها، وقد يكون لها قطبين مثل طرفي بطارية كهربائية، ويسمى الجسم في هذه الحالة ثنائي القطب، وتعمل هذه الأقطاب على تكوين المجالات الكهربائية المحيطة بالشحنة.

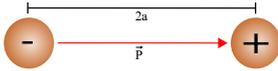
ثنائي القطب له قطبين كهربائيين أحدهما سالب والآخر موجب، ويوجد نوعين من ثنائيات القطب:

(1) ثنائي قطب فعال: ينتج الطاقة الكهربائية من مصدر مثل المولد والبطارية.

(2) ثنائي قطب غير فعال: يستهلك الطاقة الكهربائية مثل المقاومات والملفات.

15.1.1.1 عزم ثنائي القطب

يوجد لثنائيات القطب الكهربائية عزم يسمى عزم ثنائي القطب، ويعتمد على الشحنة والبعد بين القطبين.



شكل 15.3: عزم ثنائي القطب

$$\vec{P} = q \times 2a \quad (15.1)$$

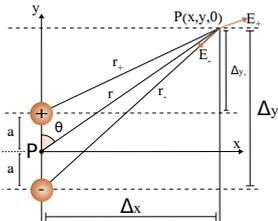
حيث P عزم ثنائي القطب من القطب السالب إلى القطب الموجب، و q الشحنة الكهربائية، و $2a$ المسافة بين مركزي القطبين.

15.1.1.2 تكوين المجال الكهربائي لثنائي القطب

$$\hat{r} = \frac{\vec{r}}{r} = \frac{\Delta x}{r} \hat{i} + \frac{\Delta y}{r} \hat{j}$$

$$E_x = k_e q \left(\frac{\Delta x}{r_+^3} - \frac{\Delta x}{r_-^3} \right) = k_e q \left(\frac{x}{[x^2 + (y-a)^2]^{3/2}} - \frac{x}{[x^2 + (y+a)^2]^{3/2}} \right) \quad (15.2)$$

$$E_y = k_e q \left(\frac{\Delta y_+}{r_+^3} - \frac{\Delta y_-}{r_-^3} \right) = k_e q \left(\frac{y-a}{[x^2 + (y-a)^2]^{3/2}} - \frac{y+a}{[x^2 + (y+a)^2]^{3/2}} \right) \quad (15.3)$$



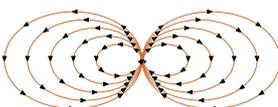
شكل 15.4: مجال ثنائي القطب

ثنائية القطب النقطية

$$r \gg a$$

$$E_x \rightarrow \frac{3p}{4\pi\epsilon_0 r^3} \sin\theta \cos\theta \quad (15.4)$$

$$E_y \rightarrow \frac{p}{4\pi\epsilon_0 r^3} (3\cos^2\theta - 1) \quad (15.5)$$



شكل 15.5: ثنائية القطب النقطية

15.1.1.3 شدة المجال الكهربائي (E)

شدة المجال الكهربائي هي كمية فيزيائية متجهة تصف القوة التي يؤثر بها مجال كهربائي على شحنة كهربائية.

$$E = \frac{F}{q} \quad (15.6)$$

حيث E شدة المجال الكهربائي، F القوة المؤثرة على الشحنة، q شحنة الاختبار.

مثال 15.1.99 السؤال

$$= \frac{3}{6 \times 10^{-6}}$$

$$= 5 \times 10^5 N/C$$

احسب شدة المجال الكهربائي عند شحنة نقطية مقدارها $6 \mu C$ تؤثر عليها قوة مقدارها $3 N$ ؟

الحل

تعيين المعطيات: $F = 3 N$ ، $q = 6 \times 10^{-6} C$

التطبيق:

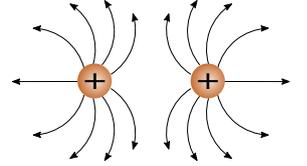
النتيجة: شدة المجال الكهربائي تساوي 5×10^5 نيوتن / كولوم.

$$E = \frac{F}{q}$$

15.1.1.4 شدة مجال الجاذبية (g)

$$g = \frac{F}{m} \quad (15.7)$$

حيث g شدة مجال الجاذبية، F القوة المؤثرة على الشحنة، m كتلة الجسم.



شكل 15.6: شحنتان متشابهتان

15.1.1.5 قوة المجال الكهربائي على جسيم

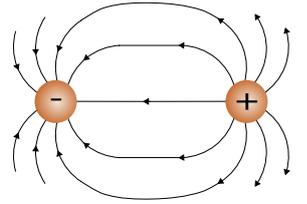
عند اقتراب شحنتين من بعضهما، تنشأ قوة تجاذب، أو تنافر بينهما، تجاذب إذا اختلفا في الشحنة، وتنافر إذا تشابهتا في الشحنة. وهذه القوة تتناسب طردياً مع مقدار الشحنتين وعكسياً مع مربع المسافة بين مركزيهما.

$$F = \frac{kQq}{r^2} \quad (15.8)$$

حيث $k = 8.9875 \times 10^9 Nm^2/C^2$.

$$E = \frac{F}{q} = \frac{kQq}{r^2} \times \frac{1}{q} = \frac{kQ}{r^2} \quad (15.9)$$

حيث F قوة المجال الكهربائي، Q الشحنة الناتجة عن المجال الكهربائي، q شحنة الجسيم، r المسافة بين مصدر الشحنة والجسيم، k ثابت كولوم، وتكون إشارة Q موجبة إذا كانت اتجاه المجال خارج من الشحنة، وتكون الإشارة سالبة إذا كان اتجاه المجال داخل إلى الشحنة.



شكل 15.7: شحنتان مختلفتان

وعند وجود أكثر من شحنتين فإن محصلة الشحنتات تحسب بالقانون:

$$\vec{F} = \sum_{i=1}^N \vec{F}_i \quad \& \quad \vec{E} = \sum_{i=1}^N \vec{E}_i \quad (15.10)$$

مثال 15.1.100 السؤال

$$=3.2 \times 10^{-19} C$$

أحسب شدة المجال الكهربائي على بعد 0.1 nm من نواة ذرة الهيليوم؟

الحل

$$E = \frac{Kq}{r^2} \quad (\text{شدة المجال الكهربائي})$$

تعيين المعطيات: $q = 1.6 \times 10^{-19} C$ ، $r = 0.1 \times 10^{-9} m$



$$= \frac{9 \times 10^9 \times 3.2 \times 10^{-19}}{(0.1 \times 10^{-9})^2}$$

$$= 28.8 \times 10^{10} N/C$$

التطبيق: شحنة نواة الهيليوم

النتيجة: شدة المجال الكهربائي 28.8×10^{10} نيوتن / كولوم.

$$q = 2 \times 1.6 \times 10^{-19}$$

15.1.1.6 الطاقة الكهربائية الكامنة بين جسيمين مشحونين

$$PE = \frac{kq_1q_2}{r} \quad (15.11)$$

حيث PE الطاقة الكهربائية الكامنة بين الجسمين، q_1 و q_2 شحنتي الجسمين، r المسافة بين مصدر الشحنة والجسيم، k ثابت كولوم.

مثال 15.1.101 السؤال

$$PE = \frac{kq_1q_2}{r}$$

$$= \frac{9 \times 10^9 \times 2 \times 10^{-6} \times 3 \times 10^{-6}}{0.1}$$

$$= 0.54 J$$

احسب الطاقة الكامنة بين جسيمين مشحونين بشحنة موجبه $q_1 = 2 \mu C$ و $q_2 = 3 \mu C$ والمسافة بينهما 10 cm ؟

الحل

تعيين المعطيات: $q_1 = 2 \mu C$ ، $q_2 = 3 \mu C$ ، $r = 0.1 m$

النتيجة: الطاقة الكامنة بين الجسمين المشحونين 0.54 جول.

التطبيق:

15.1.1.7 فرق جهد الطاقة الكهربائية الكامنة

$$V = \frac{PE}{q} \quad (15.12)$$

حيث V فرق الجهد الكهربائي، PE الطاقة الكهربائية الكامنة، q شحنة الجسم.

مثال 15.1.102 السؤال

$$PE=Vq$$

$$=150 \times 8 \times 10^{-9}$$

$$=1.2 \times 10^{-6} J$$

النتيجة: الطاقة الكهربائية الكامنة 1.2×10^{-6} جول.

احسب الطاقة الكهربائية الكامنة في سطح يحمل شحنة مقدارها $8nC$ وفرق جهده مع محيطه $150V$ ؟

الحل

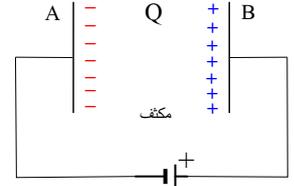
تعيين المعطيات: $V=150V$ ، $q=8 \times 10^{-9} C$

التطبيق:

$$V = \frac{PE}{q}$$

15.1.1.8 السعة والمكثفات

السعة الكهربائية هي كمية تعبر عن مقدرة المكثف على حفظ وتخزين الشحنات الكهربائية. وتقاس بوحدة فاراد¹. يتكون المكثف من لوحين (B و A) أحدهما يوصل بالقطب السالب والآخر بالقطب الموجب للبطارية (المصدر)، عندها تنتقل الإلكترونات من البطارية إلى اللوح A الموصول بالقطب السالب، وتتجمع عليه، وهذا يحدث تنافر مع إلكترونات اللوح المقابل B ، فتبتعد عن سطح اللوح، وهذا ينتج فرق جهد بين اللوح A السالب واللوح B الموجب، وتستمر زيادة فرق الجهد إلى أن يصبح فرق جهد المكثف مساوي لفرق جهد البطارية، عندها تتوقف عملية الشحن، ونقول أن المكثف مشحون.



شكل 15.8: المكثف

$$C = \frac{q}{\Delta V} \quad (15.13)$$

حيث ΔV فرق الجهد الكهربائي، C السعة الكهربائية، q الشحنة.

مثال 15.1.103 السؤال

$$C = \frac{q}{V}$$

$$= \frac{6 \times 10^{-9}}{200}$$

$$= 3 \times 10^{-11} F$$

النتيجة: السعة الكهربائية تساوي 3×10^{-11} فاراد.

سطح يحمل شحنة مقدارها $6nC$ وفرق جهده مع محيطه $200V$ ، أحسب السعة الكهربائية من السطح ومحيطه ؟

الحل

تعيين المعطيات: $V=200V$ ، $q=6 \times 10^{-9} C$

التطبيق:

الطاقة المخزنة في المكثف

$$E = \frac{1}{2} QV \quad (15.14)$$

حيث E الطاقة المخزنة في المكثف، V فرق الجهد الكهربائي، Q الشحنة.

¹نسبة لمايكل فارادى، كيميائي وفيزيائي انجليزي توفي عام 1867م.

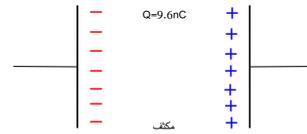
مثال 15.1.104 السؤال

التطبيق:

مكثف شحنته $9.6nC$ وفرق الجهد بين طرفيه $120V$ ، احسب الطاقة المخزنة فيه؟

الحل

تعيين المعطيات: $V=120V$ ، $q=9.6 \times 10^{-9}C$



$$E = \frac{1}{2} QV$$

$$= 0.5 \times 9.6 \times 10^{-9} \times 120$$

$$= 5.76 \times 10^{-7} J$$

النتيجة: الطاقة المخزنة في المكثف تساوي 5.76×10^{-7} جول.

15.2 التدريبات

4- يجب أن تكون شحنة الاختبار في المجال الكهربائي ؟

(أ) صغيرة وموجبة (ج) صغيرة وسالبة

(ب) كبيرة وموجبة (د) كبيرة وسالبة

5- احسب شدة المجال الكهربائي بين قطبين يبعدان عن بعضهما $4m$ وفرق الجهد بينهما $220V$ ؟

$$E = \frac{V}{d}$$

(أ) $55N/C$ (ج) $220N/C$

(ب) $880N/C$ (د) $16N/C$

6- احسب القوة الكهربائية التي تؤثر بها شحنة $4 \times 10^{-9}C$ ، على شحنة اختبار موجبة مقدارها $1C$ وتبعد $1m$ ؟

$$F = \frac{Kq_1q_2}{r^2}$$

(أ) $36N$ (ج) $13N$

(ب) $100N$ (د) $8.5N$

1- احسب الطاقة الكهربائية الكامنة في سطح يحمل شحنة مقدارها $35nC$ وفرق جهده مع محيطه $120V$ ؟

الحل

تعيين المعطيات: $V=120V$ ، $q=35 \times 10^{-9}C$
التطبيق:

$$E = \frac{1}{2}QV$$

$$= 0.5 \times 35 \times 10^{-9} \times 120$$

$$= 2.1 \times 10^{-6} J$$

2- ما هي وحدة فرق الجهد الكهربائي ؟

(أ) V (ج) N/C

(ب) C (د) N

3- إذا كانت شدة المجال الكهربائي $2000N/C$ ، والمسافة بين السطحين $3m$ ، احسب فرق الجهد بينهما ؟

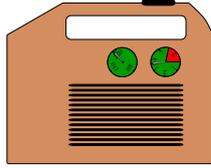
$$E = \frac{V}{d}$$

(أ) $1000V$ (ج) $6000V$

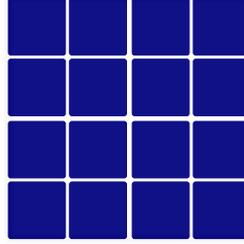
(ب) $666.6V$ (د) $2003V$



البطارية



المولد الكهربائي



الخلايا الشمسية

- مصادر التيار الكهربائي
- التيار الكهربائي والشحنة
- المقاومة الكهربائية



التيار الكهربائي هو سيل من الإلكترونات، تنتقل في مادة موصلة للتيار الكهربائي. إن استخدام الناس لمصطلح «استهلاك الكهرباء» أدى إلى ترسيخ مفهوم خاطئ عن التيار الكهربائي، فأصبحنا نعتقد أن الأجهزة الكهربائية تلتهم الإلكترونات مثلما يفعل باكمان ، أي بما أن التيار هو سيل من الإلكترونات إذاً الأجهزة تستهلك الإلكترونات؟! ، بينما الحقيقة أن الإلكترونات تعمل مثل جنزير الدراجة الذي ينقل الحركة من الدواسة إلى العجلة الخلفية. إن الإلكترونات تنقل الطاقة الحركية من قلب مولد الكهرباء المتحرك إلى الجهاز الكهربائي في رحلة قد تبلغ مئات الكيلومترات، إن الأجهزة الكهربائية لا تستهلك الكهرباء أي لا تستهلك الإلكترونات وإنما تقوم بانتزاع جزء من الطاقة الحركية لإلكترونات التيار لإنتاج الضوء أو الصوت أو الحرارة أو

16.0.0.1 مصادر التيار الكهربائي

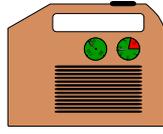
يوجد للتيار الكهربائي عدة مصادر أهمها المولدات والبطاريات والخلايا الشمسية، وتنتج هذه المصادر نوعين من التيار الكهربائي:

(2) التيار المتردد AC

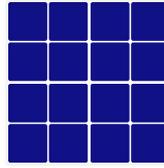
(1) التيار المستمر DC



البطارية



المولد الكهربائي



الخلايا الشمسية

شكل 16.1: من مصادر التيار الكهربائي

* ومضة

كان الناس يستخدمون مولدات التيار المستمر، ثم اخترع مولدات التيار المتردد فتم الانتقال لها.

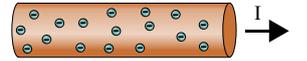
16.1 التيار والشحنة

التيار الكهربائي هو عبارة عن تدفق من الشحنات الكهربائية. ووحدته الأمبير¹. الأمبير هو انتقال تيار شحنته 1 كولوم خلال ثانية واحدة.

إن التيار الكهربائي عبارة عن إلكترونات حرة تتحرك في مواد موصلة للتيار الكهربائي، وإلكترونات التيار الكهربائي تسير بسرعة كبيرة وبحركة عشوائية في اتجاه التيار، بمعنى أن الإلكترونات لا تسير في شكل سلاسل مستقيمة من المولد أو البطارية إلى المصباح، وإنما يتحرك كل إلكترون بصورة فردية لكن في نفس اتجاه التيار، وهذا يسبب اصطدامات كثيرة جداً بين الإلكترونات، وهذه التصادمات تؤدي إلى فقد الإلكترونات لجزء من طاقتها الحركية على شكل حرارة في الأسلاك.

$$I = \frac{q}{t} \quad (16.1)$$

حيث I شدة التيار، q الشحنة، t الزمن.



شكل 16.2: إلكترونات التيار الكهربائي تسير بسرعة كبيرة وبحركة عشوائية في اتجاه التيار

* ومضة

في خطوط الضغط العالي يرفع فرق الجهد لتقليل التيار (عدد الإلكترونات) فتقل التصادمات ولا يسخن السلك بدرجة عالية.

مثال 16.1.105 السؤال

$$q = It$$

$$= 5 \times 120$$

$$= 600C$$

إذا كان التيار المنزلي الداخل إلى المنزل $I = 5A$

خلال زمن $t = 2min$ فاحسب الشحنة الكهربائية

الداخلية ؟

الحل

تعيين المعطيات: $I = 5A$ ، $t = 3min = 120s$

النتيجة: الشحنة الكهربائية الداخلة 600 كولوم.

التطبيق:

* ومضة

كمية الطاقة الشمسية الساقطة على الأرض 1353 جول/متر مربع. ثانية ويسمى الثابت الشمسي، ويعكس 30% منها في الغلاف الجوي.

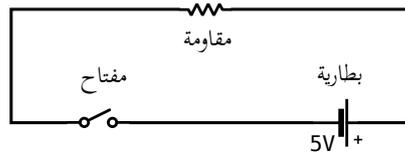
اتجاه التيار الكهربائي

- الاتجاه الهندسي (الافتراضي) للتيار الكهربائي ويكون من القطب الموجب للقطب السالب.
- الاتجاه الفيزيائي (الحقيقي) للتيار الكهربائي ويكون من القطب السالب للقطب الموجب.

وفي قوانين مادة الفيزياء نعتبر أن اتجاه انتقال التيار يكون من القطب الموجب ذي الجهد العالي إلى القطب السالب ذي الجهد المنخفض، لأن قوانين الكهرباء الأساسية وضعت قبل أن يكتشف العلماء أن شحنة الإلكترون سالبة وليست موجبة، وأصبح من الصعب تعديل كل كتب الكهرباء بعد ذلك.

16.1.0.1 الدائرة المغلقة

الدائرة الكهربائية المغلقة هي مسار مغلق بدون فواصل أو فراغات وتحتوي على مصدر للطاقة الكهربائية.



شكل 16.3: دائرة كهربائية

مكونات الدائرة الكهربائية

يمكن أن تحتوي الدائرة الكهربائية على عدة مكونات مثل البطاريات والمقاومات والمكثفات والمحركات، ولهذا تستخدم رموز متعارف عليها للدلالة على كل واحد من هذه المكونات ويمكننا الإطلاع على أشهر هذه الرموز في نهاية الكتاب (أنظر الملحقات).

16.2 القدرة الكهربائية والشغل والتيار

$$P = \frac{W}{t} \quad (16.2)$$

$$P = VI \quad (16.3)$$

حيث P القدرة، V فرق الجهد الكهربائي، t الزمن، I شدة التيار الكهربائي، W الشغل.

مثال 16.2.106 السؤال

ما مقدار القدرة عندما يكون فرق الجهد $V=6V$ وشدة التيار $I=1.4A$ ؟

الحل

تعيين المعطيات: $I=1.4A$ ، $V=6V$

التطبيق:

$$= 6 \times 1.4$$

$$= 8.4W$$

$$P = VI$$

النتيجة: القدرة الكهربائية تساوي 8.4 وات.

16.3 المقاومة الكهربائية

المقاومة الكهربائية هي قابلية المواد لمقاومة مرور التيار. ووحدتها الأوم².

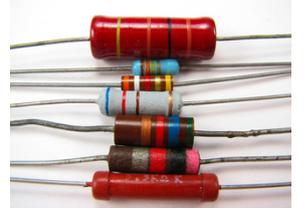
²أوم فيزيائي الماني توفي عام 1854م.

قانون أوم

تناسب شدة التيار المار في موصل تناسباً طردياً مع فرق الجهد بين طرفيه مع ثبوت درجة الحرارة.

$$R = \frac{V}{I} \quad (16.4)$$

حيث I شدة التيار، V فرق الجهد الكهربائي، R المقاومة الكهربائية.



شكل 16.4: المقاومة الكهربائية [2]

مثال 16.3.107 السؤال

$$I = \frac{V}{R}$$

$$= \frac{220}{60}$$

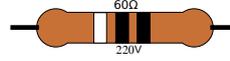
$$= 3.66 \text{ A}$$

مقاومة 60Ω وفرق الجهد المؤثر عليها 220V ،

احسب التيار الخارج؟

الحل

تعيين المعطيات: $R=60\Omega$ ، $V=220\text{V}$



النتيجة: التيار الكهربائي الخارج من المقاومة يساوي 3.66 أمبير.

التطبيق:

قانون أوم للدائرة المغلقة

$$V_B = I \times (R + r)$$

حيث V_B القوة الدافعة الكهربائية، R المقاومة الخارجية، r المقاومة الداخلية للمصدر الكهربائي.

القوة الدافعة الكهربائية هي الشغل المبذول داخل وخارج العمود (المصدر) لنقل شحنة مقدارها 1C داخل الدائرة الكهربائية.

القوة الدافعة الكهربائية وفرق الجهد

$$V = V_B - Ir$$

حيث V فرق الجهد الكهربائي، V_B القوة الدافعة الكهربائية، r المقاومة.

مثال 16.3.108 السؤال

$$V_B = I \times (R + r)$$

$$I = \frac{V_B}{R + r} = \frac{1.5}{2 + 0.1}$$

$$= 0.71 \text{ A}$$

احسب شدة التيار الكلي في دائرة مغلقة تحتوي

بطارية جهدها 1.5V ومقاومتها الداخلية 0.1Ω ،

ومقاومة خارجية 2Ω ؟

الحل

تعيين المعطيات: $r=0.1\Omega$ ، $R=2\Omega$ ، $V_B=1.5\text{V}$

النتيجة: شدة التيار الكلي في الدائرة يساوي 0.71 أمبير.

التطبيق:

16.4 المقاومة النوعية أو المقاومة

هي خاصية للمادة توضح قابلية المادة لتوصيل التيار الكهربائي. ووحدتها $\Omega \cdot m$.

$$R = \rho \frac{L}{A} \quad (16.5)$$

حيث ρ المقاومة النوعية أو المقاومة وتنطق رو ، L طول السلك الناقل، A مساحة المقطع العرضي للسلك الناقل، R المقاومة الكهربائية.



شكل 16.5: المقاومة النوعية

أي أن مقاومة المادة للتيار الكهربائي، أو موصليته، تعتمد على طولها ومساحة مقطعها ونوعه، وذلك عند ثبوت درجة الحرارة.

مثال 16.4.109 السؤال

$$\begin{aligned} R &= \sigma \frac{L}{A} \\ &= 1.68 \times 10^{-8} \times \frac{20 \times 10^{-2}}{1.5 \times 10^{-6}} \\ &= 22.4 \times 10^{-4} \Omega \end{aligned}$$

النتيجة: مقاومة السلك النحاسي تساوي 22.4×10^{-4} أوم.

احسب مقاومة سلك من النحاس طوله 20cm ومساحة مقطعة 1.5mm^2 والمقاومة النوعية للنحاس $1.68 \times 10^{-8} \Omega \cdot m$ ؟

الحل

تعيين المعطيات: $L=20\text{cm}=0.2\text{m}$ ، $\sigma=1.68 \times 10^{-8} \Omega \cdot m$ ، $A=1.5\text{mm}^2$

التطبيق:

16.5 القدرة الكهربائية والمقاومة

القدرة الكهربائية هي معدل تدفق الطاقة الكهربائية في موصل، ووحدتها الوا٣.

$$P = VI = I^2R = \frac{V^2}{R} \quad (16.6)$$

حيث P القدرة الكهربائية، V فرق الجهد، I شدة التيار، R المقاومة الكهربائية.

مثال 16.5.110 السؤال

$$\begin{aligned} R &= \frac{V^2}{P} \\ &= \frac{110^2}{1000} \\ &= 12.1 \Omega \end{aligned}$$

النتيجة: المقاومة المجهولة تساوي 12.1 أوم.

إذا كان لدينا تيار متردد فرق جهده 110V يمر بمقاومة مجهولة معطيا قدرة مقدارها 1000W ، احسب المقاومة المستخدمة ؟

الحل

تعيين المعطيات: $V=110\text{V}$ ، $P=1000\text{W}$

التطبيق:

16.6 الطاقة الكهربائية أو الشغل

$$E_{\text{الطاقة}} = W_{\text{الشغل}} = P \cdot \Delta t \quad (16.7)$$

$$W = Vq$$

³وات مهندس انجليزي حسن المحرك البخاري، وابتكر وحدة الحصان للقدرة، توفي عام 1819م.

حيث E الطاقة الكهربائية، W الشغل، P القدرة، Δt الزمن.

مثال 16.6.111 السؤال

$$=1000 \times 40$$

$$=40000J$$

احسب الطاقة الكهربائية المارة في المقاومة الموجودة في المثال السابق خلال 40 ثانية ؟

الحل

تعيين المعطيات: $t=40s$

التطبيق:

النتيجة: الطاقة الكهربائية المارة في المقاومة تساوي 40 كيلوجول.

$$E=P.\Delta t$$

16.7 التدريبات

6- أوجد التيار إذا كانت القدرة تساوي $1100W$ ، وفرق الجهد $220V$ ؟

(أ) $5A$ ✓

(ج) $20A$

(ب) $8A$

(د) $4A$

7- تستخدم المقاومة المتغيرة في الدائرة الكهربائية للتحكم في ؟

(أ) فرق الجهد الكهربائي

(ب) شدة التيار ✓

(د) شدة المجال

(ج) شدة المجال المغناطيسي

8- النسبة بين الشغل اللازم لتحريك الشحنة ومقدارها يسمى ؟

(أ) الجهد

✓ الكهربائي

(ج) السعة

الكهربائية

(د) المجال

(ب) شدة التيار المغناطيسي

9- التوصيل الكهربائي يكون أسرع في ؟

(أ) الحديد ✓

(ج) الزيت

(ب) الأكسجين

(د) الفراغ

10- يعبر عن الشحنات التي تعبر مقطع السلك خلال ثانية واحدة ؟

(أ) التيار

✓ الكهربائي

(ج) الجهد

الكهربائي

(د) المجال

(ب) المقاومة الكهربائية

1- احسب مقاومة سلك من النحاس طوله $30cm$ ومساحة مقطعة $2mm^2$ والمقاومة النوعية للنحاس $1.68 \times 10^{-8} \Omega.m$ ؟

الحل

تعيين المعطيات : $L=30cm$ ، $A=2mm^2$ ، $\sigma = 1.68 \times 10^{-8} \Omega$
التطبيق :

$$R = \sigma \frac{L}{A}$$

$$= 1.68 \times 10^{-8} \times \frac{30 \times 10^{-2}}{2 \times 10^{-6}}$$

$$= 2.52 \times 10^{-3} \Omega$$

2- ما هي وحدة القدرة الكهربائية ؟

(ج) W ✓

(أ) N

(د) V

(ب) A

3- خلية شمسية تنتج تيار كهربائي شدته $0.5A$ و فرق جهده $12V$ ، احسب الزمن اللازم لإنتاج تيار طاقته $600J$ ؟

(ج) $100s$ ✓

(أ) $3600s$

(د) $300s$

(ب) $50s$

4- طفل لديه لعبة، إذا حركها تنتج ضوء، ماذا تحتوي هذه اللعبة ؟

(ج) سخان

(أ) محرك

كهربائي

كهربائي

(د) مروحة

(ب) مولد كهربائي

كهربائية

✓

5- في أشباه الموصلات الخيالية، أي فجوة طاقة تعطي أعلى موصلية ؟

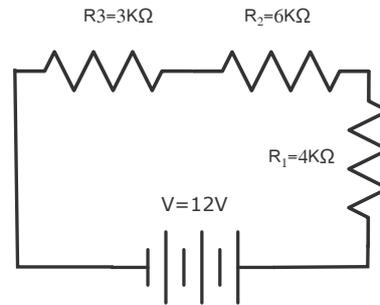
(ج) $0.9eV$

(أ) $1.2eV$

(د) $0.7eV$ ✓

(ب) $1eV$

التوصيل على التوالي والتوازي



- التوصيل على التوالي
- التوصيل على التوازي



17.1 التوصيل على التوالي

التوصيل على التوالي هو دائرة كهربائية يتم فيها توصيل المكون الكهربائي بسلك دخل واحد وسلك خرج واحد.

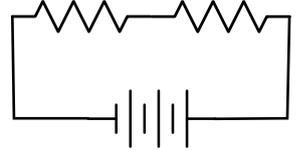
المقاومة الكهربائية هي إعاقة المادة لمرور التيار الكهربائي (الإلكترونات) خلالها.

المقاومات على التوالي عند توصيلنا للمقاومات على التوالي نحصل على مقاومة كبيرة تعيق مرور التيار الكهربائي في الدائرة

$$R = R_1 + R_2 \Rightarrow R = \sum R_n \quad (17.1)$$

حيث R المقاومة الكلية في الدائرة، R_1 المقاومة الأولى، R_2 المقاومة الثانية.

المقاومة الأولى المقاومة الثانية



شكل 17.1: على التوالي

مثال 17.1.112 السؤال

احسب المقاومة الكلية في الدائرة التالية:

التطبيق:

$$R_{\text{كلية}} = R_1 + R_2 + R_3$$

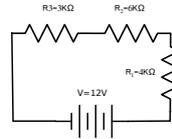
$$= 4000 + 6000 + 3000$$

$$= 13K\Omega$$

النتيجة: المقاومة الكلية في الدائرة 13 كيلو أوم.

الحل

تعيين المعطيات:



شدة التيار على التوالي شدة التيار الكهربائي تبقى ثابتة ولا تتأثر عند توصيل المقاومات على التوالي.

$$I = I_1 = I_2 \quad (17.2)$$

حيث I شدة التيار الكلية في الدائرة، I_1 شدة التيار الأولى، I_2 شدة التيار الثانية.

مثال 17.1.113 السؤال

احسب التيار الكلي في الدائرة السابقة:

التطبيق:

$$I_{\text{كلي}} = \frac{E_{\text{كلي}}}{R_{\text{كلية}}}$$

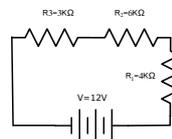
$$= \frac{12}{13000}$$

$$= 9.2 \times 10^{-4} A$$

النتيجة: التيار الكلي في الدائرة 9.2×10^{-4} أوم.

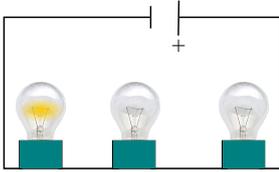
الحل

تعيين المعطيات:



فرق الجهد الكهربائي على التوالي فرق الجهد الكهربائي هو الطاقة اللازمة لدفع الإلكترونات من القطب السالب إلى القطب الموجب.

عند مرور التيار الكهربائي في مقاومات على التوالي، نلاحظ أن فرق الجهد الكهربائي يبدأ بالانخفاض التدريجي، فيكون كبير في المقاومة الأولى ثم أقل في الثانية ثم أقل في الثالثة وهكذا، ولهذا نلاحظ أن المصابيح الموصولة على التوالي تنخفض شدة إضاءتها كلما ابتعدنا عن المصدر الكهربائي.



شكل 17.2: شدة إضاءة المصابيح تقل كلما ابتعدنا عن المصدر إذا كان التوصيل على التوالي.

$$V = V_1 + V_2 \Rightarrow V = \sum V_n \quad (17.3)$$

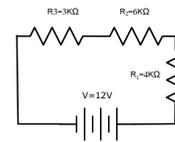
حيث V فرق الجهد الكلي في الدائرة، V_1 فرق الجهد الأول، V_2 فرق الجهد الثاني.

مثال 17.1.114 السؤال

احسب الجهد الكهربائي على كل مقاومة في الدائرة السابقة:

الحل

تعيين المعطيات:



$$V_1 = 9.2 \times 10^{-4} \times 4$$

$$= 3.6 \times 10^{-3} V$$

$$V_2 = 9.2 \times 10^{-4} \times 6$$

$$= 5.5 \times 10^{-3} V$$

$$V_3 = 9.2 \times 10^{-4} \times 3$$

$$= 2.7 \times 10^{-3} V$$

التطبيق:

$$V = IR$$

المكثفات على التوالي إذا وصلت المكثفات على التوالي فإن جهدها الكلي يساوي مجموع فرق الجهد على كل مكثف

$$\Sigma V = V_1 + V_2 + \dots + V_n \quad (17.4)$$

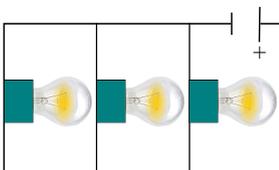
أما السعة الكلية لها فتحسب بالقانون

$$\frac{1}{C_T} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \dots + \frac{1}{C_n} \quad (17.5)$$

17.2 التوصيل على التوازي

التوصيل على التوازي هو دائرة كهربائية يتم فيها توصيل المكون الكهربائي بسلكين أو أكثر للدخول وسلكين أو أكثر للخروج.

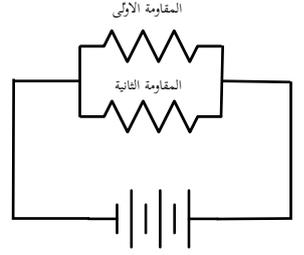
فرق الجهد الكهربائي على التوازي عند مرور التيار الكهربائي في مقاومات على التوازي، نلاحظ أن فرق الجهد الكهربائي يبقى ثابت، فيكون في المقاومة الأولى مساوي له في المقاومة الثانية والثالثة وهكذا، ولهذا نلاحظ أن المصابيح الموصولة على التوازي تبقى شدة إضاءتها كما هي في جميع المصابيح، وهذا هو السبب الذي يجعلنا نوصّل جميع الأجهزة المنزلية على التوازي.



شكل 17.3: شدة إضاءة المصابيح تبقى ثابتة إذا كان التوصيل على التوازي.

$$V = V_1 = V_2 \quad (17.6)$$

حيث V فرق الجهد الكلي في الدائرة، V_1 فرق الجهد الأول، V_2 فرق الجهد الثاني.



شكل 17.4: على التوازي

المقاومات على التوازي توصيل المقاومات على التوازي يخفض المقاومة الكلية، وهذه ميزة لأن إعاقه التيار تقل.

$$\frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \Rightarrow \frac{1}{R} = \sum \left(\frac{1}{R_n} \right) \quad (17.7)$$

حيث R المقاومة الكلية في الدائرة، R_1 المقاومة الأولى، R_2 المقاومة الثانية.

مثال 17.2.115 السؤال

$$\frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}$$

$$\frac{1}{R} = \frac{1}{6} + \frac{1}{3}$$

$$R = \frac{6 \times 3}{6+3} = \frac{18}{9}$$

$$= 2\Omega$$

النتيجة: المقاومة الكلية تساوي 2 أوم.

مقاومتان 6 أوم و 3 أوم وصلتا على التوازي ثم وصل بين طرفيهما المشتركين فرق جهد 12 فولت، احسب المقاومة الكلية لهما؟

الحل

تعيين المعطيات: $V=12V$ ، $R_2=3\Omega$ ، $R_1=6\Omega$

التطبيق:

شدة التيار على التوازي شدة التيار تنجزاً على المقاومات الموصولة على التوازي.

$$I = I_1 + I_2 \Rightarrow I = \sum I_n \quad (17.8)$$

حيث I شدة التيار الكلية في الدائرة، I_1 شدة التيار الأولى، I_2 شدة التيار الثانية.

مثال 17.2.116 السؤال

$$I_1 = \frac{V}{R_1}$$

$$= \frac{12}{6} = 2A$$

$$I_2 = \frac{V}{R_2}$$

$$= \frac{12}{3} = 4A$$

من المثال السابق، احسب شدة التيار وشدة التيار المار في كل منهما؟

الحل

تعيين المعطيات: $V=12V$ ، $R_2=3\Omega$ ، $R_1=6\Omega$

التطبيق: شدة التيار:

$$I = \frac{V}{R}$$

$$= \frac{12}{2} = 6A$$

شدة التيار المار في كل منهما:

المكثفات على التوازي إذا وصلت المكثفات على التوازي فإن جهودها تكون متساوية

$$V_1 = V_2 = \dots = V_n \quad (17.9)$$

أما السعة الكلية لها فتحسب بالقانون

$$\Sigma C = C_1 + C_2 + \dots + C_n \quad (17.10)$$

17.3 قوانين كيرشوف

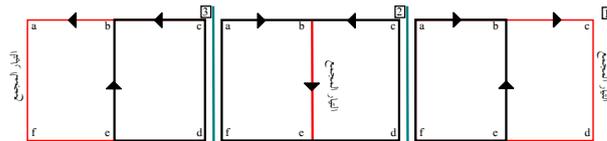
القانون الثاني المجموع الجبري للقوى الدافعة الكهربائية في دائرة مغلقة يساوي المجموع الجبري لفروق الجهد في الدائرة.

القانون الأول مجموع التيارات الكهربائية الداخلة عند نقطة في دائرة كهربائية مغلقة يساوي مجموع التيارات الكهربائية الخارجة منها.

$$\sum V_B = \sum V = \sum I \cdot R$$

$$\sum I_{in} = \sum I_{out} \Rightarrow \sum I = 0$$

مع ملاحظة إضافة المقاومة الداخلية للبطارية (إن وجدت) إلى المقاومة الخارجية، كما يفضل أن نختار الدائرتان اللتان تحتويان السلك الذي يحتوي التيار المجمع كما في الرسم التوضيحي. ففي الرسم (1) نختار الدائرة $acdfa$ و الدائرة $bcdeb$ ، بينما في الرسم (2) نختار الدائرتين $abefa$ و $bcdeb$ ، وفي الرسم (3) نختار الدائرتين $acdfa$ و $abefa$.



شكل 17.5: التيار المجمع في كيرشوف

مثال 17.3.117 السؤال

نوجد معاملات I_1 بضرب المعادلة الأولى في 3 والمعادلة الثانية في 2 :

$$15=12I_1+15I_2$$

$$24=12I_1+8I_3$$

نطرح المعادلتين (2) و (3) من بعضهما

$$24-15=12I_1-12I_1+8I_2-15I_2$$

$$9=-7I_2$$

$$I_2=-\frac{9}{7}=-1.28A$$

والإشارة السالبة تدل على أن اتجاه التيار I_2 في الرسم خاطيء، لكن النتيجة العددية صحيحة.

نعوض في المعادلة (2) لحساب I_3

$$5=I_2+4I_1=-1.28+4I_3$$

$$5+1.28=4I_3$$

$$I_3=\frac{6.28}{4}=1.57A$$

نعوض في القانون (1) لحساب I_1

$$I_3=I_1+I_2$$

$$I_1=I_3-I_2=1.57-(-1.28)=2.85A$$

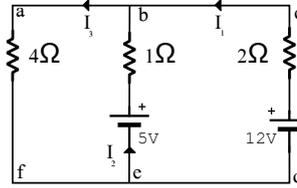
النتيجة: التيار $I_1=2.85A$ ، $I_2=-1.28A$ ، $I_3=1.57A$ ، واتجاه التيار I_2 خاطيء على الرسم.

احسب شدة التيار في كل فرع داخل الدائرة الكهربائية الموضحة بالرسم ؟

الحل

تعيين المعطيات: $R_3=4\Omega$ ، $R_2=1\Omega$ ، $R_1=2\Omega$

$$V_{B2}=5V$$
 ، $V_{B1}=12V$



التطبيق: نطبق القانون الأول على الدائرة الكلية

$$I_3=I_1+I_2 \quad (1)$$

نطبق القانون الثاني على الدائرة $abefa$

$$5=(1 \times I_2)+(4 \times I_3)$$

$$5=I_2+4I_3 \quad (2)$$

نطبق القانون الثاني على الدائرة $acdfa$

$$12=(2 \times I_1)+(4 \times I_3)$$

$$12=2I_1+4I_3 \quad (3)$$

نعوض من (1) في (2) و (3) فتصبح

$$5=I_2+4I_1+4I_2=4I_1+5I_2$$

$$12=2I_1+4I_1+4I_2=6I_1+4I_2$$

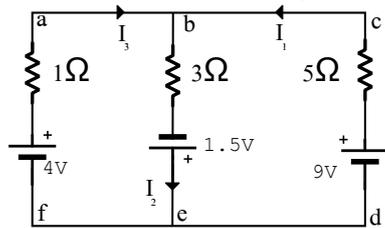
17.4 التدريبات

7- جميع الأجهزة الكهربائية المنزلية موصولة على التوازي لأن ؟

(أ) فرق الجهد ثابت ✓
الكهربائي ثابت

(ب) المقاومة ثابتة
المقاومة (د) النوعية ثابتة
ج (ج) التيار

8- احسب شدة التيار في كل فرع داخل الدائرة الكهربائية الموضحة بالرسم ؟



الحل

تعيين المعطيات: $R_3=4\Omega$ ، $R_2=1\Omega$ ، $R_1=2\Omega$
 $V_{B2}=5V$ ، $V_{B1}=12V$

التطبيق: نطبق القانون الأول على الدائرة الكلية

$$I_2 = I_1 + I_3 \quad (1)$$

نطبق القانون الثاني على الدائرة $abefa$

$$4 + 1.5 = (3 \times I_2) + (1 \times I_3)$$

$$5.5 = 3I_2 + I_3 \quad (2)$$

نطبق القانون الثاني على الدائرة $bcdeb$

$$9 + 1.5 = (5 \times I_1) + (3 \times I_2)$$

$$10.5 = 5I_1 + 3I_2 \quad (3)$$

نعوض من (1) في (2) و(3) فتصبح

$$5.5 = 3I_1 + 3I_3 + I_3 = 3I_1 + 4I_3$$

$$10.5 = 5I_1 + 3I_1 + 3I_3 = 8I_1 + 3I_3$$

نوجد معاملات I_3 بضرب المعادلة الأولى في 3 والمعادلة الثانية في 4 :

$$16.5 = 9I_1 + 12I_3$$

$$42 = 32I_1 + 12I_3$$

نطرح المعادلتين (2) و(3) من بعضهما

$$42 - 16.5 = 8I_1 - 3I_1 + 3I_3 - 4I_3$$

$$25.5 = 32I_1 - 9I_1 + 12I_3 - 12I_3 = 23I_1$$

1- مقاومتان 10Ω و 8Ω وصلنا على التوازي ثم وصل بين طرفيهما المشتركين فرق جهد 12 فولت، احسب المقاومة الكلية لهما؟

الحل

تعيين المعطيات: $V=12V$ ، $R_2=8\Omega$ ، $R_1=10\Omega$
التطبيق:

$$\frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}$$

$$\frac{1}{R} = \frac{1}{10} + \frac{1}{8}$$

$$R = \frac{10 \times 8}{10 + 8} = \frac{80}{18}$$

$$= 4.44\Omega$$

المقاومة الكلية تساوي 4.44 أوم.

2- ما هي وحدة المقاومة الكهربائية ؟

(أ) أمبير (ج) فولت

(ب) أوم ✓ (د) كولوم

3- احسب المقاومة المكافئة للمقاومتين 3Ω و 6Ω الموصولتين على التوازي ؟

(أ) 2Ω ✓ (ج) 18Ω

(ب) 9Ω (د) 0.5Ω

4- ربط مقاومتين على التوالي يجعل ؟

(أ) $I_1 =$ (ج) $I_1 \neq$

I_2 و $v_1 = v_2$ I_2 و $v_1 = v_2$

(ب) $I_1 =$

(د) $I_1 \neq$ I_2 و $v_1 \neq v_2$

I_2 و $v_1 \neq v_2$ ✓

5- ربط مقاومتين على التوازي يجعل ؟

(أ) $I_1 =$ (ج) $I_1 \neq$

I_2 و $v_1 = v_2$ I_2 و $v_1 = v_2$

✓

(ب) $I_1 =$ (د) $I_1 \neq$

I_2 و $v_1 \neq v_2$ I_2 و $v_1 \neq v_2$

6- ربطنا اربع مقاومات على التوالي 1Ω ، 2Ω ، 3Ω ، 4Ω مع بطارية قدرتها 12V احسب التيار التوازي في الدائرة

$$I = \frac{v}{r_1 + \dots + r_4} ?$$

(أ) 1.2A ✓ (ج) 12A

(ب) 10A (د) 22.5A

$$I_2 = \frac{5}{3} = 1.66A$$

نعوض في القانون (1) لحساب I_3

$$I_2 = I_1 + I_3$$

$$I_3 = I_2 - I_1 = 1.6 - 1.1 = 0.5A$$

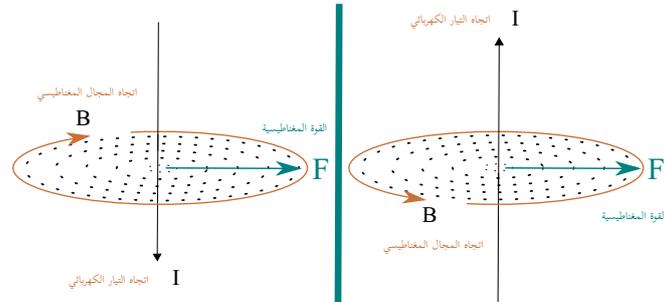
$$I_1 = \frac{25.5}{23} = 1.1A$$

نعوض في المعادلة (3) لحساب I_2

$$10.5 = 5I_1 + 3I_2 = 5.5 + 3I_2$$

$$10.5 - 5.5 = 3I_2$$

المجال المغناطيسي



- المجال المغناطيسي
- القوة المغناطيسية
- الحث المغناطيسي

مقدمة



تنشأ المغناطيسية (العزم المغناطيسي) نتيجة إعادة ترتيب أقطاب الإلكترونات في المواد القابلة للمغنطة بحيث تصبح أقطابها في نفس الاتجاه، وذلك إما بشكل طبيعي داخل الأرض، أو بشكل صناعي بعدة طرق، منها تمرير تيار شدته $3-4A$ في خليط من الحديد وبعض المعادن القابلة للمغنطة مثل النيكل والكوبلت والنيوديميوم، ولمدة $20-30s$ ، أو بالتليد للمواد الفريتية، ومن أخواها مغناطيس النيوبيديوم $Nd_2Fe_{14}B$ ، كما يمكن صنع مغناطيس كهربائي مؤقت بإمرار التيار الكهربائي في ملف يحيط بقلب معدني، إلا أن الأخير يفقد مغناطيسيته عند فصل التيار. وقد استفاد الإنسان من هذه الخاصية في معرفة الاتجاهات باستخدام البوصلة، فالقطب الشمالي لإبرة البوصلة يتجه للقطب الجنوبي المغناطيسي للأرض، والعكس صحيح، كما استفاد من المغناطيسية في صنع قلوب المولدات الكهربائية ومكبرات الصوت.

وتقسم المواد حسب مغناطيسيتها إلى أربعة أقسام:

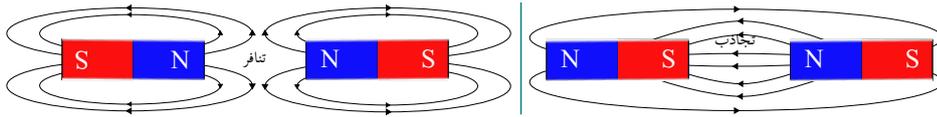
(3) مواد دايا مغناطيسية *Diamagnetism* هي مواد قابلة للمغنطة تحت تأثير مغناطيس خارجي، وتفقد مغناطيسيتها بمجرد إبعاده، وتكون أقطابها عكس أقطاب المغناطيس الخارجي، مثل النحاس والبرزموث.

(4) مواد غير قابلة للمغنطة.

(1) مواد مغناطيسية *Ferromagnetism* هي مواد قابلة للتحويل إلى مغناطيس دائم، مثل الحديد والنيكل والكوبلت.

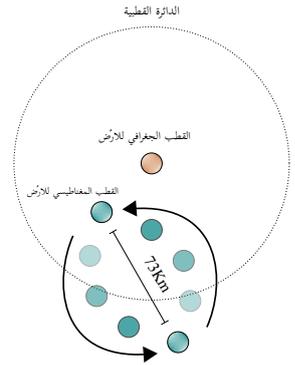
(2) مواد بارامغناطيسية *Paramagnetic* هي مواد قابلة للمغنطة تحت تأثير مغناطيس خارجي، لكنها تفقد مغناطيسيتها بمجرد إبعاده، مثل الألومنيوم والبلاتين.

الأقطاب المغناطيسية



شكل 18.2: الأقطاب المغناطيسية

لكل مغناطيس قطبان، شمالي N وجنوبي S ، والأقطاب المغناطيسية تشبه في تجاذبها وتنافرها، تفاعل الشحنات مع بعضها، فالأقطاب المتشابهة تتنافر، والأقطاب المختلفة تتجاذب، فإذا وضع قطب شمالي لمغناطيس أمام قطب شمالي لمغناطيس آخر فإنهما يتنافران لتشابههما، أما لو جعلنا القطب الشمالي للمغناطيس الأول أمام القطب الجنوبي لمغناطيس آخر فإنهما يتجاذبان.

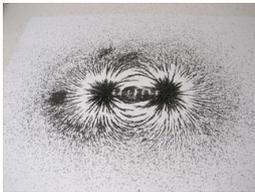


شكل 18.3: القرب المغناطيسي للأرض لا يتطابق مع قربها الجغرافي، ويتغير مكانه في مدى 73 كم في كل عام.

18.1 المجال المغناطيسي

المجال المغناطيسي هو الحيز الذي يحيط بالمغناطيس ويظهر فيه أثره.

إن الإبرة المعدنية على سبيل المثال، تنجذب للمغناطيس طالما كانت في مدى معين، يختلف باختلاف قوة المغناطيس، فإذا خرجت من هذا المدى، فقد المغناطيس قدرته على التأثير عليها؟!، إن المدى الذي يؤثر فيه المغناطيس يمثل بخطوط تسمى خطوط المجال المغناطيسي، وتكون خطوط المجال خارجة من القرب الشمالي N للمغناطيس، وداخلة للقرب الجنوبي S منه. ولكي نستطيع رؤية خطوط المجال المغناطيسي، نقوم بوضع المغناطيس على ورقة بيضاء، ثم ننشر برادة الحديد على الورقة، فتتشكل البرادة على شكل خطوط المجال المغناطيسي، كما في الصورة.



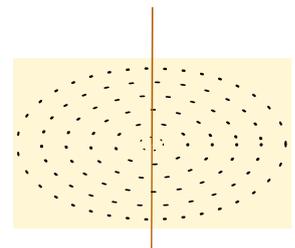
شكل 18.4: برادة الحديد ترسم خطوط المجال المغناطيسي للمغناطيس. [2]

* طريقة علمية

المجال المغناطيسي للأرض يحمي الأرض من الجسيمات المشحونة القادمة من الشمس.

18.1.0.1 المجال المغناطيسي في سلك

حين يمر التيار الكهربائي في سلك فإنه ينتج مجال مغناطيسي على شكل دوائر مركزها السلك، وهذه الدوائر تمثل المنطقة التي تؤثر فيها شدة المجال المغناطيسي (كثافة الفيض المغناطيسي)، ويكون اتجاه القوة المغناطيسية F عمودي على السلك، وفي نفس مستوى خطوط المجال حول السلك، كما في الرسم التوضيحي، وتستخدم قاعدة اليد اليمنى لأمبير، لتحديد اتجاه التيار I والمجال المغناطيسي B .



شكل 18.5: المجال المغناطيسي

مكتشف هذه الظاهرة الدنمركي هانز أورستيد المتوفي عام 1851م.

18.1.0.2 شدة المجال المغناطيسي عند نقطة

شدة المجال المغناطيسي (كثافة الفيض المغناطيسي) هو قوة المجال المغناطيسي المؤثر على نقطة معينة نتيجة مرور تيار كهربائي معين.

$$B = \frac{\mu I}{2\pi d} \quad (18.1)$$

$$B = \frac{F}{IL\sin\theta} \quad (18.2)$$

حيث B شدة المجال المغناطيسي، μ النفاذية المغناطيسية للهواء، I شدة التيار الكهربائي، d المسافة العمودية على السلك، F القوة المغناطيسية.

التسلا $Tesla$ هي شدة المجال المغناطيسي التي تولد قوة $1N$ في سلك طوله $1m$ ويمر به تيار $1A$.²

مثال 18.1.118 السؤال

$$= \frac{4\pi \times 10^{-7} \times 12}{2\pi \times 0.17}$$

$$= 1.41 \times 10^{-5} Tesla$$

احسب شدة المجال المغناطيسي على بعد $17cm$ من سلك يمر به تيار مقداره $12A$ ، حيث نفاذية الهواء $4\pi \times 10^{-7} weber/A.m$ ؟

الحل

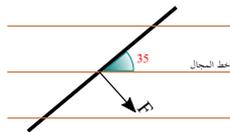
تعيين المعطيات: $d=0.17m$ ، $I=12A$

التطبيق:

النتيجة: شدة المجال المغناطيسي عند النقطة تساوي $1.41 \times 10^{-5} Tesla$

$$B = \frac{\mu I}{2\pi d}$$

مثال 18.1.119 السؤال



أ) احسب القوة المغناطيسية التي يؤثر بها مجال مغناطيسي شدته $9Tesla$ عمودي على سلك طوله $15cm$ ، ويمر به تيار شدته $3A$ ؟

الحل

تعيين المعطيات: $F=9A$ ، $L=0.15m$ ، $I=3A$

التطبيق:

التطبيق:

$$F = BIL\sin\theta$$

$$= 9 \times 3 \times 0.15 \times \sin 90$$

$$= 4.05N$$

النتيجة: مقدار القوة المغناطيسية تساوي $4.05N$.

ب) أعد حساب القوة المغناطيسية إذا كانت الزاوية بين السلك وخطوط المجال 35° ؟

الحل

تعيين المعطيات: $F=9A$ ، $L=0.15m$ ، $I=3A$ ، $\theta=35^\circ$

$$F = BIL\sin\theta$$

$$= 9 \times 3 \times 0.15 \times \sin 35$$

$$= 2.32N$$

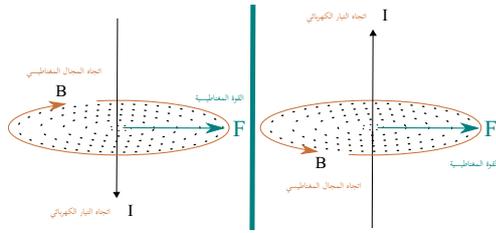
النتيجة: مقدار القوة المغناطيسية تساوي $2.32N$ ، لاحظ أن القوة المغناطيسية انخفضت عندما قلت الزاوية عن 90 درجة.

* هدف وجداني

اتجاه المجال المغناطيسي يشبه الطواف، فاتجاه الطواف هو اتجاه المجال المغناطيسي، واتجاه السماء هو اتجاه التيار.

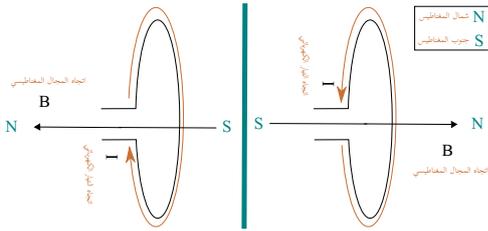
اتجاه المجال المغناطيسي في سلك لتعيين المجال المغناطيسي نستخدم قاعدة اليد اليمنى لأمين، فتمسك السلك قبضة اليد اليمنى بحيث يكون الإبهام باتجاه مرور التيار، ورؤوس الأصابع المنحنية تمثل اتجاه المجال المغناطيسي.

² تسلا فيزيائي أمريكي اخترع مولد التيار المتردد والبت الراديوي توفي عام 1943م.



شكل 18.6: اتجاه المجال المغناطيسي في سلك

اتجاه المجال المغناطيسي في ملف لتعيين المجال المغناطيسي نستخدم اليد اليمنى، فنضع قبضة اليد اليمنى بحيث يكون اتجاه الأصابع في نفس اتجاه التيار الكهربائي، عندها يمثل الإبهام اتجاه المجال المغناطيسي.



شكل 18.7: اتجاه المجال المغناطيسي في ملف

قاعدتي فلمنج لتحديد اتجاه المجال المغناطيسي

الإصبع	اليد اليمنى	اليد اليسرى
	للمولدات الكهربائية	للمحركات الكهربائية
السبابة للأمام	المجال الكهربائي	المجال الكهربائي
الإبهام للأعلى	الحركة	الحركة
الوسطى	التيار لليسار	التيار لليمين

جدول 18.1: قاعدة فلمنج لاتجاه المجال المغناطيسي

شدة المجال المغناطيسي في مركز ملف هو قوة المجال المغناطيسي الموزع في كل نقطة في المكان في اتجاه معين منتظم.

$$B = \frac{\mu NI}{2r} \quad (18.3)$$

حيث B شدة المجال المغناطيسي، μ النفاذية المغناطيسية للهواء، I شدة التيار الكهربائي، N عدد لفات الملف، r نصف قطر الملف.

$$B = \frac{\mu NI}{L} \quad (18.4)$$

حيث B شدة المجال المغناطيسي، μ النفاذية المغناطيسية لمعدن الملف، I شدة التيار الكهربائي، N عدد لفات الملف، L طول الملف.

مثال 18.1.120 السؤال

$$B = \frac{\mu NI}{2r}$$

$$= \frac{4\pi \times 10^{-7} \times 50 \times 12}{2 \times 0.1}$$

$$= 3.76 \times 10^{-3} \text{ Tesla}$$

النتيجة: شدة المجال المغناطيسي عند النقطة تساوي
 $3.76 \times 10^{-3} \text{ Tesla}$

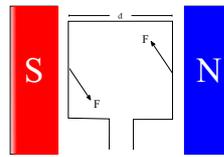
احسب شدة المجال المغناطيسي في مركز ملف نصف قطره 10 cm وعدد لفاته 50 لفة، ويمر به تيار مقداره 12 A ، حيث نفاذية الهواء $4\pi \times 10^{-7} \text{ weber/A.m}$ ؟

الحل

تعيين المعطيات: $N=50$ ، $I=12 \text{ A}$ ، $r=0.1 \text{ m}$

التطبيق:

العزم المؤثر على الملف في المحركات الكهربائية يتم التأثير على الملف داخلها بقوة مغناطيسية تجعله يدور، عن طريق تمرير تيار كهربائي فيه، والعزم المؤثر على الملف هو عزم ازدواج، ولهذا نستخدم قانون العزم الذي سبق شرحه في الفصل الثاني من الكتاب.



$$\tau = F \times d \quad (1)$$

حيث d في عزم الازدواج هو المسافة العمودية بين القوتين.
 وعرفنا أن القوة المغناطيسية تساوي

$$F = BLI \sin \theta \quad (2)$$

وبالتعويض من (2) في (1) نجد:

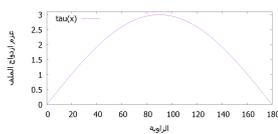
$$\tau = BLI d \sin \theta$$

وحيث أن الملف مستطيل وطوله L وعرضه d :

$$A_{\text{المساحة}} = L \times d$$

$$\therefore \tau = NBI A \sin \theta$$

حيث N عدد اللفات.



شكل 18.8: عزم ازدواج الملف

مثال 18.1.121 السؤال

التطبيق:

$$\tau = NBI A \sin \theta$$

$$= 30 \times 5 \times 4 \times 50 \times 10^{-4} \times \sin 40^\circ$$

$$= 1.92 \text{ N.m}$$

النتيجة: عزم الازدواج المؤثر على الملف 1.92 نيوتن.متر.

احسب عزم الازدواج على ملف مساحته 50 cm^2 مكون من 30 لفة، ويمر به تيار 4 A ، والزاوية بين المتجه العمودي على مستوى الملف وخطوط المجال المغناطيسي 40° ، وشدة المجال المغناطيسي 5 Tesla ؟

الحل

تعيين المعطيات: $\theta=40^\circ$ ، $I=4 \text{ A}$ ، $A=50 \text{ cm}^2$

$B=5 \text{ T}$



شكل 18.9: الامتير

- الفولتميتر: جهاز لقياس فرق الجهد الكهربائي وهو جلفانوميتر مع مقاومة كبيرة جدا على التوالي معه.
- الأوميتر: جهاز يستخدم لقياس المقاومة الكهربائية.
- الجلفانوميتر: جهاز لقياس التيارات الضعيفة جدا.
- الأميتر: جهاز لقياس شدة التيار الكهربائي وهو جلفانوميتر مع مقاومة صغيرة جدا موصولة على

18.2 الحث الكهرومغناطيسي

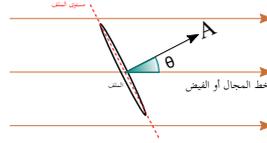
الحث الكهرومغناطيسي هو إنتاج فرق جهد كهربائي في موصل ثابت تحت تأثير مجال مغناطيسي متغير، أو موصل متحرك داخل مجال مغناطيسي ثابت، نتيجة تغير في الفيض المغناطيسي. وقد اكتشفت ظاهرة الحث الكهرومغناطيسي على يد فاراداي³، حيث قام بتمرير مغناطيس داخل ملف موصول بجلفانوميتر (ليستفيد من قدرة الجلفانوميتر على قياس التيارات الضعيفة جدا)، ولاحظ تكون تيار كهربائي صغير عند إدخال المغناطيس في الملف أو إخرجه منه، واستنتج أن هذا التيار نتج عن تغير في الفيض المغناطيسي $\Delta\Phi \neq 0$ عند تقاطع خطوط المجال المغناطيسي مع الملف.

أي أن

$$\Phi = \Delta B \cdot A \cdot \cos\theta$$

حيث Φ الفيض المغناطيسي، θ الزاوية بين خطوط المجال المغناطيسي (الفيض المغناطيسي) والمتجه العمودي على مستوى الملف، فإذا كانت خطوط المجال موازية للمتجه العمودي على مستوى الملف، فإن الزاوية بينهما 0° ، وإذا كانت عمودية عليها تكون الزاوية بينهما 90° .

وكلما زادت شدة المجال المغناطيسي (كثافة الفيض) الساقطة على الملف كلما زاد التيار الحثي المتولد، لاحظ أن زيادة مساحة سطح الملف تزيد من التيار المتولد، ثم وجد أن الزاوية بين خطوط المجال المغناطيسي والمتجه العمودي على مستوى الملف تؤثر على الفيض المغناطيسي.



قانون فاراداي تتناسب القوة الدافعة الكهربائية طرديا مع الفيض المغناطيسي الساقط على الملف خلال وحدة الزمن.

$$\varepsilon = -N \frac{\Delta\Phi_B}{\Delta t} \quad (18.5)$$

حيث ε القوة المحركة الكهربائية الحثية، Φ التدفق المغناطيسي، N عدد لفات الملف، A مساحة الملف، - الإشارة السالبة تشير إلى أن القوة الدافعة المستحثة والتيار المتولد، تعاكس اتجاه القوة المسببة لها.

مثال 18.2.122 السؤال

$$= 2.4 \times 10^{-5} \text{ weber}$$

حساب القوة الدافعة الكهربائية الحثية

$$\varepsilon = -N \frac{\Delta\Phi_B}{\Delta t}$$

$$= -100 \times \frac{2.4 \times 10^{-5}}{0.3}$$

$$= 0.008 \text{ V}$$

النتيجة: القوة الدافعة الكهربائية الحثية المتولدة في الملف تساوي 0.008 فولت.

ملف كهربائي مساحته 120 cm^2 وعدد لفاته 100

لفه، يتعرض لمجال مغناطيسي تتغير شدته من 0 - 0.002 Tesla خلال 0.3 s ، احسب القوة المحركة

الكهربائية الحثية؟

الحل

تعيين المعطيات: $B_1 = 0$ ، $N = 100$ ، $A = 120 \text{ cm}^2$ ، $t = 0.3 \text{ s}$ ، $B_2 = 0.002 \text{ T}$ ، 0 T

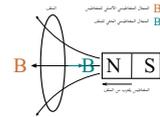
التطبيق: حساب الفيض المغناطيسي

$$\Phi = \Delta B \cdot A$$

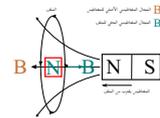
$$= (0.002 - 0) \times 120 \times 10^{-4}$$

قاعدة لينز يكون اتجاه التيار الحثي في ملف معاكس للتغير المسبب له.

بتولد مجال مغناطيسي حثي $B_{induction}$ يعمل على المحافظة على مستوى المجال المغناطيسي، فإذا زاد الفيض المغناطيسي نتيجة اقتراب المغناطيس، فإنه ينتج مجال مغناطيسي حثي معاكس له لكي ينقصه، وإذا نقص الفيض المغناطيسي نتيجة ابتعاد المغناطيس، فإنه ينتج مجال مغناطيسي حثي في نفس اتجاهه لكي يزيده.

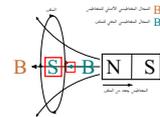


وهذا يعني أن المجال المغناطيسي B المتولد من المغناطيس الذي تخترق خطوطه ملف معين تتسبب



له هو الجنوب، وتطبيق قاعدة اليد اليمنى على الملف بحيث يكون الإبهام باتجاه الشمال، نجد أن التيار يسير في الملف عكس عقارب الساعة. ويجب ملاحظة أن قطب المغناطيس وقطب الملف المواجه له كلاهما N ، لذا يجب بذل شغل يقاوم تنافرهما أثناء اقتراب المغناطيس، وهذا الشغل هو الذي يتحول إلى طاقة حركية للالكترونات منتجا التيار.

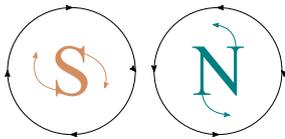
إن خطوط المجال تكون دائما خارجة من القطب الشمالي، لذا يكون قطب الملف الذي نتج منه المجال المغناطيسي الحثي B_{ind} هو الشمال، والقطب المعاكس



أما إذا كان المغناطيس يبتعد فإن الفيض المغناطيسي ينقص، فينتج مجال مغناطيسي حثي B_{ind} في نفس اتجاه المجال المغناطيسي الأصلي B لكي يزيده، أي إلى داخل الملف، وبهذا يكون القطب الشمالي للملف إلى الداخل،

والقطب المواجه للمغناطيس هو الجنوبي، وإذا طبقنا قاعدة اليد اليمنى على الملف بحيث يكون الإبهام باتجاه الشمال (إلى الداخل)، نجد أن التيار في الملف يتحرك في اتجاه عقارب الساعة. ونلاحظ أن قطب المغناطيس N وقطب الملف المواجه له S ، لذا يجب بذل شغل يقاوم تجاذبهما أثناء ابتعاد المغناطيس، وهذا الشغل هو الذي يتحول إلى طاقة حركية للالكترونات منتجا التيار.

كما يمكن الاستدلال على اتجاه التيار في الملف بعد تعيين القطب المواجه للمغناطيس، سواء كان شمالي أم جنوبي، وذلك بدلالة أطراف الحرفين N و S في الملف المحثوث، كما هو موضح في الرسم في الهامش.



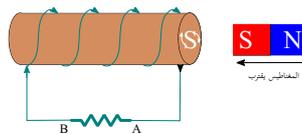
شكل 18.10: إتجاه I في نفس اتجاه أطراف الحرفين.

مثال 18.2.123 السؤال

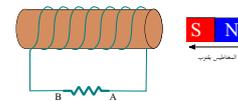
حدد اتجاه التيار في الملف التالي ؟

الحل

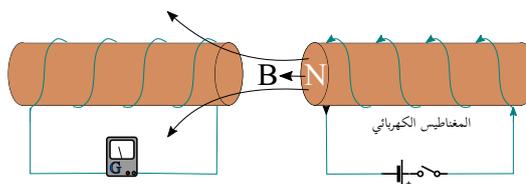
تعيين المعطيات:



النتيجة: يكون اتجاه التيار من A إلى B .



الحث المتبادل بين ملفين إن المغناطيس الذاتي له سلبه، وهي أن شدة مجاله ثابتة، ولا نستطيع زيادتها أو إنقاصها، لذا يستخدم المغناطيس الكهربائي في كثير من الأحيان، حيث يتكون فيه مجال مغناطيسي عند إغلاق دائرته الكهربائية، ويختفي المجال إذا فُتحت. وترداد شدة المجال المغناطيسي الخارجة منه بزيادة شدة التيار، وتقل بإنقاصها.



شكل 18.11: الحث المتبادل بين ملفين

ويجب ملاحظة أن القوة الدافعة الكهربائية الحثية والتيار الحثي ستصبح صفر عندما:

- يكون المغناطيس الكهربائي مطفاً (دائرته مفتوحة).
- يكون الفيض المغناطيسي ثابت (ثبات عدد خطوط المجال التي تسقط على وحدة المساحات من الملف)، بسبب ثبات شدة تيار المغناطيس الكهربائي $\Delta I=0$ ، أو ثبات المغناطيس الكهربائي والملف الحثي في مكانهما.

يتم حساب القوة الدافعة الكهربية الحثية في ملف الحث المتبادل باستخدام القانون :

$$\varepsilon = -M \frac{\Delta I}{\Delta t} \quad (18.6)$$

$$M = \frac{k \mu N^2 A}{L}$$

حيث M معامل الحث المتبادل بين ملفين (أو معامل الحث الذاتي)، I التيار المار في المغناطيس الكهربائي، t الزمن، k النفاذية النسبية للمعدن، A مساحة الملف، ε القوة الدافعة الكهربية.

* ومضة

الهنري هو معامل الحث الذاتي لملف القوة الدافعة الحثية له $1V$ ويمر به تيار $1A$ في الثانية.

مثال 18.2.124 السؤال

$$5 = -M \times 20$$

$$M = -\frac{5}{20} = -0.25H$$

النتيجة: معامل الحث الذاتي للملف يساوي 0.25 هنري، والإشارة السالبة تدل على أنها تعاكس اتجاه القوة المسببة لها.

ملف كهربائي يتغير التيار المار به بمعدل $20A$ في الثانية الواحدة، فإذا علمت أن القوة الدافعة الكهربية الحثية $5V$ ، احسب معامل الحث الذاتي له؟

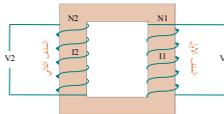
الحل

$$\varepsilon = 5V, \frac{\Delta I}{\Delta t} = 20$$

التطبيق:

$$\varepsilon = -M \frac{\Delta I}{\Delta t}$$

ومن استخدامات الحث المتبادل، محولات الكهرباء الحثية، وهي ملفات حث ذاتي، سواء الرفع للجهود والتي توضع عادة في بداية خطوط نقل الكهرباء ذي الضغط العالي والقادم من محطات توليد الكهرباء، أو محولات خفض الجهود التي توضع في نهاية خطوط الضغط العالي، لتجعل الجهد قابل للاستخدام في المنازل، فينخفض من آلاف الفولتات إلى $110V$ أو $220V$ ، ويلاحظ أن القلب المعدني مكون من رقائق معدنية ملتصقة ببعضها، وليس كتلة واحدة من المعدن؟! وذلك لمنع تكون التيارات الدوامية التي تسبب تسخين القلب المعدني، ويمكن التخلص من التيارات الدوامية بطريقة أخرى وهي صنع القلب المعدني من برادة أو مسحوق الحديد الذي يلصق بالشكل المطلوب. [19]



شكل 18.12: المحول الكهربائي

ويتم تعيين تيار الخرج وجهده باستخدام القانون

$$\frac{N_1}{N_2} = \frac{V_1}{V_2} = \frac{I_2}{I_1} \quad (18.7)$$

حيث I شدة التيار، V فرق الجهد الكهربائي، N عدد لفات الملف.

أي أن فرق الجهد وعدد اللفات تتناسب عكسياً مع شدة التيار الكهربائي، فزيادة عدد اللفات في الملف الأول أو زيادة فرق الجهد فيه ستؤدي إلى نقصان شدة التيار الخارجة منه، وهذه ميزة تستخدم في خطوط الضغط العالي، حيث يرفع الجهد إلى عشرات الآلاف من الفولتات، وهذا يجعل شدة التيار المارة في الأسلاك منخفضة، فيقل الفقد الناتج عن مقاومة الأسلاك. وتحسب كفاءة المحول بالقانون

$$\mu = \frac{V_2 I_2}{V_1 I_1} \times 100 \quad (18.8)$$

مثال 18.2.125 السؤال

في محول كهربائي، كم عدد اللفات اللازمة لتحويل التيار الكهربائي من $110V$ إلى $220V$ حيث عدد لفات الملف الأول 1000 لفة ؟

الحل

تعيين المعطيات: $N_1 = 1000$ ، $V_2 = 220V$ ، $V_1 = 110V$
1000

$$\frac{N_1}{N_2} = \frac{V_1}{V_2}$$

$$\frac{1000}{N_2} = \frac{110}{220}$$

$$N_2 = \frac{1000 \times 220}{110} = 2000$$

النتيجة: عدد اللفات في الملف الثاني 2000 لفة.

التطبيق:

18.3 التدريبات

$$= \frac{1.63 \times 10^{-2} \times 34 \times 0.5}{0.24}$$

$$= 1.15 \text{ Tesla}$$

8- يتولد مجال مغناطيسي حول السلك الذي يمر به تيار كهربائي؟

(أ) صح ✓ (ب) خطأ

9- تقل شدة المجال المغناطيسي بزيادة شدة التيار الكهربائي؟

(أ) صح ✓ (ب) خطأ

10- قاعدة اليد اليمنى لفلمنج تستخدم في المحركات الكهربائية؟

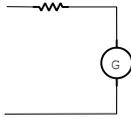
(أ) صح ✓ (ب) خطأ

11- جهاز يستخدم لقياس المقاومة الكهربائية؟

(أ) الأميتر (ج) الفولتميتر

(ب) الأوميتر ✓ (د) الجلفانوميتر

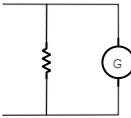
12- ما اسم الجهاز الموضح بالدائرة التالية؟



(أ) الأميتر (ج) الفولتميتر ✓

(ب) الأوميتر (د) الجلفانوميتر

13- ما اسم الجهاز الموضح بالدائرة التالية؟



(أ) الأميتر ✓ (ج) الفولتميتر

(ب) الأوميتر (د) الجلفانوميتر

14- إذا كان التيار $I_1 = 4A$ في محول خافض للجهد فإن نتيجة I_2 الأقرب للصحة؟

(أ) $5A$ ✓ (ج) $3A$

(ب) $4A$ (د) $2A$

15- القلب المعدني في المحولات والمولدات مكون من شرائح متلاصقة وليس كتلة واحدة، لمنع التيارات الدوامية؟

(أ) صح ✓ (ب) خطأ

1- خطوط المجال المغناطيسي حول سلك كهربائي تكون على شكل؟

(أ) دوائر ✓ (ج) مربعات

(ب) مثلثات (د) خطوط مستقيمة

2- إذا مر تيار كهربائي في سلك بجوار بوصلة فإن مؤشر البوصلة سيتحرك؟

(أ) صح ✓ (ب) خطأ

3- في قاعدة فلمنج لليد اليسرى (المحركات)، يمثل الإبهام؟

(أ) المجال المغناطيسي (ج) التيار

(ب) الحركة ✓ (د) خطوط المجال

4- التسلا هي وحدة؟

(أ) طول السلك (ج) القوة

(ب) التيار (د) شدة المجال

5- الإلكترونات التي يسبب عزم دورانها ظاهرة المغناطيسية، موجودة في المدار الفرعي؟

(أ) $3d$ ✓ (ج) $3s$

(ب) $3f$ (د) $3p$

6- احسب شدة المجال المغناطيسي على بعد $20cm$ من سلك يمر به تيار مقداره $4A$ ، حيث نفاذية الهواء $4\pi \times 10^{-7} \text{ weber/A.m}$ ؟

الحل

تعيين المعطيات: $I=4A$ ، $d=0.2m$
التطبيق:

$$B = \frac{\mu I}{2\pi d}$$

$$= \frac{4\pi \times 10^{-7} \times 4}{2\pi \times 0.2}$$

$$= 4 \times 10^{-6} \text{ Tesla}$$

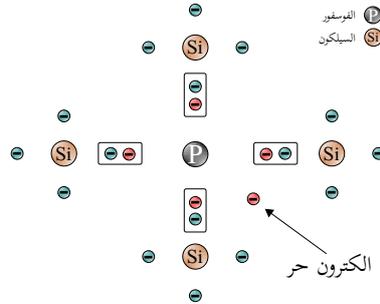
7- احسب شدة المجال المغناطيسي في مركز ملف طوله $24cm$ وعدد لفاته 34 لفة، ويمر به تيار مقداره $0.5A$ ، حيث يحتوي قلب حديدي نفاذيته $1.63 \times 10^{-2} \text{ weber/A.m}$ ؟

الحل

تعيين المعطيات: $N=50$ ، $I=12A$ ، $r=0.1m$
التطبيق:

$$B = \frac{\mu NI}{L}$$

الإلكترونيات الحديثة



- أشباه الموصلات
- الترانزستور
- البوابات المنطقية



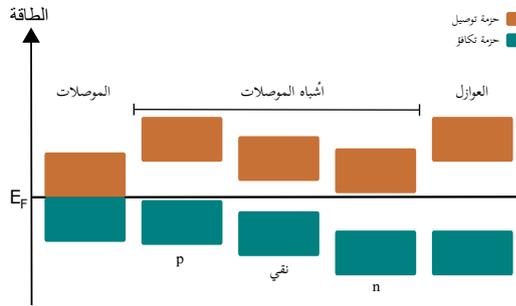
إن المواد الجامدة تتكون من ذرات، إما مرتبة في شكل هندسي منتظم وفي هذه الحالة نسميها بلورات، أو يكون ترتيبها عشوائياً. إن لكل ذرة من هذه الذرات مستويات طاقة قريبة من النواة لا تنتقل الإلكترونات الموجودة فيها بسهولة وتسمى حزمة التكافؤ، وهناك إلكترونات أخرى موجودة في مستويات عليا بعيدة عن النواة والإلكترونات حرة وتسمى حزمة التوصيل، وبهذا يكون لدينا في كل ذرة حزمة تكافؤ وحزمة توصيل، أي يكون لدينا عدد من مجموعات الحزم مساوي لعدد الذرات في المادة. لكن وجد من تجربة فوغ باستخدام الأشعة السينية لحساب ثابت الشبكة البلوري، أن ذرات المادة الجامدة حين تقترب من بعضها مسافة تساوي ثابت الشبكة البلورية أو أقل فإن جميع حزمها تتحد في حزمتين، حزمة تكافؤ وحزمة توصيل¹ وبينهما الفجوة العازلة أو الفاحلة، ويختلف ثابت الشبكة البلوري من مادة إلى أخرى، فمثلاً النحاس ثابتته 3.597 أنجستروم، والسيليكون 5.431 أنجستروم.

وينتج لدينا ثلاث أنواع من المواد الجامدة:

(1) عندما تتداخل حزمة التكافؤ مع حزمة التوصيل فلا توجد منطقة عازلة بينهما، في هذه الحالة تكون المادة الجامدة موصلة، أي يوجد عدد كبير من الإلكترونات في منطقة التوصيل.

(2) عندما تكون المسافة بين الحزمتين صغيرة ويمكن أن تنقص بزيادة درجة الحرارة، بحيث تسمح للإلكترونات بالانتقال من حزمة التكافؤ إلى حزمة التوصيل، في هذه الحالة تكون المادة شبه موصلة، ويجب أن ننتبه إلى أن حزمة التوصيل في شبه الموصل تكون خالية من الإلكترونات عند الصفر المطلق فقط، لكنها تزداد بزيادة درجة الحرارة، ومع هذا لا تصل إلى نفس عدد الإلكترونات في حزمة توصيل الموصل.

(3) عندما تكون المسافة كبيرة إلى درجة لا تسمح بانتقال الإلكترونات حتى مع تغير درجة الحرارة، في هذه الحالة تكون المادة عازلة، لكن هذا لا يعني أن حزمة التوصيل في المادة العازلة خالية تماماً من الإلكترونات، وإنما عدد الإلكترونات بها قليل جداً، ويمكن زيادته لكن عند درجات حرارة عالية تجعل العملية مكلفة وغير مجدية.



شكل 19.1: التوصيلية ومستوى طاقة فيرمي

ويمكن حساب مستوى طاقة فيرمي لمادة معينة بالقانون:

$$E_F = \frac{(hc)^2}{8mc^2} \left(\frac{3}{\pi}\right)^{2/3} \cdot n^{2/3} \quad (19.1)$$

$$E_F = 5.848 \times 10^{-38} \times n^{2/3}$$

حيث E_F مستوى طاقة فيرمي للمادة، h ثابت بلانك، $n = \frac{N}{V}$ عدد الإلكترونات في وحدة الحجم، m كتلة الإلكترون، c سرعة الضوء.

¹ترجم أيضا نطاق تكافؤ ونطاق توصيل، لأنها ترجمة كلمة band .

مثال 19.0.126 السؤال

$$E_F = 5.848 \times 10^{-38} \times (8.5 \times 10^{28})^{2/3}$$

$$E_F = \frac{1.13 \times 10^{-18} \text{ J}}{1.6 \times 10^{-19}} = 7.06 \text{ eV}$$

النتيجة: مستوى طاقة فيرمي للنحاس يساوي 7.06 إلكترون فولت.

احسب طاقة مستوى فيرمي للنحاس؟

الحل

$$n = \frac{N}{V} = 8.5 \times 10^{28} \text{ e/m}^3$$

$$E_F = 5.848 \times 10^{-38} \times n^{2/3}$$

التطبيق:

19.1 أشباه الموصلات

تنقسم المواد حسب توصيليتها إلى:

موصلة هي المواد التي توصل التيار الكهربائي مثل النحاس والحديد.

عازلة هي المواد التي لا توصل التيار الكهربائي مثل الخشب والبلاستيك.

شبه موصلة هي المواد التي تتغير قدرتها على توصيل الكهرباء بالشوائب المضافة، والتغير في درجة حرارتها، مثل السيليكون والجرمانيوم.

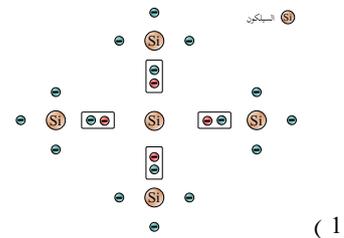
وتزداد ناقلية أشباه الموصلات بارتفاع درجة الحرارة، ويمكن زيادة عدد الشحنات (إلكترونات سالبة، فجوات موجبة) بإضافة كمية قليلة من مواد أخرى مانحة *Donor* تعطي إلكترونات حرة، أو متقبلة *Acceptor* تعطي فجوات، وتتميز الأدوات الكهربائية المصنوعة من أشباه الموصلات بقلة استهلاكها للكهرباء، وانخفاض الحرارة الناتجة عنها (الطاقة المفقودة)، كما أن عمرها الافتراضي كبير، وأهم مادتين من أشباه الموصلات هي السيليكون والجرمانيوم، لكن يفضل السيليكون على الجرمانيوم لسببين، الأول أنه أكثر وفرة وبالتالي أقل ثمن، والثاني أن التغير في توصيلية الجرمانيوم حساس للحرارة، فكل تغير في درجة الحرارة يسبب تغير كبير في التوصيلية، فتصعب عملية التحكم في الخرج الكهربائي.

الإلكترون الحر هو إلكترون سالب في شبه الموصل، ولا يرتبط بروابط تساهمية، وله قدرة على الانتقال من ذرة إلى أخرى.

الفجوة هي حيز فارغ حول ذرة شبه الموصل، وتحمل شحنة موجبة، ولديها القدرة على الانتقال من ذرة إلى أخرى.

19.1.1 السيليكون

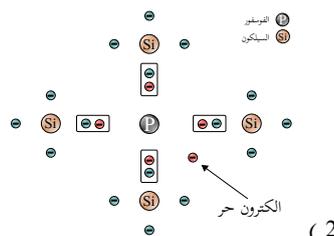
السيليكون Si_{14}^{28} هو عنصر شبه فلزي من المجموعة الرابعة في الجدول الدوري وثابت الشبكة البلوري له 5.431 أنجستروم وطاقة الفجوة العازلة له 1.1eV، ويحتوي على 4 إلكترونات في مداره الأخير، فيكون تكافؤه Si^4 ، ولهذا تميل ذرته لتكوين 4 روابط تساهمية مع 4 ذرات لكي تصل للاستقرار²، ويوجد ثلاثة أنواع من الروابط التساهمية التي تصنعها ذرة السيليكون مع الذرات الأخرى:



(1)

روابط تساهمية مع ذرات سيليكون أخرى، وفي هذه الحالة لا توجد إلكترونات حرة أو فجوات (عند الصفر المطلق)، وبالتالي يصبح السيليكون عازل للكهرباء، لكن عند تسخينه إلى درجة حرارة معينة، تبدأ روابط الإلكترونات بالتكسر، وتتطلق داخل العينة على شكل إلكترونات حرة،

فتكسب العينة صفة التوصيلية الكهربائية، ما دامت ساخنة. حيث $n=p$



(2)

روابط تساهمية مع ذرات عناصر المجموعة الخامسة، والتي عدد إلكترونات مستواها الأخير أكثر من 4، وفي هذه الحالة يتشارك العنصر

²تصل الذرة لمرحلة الاستقرار إذا كان في مدارها الأخير 8 إلكترونات.

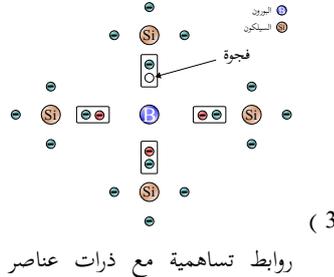


شكل 19.2: مكونات تحوي السيليكون [2]

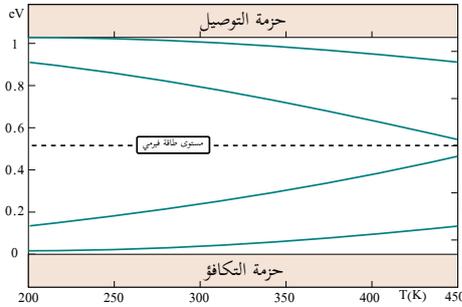
الثالثة، والتي عدد إلكترونات مستواها الأخير أقل من 4 ، وفي هذه الحالة يتشارك بها العنصر مع ذرات السيليكون، ولأن عددها 3 فإن أحد ذرات السيليكون لن يحصل على إلكترون تساهمي، وسيبقى هناك مكان فارغ له، هذا المكان الفارغ يسمى فجوة *hole*، ويسمى السيليكون في هذه الحالة شبه موصل من النوع الموجب P إختصار *positive*. حيث $p=n+N_A^-$

حيث n مجموع الإلكترونات الحرة في السيليكون والشوائب، p مجموع الفجوات في السيليكون والشوائب، N_D^+ عدد أيونات الشوائب الموجبة، N_A^- عدد أيونات الشوائب السالبة.

بأربعة منها مع ذرات السيليكون، والالكترون المتبقي يصبح الكترون حر داخل العينة، ويسمى السيليكون في هذه الحالة شبه موصل من النوع السالب n إختصار *negative*. حيث $n=p+N_D^+$



ويجب ملاحظة نقطتين وهي أن الفجوات والإلكترونات الحرة داخل العينة تتحرك بشكل عشوائي، وأن عدد الإلكترونات الحرة وعدد الفجوات متساوي وذلك عند الاتزان الحراري لعينة السيليكون النقي، ويتغير موضع مستوى طاقة فيرمي بالنسبة للسيليكون بتغير كمية الشوائب ونوعها كما في الرسم البياني التالي لأربع عينات:



شكل 19.3: تأثير زيادة الشوائب على السيليكون

إن كل خط أخضر على الرسم يمثل تغير موضع الحزمة لكمية شوائب معينة، أي يمثل الرسم عينتين n وعينتين p ، ونلاحظ أن زيادة الشوائب المانحة n تؤدي إلى ابتعاد حزمة التوصيل عن مستوى طاقة فيرمي، بينما تؤدي زيادة درجة الحرارة إلى اقترابها منه. كذلك زيادة الشوائب المتقبلة p تؤدي إلى ابتعاد حزمة التكافؤ عن مستوى طاقة فيرمي، بينما تؤدي زيادة درجة الحرارة إلى اقترابها منها.

التشويب أو التطعيم

هو عملية إضافة عنصر لشبه الموصل النقي، ويكون عادة عنصر من المجموعة الخامسة في الجدول الدوري إذا اردنا الحصول على شبه موصل من النوع n ، أو عنصر من المجموعة الثالثة إذا اردنا الحصول على شبه موصل من النوع p .

قانون فعل الكتلة ويستخدم لحساب الفجوات أو الإلكترونات الحرة في شبه موصل مضاف له شوائب.

$$n_i^2 = np \quad (19.2)$$

حيث n_i تركيز الفجوات أو الإلكترونات الحرة في السيليكون النقي، n تركيز الإلكترونات الحرة، p تركيز الفجوات.

وفي حالة التطعيم من النوع n نعوض عن n بتركيز الشوائب الموجبة N_D^+ حيث D إختصار معطي أو مانح، وفي حالة التطعيم من النوع p نعوض عن p بتركيز الشوائب السالبة N_A^- حيث A إختصار مستقبِل أو متلقِي. ³

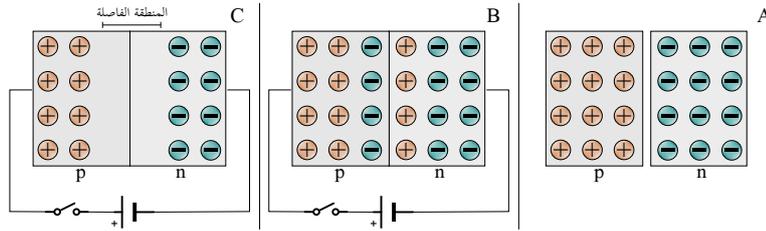
19.1.2 المكونات والنبائط الإلكترونية

النبائط الإلكترونية هي المكونات التي نضعها في الدائرة الكهربائية، مثل المقاومة والمكثف والترانزستور والملف والدايود وغيرها.

³التركيز هو عدد الفجوات أو الإلكترونات في وحدة الحجم.

19.1.2.1 الوصلة الثنائية

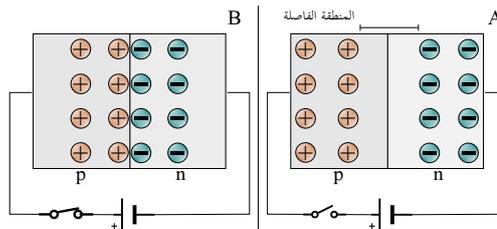
الوصلة الثنائية هي قطعة إلكترونية مكونة من شبه موصل من النوع n موصول به آخر من النوع p .



شكل 19.4: الوصلة الثنائية

قبل وصل شبه الموصل n وشبه الموصل p ، تكون الإلكترونات الحرة موزعة على n والفجوات موزعة على p عشوائياً كما في الرسم A ، وبمجرد وصلهما في المصنع، تبدأ الإلكترونات الحرة بالانتقال لملء الفجوات في p كما في الرسم B ، فيصبح لدينا منطقة فرق جهدها يساوي $0.7V$ بالنسبة للسيليكون، وتسمى المنطقة الفاصلة أو القاحلة لعدم احتوائها على إلكترونات حرة أو فجوات. وتوجد طريقتين لوصلة الوصلة الثنائية بالبطارية:

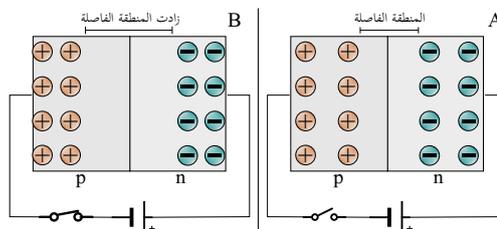
طريقة الانحياز الأمامي وتكون بإيصال الأقطاب المتشابهة ببعضها، أي إيصال القطب السالب للبطارية بالجزء السالب في الوصلة الثنائية، ووصل القطب الموجب في البطارية بالجزء الموجب p في الوصلة الثنائية.



شكل 19.5: الانحياز الأمامي

عندما نقوم بإغلاق الدائرة الكهربائية فإن الإلكترونات الحرة في n تتنافر مع إلكترونات التيار السالب القادم من البطارية، وهذا يجعلها تقترب من p بشدة وهذا يقلل من عرض المنطقة الفاصلة، ويحدث نفس الشيء عند القطب الموجب، حيث تتنافر الفجوات الموجبة في p ، مع القطب الموجب القادم من البطارية، وهذا يجعلها أيضاً تقترب من n بشدة، فيقل عرض المنطقة الفاصلة أكثر وأكثر، وبالتالي يقل فرق الجهد بينهما ويستطيع التيار الكهربائي المرور، وتعمل الدائرة الكهربائية.

طريقة الانحياز العكسي وتكون بإيصال الأقطاب المختلفة ببعضها، أي إيصال القطب السالب للبطارية بالجزء الموجب في الوصلة الثنائية، ووصل القطب الموجب في البطارية بالجزء السالب n في الوصلة الثنائية.

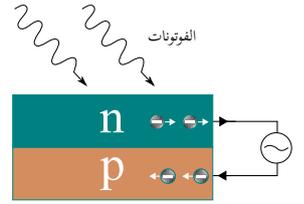


شكل 19.6: الانحياز العكسي

عندما نقوم بإغلاق الدائرة الكهربائية (بطريقة الأقطاب المختلفة) فإن الإلكترونات الحرة في n تنجذب للقطب الموجب القادم من البطارية، وهذا يجعلها تبتعد عن p بشدة، وهذا يزيد من عرض المنطقة الفاصلة، ويحدث نفس الشيء في الجهة الأخرى، حيث تنجذب الفجوات الموجبة في p ، إلى القطب السالب القادم من البطارية، وهذا يجعلها أيضاً تبتعد عن n بشدة، فيزيد عرض المنطقة الفاصلة أكثر وأكثر، وبالتالي يزيد فرق الجهد بينهما ولا يستطيع التيار الكهربائي المرور، ولا تعمل الدائرة الكهربائية.

19.1.3 الخلايا الشمسية

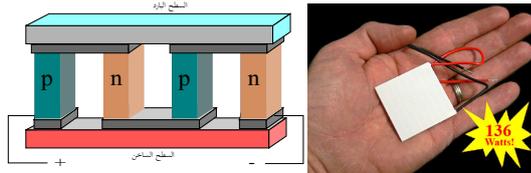
الخلية الشمسية هي وصلة ثنائية مكونة من شريحة سيليكون تحتوي على شوائب n في أعلاها وشوائب p في أسفلها، وعند سقوط الضوء على الطبقة n يتحرر ويتحرك إلكترون حر ويسير في السلك مولدا التيار الكهربائي.



شكل 19.7: الخلية الشمسية

19.1.4 الخلايا الكهروحرارية

الخلية الكهروحرارية⁴ هي قطعة مكونة من شريحتين من مادتين مختلفتين وملصقتين ببعضهما وعندما تكون إحدى الشريحتين أسخن من الأخرى يتولد تيار كهربائي. وقد أصبحت الآن تصنع من مصفوفة من الوصلات الثنائية بين طبقتي حماية وتحول الحرارة إلى كهرباء والكهرباء إلى حرارة، وأسعارها أصبحت منخفضة نسبيا، وتسمى أحيانا على اسم مخترعها بلتير Peltier.



شكل 19.8: الخلية الكهروحرارية [4]

وتستخدم بطريقتين:

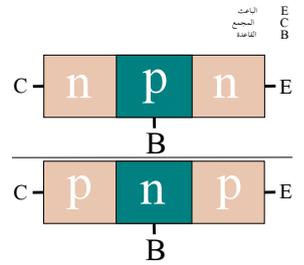
(2) للتبريد أو التسخين: حيث يتجمد أحد وجهي الشريحة عند توصيل الشريحة بمصدر للتيار الكهربائي المستمر ويسخن الآخر، مما سمح بتصنيع ثلاجات بدون كمبرسور أو غاز فريون.

(1) لتوليد الكهرباء: حيث تقوم بتوليد الكهرباء عند ما يكون أحد وجهي الشريحة أسخن من الآخر، فيمكن أن يتولد التيار بالتسخين المباشر أو بالوضع على الجلد، أو عند تعريضها لحرارة الشمس.

19.1.5 الترانزستور

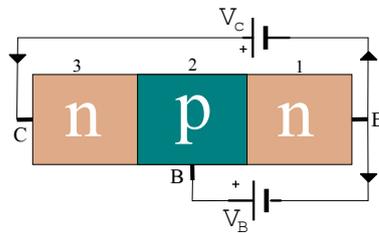
الترانزستور هو مكون إلكتروني يتركب من 3 قطع شبه موصلة، الأطراف متشابهة والوسط مختلف. ويوجد نوعين منها npn وهو الأكثر استخداما و pnp ، وهو صغير جدا حيث تكون مساحته عادة $210\mu m^2$ لكنه يغلف بغلاف أكبر منه بكثير.

مكونات الترانزستور: الباعث E - المجمع C - القاعدة B



شكل 19.9: الترانزستور

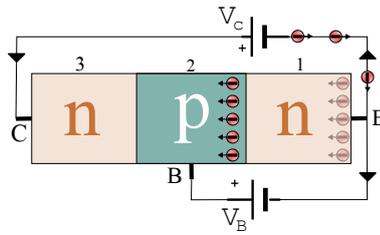
آلية عمل الترانزستور



شكل 19.10: آلية الترانزستور

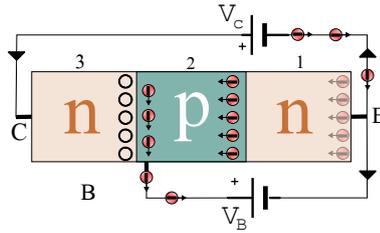
يقوم الباعث E بعث الشحنات الكهربائية للمجمع C ، بينما تقوم القاعدة B بالتحكم بمقدار الشحنة الواصلة للمجمع ولهذا يتم إضافة كمية قليلة من الشوائب للقاعدة لجعل موصليتها منخفضة وبالتالي كمية التيار المار فيها منخفضة. فإذا زاد التيار نسبي الترانزستور «مكبر»، وإذا منع الشحنات نسميه «مفتاح».

⁴مكتشف الظاهرة الفيزيائي الألماني سيك المتوفى عام 1831م.



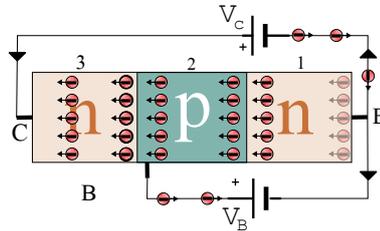
شكل 19.11: الانحياز الأمامي في الترانزستور

وعند إغلاق الدائرة الكهربائية، تبدأ الإلكترونات بالانتقال من القطب السالب للبطارية V_C المغذية للمجمع، وبعد انتقالها من الباعث E إلى شبه الموصل (1) من النوع n يحصل لها انحياز أمامي وتنتقل الإلكترونات إلى شبه الموصل (2) من النوع p .



شكل 19.12: الانحياز العكسي في الترانزستور

بعد وصول الإلكترونات لشبه الموصل (2)، تحاول العبور إلى شبه الموصل (3)، لكن بما أن (2) من النوع p لذا سيكون نوع الانحياز عكسي ولن تستطیع الإلكترونات العبور إلى المجمع C ، عندها تقوم دائرة القاعدة بعمل قطب موجب أسفل شبه الموصل p ، وهذا سيجعل الإلكترونات المسببة للانحياز العكسي تنجذب له وتخرج إلى البطارية V_B .



شكل 19.13: مرور التيار في الترانزستور

بعد زوال فرق الجهد المسبب للانحياز العكسي، تتحرك الإلكترونات بسهولة إلى المجمع، ويصبح الترانزستور كأنه مفتاح كهربائي في وضعية on .
قانون حساب نسبة تكبير التيار في الترانزستور

$$\beta_e = \frac{I_c}{I_B} \quad (19.3)$$

حيث I_c تيار المجمع، I_B تيار القاعدة.

الرقمي والتناظري

بعد انتشار القنوات الفضائية سمعنا بالقنوات الرقمية $Digital$ فما هي قصتها؟!، ثم انتشرت إلى أن أصبحت هي الأساس في البث التلفزيوني.

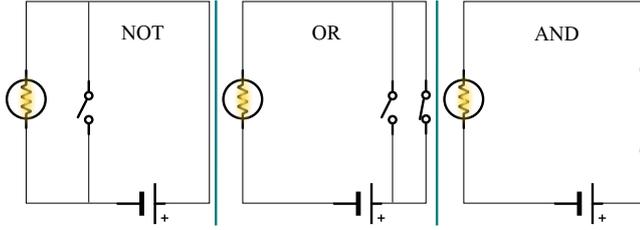
في السابق كان يتم البث التلفزيوني بطريقة البث التناظري، ويعني أن الصورة والصوت تبث على شكل موجات كهرومغناطيسية عادية، يستقبلها التلفزيون ويظهرها على الشاشة كما هي، ورغم سهولة العملية نسبياً، إلا أن المشاهد كان أحياناً يواجه مشكلة في الصوت والصورة على شكل خطوط أو اختفاء لبعض الصور نتيجة تداخل الموجة مع مصادر التشويش المحيطة، فتم اختراع البث الرقمي، ويعني تحويل البيانات قبل إرسالها إلى شفرات مبنية من عدد لا متناهي من 0 و 1، ويسمى bit وهي اختصار

كلمتي رقم ثنائي *binary digit* وهي نفس الآلية التي يستخدمها الحاسب الآلي في التعامل مع البيانات، وبعد وصول البت الرقمي للتلفزيون تقوم شريحة مدمجة فيه بفك شيفرة البيانات الرقمية وإعادة عرضها على الشاشة، ومن مميزات البت الرقمي القدرة على إرسال النصوص إلى التلفزيونات، وإمكانية إرسال الصوت على عدة مسارات *tracks* مع الصورة.

البوابات المنطقية

هي عناصر منطقية تتحكم في عملية مرور التيار 1 أو عدم مرور التيار 0 ولكن بطرق مختلفة.

أشهر البوابات المنطقية



شكل 19.14: أبواب المنطقية

بوابة الالاسم *NOT* وهي بوابة بسيطة تعكس القيمة المعطاة، فإذا كان الدخل 1 تعطي 0، والعكس صحيح.

بوابة الاختيار *OR* وهي بوابة لوصول عدة خطوط دخل بالبوابة، وتعطي خرج 1 إذا كان دخل واحد منها أو أكثر يساوي 1.

بوابة التوافق *AND* وهي تعني أننا إذا وصلنا عدة خطوط دخل بالبوابة فإنها لن تعطي خرج 1 إلا إذا كان دخل جميع الخطوط 1.

19.2 التدريبات

- 1- السيليكون من المواد ؟
 (ا) شبة الموصله ✓
 (ب) الموصله
 (ج) العازلة
 (د) السائلة
- 2- أشباه الموصلات النقية لا توصل التيار الكهربائي إلا إذا أضيف لها شوائب أو حدث تغير في ؟
 (ا) الطول
 (ب) درجة الحرارة
 (ج) الكتلة
 (د) اللون
- 3- أشباه الموصلات نوع n يضاف لها شوائب تملك في مدارها الأخير ؟
 (ا) 3 الكترونات
 (ب) 4 الكترونات
 (ج) 5 الكترونات ✓
 (د) 6 الكترونات
- 4- أشباه الموصلات نوع p يضاف لها شوائب تملك في مدارها الأخير ؟
 (ا) 3 الكترونات
 (ب) 4 الكترونات
 (ج) 5 الكترونات ✓
 (د) 6 الكترونات
- 5- تكافؤ السيليكون ؟
 (ا) 2
 (ب) 9
 (ج) 4 ✓
 (د) 6
- 6- إذا اردنا صنع شبه موصل من النوع n فإننا نضيف له عنصر من المجموعة في الجدول الدوري؟
 (ا) الثالثة
 (ب) الرابعة
 (ج) الخامسة ✓
 (د) الثامنة
- 7- إذا اردنا صنع شبه موصل من النوع p فإننا نضيف له عنصر من المجموعة في الجدول الدوري؟
 (ا) الثالثة ✓
 (ب) الرابعة
 (ج) الخامسة
 (د) الثامنة
- 8- أحد الأشياء التالية ليس من النماذج الالكترونية ؟
- 9- في الوصلة الثنائية، إذا أوصلنا قطب البطارية الموجب ب n والقطب السالب ب p فإن التيار سيمر في الدائرة الكهربائية ؟
 (ا) صح
 (ب) خطأ ✓
- 10- احسب شدة المجال المغناطيسي على بعد 20cm من سلك يمر به تيار مقداره $4A$ ، حيث نفاذية الهواء $4\pi \times 10^{-7} \text{weber/A.m}$ ؟
 الحل
 تعيين المعطيات: $I=4A$ ، $d=0.2m$
 التطبيق:

$$B = \frac{\mu I}{2\pi d}$$

$$= \frac{4\pi \times 10^{-7} \times 4}{2\pi \times 0.2}$$

$$= 4 \times 10^{-6} \text{Tesla}$$
- 11- احسب شدة المجال المغناطيسي في مركز ملف طوله 24cm وعدد لفاته 34 لفة، ويمر به تيار مقداره $0.5A$ ، حيث يحتوي قلب حديدي نفاذته $1.63 \times 10^{-2} \text{weber/A.m}$ ؟
 الحل
 تعيين المعطيات: $N=50$ ، $I=12A$ ، $r=0.1m$
 التطبيق:

$$B = \frac{\mu NI}{L}$$

$$= \frac{1.63 \times 10^{-2} \times 34 \times 0.5}{0.24}$$

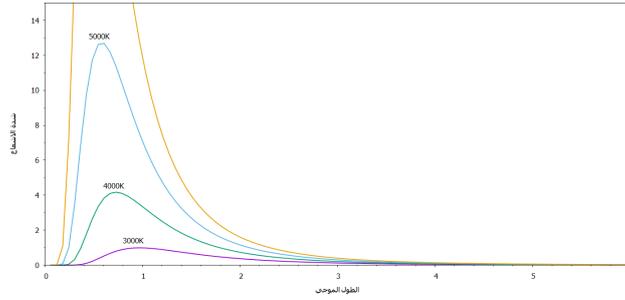
$$= 1.15 \text{Tesla}$$
- 12- يتولد مجال مغناطيسي حول السلك الذي يمر به تيار كهربائي ؟
 (ا) صح ✓
 (ب) خطأ
- 13- احسب طاقة مستوى فيرمي للفضة ؟
 الحل
 تعيين المعطيات: $n = \frac{N}{V} = 5.86 \times 10^{28} \text{e/m}^3$
 التطبيق:

$$E_F = 5.848 \times 10^{-38} \times n^{2/3}$$

$$E_F = 5.848 \times 10^{-38} \times (5.86 \times 10^{28})^{2/3}$$

$$E_F = \frac{8.822 \times 10^{-19} J}{1.6 \times 10^{-19}} = 5.51 \text{eV}$$

ازدواجية الموجة والجسيم

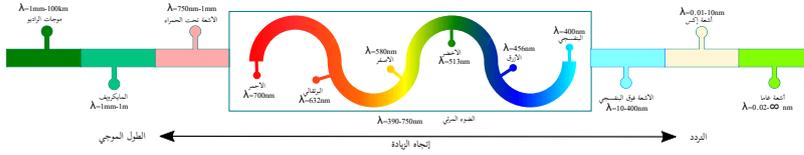


- الجسم الأسود
- التأثير الكهروضوئي
- المجهر الإلكتروني

مقدمة



الضوء هو موجات كهرومغناطيسية في نطاق محدد من الأطوال الموجية، ويخرج من مصادر متنوعة منها الذاتي الإضاءة مثل الشمس ومنها العاكس مثل القمر، وقد لاحظ العلماء عند دراستهم للضوء الصادر من الأجسام الساخنة، مثل النجوم أو الأجسام المحترقة أنها تصدر أطيايف متعددة من الضوء، ولكل لون شدة إضاءة قصوى تختلف باختلاف درجة الحرارة، فحاولوا تفسير هذه الظاهرة، إلا أنهم فشلوا، حتى جاء بلانك وحلها بناء على فرضية الجسم الأسود لكيرشوف.



شكل 20.2: الموجات الكهرومغناطيسية



شكل 20.1: شعلة الصوديوم [2]

20.1 الجسم الأسود

الجسم الأسود

هو جسم مادي مثالي، عند الاتزان الحراري (عند درجة حرارة ثابتة) يمتص كل الموجات الكهرومغناطيسية الساقطة عليه، بغض النظر عن ترددها أو زاوية سقوطها، ويعيد بثها على شكل طيف من الأشعة يتناسب مع درجة حرارته، بنفس كثافة الإشعاع في كل الاتجاهات.¹

يتميز الجسم الأسود بأنه عند ثبوت درجة الحرارة:

(1) مشع مثالي: لكل تردد، يبعث مقدار أو أكثر من الطاقة الإشعاعية.

(2) مشع انتشاري: يشع الموجات بنفس الكثافة في كل الاتجاهات (توزيع أيزوتروبيكالي للطاقة).

تم تصميم الجسم الأسود المثالي على شكل صندوق \square من البلاطين²، مطلي داخله بخليط من أكسيد الحديد والكروم والنيكل وأكسيد الكوبلت، وبه ثقب صغير لدخول الموجات، ولا زال يستخدم، لكن أيضا يستخدم تصميم آخر على شكل كرة مجوفة.

20.1.1 قانون بلانك

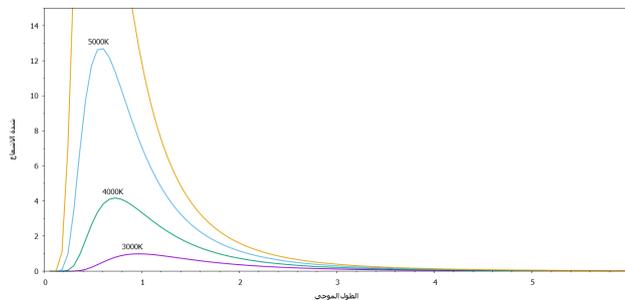
وعندما درس بلانك الجسم الأسود، توصل إلى أن حرارة الجسم هي العامل الوحيد المحدد لكمية الطاقة المنبعثة عند طول موجي معين، وأن الجسم الأسود يشع الموجات الصادرة منه على شكل كمات (فوتونات) غير قابلة للتجزئ.

$$P_{\lambda} = \frac{C_1 \lambda^{-5}}{e^{C_2/\lambda T} - 1}$$

حيث $C_1 = 2hc^2 = 3.7415 \times 10^{-16}$ ، $C_2 = hc/k = 1.43879 \times 10^{-2}$ ، $h = 6.625 \times 10^{-34}$ ، و P طيف الإشعاع.

$$E = \frac{hc}{\lambda} = h\nu$$

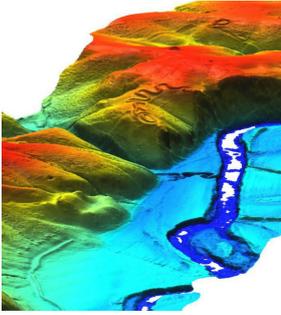
حيث ثابت بلانك $h = 6.6 \times 10^{-34} \text{ J.s}$ ، ν التردد، E الطاقة، λ الطول الموجي.



شكل 20.3: منحنى بلانك

ومن الرسم نلاحظ أن الطول الموجي عند شدة الإشعاع القصوى يتناسب عكسيا مع طاقة الموجة المنبعثة، فقمة المنحنى تنزاح لليسار (نقصان λ) بزيادة درجة الحرارة، وتزداد شدته بزيادة درجة الحرارة، فارتفاع القمة باتجاه المحور Y يزداد (زيادة شدة

¹ أول من وضع فكرة الجسم الأسود هو كيرشوف المتوفى 1887م.
² صممه الألمان لومر ت 1925م، وكورليوم ت 1927م.



شكل 20.4: الاستشعار عن بعد [1]

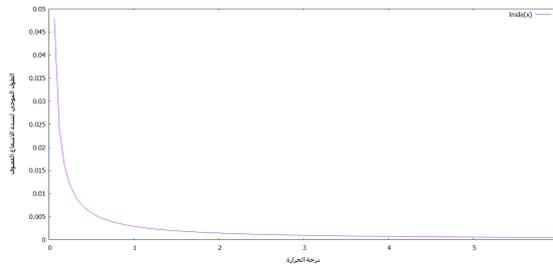
الإشعاع) بزيادة درجة الحرارة. كما نلاحظ أن الموجات الكهرومغناطيسية الصادرة عن الجسم الأسود تكون بطيف من الأطوال الموجية، أي أن الجسم الأسود - عند نفس درجة الحرارة - يصدر موجات متنوعة، قد يكون منها ألوان الطيف والأشعة تحت الحمراء وفوق البنفسجية، لكن الشدة القصوى تكون عند واحد منها فقط، بالإضافة إلى أن المنحنى ذو التواء *skewness* لليمين دائما، أما تفرطحه *kurtosis* فيزداد تدبده (مدبب) *leptokurtic* مع ارتفاع درجة الحرارة (معظم القيم بالقرب من الوسط الحسابي)، وهذه إيجابية وسلبية في نفس الوقت، فالإيجابية أننا نستطيع صنع مصابيح ضوئية تعطي شدة إشعاع عند لون معين، أو في الشمس حيث تعطينا جزء من الطيف على شكل ضوء لئرى وجزء كأشعة حرارية تدفئ الأرض، أما كونها سلبية فلأننا نفقد جزء من الطاقة على شكل موجات لا نرغبها، وإنما هدر على شكل موجات تحت حمراء مثلا، والتصوير الحراري وتقنية الاستشعار عن بعد من التطبيقات العملية على هذا المفهوم.

قانون فين إن قمة توزيع طول موجة الأشعة الحرارية الصادرة من جسم أسود تتزاح نحو أطوال موجية قصيرة مع ارتفاع درجة حرارة الجسم الأسود.

أي أننا إذا نظرنا إلى منحنى بلانك، سنجد أن قمة الموجة يقل طولها الموجي (تتجه لليسار) كلما كانت درجة الحرارة أعلى.

$$\lambda_{max} = \frac{b}{T}$$

حيث b ثابت فين ويساوي $2.897786 \times 10^{-3} K.m$ ، و T درجة الحرارة بالكالفن.



وبما أن درجة الحرارة T في المقام، لذا هي متناسبة عكسيا مع الطول الموجي λ للشدة القصوى، أي كلما زادت درجة الحرارة قل الطول الموجي للشدة القصوى وزاد التردد، وهذا يفسر زيادة توهج وايضا المعادن مع زيادة درجة حرارتها.

ويستفاد من هذه الظاهرة في بعض الاستخدامات العملية مثل:

- الاستشعار عن بُعد وهو نوع من التصوير للأرض بالأقمار الصناعية.
- التصوير الحراري للأجسام سواء للاستخدامات المدنية أو العسكرية.

شكل 20.5: منحنى فين

* طريقة علمية

فيتامين د ينتج عند تعرض الجلد للأشعة فوق البنفسجية من النوع B لمدة 10د من الساعة 3-10 عصرا، بدون حائل زجاجي لأن الزجاج يمتصها.

20.2 التأثير الكهروضوئي والانبعث الحراري

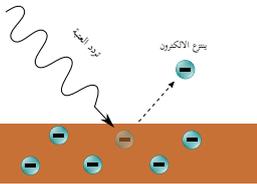
20.2.1 التأثير الكهروضوئي

هو ظاهرة تحدث نتيجة تحرر إلكترون بتأثير موجة كهرومغناطيسية ساقطة عليه، تكون طاقتها أكبر أو تساوي دالة الشغل الحرجة (الطاقة الحرجة)، ويسمى تردد الموجة الساقطة في هذه الحالة بتردد العتبة، أي إذا كان تردد الموجة الساقطة (الفوتون) \leq تردد العتبة فإن الإلكترون سيتحرر، أما إذا كان التردد اقل من ذلك فلن يحدث شيء، وأول من لاحظها العالم هيرتز، حيث شاهد ومضات تظهر على سطح أحد المعادن، وذلك أثناء إجرائه تجارب على الأشعة فوق البنفسجية، وقد سجل هذه الملاحظة، لكنه لم يستطع تفسيرها، ثم جاء أينشتاين وفسرها عام 1905م وحصل به على جائزة نوبل.

$$E_w = h\nu_c \quad (20.1)$$

حيث ν_c تردد العتبة وينطق بيو h ثابت بلانك.

وهي أقل شغل يلزم لتحرير الإلكترون من المعدن، وإذا كانت دالة الشغل E التي أترت بها الموجة (الفوتون) المغناطيسية الساقطة على الإلكترون، أكبر من دالة الشغل الحرجة E_w ، فإن جزء من الشغل يحرق الإلكترون، والشغل المتبقي يُكسب الإلكترون طاقة حركية.



شكل 20.6: التأثير الكهروضوئي

* ومضة

إذا كانت λ للفوتون تقارب المسافة بين ذرات المادة أو اقل، فإن الفوتون ينفذ خلال السطح ولا يصطدم بالإلكترونات.

$$E = E_w + \frac{1}{2}mv^2 \quad (20.2)$$

$$KE = hf_1 - hf_0 \quad (20.3)$$

حيث E الشغل الذي تبذله الموجة الساقطة، E_w دالة الشغل الحرجة.

وإذا كانت دالة شغل الموجة الساقطة E أقل من دالة الشغل الحرجة E_w اللازمة لتحرير الإلكترون، فإن الإلكترون لا يتحرر، مهما كانت شدة الموجة، أو زمن تأثيرها على الإلكترون.

20.2.2 تأثير كمبتون

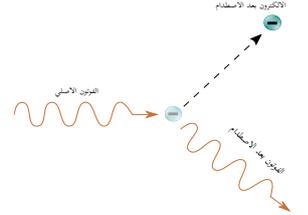
هي ظاهرة تحدث نتيجة سقوط موجة كهرومغناطيسية ذات تردد عال (السينية، غاما)، على إلكترون حر، فينشأ عن ذلك اكتساب الإلكترون لجزء من طاقة الموجة الساقطة مما يزيد من طاقته الحركية ويغير اتجاهه، ويقل تردد الموجة الكهرومغناطيسية الساقطة ويتغير اتجاهها.³

ويمكننا حساب القوة التي تؤثر بها الفوتونات على السطح بالقانون:

$$F = 2mc\Phi_L$$

$$F = \frac{2h\nu\Phi_L}{c} = \frac{2P_w}{c} \quad (20.4)$$

حيث Φ_L معدل الفوتونات الساقطة/ثانية، P_w قدرة الفوتونات الساقطة على المعدن.



شكل 20.7: تأثير كمبتون

أي أن القوة تزداد بزيادة عدد الفوتونات الساقطة على المعدن.

مثال 20.2.127 السؤال

$$= \frac{2 \times 25}{3 \times 10^8}$$

$$= 16.66 \times 10^{-8} N$$

إذا سقط شعاع قدرته $25Watt$ على سطح،
فاحسب القوة التي يؤثر بها على السطح؟

الحل

تعيين المعطيات: $P_w = 25Watt$

التطبيق:

$$F = \frac{2P_w}{c}$$

النتيجة: القوة التي يؤثر بها الشعاع الساقط تساوي
 16.66×10^{-8} نيوتن.

$$m = \frac{h\nu}{c^2} \quad (4)$$

ويمكننا استنتاج العلاقة بين كمية الحركة والطول
الموجي

نعوض من 4 في 1:

$$P = \frac{h\nu c}{c^2}$$

$$P = mc \quad (1)$$

$$E = h\nu \quad (2)$$

$$P = \frac{h\nu}{c} \quad (5)$$

$$E = mc^2 \quad (3)$$

$$\lambda = \frac{c}{\nu} \quad (6)$$

نساوي المعادلتين 2،3:

نعوض من 6 في 5:

$$mc^2 = h\nu$$

³ آرثر كمبتون فيزيائي أمريكي ت 1962م.

فنحصل على القانون

$$P = \frac{h}{\lambda} \quad (20.5)$$

حيث h ثابت بلانك، P كمية الحركة، λ الطول الموجي.ونلاحظ من معادلة اينشتاين $E=mc^2$ ، أن للفوتون كتلة، وهذا يثبت الطبيعة الجسيمية للضوء، بالإضافة إلى طبيعته الموجية.

مثال 20.2.128 السؤال

احسب كمية الحركة والكتلة لفوتون طوله الموجي

400nm ؟

الحل

تعيين المعطيات: $\lambda=400nm$

التطبيق:

$$P = \frac{h}{\lambda}$$

$$= \frac{6.625 \times 10^{-34}}{400 \times 10^{-9}}$$

$$= 1.656 \times 10^{-27} kg.m/s$$

$$m = \frac{h}{\lambda c}$$

$$= \frac{6.625 \times 10^{-34}}{400 \times 10^{-9} \times 3 \times 10^8}$$

$$= 0.552 \times 10^{-33} Kg$$

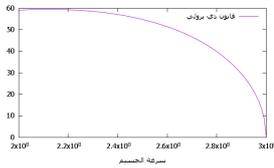
النتيجة: كمية الحركة للفوتون $1.656 \times 10^{-27} kg.m/s$ وكتلة الفوتون 5.52×10^{-34} كيلو جرام.

20.2.3 الطبيعة الموجية للجسيم

استنتج دي برولي⁴ أننا نستطيع تطبيق معادلة كمية الحركة السابقة $P=h/\lambda$ على الجسيمات التي في حجم الذرة أو أقل، وبما أن $P=mv$ فهذا يعني أن الطول الموجي يتناسب عكسيا مع سرعة الجسيم، وافترض أن الجسيم المتحرك له موجه مصاحبة. ووجد العلماء أن الجسيمات الصغيرة حين ترسل على شكل شعاع (صف من الجسيمات المتتابعة)، تصبح لها صفات شبيهة بصفات الموجات، من حيث الانعكاس والانكسار والحيود، بل يمكن تركيزها وتشتيتها بعدسات المجالات الكهربائية والمغناطيسية وهذا دليل على صحة رأي دي برولي.

ومن أكثر التطبيقات شهرة وفائدة، على هذه الحقيقة، اختراع المجهر الإلكتروني.

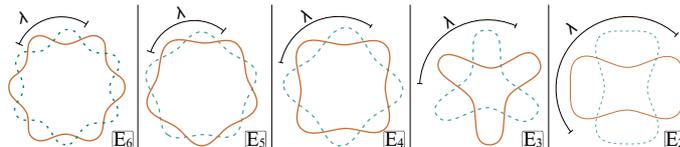
قانون دي برولي



شكل 20.8: انخفاض طول موجة دي برولي بتأثير زيادة سرعة الجسيم.

$$\lambda = \frac{h}{P} = \frac{h}{mv} \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}} \quad (20.6)$$

$$E = Vq = \frac{1}{2}mv^2 \Rightarrow v = \sqrt{\frac{2Vq}{m}}$$

حيث v السرعة، V فرق الكمون (الجهد).والجزء $\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}$ في المعادلة يستخدم فقط عند السرعات النسبية القريبة من سرعة الضوء.

شكل 20.9: موجة دي برولي للإلكترونات حول البوابة

⁴ دي برولي فيزيائي فرنسي ت 1987م.

مثال 20.2.129 السؤال

$$=3.09 \times 10^5 m/s$$

$$\lambda = \frac{h}{mv}$$

$$= \frac{6.625 \times 10^{-34}}{1.67 \times 10^{-27} \times 3.09 \times 10^5}$$

$$=1.28 \times 10^{-12} m$$

النتيجة: طول موجة دي برولي لهذا البروتون
 $1.28 \times 10^{-12} m$

احسب طول موجة دي برولي لبروتون ينطلق تحت
 فرق جهد (كمون) $500V$ ؟

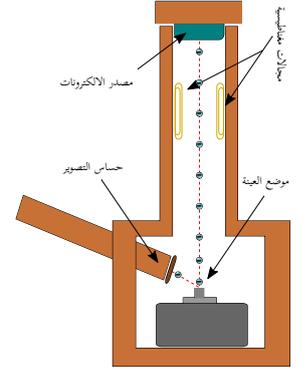
الحل

تعيين المعطيات: $V=500V$ ، $m_p=1.67 \times 10^{-27} kg$
 $q=1.6 \times 10^{-19} C$ ، $10^{-27} kg$

التطبيق:

$$v = \sqrt{\frac{2Vq}{m}}$$

$$= \sqrt{\frac{2 \times 500 \times 1.6 \times 10^{-19}}{1.67 \times 10^{-27}}}$$



شكل 20.10: المجهر الإلكتروني

20.2.3.1 المجهر الإلكتروني

يتكون المجهر الإلكتروني من أنبوب مفرغ من الهواء، ومثبت في أعلاه مصدر أو جهاز لإنتاج الإلكترونات (كاثود)، تنطلق منه الإلكترونات متجهة لقاعدة الأنبوب، وتمر في طريقها بمجالات مغناطيسية تعمل على تركيزها في مسار محدد. في أسفل الأنبوب توضع العينة المطلوب تصويرها، ويجب طلائها بمادة معدنية قبل إدخالها في المجهر الإلكتروني. تنقسم العينات المراد تصويرها إلى نوعين:

- شرائح رقيقة وهذه تعبر من خلالها الإلكترونات وتسقط على شاشة فلمية أو حساس رقمي *sensor* يستقبل الصورة.
- أجسام ثلاثية الأبعاد سواء كانت أجساد كائنات حية أو أحسام جامدة، وهذه تسقط عليها الإلكترونات وترتد، ويتم استقبالها على حساس إلكتروني *sensor* ينقل المعلومات مباشرة للحاسب الآلي، حيث يقوم الحاسب برسم الصورة نقطة بنقطة على شكل رسم ثلاثية الأبعاد.

20.3 التدريبات

1- الجسم المثالي يمتص كل الموجات الكهرومغناطيسية الساقطة عليه ؟

20 photons (ا)
✓
12 photons (ج)

(ا) الأسود ✓ (ج) الأحمر

15 photons (ب)
2 photons (د)

8- احسب كمية الحركة والكتلة لفوتون طول موجي 700nm ؟

(ب) الأبيض (د) الأخضر

الحل

تعيين المعطيات: $\lambda = 700nm$
التطبيق:

$$P = \frac{h}{\lambda}$$

$$= \frac{6.625 \times 10^{-34}}{700 \times 10^{-9}}$$

$$= 0.946 \times 10^{-27} kg.m/s$$

$$m = \frac{h}{\lambda c}$$

$$= \frac{6.625 \times 10^{-34}}{700 \times 10^{-9} \times 3 \times 10^8}$$

$$= 0.315 \times 10^{-33} Kg$$

9- احسب سرعة إلكترون وجهد كموه عندما يكون طول موجي 12nm ؟

2- توصل بلانك إلى أن العامل الوحيد المحدد لكمية الطاقة المنبعثة عند طول موجي معين ؟

(ا) حرارة الجسم ✓ (ج) وزن الجسم

(ب) لون الجسم (د) كثافة الجسم

3- الجسم الأسود يشع الموجات على شكل ؟

(ا) إلكترونات (ج) بروتونات

(ب) فوتونات ✓ (د) موجات طوليه

4- الطول الموجي للموجات الصادرة من الجسم الأسود عند شدة الإشعاع القصوى يتناسب طرديا مع طاقة الموجة المنبعثة ؟

(ا) صح (ب) خطأ ✓

5- في منحنى بلانك نجد أن قمة الموجة يقل طولها الموجي كلما كانت درجة الحرارة أعلى ؟

(ا) صح ✓ (ب) خطأ

6- أقل تردد تسمح بتحرر الإلكترون في التأثير الكهروضوئي ؟

(ا) تردد العتبة ✓ (ج) تردد الصوت

(ب) تردد الربط (د) تردد الرنين

7- أي الموجات التالية يمكن أن تسبب ظاهرة كمبتون ؟

(ا) أشعة تحت حمراء (ج) ضوء أحمر

(ب) أشعة ميكرويف (د) أشعة سينية ✓

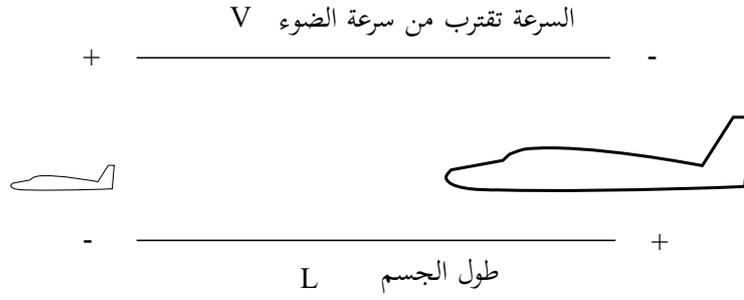
7- في تأثير كمبتون، أي عدد فوتونات تؤثر بقوة أكبر على السطح ؟

10- من نتائج دراسة الظاهرة الكهروضوئية أن الطاقة الحركية للإلكترونات المتحررة من سطح فلزي تعتمد على ؟

(ا) طاقة الفوتونات الساقطة ✓ (ج) عدد الإلكترونات

(ب) عدد الفوتونات (د) عدد الكتلة

النظرية النسبية



- النظرية النسبية الخاصة
- النظرية النسبية العامة



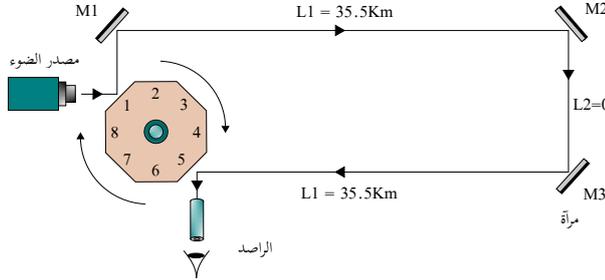
مع نهاية القرن التاسع عشر وبداية القرن العشرين، بدأ علماء الفيزياء بالتعرف على مفاهيم وقوانين جديدة جعلتهم يعيدون النظر في بعض ما كانوا يعتقدون أنها مسلمات. وعلى رأس هذه المسلمات قوانين نيوتن!، فقانون نيوتن الثاني $F=ma$ ، لم يعد صالحا للاستخدام مع الجسيمات الذرية والتحت ذرية، بسبب صغر كتلتها، ولم يعد صالحا للاستخدام مع الكتل المتسارعة إلى سرعة تقارب سرعة الضوء لأن كتلتها تتغير مع السرعة. وهذا ما دفع علماء الفيزياء للبحث عن مخرج من هذه المشكلة.

النظرية النسبية مبنية على الزمن وسرعة الضوء، لذا يحسن بنا الحديث عن الضوء وتاريخه العلمي، إن العلماء اليونانيين، كانوا يعتقدون بوجود لوامس تخرج من العين مثل أيدي الأخطبوط أو مثل لوامس قنديل البحر، لكنها شفافة، وتقوم هذه اللوامس بتحسس الأشياء، ومن خلالها تتم الرؤية في العين. واستمر هذا التصور إلى أن جاء الحسن بن الهيثم، الذي توصل من خلال جهاز القمرة الذي صنعه، إلى أن الرؤية تتم نتيجة انعكاس الضوء على الأجسام، ثم جاء نيوتن وطور هذه الرؤية فقال بأن الضوء هو فيض من الجسيمات الصغيرة التي تصطدم بالأجسام، لكن النقلة الأهم، كانت عن طريق هيغنز¹، حيث افترض أن الضوء عبارة عن موجات. ورغم صحة هذه الرؤية إلا أنها لم تجد القبول من علماء عصره نظراً لقوة المناصرين للرؤية التقليدية المتمثلة بوجهة نظر نيوتن، التي تقول بأن الضوء جسيمات. إلى أن جاء العالم يونج وأثبت أن للضوء طبيعة موجية بالتجربة المشروحة في فصل التداخل والحيود، ثم جاء من بعده مالوس وأثبت أن الضوء عبارة عن موجات مستعرضة بتجربة الاستقطاب. لقد كانت بداية النقلة الكبرى بوضع النظرية الكهرومغناطيسية على يد ماكسويل في العام 1864م، والذي توصل إلى أن الموجة الكهرومغناطيسية تتكون من مجالين كهربائي (E) ومغناطيسي (H) متعامدين [16] ويمثلان بالمعادلتين التفاضليتين:

$$\frac{\partial^2 E_y}{\partial t^2} = c^2 \cdot \frac{\partial^2 E_y}{\partial x^2} \quad \frac{\partial^2 H_z}{\partial t^2} = c^2 \cdot \frac{\partial^2 H_z}{\partial x^2} \quad (21.1)$$

حيث سرعة الموجات الكهرومغناطيسية في الفراغ $c=1/\sqrt{\mu_0\epsilon_0}$ ، و معامل النفاذية المغناطيسية في الفراغ $\mu_0=4\pi \times 10^{-7} N/A^2$ والنفاذية الكهربائية في الفراغ $\epsilon_0=8.85 \times 10^{-12} F/m$.

21.0.0.1 سرعة الضوء



شكل 21.1: تجربة مايكلسون لحساب سرعة الضوء

حاول العديد من العلماء حساب سرعة الضوء، وكان منهم جاليليو وفيزو وفوكو، لكن أشهرهم وأدقهم تجربة مايكلسون²، حيث وضع أجهزة التجربة على جبلي ويلسون وأنطونيو في كاليفورنيا، كما هو موضح في الرسم. فوضع المرآتين $M2$ و $M3$ على الجبل الأول والمسافة بينهما صغيرة جدا ولهذا نعتبرها تساوي صفر $L2 \approx 0$. وعلى الجبل الآخر وضع مضلع ثماني الأوجه، وذو أوجه عاكسه، ووضع بجواره مصدر ضوئي ومنظار للرصد، بحيث يقع الضوء على المضلع الثماني ثم ينعكس إلى المرآة $M1$ ومنها إلى المرآة $M2$ على الجبل الأول الذي يبعد $L1=35.5Km$ ، ومنها إلى المرآة $M3$ ثم إلى المضلع الثماني، وأخيرا ينعكس الضوء إلى منظار الراصد. ووجد مايكلسون أن الضوء يظهر على شكل نبضات منفصلة، لكن يصبح شعاع الضوء متصل حين تصل سرعة دوران المضلع إلى 529 دورة في الثانية.

وحيث أن الزمن الدوري يساوي مقلوب التردد $t=\frac{1}{\nu}$ ، والتردد يساوي عدد الدورات على زمنها $\nu=\frac{K}{t}$ حيث K عدد أضلاع العاكس و n عدد الدورات، وبالتعويض:

$$\nu = \frac{8 \times 529}{1}$$

$$t = \frac{1}{\nu} = \frac{1}{8 \times 529} = 2.36 \times 10^{-4} s$$

$$C = v = \frac{d}{t} \text{ والسرعة تساوي}$$

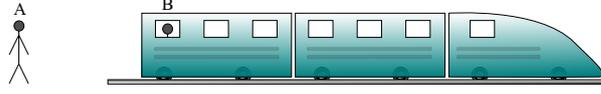
¹كرستيان هيغنز ت 1695م.

²عالم فيزياء ت 1931م.

$$C = \frac{2L1}{t} = \frac{2 \times 35.5 \times 10^3}{2.36 \times 10^{-4}} = 3 \times 10^8 \text{ m/s}$$

وسرعة الضوء لا يمكن أن تزيد عن سرعتها في الفراغ $3 \times 10^8 \text{ m/s}$ لكن يمكن أن تنقص بمقدار ضئيل عند انتقالها إلى وسط مادي مثل الزجاج ثم تستعيد سرعتها بمجرد خروجها منه.

21.0.0.2 الحركة النسبية



شكل 21.2: السرعة النسبية لرجل في القطار

لنفرض أن رجلا A يقف على رصيف القطار، وكان في القطار رجل آخر B يقف بجوار النافذة، وكانت سرعة القطار 10 m/s فكم تكون سرعة الرجل B بالنسبة للرجل الموجود على رصيف القطار، بالتأكيد ستكون سرعته النسبية $\vec{V} = \vec{V}_A + \vec{V}_B$ ، أي أن السرعة النسبية تساوي السرعة المتجهة للرجل الأول زائد السرعة المتجهة للرجل الثاني:

$$V = 0 + 10 = 10 \text{ m/s}$$

لنفرض بعض الحالات:

ج- لنفرض أن الرجل B يتحرك داخل القطار بسرعة 2 m/s في نفس اتجاه حركة القطار، فكم تكون الحركة النسبية له بالنسبة للرجل A:

$$V = (10 + 2) + 0 = 12 \text{ m/s}$$

د- لنفرض أن الرجل B يتحرك داخل القطار بسرعة 2 m/s في عكس اتجاه حركة القطار، فكم تكون الحركة النسبية له بالنسبة للرجل A:

$$V = (10 - 2) + 0 = 8 \text{ m/s}$$

أ- لنغيّر قليلا ولنقل أن الرجل A بدأ بالسير بسرعة 2 m/s في اتجاه معاكس لحركة القطار، فكم تكون السرعة النسبية:

$$V = 10 + 2 = 12 \text{ m/s}$$

ب- لنغيّر المثال ولنفرض أن الرجل A كان يسير بسرعة 2 m/s ولكن في نفس اتجاه حركة القطار، كم تكون السرعة النسبية للرجل B بالنسبة للرجل A:

$$V = 10 - 2 = 8 \text{ m/s}$$

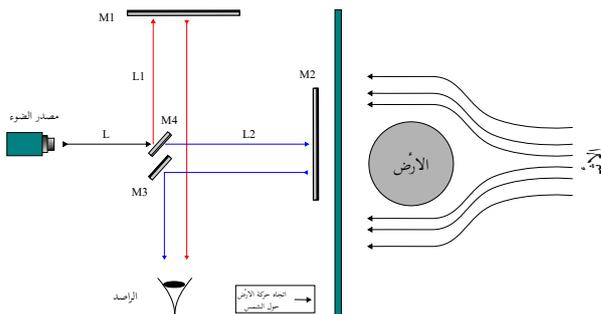
أخيرا، لثعد نفس الحالتين الأخيرتين مع جعل الرجل A ساكن:

ماذا تلاحظ؟ لا بد أنك لاحظت أن نتيجة الحالتين (أ و ج) متساوية، ونتيجة (ب و د) متساوية، أي أن السرعة النسبية للجسمين لا تتأثر ما دامت السرعة مستقيمة ومنتظمة. مثال آخر: لنفرض أن لدينا فوتونين $\leftarrow \rightarrow$ يسيران في خط مستقيم ولكن يسيران في اتجاهين متعاكسين مبتعدين عن بعضهما، فكم سرعة الفوتون A بالنسبة للفوتون B:

$$V = 3 \times 10^8 + 3 \times 10^8 = 6 \times 10^8 \text{ m/s}$$

لكن كلنا يعرف أنه لا توجد سرعة أكبر من سرعة الضوء $3 \times 10^8 \text{ m/s}$! أي النتيجة السابقة خاطئة فيزيائيا؟! إننا لا نستطيع استخدام الطريقة البسيطة السابقة لحساب السرعة النسبية للأجسام التي تسير بسرعة تقترب من سرعة الضوء أو تساويها.

21.0.0.3 الأثير



شكل 21.3: الأثير- مايكلسون ومورلي

اعتقد علماء القرن التاسع عشر بوجود مادة شفافة في الفضاء ينتقل من خلالها الضوء، حيث لم يتصوروا أن الضوء يمكن أن ينتقل في الفراغ، وكان العالم هيجنز أشهر من افترض وجود الأثير. ولأن أحدا لم يثبت وجوده، سعى العالم مايكلسون ومعه مساعدة مورلي لإثبات وجوده بالتجربة الموضحة في الرسم.

افترض مايكلسون أن الأرض أثناء دورانها حول الشمس تصطدم بمادة الأثير التي تشكل الفضاء، وبما أن الأرض تسير حول الشمس بسرعة $2.978 \times 10^4 m/s$ فإن سرعة اصطدام الأثير بالأرض سيكون بنفس السرعة ولكن بالاتجاه المعاكس. فوضع مصدر ضوئي يصدر شعاع ضوئي L باتجاه حركة الأرض ومعاكس لحركة الأثير، ويسقط على مرآة $M4$ نصف شفافة (تعكس 50% وتنفذ 50%)، الشعاع المنعكس $L1$ يصطدم بالمرآة $M1$ وينعكس باتجاه الراصد، أما الشعاع $L2$ فيصطدم بالمرآة $M2$ ثم ينعكس إلى المرآة $M3$ التي ينعكس عليها ثم يتجه للراصد.

توقع مايكلسون أن الشعاع $L2$ سيصل متأخرا عن $L1$ لأن $L2$ يسير في اتجاه معاكس للأثير، وبالتالي سيقوم الأثير بإبطاء سرعته. لكن المفاجأة كانت بوصول الشعاعين في نفس الوقت. ولشدة إيمان مايكلسون بوجود الأثير فقد افترض أن تجربته غير دقيقة وبها خطأ ما. لكن لحسن حظه أن عدد من العلماء أعادوا التجربة وتوصلوا إلى أن التجربة صحيحة، وأن مايكلسون إنما أثبت بتجربته أن الأثير غير موجود وأن سرعة الضوء لا تعتمد على حركة المصدر أو المستقبل، في حين أن هدف التجربة الأساسي هو إثبات وجود الأثير!

$$\begin{cases} X' &= x - vt \\ y' &= y \\ z' &= z \\ t' &= t \end{cases}$$

شكل 21.4: معادلات التحويل لجاليليو للأبعاد الأربعة.

21.0.0.4 معادلات لورنتز

قام لورنتز بدراسة الحركة في الأبعاد الأربعة x, y, z, t حيث t الزمن، والتغيير الذي سيحصل في معادلات الحركة لجاليليو، فتوصل إلى استنتاجات مهمة، سناخذ جزء بسيط منها يتناسب مع هدف هذا الكتاب. لقد توصل لورنتز إلى أننا نحتاج لإضافة معامل تصحيح لتعديل معادلات جاليليو:

$$\begin{cases} X' &= \frac{x - vt}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} \\ y' &= y \\ z' &= z \\ t' &= \frac{t - \frac{vx}{c^2}}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} \end{cases}$$

شكل 21.5: معادلات التحويل لجاليليو بعد تطبيق تصحيح لورنتز.

$$\gamma = \frac{1}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$$

كما توصل لمعادلة جمع السرعات:

$$U_x = \frac{U'_x \pm v}{1 + \frac{v}{c^2} U'_x}$$

حيث U_x السرعة النسبية الناتجة، v سرعة الجسم الأول، U'_x سرعة الجسم الثاني.

مثال 21.0.130 السؤال

$$= \frac{0.2C + 0.4C}{1 + \frac{0.4C}{C^2} \times 0.2C}$$

$$= \frac{0.6C}{1 + 0.08} = \frac{0.6C}{1.08}$$

$$= 0.555Cm/s$$

مركبة فضائية تسير بسرعة $0.4Cm/s$ ، أطلقت

قذيفة بسرعة $0.2Cm/s$ باتجاه الأمام، كم ستكون

سرعة القذيفة بالنسبة لمراقب ساكن؟

الحل

تعيين المعطيات: $U'_x = 0.2Cm/s$ ، $v = 0.4Cm/s$

التطبيق:

$$U_x = \frac{U'_x + v}{1 + \frac{v}{c^2} U'_x}$$

النتيجة: سرعة القذيفة بالنسبة للمراقب الساكن تساوي

0.555C متر/ثانية.

مثال 21.0.131 السؤال

$$= \frac{70}{1+1.1 \times 10^{-14}} = \frac{70}{1}$$

$$= 70m/s$$

دبابة تسير بسرعة $20m/s$ ، أطلقت قذيفة بسرعة $50m/s$ باتجاه الأمام، كم ستكون سرعة القذيفة بالنسبة للمراقب ساكن ؟

الحل

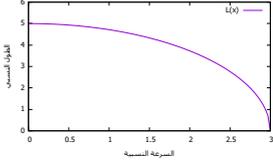
تعيين المعطيات: $U'_x=50m/s$ ، $v=20m/s$

التطبيق:

$$U_x = \frac{U'_x + v}{1 + \frac{v}{C^2} U'_x}$$

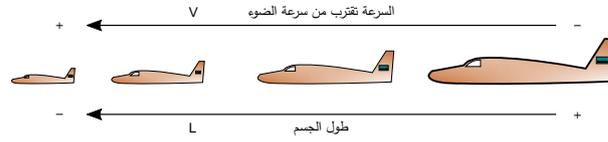
$$= \frac{50 + 20}{1 + \frac{20}{C^2} \times 50}$$

النتيجة: سرعة القذيفة بالنسبة للمراقب الساكن تساوي 70 متر/ثانية. لاحظ أن تحويل لورنتز أعطى قيمة صغيرة جدا جدا 1.1×10^{-14} ولهذا تجاهلناه، ويتم تجاهله دائما عند السرعات الأصغر كثيرا من سرعة الضوء $v \ll C$.



شكل 21.6: الطول النسبي يتقلص بزيادة السرعة.

الطول في النسبية يقل الطول أو ينكمش الجسم بناء على النظرية النسبية كلما زادت سرعته بالنسبة لراصد يتحرك حركة خطية منتظمة في اتجاه موازي لاتجاه الحركة. ويسمى بتقلص فترجييرالد - لورنتز لأنهما من اكتشافه لكن كل على حده.

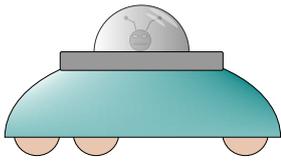


شكل 21.7: الطول في النسبية

$$L = L_0 \cdot \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}} \quad (21.2)$$

$$\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}} \quad (\text{معامل لورنتز})$$

حيث L الطول المشاهد، L_0 الطول الحقيقي، v سرعة الجسم، c سرعة الضوء.



شكل 21.8: البوفو هي خيالات ناتجة عن ظواهر جوية، وأحيانا مركبات وأسلحة تجريبية سرية أو طائرة تعمل على تأثير كوندرا . coanda

مثال 21.0.132 السؤال

$$L = L_0 \cdot \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}$$

$$= 5 \times \sqrt{1 - \frac{(2.5 \times 10^8)^2}{(3 \times 10^8)^2}}$$

$$= 2.7639m$$

النتيجة: طول المركبة الفضائية بالنسبة للراصد 2.76 متر.

مركبة فضائية طولها في حالة السكون $L_0=5m$ وكتلتها $m_0=1000kg$ ، احسب طولها عندما تسير بسرعة $v=2.5 \times 10^8 m/s$ ؟

الحل

تعيين المعطيات: $m_0=1000Kg$ ، $L_0=5m$ ، $V=2.5 \times 10^8 m/s$

التطبيق:

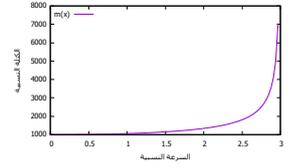
الزمن في النسبية يتباطأ الزمن أو يتمدد بناء على النظرية النسبية كلما زادت سرعته بالنسبة لراصد يتحرك حركة خطية منتظمة في اتجاه موازي لاتجاه الحركة.

$$\Delta t' = \frac{\Delta t}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} \quad (21.3)$$

$$\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}} \quad (\text{معامل لورنتز})$$

حيث $\Delta t'$ التغير في الزمن النسبي، Δt التغير في الزمن عند السكون، v سرعة الجسم، c سرعة الضوء.

الكتلة في النسبية تزداد كتلة الجسم بناء على النظرية النسبية كلما زادت سرعته بالنسبة لراصد يتحرك حركة خطية منتظمة في اتجاه موازي لاتجاه الحركة.



شكل 21.9: الكتلة النسبية تزداد بزيادة السرعة.

$$m = \frac{m_0}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} \quad (21.4)$$

$$\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}} \quad (\text{معامل لورنتز})$$

حيث $\Delta t'$ التغير في الزمن النسبي، Δt التغير في الزمن عند السكون، v سرعة الجسم، c سرعة الضوء.

ومن الرسم البياني في الهامش، نلاحظ أن الكتلة تزداد بشكل فجائي عند وصولها إلى $0.9c$ تقريباً، وهو ما يجعل زيادة السرعة أكثر من ذلك صعبة ومكلفة، حيث أن الزيادة المفاجئة في الكتلة تتطلب زيادة مقابلة لها في الشغل المبذول لإحداث التسارع، وهو ما يفسر ارتفاع تكلفة تشغيل مسرعات الجسيمات.

مثال 21.0.133 السؤال

$$= \frac{1000}{\sqrt{1 - \frac{(2.5 \times 10^8)^2}{(3 \times 10^8)^2}}}$$

$$= 1809.0681 \text{ kg}$$

من المثال السابق احسب كتلة المركبة عند نفس

السرعة؟

الحل

تعيين المعطيات: $m_0 = 1000 \text{ Kg}$ ، $L_0 = 5 \text{ m}$ ، $V = 2.5 \times 10^8 \text{ m/s}$

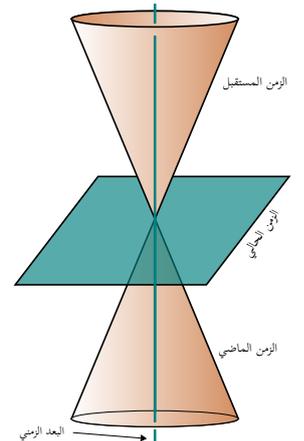
التطبيق:

$$m = \frac{m_0}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$$

النتيجة: كتلة المركبة عند هذه السرعة 1809.06 كيلوجرام.

الأبعاد الأربعة

كما نعلم أن النظرية النسبية تركز على نسبية الزمن، أي أن الزمن غير مطلق، ولهذا عند التمثيل البياني للظواهر النسبية نحتاج إلى أربعة أبعاد x, y, z, t ، وكلمة Dimension ترجم إلى العربية إما إلى «المحور» أو «البعد»، فنقول محور أو بعد، محورين أو بعدين، ثلاث محاور أو ثلاثة أبعاد، وأربعة أبعاد لكن يصعب أن نقول أربعة محاور، لأن المحاور هي خطوط متجهة بينها زوايا قائمة. ولهذا فإن العلماء واجهوا مشكلة تمثيل البيانات على أربعة محاور، بحذف المحور z واستبداله بالزمن t كما في الشكل الجانبي. لكن البعض فضل الاحتفاظ بالأبعاد الثلاثة x, y, z وجعل البعد الرابع لوني، أي يشير تدرج اللون إلى التغير في قيمة البعد الرابع.



شكل 21.10: يمثل البعد الرابع بحذف البعد z واستبداله بالبعد t .

21.0.0.5 النظرية النسبية الخاصة

وضعت النظرية النسبية على يد العالم الألماني - الأمريكي أينشتاين³ عام 1905 م، وسميت بالخاصة لأنها خاصة بالأجسام التي تسير بسرعة منتظمة (ثابتة بدون تسارع $a=0$) وقريبة من سرعة الضوء وفي خط مستقيم. وهي مبنية على فرضيتين:

(1) سرعة الضوء في الفراغ لها نفس القيمة في جميع المجموعات الإحداثية المتحركة بالنسبة لبعضها بسرعة منتظمة، ولا توجد سرعة أكبر منها.

(2) القوانين الطبيعية واحدة في جميع المجموعات الإحداثية المتحركة بسرعة منتظمة بالنسبة لبعضها. [20]

تكافؤ الكتلة والطاقة توصل العالم ليديف في عام 1894م إلى أن الموجات الكهرومغناطيسية تملك كمية حركة خطية في اتجاه انتشارها، وتساوي E/c ، وجاء أينشتاين من بعده وبنى على ذلك قانونه الشهير الذي يربط بين الطاقة والكتلة، الذي استنتجه من تجربة الصندوق التخيلي المشهورة. إثبات قانون أينشتاين

$$p=mv \Rightarrow p=mc \quad \text{من قانون الزخم}$$

$$v=\frac{x}{t} \Rightarrow c=\frac{x}{t} \quad \text{ومن قانون الحركة}$$

وباعتبار وحدة أصغر من x وهي dx

$$\frac{\partial x}{\partial t}=c$$

$$\frac{\partial x}{\partial \psi} \cdot \frac{\partial \psi}{\partial t}=c$$

وبما أن مؤثر الزخم $p=-i\hbar \frac{\partial}{\partial x}$ و مؤثر الطاقة $E=i\hbar \frac{\partial}{\partial t}$ نستنتج:

$$\frac{i\hbar E}{i\hbar p}=c \Rightarrow E=pc$$

$$E=(mc) \times c$$

$$E=mc^2 \quad \text{ومنه نستنتج قانون أينشتاين}$$

$$E_0 = mc^2 \quad (21.5)$$

حيث E_0 الطاقة، m كتلة الجسم، c سرعة الضوء.

³فيزيائي أمريكي حاصل على جائزة نوبل عن الظاهرة الكهروضوئية ت 1955م.

مثال 21.0.134 السؤال

$$\Delta m = \frac{E}{c^2}$$

$$= \frac{100}{(3 \times 10^8)^2} = 1.11 \times 10^{-15} \text{ Kg}$$

النتيجة: الزيادة في كتلة النابض أثناء انضغاطه تساوي 1.11×10^{-15} كيلو جرام، ونلاحظ أن الزيادة صغيرة جدا ولهذا يتم تجاهلها عادة.

بذلنا شغل مقداره $100J$ لضغط نابض، احسب الزيادة الحاصلة في كتلة النابض؟

الحل

تعيين المعطيات: $E=100J$

التطبيق:

$$E=mc^2$$

الطاقة الحركية في النسبية

الطاقة الحركية W للجسم المتحرك بسرعة قريبة من سرعة الضوء تساوي الطاقة الكلية للجسم في حالة الحركة E مطروحاً منها الطاقة السكونية E_0 .

$$E=W+E_0$$

$$W = \frac{m_0 C^2}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} - m_0 C^2 \quad (21.6)$$

مثال 21.0.135 السؤال

$$W = \frac{9.11 \times 10^{-31} \times (3 \times 10^8)^2}{\sqrt{1 - \frac{(2.1 \times 10^8)^2}{(3 \times 10^8)^2}}}$$

$$= 9.11 \times 10^{-31} \times (3 \times 10^8)^2$$

$$= \frac{3.28 \times 10^{-14} J}{1.6 \times 10^{-19}} = 0.205 \text{ MeV}$$

النتيجة: الطاقة الحركية للإلكترون تساوي 0.205 ميغا إلكترون فولت.

احسب الطاقة الحركية لإلكترون سرعته $0.7Cm/s$

؟

الحل

تعيين المعطيات: $v=0.7C=2.1 \times 10^8 m/s$ ،

$$m_0=9.11 \times 10^{-31} \text{ Kg}$$

التطبيق:

$$W = \frac{m_0 C^2}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} - m_0 C^2$$

21.0.0.6 النظرية النسبية العامة

بعد أن وضع أينشتاين النظرية النسبية الخاصة، أخذ يفكر في إمكانية تعميم نسبته الخاصة، فتوصل في عام 1916م لنظريته النسبية العامة.

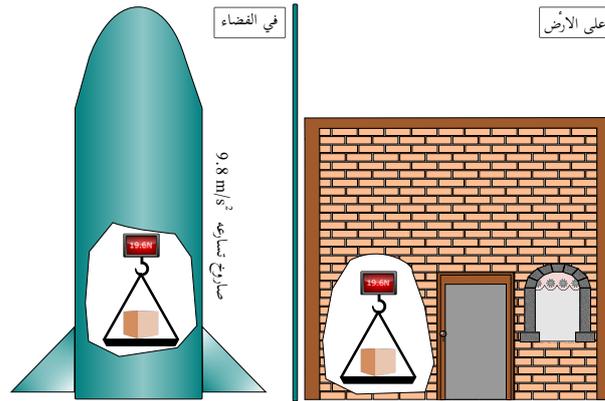
وهي مبنية على مبدئين:

1) مبدأ التكافؤ: وينص على عمومية السقوط الحر أي أن جميع الأجسام تسقط بنفس المعدل في مجال الجاذبية بغض النظر عن كتلتها وتركيبها المادية.

2) مبدأ التوافق: أن القوانين الفيزيائية يجب أن تتوافق، أي أنها لا تتغير أو تتعارض مع تغير نوع الإحداثيات الزمانية والمكانية المستخدمة، ويتحقق ذلك باستخدام الممددات. [20]

تحتوي النظرية النسبية العامة على الكثير من المفاهيم المعقدة فلسفياً ورياضياً ولهذا سيتم الاقتصار على بعض المفاهيم السهلة والقصيرة التي تناسب هذا الكتاب.

عدم تمييز قوى القصور الذاتي عن قوى الجاذبية



شكل 21.11: عدم تمييز قوى القصور الذاتي عن قوى الجذب

يرى أينشتاين أنه لا يمكن تمييز قوى الجاذبية من قوى القصور الذاتي، فمثلاً إذا كان لدينا جسماً كتلته 2Kg ووزنه على سطح الأرض فسيكون وزنه 19.6N وذلك بفعل تسارع الجاذبية الأرضية 9.8m/s^2 ، ولو أخذنا نفس الجسم إلى الفضاء حيث لا توجد جاذبية ووزننا نفس الجسم عندما يكون الصاروخ متحركاً بتسارع 9.8m/s^2 فإننا سنجد أن وزنه 19.6N ولكن بتأثير قوة القصور الذاتي.

حيود الضوء بتأثير قوة الجاذبية

أثبت أينشتاين أن الضوء له طبيعة جسيمية فهو يتأثر بقوة الجاذبية وينحني مساره عند تعرضه لقوى الجاذبية الشمسية أو الأرضية أو النجوم، ووضع قانوناً لحساب زاوية الحيود أو الانحراف.

$$\theta = \tan^{-1}\left(\frac{2GM_s}{R_s C^2}\right) \quad (21.7)$$

حيث G ثابت الجذب، M_s كتلة الشمس، R_s نصف قطر الشمس، C سرعة الضوء

مثال 21.0.136 السؤال

$$\theta \approx \tan\theta = \frac{2 \times 6.674 \times 10^{-11} \times 1.989 \times 10^{30}}{6.96 \times 10^8 \times (3 \times 10^8)^2}$$

$$= 4.2383 \times 10^{-6} \text{ Deg} \times 360 = 0.0015$$

النتيجة: زاوية انحراف الضوء تساوي تقريباً 1.5 ثانية قوسية.

احسب زاوية حيود الضوء نتيجة مروره بجوار الشمس؟

الحل

تعيين المعطيات: $G = 6.674 \times 10^{-11} \text{ m}^3/\text{Kg} \cdot \text{s}^2$
 $R_s = 6.95 \times 10^8 \text{ m}$ ، $M_s = 1.989 \times 10^{30} \text{ Kg}$ ،

التطبيق:

$$\theta \approx \tan\theta = \frac{2GM_s}{R_s C^2}$$

وقد تم إثباتها عملياً بحساب انحراف الضوء حول الشمس أثناء كسوف الشمس عام 1919م.

الثقوب السوداء

توقع علماء النسبية وجود الثقوب السوداء، ثم ثبت وجودها لاحقاً، والثقوب السوداء هي نجوم استنفدت الطاقة النووية بها، فبردت، ولأنها مكونة من الهيليوم فقد انكمشت بسهولة تحت تأثير جاذبية مركزها، وباستمرار الجذب تنسحق الذرات وتتفكك إلى بروتونات ونيوترونات وإلكترونات، ثم تندمج البروتونات مع الإلكترونات وتتحوّل جميعها إلى نيوترونات، ويسمى النجم النيوتروني. ويصبح النجم ثقب أسود إذا انكمش وأصبح نصف قطره مساوي للنصف قطر الحرج الذي يحسب بقانون نصف قطر شوارزشايلد⁴:

⁴ إذا كانت كتلته 1.4 كتلة الشمس أو أقل، يتحول لقرم أبيض.

$$\text{gravitational radius} = \frac{2GM}{C^2} \quad (21.8)$$

مثال 21.0.137 السؤال

$$= \frac{2 \times 6.674 \times 10^{-11} \times 1.989 \times 10^{30}}{(3 \times 10^8)^2}$$

$$= 2949.9m$$

احسب نصف قطر شوارزشايلد للشمس ؟

الحل

$$G=6.674 \times 10^{-11} m^3/Kg.s^2 \quad \text{تعيين المعطيات:}$$

$$M=1.989 \times 10^{30} Kg ,$$

التطبيق:

$$\text{gravitational radius} = \frac{2GM}{C^2}$$

النتيجة: نصف القطر الحرج للشمس لكي تصبح
ثقب أبيض يساوي 2949.9 متر.

الانزياح اللوني للضوء

يرى أينشتاين في النظرية النسبية العامة أن الضوء يميل للانزياح نحو اللون الأحمر، أي أن تردده ينقص وطوله الموجي يزداد كلما كانت كتلة النجم أو الثقب الأسود أكبر، وذلك وفق المعادلة التالية:

$$\nu' = \nu \left(1 - \frac{GM}{RC^2}\right) \quad (21.9)$$

حيث ν التردد الأصلي، G ثابت الجذب، M كتلة النجم، R نصف قطره

مثال 21.0.138 السؤال

$$= 7.058 \times 10^{14} \times \left(1 - \frac{6.674 \times 10^{-11} \times 1.989 \times 10^{30}}{6.963 \times 10^8 \times (3 \times 10^8)^2}\right)$$

$$= 7.057 \times 10^{14}$$

احسب تردد الضوء الناتج عن الانزياح اللوني
لشعاع أزرق يخرج من الشمس ؟

الحل

$$G=6.674 \times 10^{-11} m^3/Kg.s^2 \quad \text{تعيين المعطيات:}$$

$$R=6.963 \times 10^8 m , M=1.989 \times 10^{30} Kg ,$$

$$\nu=7.058 \times 10^{14} Hz$$

التطبيق:

$$\nu' = \nu \left(1 - \frac{GM}{RC^2}\right)$$

النتيجة: تردد الضوء بعد الانزياح اللوني بتأثير الشمس
يساوي $7.057 \times 10^{14} Hz$.

تمدد الزمن بتأثير قوة الجاذبية

مر علينا سابقاً أن الزمن يتمدد أو يتباطأ بتأثير السرعات القريبة من سرعة الضوء، وقد وجد أينشتاين في نظريته النسبية العامة أن الزمن يتباطأ أيضاً بتأثير قوة الجاذبية، فالزمن على سطح المشتري أبطأ منه على سطح الأرض، والزمن على الشمس أبطأ منه على المشتري، والزمن شبه متوقف في الثقوب السوداء ذات الكتل العملاقة. وقد قام أينشتاين بحساب تباطؤ الزمن على الشمس، فوجد أن السنة على سطح الشمس أطول من السنة الأرضية بدقة كاملة، وقد لا يكون هذا الفرق مؤثراً للإنسان العادي، لكن حين نحسب الفرق في الزمن بين السنة الأرضية والسنة على سطح نجم عملاق، فإننا سنفاجأ بأن الفرق يساوي شهور وسنوات.

$$t' = t \left(1 - \frac{GM}{RC^2}\right) \quad (21.10)$$

حيث t الزمن، G ثابت الجذب، M كتلة النجم، R نصف قطره

مثال 21.0.139 السؤال

$$t' = t \left(1 - \frac{GM}{RC^2} \right)$$

$$= 31557600 \times \left(1 - \frac{6.674 \times 10^{-11} \times 1.989 \times 10^{30}}{6.963 \times 10^8 \times (3 \times 10^8)^2} \right)$$

$$= 31557533.15s$$

النتيجة: السنة بعد تمددها تصبح $31557533.15s$
أي زادت بمقدار $66.8s$ ويساوي دقيقة أرضية تقريبا.

احسب تمدد سنة واحدة على سطح الشمس بتأثير
قوة جاذبيتها؟

الحل

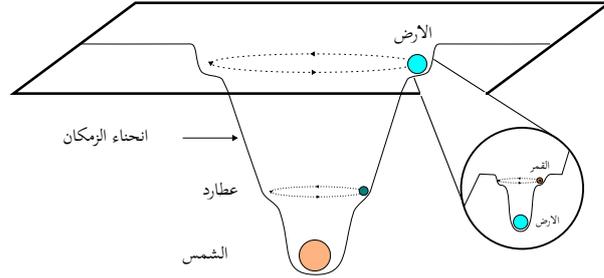
تعيين المعطيات: $G=6.674 \times 10^{-11} m^3 / Kg.s^2$
، $R=6.963 \times 10^8 m$ ، $M=1.989 \times 10^{30} Kg$ ،
 $t=1y=31557600s$

التطبيق:

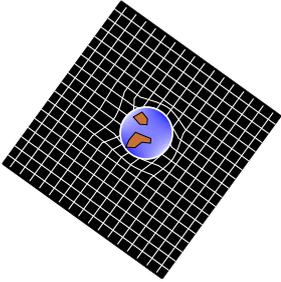
تصور اينشتاين للكون

لتبسيط تصور اينشتاين للكون لتتخيل فقاعة صابون أو بالون، ولترسم نقطتين متجاورتين على سطح البالون، ثم نبدأ بالنفخ، سنلاحظ أنه كلما تمدد البالون أكثر زادت المسافات بين أي نقطتين مرسومة على سطحه، اينشتاين يرى أن الكون شكل كروي مجوف وكل المجرات متوضعة على سطحه الخارجي، لكن هذا الكون لا يحتوي على أي شيء داخله أو خارجه، وكل شيء متوضع على غلافه. في البداية كان اينشتاين يرى أن حجم الكون ثابت، لكن بعد أن جاء الفلكي هابل وأثبت أن الكون يتوسع ويتمدد اضطر اينشتاين لتعديل تصوره، فقام بإضافة ثابت تمدد الكون، أي أن الكون يتمدد بمعدل معين حدده اينشتاين، لكن بعد وفاة اينشتاين وجد العلماء أن هذا الثابت غير دقيق.

انحناء الكون



شكل 21.12: انحناء الزمكان بتأثير كتلة الشمس

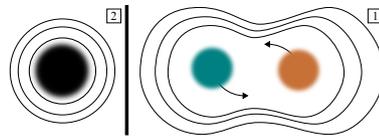


شكل 21.13: انحناء الزمكان

ويرى اينشتاين في نظريته النسبية العامة أن حركة الكواكب في مدارات دائرية مثل كواكب المجموعة الشمسية ناتجة عن انحناء الزمكان⁵، فالأرض مثلا تتحرك في مدار حول الشمس لأنها واقعة في حفرة الزمكان التي سببتها كتلة الشمس الكبيرة، وليس بسبب جاذبية الشمس، والقمر يدور حول الأرض لأنه واقع في حفرة الزمكان التي تسببها كتلة الأرض.

موجات الجاذبية

حين يقترب نجم كبير من نجم آخر فإنهما يبدآن بالاقتراب الدوراني من بعضهما، ويستمران بالدوران حول بعضهما والاقتراب إلى أن يندمجا معا، وتوقع اينشتاين صدور موجات سماها موجات الجاذبية تنتج عن دورانها العنيف حول بعضهما قبل الاندماج، ولم يتم رصد الموجات إلا في عام 2015م، وحصل الفريق الذي رصدها على جائزة نوبل.



شكل 21.14: موجات الجاذبية

⁵ نحت من مصطلح الزمان - المكان وهو ترجمة time - space .

21.1 التدريبات

8- في معادلات لورنتز، زيادة السرعة تؤدي إلى تمدد الزمن ؟
 (ا) صح ✓ (ب) خطأ

9- في معادلات لورنتز، زيادة السرعة تؤدي إلى زيادة الكتلة ؟
 (ا) صح ✓ (ب) خطأ

10- في معادلات لورنتز، زيادة السرعة تؤدي إلى زيادة الطول ؟
 (ا) صح ✓ (ب) خطأ

11- وفق تصور أينشتاين للكون، ما الذي يوجد في وسط الكون ؟
 (ا) صح (ب) خطأ ✓

12- وفق النسبية العامة، الزمن على سطح المشتري أبطأ من الزمن على سطح الأرض ؟
 (ا) صح (ب) لا شيء ✓ (ج) كواكب (د) مجرات

13- احسب نصف قطر شوارزشايلد للأرض ؟
 (ا) صح ✓ (ب) خطأ

تعيين المعطيات: $G=6.674 \times 10^{-11} m^3/Kg.s^2$ ، $M=5.972 \times 10^{24} Kg$
 التطبيق:

$$\text{gravitational radius} = \frac{2GM}{c^2}$$

$$= \frac{2 \times 6.674 \times 10^{-11} \times 5.972 \times 10^{24}}{(3 \times 10^8)^2}$$

$$= 0.0088m = 8.8mm$$

14- احسب تمدد سنة واحدة على سطح ثقب أسود كتلته عشرة أضعاف كتلة الشمس ؟
 (ا) تزايد (ب) تقل (ج) تبقى ثابتة (د) أحيانا تقل وأحيانا تزايد

تعيين المعطيات: $G=6.674 \times 10^{-11} m^3/Kg.s^2$ ، $R=6.963 \times 10^8 m$ ، $M=1.989 \times 10^{30} Kg$
 $t=1y=31557600s$
 التطبيق:

$$t' = t \left(1 - \frac{GM}{RC^2} \right)$$

$$= 31557600 \times \left(1 - \frac{6.674 \times 10^{-11} \times 1.989 \times 10^{30}}{6.963 \times 10^8 \times (3 \times 10^8)^2} \right)$$

$$= 31556931.52s$$

السنة بعد تمددها تصبح 31556931.52s أي زادت بمقدار 668.47s ويساوي 11 دقيقة تقريبا.

1- مركبة فضائية طولها في حالة السكون $L_0=35m$ وكتلتها $m_0=5000kg$ ، احسب طولها ثم كتلتها عندما تسير بسرعة $v=2.7 \times 10^8 m/s$ ؟

الحل

تعيين المعطيات: $L_0=35m$ ، $m_0=5000Kg$ ، $v=2.7 \times 10^8 m/s$
 التطبيق:

$$L = L_0 \cdot \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}$$

$$= 35 \times \sqrt{1 - \frac{(2.7 \times 10^8)^2}{(3 \times 10^8)^2}}$$

$$= 15.2561m$$

$$m = \frac{m_0}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$$

$$m = \frac{5000}{\sqrt{1 - \frac{(2.7 \times 10^8)^2}{(3 \times 10^8)^2}}}$$

$$= 11470.7867Kg$$

2- احسب طاقة الكتلة الساكنة للإلكترون، حيث كتلة الإلكترون $m_0=9.1 \times 10^{-31} kg$ ؟

الحل

تعيين المعطيات: $m_0=9.1 \times 10^{-31} kg$
 التطبيق:

$$E = mc^2$$

$$= 9.1 \times 10^{-31} \times (3 \times 10^8)^2$$

$$= 8.19 \times 10^{-14} J$$

3- ما هي وحدة الكتلة النسبية ؟

(ا) kg ✓ (ب) N/m (ج) m (د) N

4- سرعة الضوء في الفراغ، بمرور الوقت ؟

(ا) تزايد (ب) تقل (ج) تبقى ثابتة (د) أحيانا تقل وأحيانا تزايد

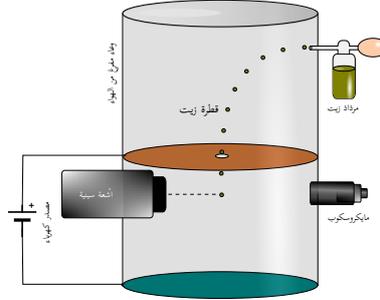
5- عند السرعات الأصغر كثيرا من سرعة الضوء $v \ll c$ نتجاهل قيمة تحويل لورنتز لصغره الشديد ؟

(ا) صح ✓ (ب) خطأ

6- تم التوصل إلى عدم وجود الأثير الذي ينتقل فيه الضوء نتيجة لتجربة مايكلسون - مور ؟

(ا) صح ✓ (ب) خطأ

7- سرعة الضوء لا تتأثر بكون المراقب ساكن أم متحرك ؟



- الذرة ومكوناتها
- الليزر
- الأشعة السينية



22.1 الإلكترون

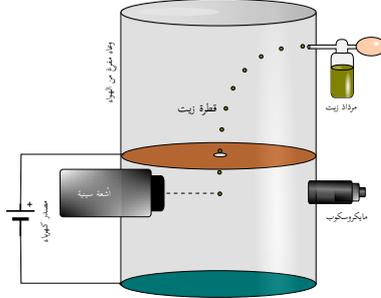
الإلكترون e^- أو β^- هو جسيم تحت ذري ذو شحنة سالبة .

شحنة الإلكترون

تم اكتشاف الإلكترون عبر سلسلة من الاكتشافات المتتالية، فقد أجرى كروكس تجربة أنبوب الكاثود المفرغ، وتعرف على أثر الإلكترون عند اصطدامه بالأنبوب، لكنه لم يعرف أن هذا الضوء ناتج عن جسيم.



شكل 22.1: أنبوب كروكس [6]

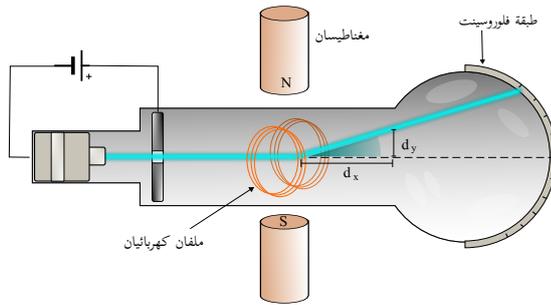


شكل 22.2: تجربة قطرة الزيت لمليكان

واستمر بحث العلماء عن ماهية هذا الضوء، إلى أن اكتشف مليكان مقدار شحنة الإلكترون باستخدام التجربة الموضحة في الرسم، حيث قام بإطلاق رذاذ الزيت في داخل وعاء مفرغ من الهواء، ووضع في وسط الوعاء حاجز موجب وبه ثقب صغير يسمح بنفاذ قطرة الزيت وهي تحت تأثير قوة الجاذبية الأرضية $F=mg$ ، وبمجرد نفاذ قطرة الزيت من الثقب تتعرض للأشعة السينية x -ray والتي تشحنها بشحنة سالبة، عندها تصبح القطرة تحت تأثير قوة المجال الكهربائي الموجب $F=Eq$ ، وبالمساواة $.Eq=mg \Rightarrow q = \frac{mg}{E} = -1.6 \times 10^{-19} C$

كتلة الإلكترون

اكتشف فريق من العلماء برئاسة تومسون كتلة الإلكترون باستخدام تجربة عرفت باسم تجربة تومسون.



شكل 22.3: تجربة تومسون

بالمساواة بين العلاقتين $F=Eq$ و $F_B=Bqv$ ، استنتج أن $Eq=Bvq$ ومنه $v = \frac{E}{B}$ ، وبالتعويض بها في معادلة المسافة $d_x = vt = \frac{Et}{B}$ ، ومنها الزمن يساوي $t = \frac{d_x B}{E}$.

وبالتعويض من $F=Eq$ في قانون نيوتن الثاني $a = \frac{F}{m} = \frac{Eq}{m}$ ، ومنه في معادلة الحركة الخطية:

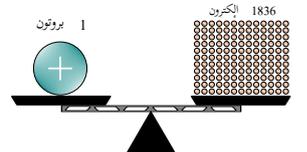
$$d_y = vt + \frac{1}{2}at^2 = 0 + \frac{1}{2} \times \frac{Eq}{m} \times t^2$$

تساوي $1.7588196 \times 10^{11} C/Kg$ ، وبالتعويض فيه حصل على نسبة شحنة الإلكترون إلى كتلته، فوجد أنها $\frac{q}{m} = \frac{2d_y E^2}{d_x^2 B^2} = \frac{2Ed_y}{d_x^2 B^2} \left(\frac{d_x B}{E} \right)^2$.

وبالتعويض عن شحنة الإلكترون التي حسبها مليكان حصل على كتلة الإلكترون $m = \frac{-1.6 \times 10^{-19}}{1.758 \times 10^{11}} = 9.1 \times 10^{-31} Kg$

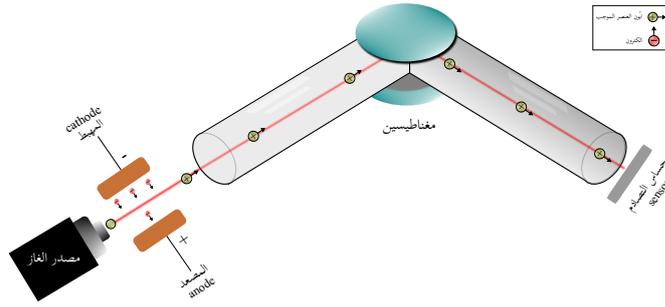
وقد استخدم تومسون نفس الطريقة لإيجاد كتلة البروتون مع تغيير الأقطاب، بحيث جعل المصعد مكان المهبط والمهبط مكان المصعد، مع إضافة غاز الهيدروجين.

ثم قام بحساب كتل مجموعة من أنوية الغازات، وقد تم تطوير جهاز تومسون وتسميته باسم مطياف الكتلة *spectrometry* وسيتم شرحه في الصفحة التالية، وهو يختلف عن المطياف *spectroscopy* الذي سيمر علينا في موضوع نموذج بور.



شكل 22.4: نسبة كتلة الإلكترون إلى كتلة البروتون.

مطياف الكتلة



شكل 22.5: مطياف الكتلة

فكرة عمل الجهاز يتم ضخ الغاز المطلوب إلى قناة يتقاطع معها مسار إلكترونات قادمة من كاثود، وعند اصطدام الإلكترونات بذرات الغاز العابرة تتأين، وتصبح موجبة، أما إلكتروناتها فتذهب للأنود، وتتمرر أيونات الغاز من خلال فتحة ضيقة تجبرها على السير في خط مستقيم رفيع، وبعد أن تصل الأيونات إلى المغناطيس يحدث لها انحراف حسب كتلتها، فكلما كانت كتلة الأيون عالية كان انحرافه أقل، وكلما كانت كتلته صغيرة كان انحرافه أكبر، وعند وصول الأيون للحساس يتعرف على درجة انحرافه وكثافة نظائره.

قانون حساب نسبة الشحنة إلى الكتلة $\frac{q}{m}$ في مطياف الكتلة

$$\frac{q}{m} = \frac{2V}{B^2 r^2} \quad (22.1)$$

حيث V فرق الجهد، B شدة المجال المغناطيسي، r نصف قطر انحراف الجسيم.

مثال 22.1.140 السؤال

$$\frac{q}{m} = \frac{2V}{B^2 r^2}$$

$$\frac{1.6 \times 10^{-19}}{1.67 \times 10^{-27}} = \frac{2 \times V}{(2.8 \times 10^{-2})^2 \times (4.1 \times 10^{-2})^2}$$

$$= 126.26V$$

النتيجة: فرق الجهد الكهربائي المستخدم 126.26 فولت.

احسب فرق الجهد في مطياف الكتلة حسب

المعطيات التالية

الحل

تعيين المعطيات: $m_p = 1.67 \times 10^{-27} \text{ kg}$ ، $q = 1.6 \times 10^{-19} \text{ C}$ ، $B = 4.1 \times 10^{-2} \text{ T}$ ، $r = 2.8 \times 10^{-2} \text{ m}$

التطبيق:

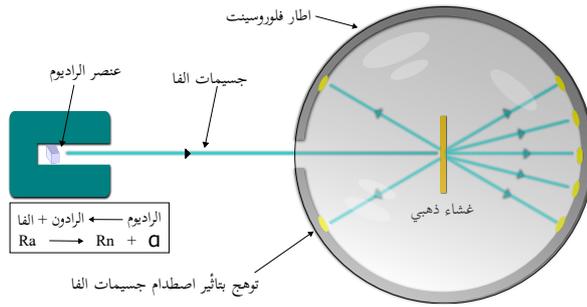
22.2 الذرة

الذرة هي وحدة تركيب العناصر والمركبات، لكنها ليست أصغر جسيم مادي، فهناك الإلكترون الحر والبوزترون ومضاد المادة والكثير من أنواع الجسيمات الأخرى.

تتكون الذرة من نواة وإلكترونات، والنواة تتكون من نيوترونات وبروتونات، وأول من اكتشف النواة وأثبت وجودها هو الفيزيائي

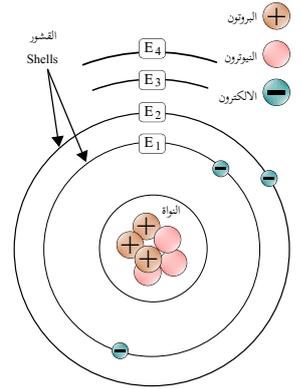
رذرفورد بتجربته المشهورة.

22.2.1 اكتشاف النواة



شكل 22.6: تجربة رذرفورد

قام رذرفورد بصنع طوق مطلي من داخله بمادة فلوروسنتية، وجعل في الطوق فتحة جانبية، وفي وسط الطوق شريحة رقيقة من الذهب (لأنه عالي الكثافة)، ووضع مقابل الفتحة قطعة من الراديوم المشع، فلاحظ أن هناك عدد كبير من نقاط التوهج تظهر على الطبقة الفلوروسنتية (كبريتات الزنك)، وغالبيتها تظهر في الجزء أمام شريحة الذهب، والقليل جدا يظهر خلفها، فاستنتج أن غالبية حجم الذرة فراغ لأن جسيمات ألفا الصادرة عن المادة المشعة استطاعت النفاذ من خلال شريحة الذهب رغم أنها عالية الكثافة، وأن نقاط التوهج التي ظهرت على الطبقة الفلوروسنتية خلف شريحة الذهب كانت بسبب اصطدامها بأنوية الذهب. وكان لتجربته هذه أثر بالغ في إعطاء تصور واضح لشكل الذرات وبنيتها الداخلية.



شكل 22.7: نموذج ذرة بور

22.2.2 نموذج ذرة بور

وضع بور تصورا للذرة الهيدروجين مبني على عدد من النقاط:

- (1) أن الذرة تحتوي على نواة مركزية موجبة الشحنة.
- (2) أن الإلكترونات السالبة توجد في أغلفة قشرية كروية تحيط بالنواة، ولكل قشرة مستوى طاقة خاص بها، ولا يشع الإلكترون طالما لم ينتقل من قشرته (مداره).
- (3) أن الذرة متعادلة الشحنة، أي شحنة النواة الموجبة تساوي شحنة الإلكترونات السالبة.

ثم أضيف لها بعض الافتراضات:

- أن الإلكترون إذا انتقل من مستوى أعلى E_2 إلى مستوى أقل E_1 فإنه يفقد جزء من طاقته على شكل فوتون (إشعاع)، طاقته تساوي الفرق بين طاقة المستويين $E = E_2 - E_1 = h\nu$.

انبعاث الضوء في ذرة بور

عند إثارة إلكترون الهيدروجين يصعد من المستوى $n=1$ إلى أحد المستويات الأعلى، حسب طاقة الإثارة التي اكتسبها، ويستقر به لمدة 10^{-8} s، ثم ينزل إلى أحد المستويات الأدنى. إن مستويات الطاقة المحيطة بالنواة غير متساوية في الطاقة، ولهذا تختلف طاقة الفوتون المنبعث باختلاف المستوى الذي نزل منه، والمستوى الذي نزل إليه الإلكترون، حيث طاقة الفوتون تساوي فرق الطاقة بين المستويين.

كيف نحسب طاقة المستوى ؟

يمكن حساب طاقة المدار أو المستوى بالقانون:

$$E_n = -\frac{hcR_\infty Z^2}{n^2} \quad (22.2)$$

حيث h ثابت بلانك، c سرعة الضوء، R_{∞} ثابت رايدنبرج، Z العدد الذري، n عدد الكم الرئيسي، k ثابت كولوم، m كتلة الإلكترون، q شحنة الإلكترون.

مثال 22.2.141 السؤال

$$= \frac{-6.626 \times 10^{-34} \times 3 \times 10^8 \times 1.097 \times 10^7 \times 1^2}{1^2}$$

$$= -2.18 \times 10^{-18} \text{ J} = \frac{-2.18 \times 10^{-18}}{1.6 \times 10^{-19}}$$

$$= -13.6 \text{ eV}$$

النتيجة: طاقة المستوى الأول في ذرة الهيدروجين تساوي -13.6 إلكترون فولت.

احسب طاقة المستوى الأول $n=1$ في ذرة الهيدروجين؟

الحل

تعيين المعطيات: $h=6.626 \times 10^{-34}$ ، $n=1$ ، $k=9 \times 10^9$
 $R_{\infty}=1.097 \times 10^7 \text{ m}^{-1}$ ، 10^{-34}

التطبيق:

$$E_n = -\frac{hcR_{\infty}Z^2}{n^2}$$

ولذرة الهيدروجين

الطاقة	n
-13.6 eV	1
-3.39 eV	2
-1.51 eV	3
-0.85 eV	4

جدول 22.1: طاقة مستويات الهيدروجين

$$E_n = \frac{-E_1}{n^2} = \frac{-13.6 \text{ eV}}{n^2} \quad (22.3)$$

حيث n عدد الكم الرئيسي، -13.6 eV تسمى طاقة رايدنبرج.

مثال 22.2.142 السؤال

$$= \frac{-13.6}{1^2}$$

$$= -13.6 \text{ eV}$$

النتيجة: طاقة إلكترون ذرة الهيدروجين تساوي 13.6 إلكترون فولت.

احسب طاقة إلكترون ذرة الهيدروجين؟

الحل

تعيين المعطيات: $E_1=13.6 \text{ eV}$ ، $n=1$

التطبيق:

$$E_n = \frac{E_1}{n^2}$$

حساب نصف قطر المدار بالقانون

$$r_n = \frac{h^2 n^2}{4\pi^2 k m q^2} \quad (22.4)$$

حيث r نصف قطر المدار، h ثابت بلانك، m الكتلة، q الشحنة، n عدد الكم الرئيسي، k ثابت كولوم

مثال 22.2.143 السؤال

$$= \frac{6.626 \times 10^{-34} \times 1^1}{4 \times \pi^2 \times 9 \times 10^9 \times 9.11 \times 10^{31} \times (1.6 \times 10^{-19})^2}$$

$$= 5.3 \times 10^{-11} \text{ m}$$

النتيجة: نصف قطر المدار الأول في ذرة الهيدروجين يساوي 5.3×10^{-11} متر.

احسب نصف قطر المدار الأول $n=1$ في ذرة الهيدروجين؟

الحل

تعيين المعطيات: $h=6.626 \times 10^{-34}$ ، $n=1$ ، $k=9 \times 10^9$
 $q=1.6 \times 10^{-19}$ ، $m=9.11 \times 10^{-31}$ ، 10^{-34}

التطبيق:

$$r_n = \frac{h^2 n^2}{4\pi^2 k m q^2}$$

ويجب ملاحظة أن فرق الطاقة بين مستويات الإلكترونات يجب أن يكون موجب عند الانتقال من مستوى إلى مستوى أعلى، وسالب عند الانتقال إلى مستوى أدنى، كما يجب أن تكون القيم مكماة.

مثال 22.2.144 السؤال

$$=12.08eV$$

$$E = h\nu \quad (\text{التردد})$$

$$\nu = \frac{12.08 \times 1.6 \times 10^{-19}}{6.626 \times 10^{-34}}$$

$$=2.916 \times 10^{15} Hz$$

$$\lambda = \frac{c}{\nu} \quad (\text{الطول الموجي})$$

$$= \frac{3 \times 10^8}{2.916 \times 10^{15}}$$

$$=1.028 \times 10^{-7} m$$

النتيجة: الطاقة اللازمة لانتقال الإلكترون $12.08eV$ والتردد 2.916×10^{15} هيرتز، والطول الموجي $1.028 \times 10^{-7} m$

احسب الطاقة اللازمة لانتقال إلكترون ذرة الهيدروجين من المستوى 1 إلى المستوى 3؟ ثم احسب التردد والطول الموجي للفوتون الذي سبب هذا الانتقال ؟

الحل

تعيين المعطيات: $E_1 = 13.6eV$ ، $n=1$

التطبيق:

$$E_n = \frac{E_1}{n^2} \quad (\text{الطاقة})$$

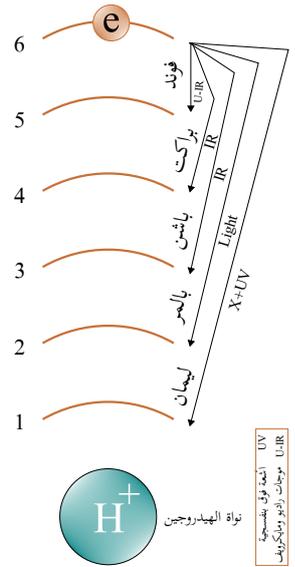
$$E_1 = \frac{-13.6}{1^2}$$

$$= -13.6eV$$

$$E_3 = \frac{-13.6}{3^2}$$

$$= -1.51eV$$

$$\Delta E = E_3 - E_1 = -1.51 - (-13.6)$$



نواة الهيدروجين
UV
IR
X+UV

وحيث أن طاقة الفوتون الصادر $E = h\nu$ ، فإن التغير في طاقة الفوتون يسبب بالضرورة تغير في تردده ν وطوله الموجي λ ، ولهذا وجد العلماء أن هناك 5 مجموعات من الأطياف (الفوتونات) تصدر من ذرة الهيدروجين المثارة:

(4) مجموعة براكيت: أطياف تصدر نتيجة انتقال الإلكترون من مستوى أعلى إلى المستوى $n=4$ ، وهي أشعة تحت حمراء ، $\frac{1}{\lambda} = R(\frac{1}{4^2} - \frac{1}{n^2})$.

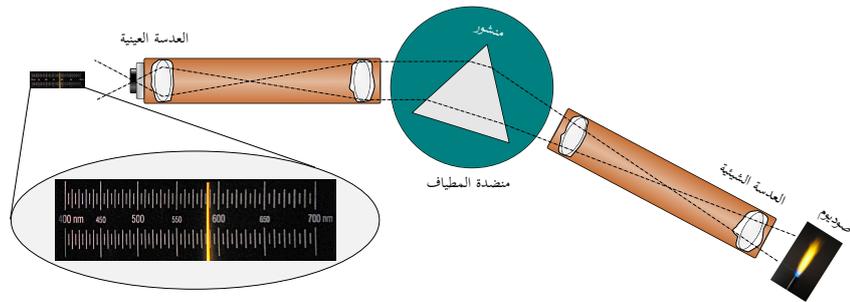
(5) مجموعة فوند: أطياف تصدر نتيجة انتقال الإلكترون من مستوى أعلى إلى المستوى $n=5$ ، وهي موجات أقل في التردد من الأشعة تحت الحمراء ، $\frac{1}{\lambda} = R(\frac{1}{5^2} - \frac{1}{n^2})$.

حيث $R = 1.097 \times 10^7 m^{-1}$ ثابت رايدنبرج، و n عدد الكم الرئيسي الذي ينزل منه الإلكترون.

(1) مجموعة ليمان: أطياف تصدر نتيجة انتقال الإلكترون من مستوى أعلى إلى المستوى $n=1$ ، وهي أشعة فوق بنفسجية أو أعلى في التردد ، $\frac{1}{\lambda} = R(\frac{1}{1^2} - \frac{1}{n^2})$.

(2) مجموعة بالمر: أطياف تصدر نتيجة انتقال الإلكترون من مستوى أعلى إلى المستوى $n=2$ ، وهي أشعة طيف مرئي ، $\frac{1}{\lambda} = R(\frac{1}{2^2} - \frac{1}{n^2})$.

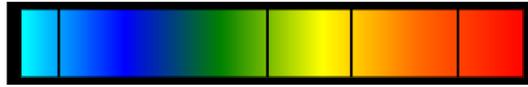
(3) مجموعة باشن: أطياف تصدر نتيجة انتقال الإلكترون من مستوى أعلى إلى المستوى $n=3$ ، وهي أشعة تحت حمراء ، $\frac{1}{\lambda} = R(\frac{1}{3^2} - \frac{1}{n^2})$.



شكل 22.9: المطيف وطيف الصوديوم

ولملاحظة الأطياف نستخدم جهاز المطيف، حيث يعمل على تحليل الضوء إلى أطيف ضوئية، نستطيع من خلالها تعيين نوع العنصر، فلكل عنصر طيف ضوئي خاص به، ويشبه البصمة لدى الإنسان.

خطوط فراونهوفر



شكل 22.10: خطوط فراونهوفر - الخطوط السوداء

هي خطوط امتصاص رينبي تظهر في طيف الشمس.¹ حين نضع المنشور أمام ضوء الشمس، نشاهد ألوان الطيف المعروفة، تبدأ بالأحمر وتنتهي بالبنفسجي. لكن إذا نظرنا إليها باستخدام عدسة جهاز المطيف، فإننا نلاحظ وجود خطوط سوداء مظلمة في أماكن متفرقة من الطيف، وأول من اكتشفها العالم فراونهوفر، فقام بتقييمها إلا أنه لم يفسر سبب وجودها، إلى أن جاء العالمان كيرشوف وبنسن²، واكتشفا أن أماكن هذه الخطوط المظلمة، تتطابق مع أماكن أطيف بعض العناصر، فاستنتجوا أن هذه العناصر موجودة في الغلاف الغازي للشمس، وهي التي قامت بامتصاص الضوء في هذه المناطق من الطيف بما يعرف بظاهرة الامتصاص الرينبي. وقد استفاد العلماء من هذه الظاهرة في معرفة العناصر الموجودة في الشمس (70 عنصر [15]) والنجوم رغم عدم ذهابهم إليها أو أخذهم لعينات منها، كما يستفاد منها في التحليل الطيفي للمواد في الصناعات المعدنية.

السحابة الإلكترونية

السحابة الإلكترونية هي المنطقة الأكثر احتمالية لوجود الإلكترون فيها.

افترض بور أن الإلكترونات تسير في مدارات ثابتة سميت بالمستويات، وحدد لكل منها نصف قطر ثابت يمكن حسابه رياضياً، لكن هذه التصور يتعارض مع مبدأ هايزنبرج الذي يقول بأنه من المستحيل تحديد موقع وزخم الإلكترون في اللحظة نفسها، ولهذا استعان العلماء بتصوير دي برولي للطبيعة الموجية للإلكترون، وافترضوا أن الإلكترون يسير في مجال حركة الموجة المصاحبة للإلكترون دون أن نستطيع تحديد موقعه بالضبط عند لحظة معينة، وسميت هذه المنطقة بالسحابة الإلكترونية، وإذا وضعنا السحابة الإلكترونية للمستوى الأول والثاني والثالث ... فإننا نحصل على النموذج الكمي للذرة، لكن الموقع الأكثر احتمالية لوجود الإلكترون فيه هو نصف قطر المستوى الرئيسي الذي يوجد به.

22.3 الليزر وتطبيقاته

الليزر هو تضخيم الضوء بالانبعاث المحفز (المستحث).

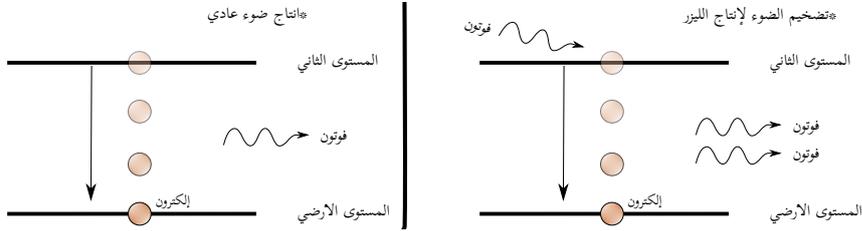
الضوء العادي الموجود في حياتنا العادية، مثل الشمس، مصباح النيون، النار، يكون على شكل فوتونات لها أطوال موجية متنوعة وغير متفقة في الطور، بينما في الليزر تكون جميع الفوتونات متساوية في التردد والطول الموجي، ومتفقة في الطور. كيف ينتج الليزر؟ قام أينشتاين في عام 1917 بالإشارة إلى ظاهرة الانبعاث المستحث، وتعني بشكل مبسط، أن الإلكترون حين يكتسب طاقة ينتقل من مستواه الأرضي إلى المستوى الأعلى منه، ويبقى فيه لمدة 10^{-8} s، ثم ينزل إلى مستوى أقل من المستوى الذي وصل إليه، مع فقدته فرق الطاقة بين المستويين $E_2 - E_1$ على شكل فوتون واحد، وتسمى العملية إلى هذه المرحلة بالانبعاث التلقائي، لكن إذا اصطدم فوتون خارجي بالإلكترون أثناء وجوده في المستوى العلوي، فإنه يطلق عند نزوله

¹فراونهوفر عالم بصريات ألماني ت 1826م.

²بنسن عالم الماني ت 1899م.

فوتونين وليس واحد، ويتميز هذان الفوتونان بأنهما متساويان في التردد والطول الموجي ومتفقان في الطور، ولهما نفس الاتجاه، ويسمى في هذه الحالة بالانبعاث المستحث، المنتج لفوتون الليزر، لكن إذا أردنا إنتاج أشعة الليزر فإننا نحتاج إلى جعل عدد الإلكترونات المرفوعة إلى المستويات العليا أكبر من عدد الإلكترونات في المستويات الدنيا ويسمى هذا الوضع بالإسكان المعكوس.

غير متفقة في الطور
فوتون
فوتون



شكل 22.13: الانبعاث المستحث

متفقة في الطور
فوتون
فوتون

شكل 22.12: فرق الطور

تم إنتاج الليزر لأول مرة في عام 1960م باستخدام موجات المايكرويف، ولهذا سمي ميزر Maser، ثم تم تطويره واستخدام الضوء المرئي فسمي ليزر Laser، وأخيراً استخدمت أشعة جاما فسمي قيزر Gaser، واستخدمت أيضاً الأشعة تحت الحمراء. وسُمّي ليزر الأشعة تحت الحمراء. مم يتكون جهاز الليزر؟

مكونات جهاز الليزر

جهاز الليزر يتكون من ثلاثة أجزاء رئيسية هي:

1) التجويف الرنيني ويتكون من مرآتين إحداهما عاكسيتها أقل من 100%، حيث تسمح بنفاذ جزء من الليزر وتعكس الباقي إلى المرآة المقابلة، وتكون بشكليين:



(ب)

تجويف رنيني خارجي: ويكون بتثبيت مرآتين مستقلتين على جانبي الوسط الفعّال، مع مراعاة أن تسمح إحداهما بنفاذ جزء من الليزر الساقط عليها، وتعكس الباقي للمرآة الأخرى.



(أ)

تجويف رنيني داخلي: ويكون بطلاء جانبي الوسط الفعّال بمادة عاكسة، فيصبحان مرآتين، مع مراعاة أن تسمح إحداهما بنفاذ جزء من الليزر الساقط عليها، وتعكس الباقي للمرآة الأخرى.

2) مصدر الطاقة، وتوجد عدة مصادر طاقة لتوليد الليزر:

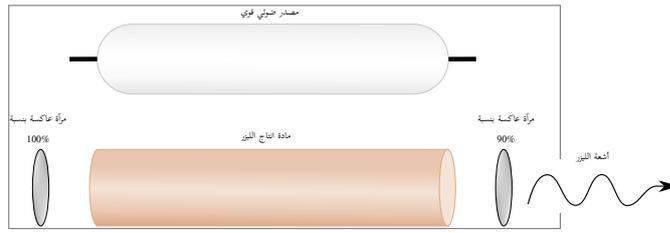
- (ب) الطاقة الضوئية، وتكون باستخدام مصباح قوي، أو شعاع ليزر خارجي.
(ج) الطاقة الكيميائية.
(د) الطاقة الحرارية.

(أ) الطاقة الكهربائية، وتستخدم إما بطريقة مباشرة في أنبوب مفرغ من الهواء وتحت جهد عال، أو عن طريق توليد موجات ترددية راديوية تؤثر على الوسط الفعّال.

3) مادة منتجة لليزر (الوسط الفعّال):

- (ج) ليزر الغازات مثل الأرجون والكلور.
(د) ليزر أشباه الموصلات.

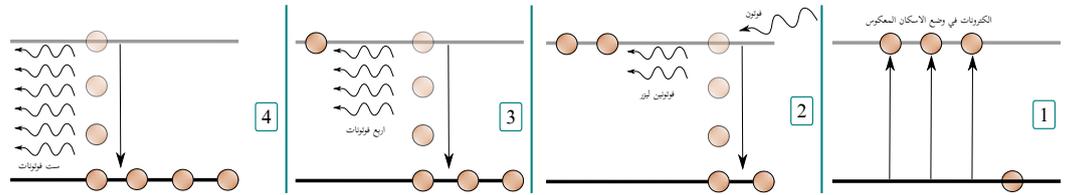
- (أ) ليزر الجوامد مثل الياقوت.
(ب) ليزر السوائل مثل الاسكولين.



شكل 22.14: إنتاج الليزر

طريقة عمل جهاز الليزر

يقوم المصدر الضوئي بضخ عدد ضخم من الفوتونات التي تخترق المادة الفعالة المنتجة لليزر، فتصطدم الفوتونات بالإلكترونات أثناء وجودها في المستوى العلوي كما تم شرحه في الأعلى، فينتج من كل إلكترون فوتونان، يسقط الفوتونان على المرآة، فيرتدان ويصطدم كل واحد منهما بإلكترون منتجاً فوتونين، فيصبح المجموع 4، ثم تصبح 8، ويستمر التضاعف، مع حركة الفوتونات جيئة وذهاباً بين المرآتين. يخرج جزء من الفوتونات من المرآة التي عاكسيتها 99.9%، ويسمى الضوء الخارج بالليزر، بينما تستمر الفوتونات الباقية بالانعكاس والتضاعف.



شكل 22.15: الإسكان المعكوس في الليزر

إن كفاءة أجهزة الليزر لا زالت منخفضة، حيث يفقد جزء كبير من الطاقة على شكل حرارة، فطلقة واحدة (نبضة) مثلاً من مدفع ليزر لتدمير طائرة بدون طيار سعرها لا يتجاوز الآف الدولارات، تتكلف مليون دولار.

خصائص أشعة الليزر

خصائص أشعة الليزر

واحد دون أن تتقاطع امتدادات مساراتها، لكن ليس للمسافات الكبيرة جداً، فحين قام العلماء الأمريكيون بإرسال شعاع ليزر من القمر إلى الأرض، وجدوا أنه انتشر على دائرة قطرها 15Km.

(4) أن لها استضاءة ثابتة، نتيجة بقاء فوتوناتها متوازية.

(1) أنها أحادية الطول الموجي، أي أن جميع فوتوناتها لها نفس الطول الموجي والتردد.

(2) أنها مترابطة، أي تنطلق في نفس الوقت، وتحافظ على فرق الطور بينها.

(3) أنها متوازية، أي أن فوتوناتها تسير في اتجاه

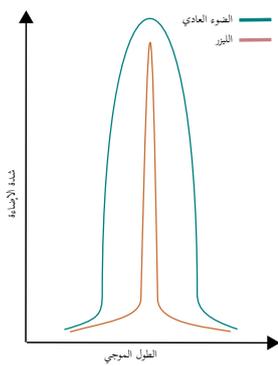
أمثلة على استخدامات الليزر

العمليات الجراحية، قارئ الأقراص، الألياف البصرية لنقل البيانات والاتصالات والتلفزيون الكبلي، لحام وقص المعادن، عرض ثلاثي الأبعاد (الهولوجرام)، بعض الطابعات المجسمة (ثلاثية الأبعاد)، قارئ أسعار الباركود.

22.4 الأشعة السينية

الأشعة السينية هي موجات كهرومغناطيسية طولها الموجي في المدى 0.01-10nm. وسميت بأشعة x لأن ماهيتها كانت مجهولة³، وتميز ب:

³ اكتشفها الألماني رونجن ت 1923م.



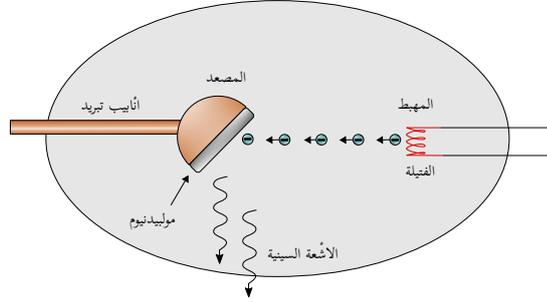
شكل 22.16: أحادية اللون في الليزر



شكل 22.17: الباركود

- طاقتها عالية، وطولها الموجي قصير.
- تؤين الغازات.
- لها قدرة كبيرة على اختراق الأجسام.
- تحيد في البلورات.

إنتاج الأشعة السينية



شكل 22.18: جهاز الأشعة السينية

يتكون جهاز إنتاج الأشعة السينية من أنبوب زجاجي مفرغ من الهواء، يوضع في طرفه الأول فتيلة كهربائية تمثل القطب السالب وتسمى المهبط، وفي طرفها الآخر قطعة من السيراميك مغطى بالنحاس أو التنجستين أو الموليبدينوم ويسمى المصعد، وعند تشغيل الجهاز، تبدأ الإلكترونات بالانقذاف من المهبط، ثم الاصطدام بسطح المصعد. ينتج عن هذه الاصطدام نوعين من الموجات:

(2) طيف خطي: وينشأ نتيجة اصطدام إلكترون المهبط بالإلكترون قريب من النواة في ذرة المصعد، وصعوده لمستوى عال ثم نزوله مرة أخرى، أو خروجه من الذرة، فيقوم إلكترون بالنزول ليحل محله، (هي نفس فكرة طيف ليمان)، ويتميز هذا الطيف بأن له تردد موحد في مجال الأشعة السينية، ويتناسب هذا التردد طردياً مع العدد الذري لعنصر المصعد.

(1) طيف مستمر: وينشأ نتيجة تباطؤ الإلكترونات بتأثير إلكترونات ذرات المصعد سواء بالتشتت أو الاصطدام، ولهذا تسمى بأشعة الانكباح (التباطؤ)، وتكون على شكل إشعاعات متعددة الطول الموجي لأن مقدار التباطؤ يختلف من إلكترون إلى آخر، ولأنها تعتمد على إلكترونات المهبط، والتغير الذي يحصل في سرعتها، لذا لا تتأثر بنوع عنصر المصعد.



شكل 22.19: الأشعة السينية [2]

بعض استخداماتها

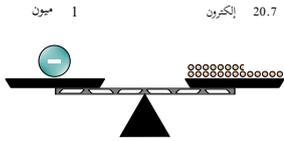
- التصوير الطبي والأمني لجسم الإنسان.
- علاج الأورام السرطانية.
- كشف الشقوق والتصدعات في المعادن والأخشاب.
- فحص حقائب المسافرين في المطارات.
- دراسة بلورات الجوامد.

ضررها

أثبتت الدراسات العلمية أن الأشعة السينية مسبب للسرطان والعقم، لذا يجب استخدامها عند الضرورة، مع اتباع إجراءات السلامة المعتمدة من الجهات الرسمية المنظمة للعمل عليها، بالنسبة للمريض والفني المشغل للجهاز.

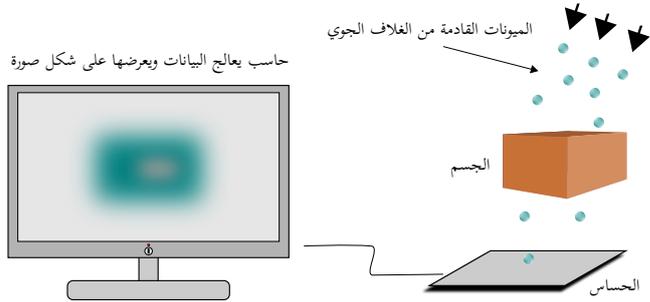
أشعة الميون

الميون μ هو جسيم صغير جداً كتلته تعادل 20.7 ضعف كتلة الإلكترون وشحنته سالبة $-1.6 \times 10^{-19} J$ ، ويتكون الميون نتيجة لاصطدام الأشعة الكونية (في غالبها بروتونات) بذررات غازات الغلاف الجوي، ولشدة صغر الميون وسرعته العالية $0.98C$ فإنه يستطيع العبور من خلال كل شيء، أي يستطيع عبور أي جامد وأي سائل وأي غاز، وكل الأجسام بالنسبة له شفاقة بنسبة



شكل 22.20: كتلة الميون بالنسبة لكتلة الإلكترون.

شفافية 99% تقريبا، ومع تطور أجهزة الرصد تم إنتاج حساسات خاصة على شكل شرائح تستطيع رصد التغير في كثافة الميونات العابرة من خلال جسم ما، لكن يجب أن يكون الجسم سميك وكثافته عالية (جامد)، وتكون الصورة المتكونة ضبابية كما في الرسم التوضيحي، ورغم مجانية الميونات إلا أنه يصعب استخدامها كبديل للأشعة السينية نظراً لأن العدد المتساقط منها لا يتعدى 100 ميون في المتر المربع خلال الثانية الواحدة وعمره $2.2\mu s$.



شكل 22.21: أشعة الميون

مثال 22.4.145 السؤال

أثبت أن الميون يستطيع الوصول لسطح الأرض مع أن عمره قصير جداً على افتراض أن ارتفاع الغلاف الجوي 10000 متر؟

الحل

تعيين المعطيات: $C=3 \times 10^8 m/s$ ، $t=2.2\mu s$ ، $d=10000m$ ، $v=0.98Cm/s$

التطبيق:

$$\Delta t' = \frac{\Delta t}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} \quad (\text{الزمن النسبي يتمدد})$$

$$\Delta t' = \frac{2.2 \times 10^{-6}}{\sqrt{1 - \frac{0.98^2 c^2}{c^2}}} = 11\mu s$$

$$t = \frac{d}{v} = \frac{1990}{0.98 \times 3 \times 10^8} = 6.7\mu s$$

النتيجة: أي أن الميون سيصل لسطح الأرض بعد 6.7 ميكروثانية وهو أصغر من عمره النسبي $11\mu s$.

$$L = L_0 \cdot \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}} \quad (\text{الطول النسبي يتقلص})$$

$$L = 10000 \cdot \sqrt{1 - \frac{0.98^2 c^2}{c^2}}$$

22.5 التدريبات

4- سبب انعكاس الأشعة فوق البنفسجية عند اصطدامها بلوح مطلي بالزنك، أن تردد الأشعة فوق البنفسجية
تردد العتبة للزنك ؟

(أ) \checkmark < (ج) =

(ب) > (د) \geq

5- من هو مكتشف نواة الذرة ؟

(أ) رذرفورد \checkmark (ج) بور

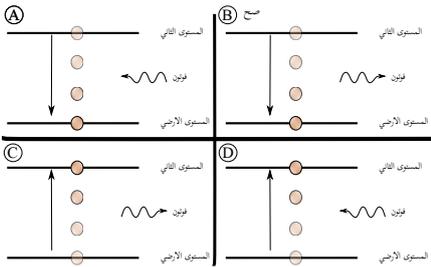
(ب) واطسون (د) اينشتاين

6- أي نوع من الاضمحلال لا يتغير فيه عدد البروتونات أو النيوترونات في النواة ؟

(أ) غاما \checkmark (ج) ألفا

(ب) بوزترون (د) بيتا

7- أي الرسوم التالية تمثل الانبعاث التلقائي للضوء ؟ B



1- احسب الكتلة النشطة المتبقية من $4kg$ من اليورانيوم $U-239$ بعد مرور $40min$ حيث عمر النصف له $23min$ ؟

الحل

تعيين المعطيات: $N_0=4Kg$ ، $t=40min=2400s$ ، $T_{1/2}=1380min=1380s$
التطبيق:

$$N=N_0 2^{\frac{-t}{T_{1/2}}}$$

$$=4 \times 2^{\left(\frac{-40 \times 60}{23 \times 60}\right)}$$

$$=1.1982kg$$

2- كم جولا تساوي وحدة الطاقة الذرية ؟

(أ) 1.6×10^{-19} (ج) 1.6×10^{-9}

\checkmark

(ب) 6.1×10^{-19} (د) 6.1×10^{-9}

3- فائدة منتخبة السرعات الحصول على ؟

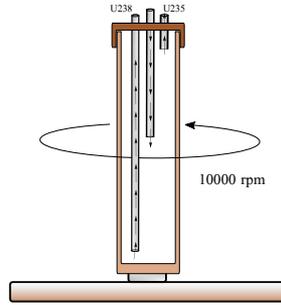
(أ) جسيمات (ب) أشعة غاما

مشحونة لها

(ج) تيار كهربائي نفس السرعة

(د) أشعة فوق \checkmark

بنفسجية



- المواد المشعة
- تخصيب اليورانيوم
- المفاعلات الذرية

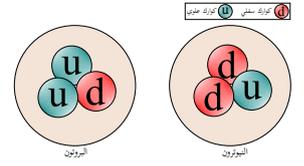


23.0.1 الذرة

قبل أن نبدأ في الحديث عن المفاعلات الذرية، يحسن بنا أن نستذكر بعض المعلومات الأساسية التي سبق وأن درسناها أو قرأناها، مثل الذرة وتركيبها.

الذرة تتكون من نواة وإلكترونات تدور حولها، النواة موجبة الشحنة لاحتوائها على البروتونات الموجبة (+)، أما النيوترونات (-) فهي متعادلة الشحنة. الإلكترونات سالبة الشحنة وتوجد خارج النواة. البروتونات والنيوترونات متساوية تقريباً في الكتلة، بينما الإلكترونات أصغر منهما بكثير. الشحنات المختلفة تتجاذب، والشحنات المتشابهة تتنافر، البروتونات والنيوترونات تسمى نيوكلونات، النيوترون إذا خرج من النواة يفنى خلال دقائق بينما البروتون يستطيع أن يعيش مليارات السنين. لماذا تكون البروتونات موجبة؟

البروتونات والنيوترونات مكونة من جسيمات أصغر تسمى الكواركات، وكل بروتون أو نيوترون يحتوي 3 كواركات، لكنها مختلفة في النوع، فالبروتون مكون من 2 كوارك علوي و 1 كوارك سفلي uud ، والنيوترون مكون من 2 سفلي و 1 علوي udd ، وشحنة العلوي $\frac{2}{3}$ وشحنة السفلي سالبة $-\frac{1}{3}$ ، فتكون الشحنة الكلية للبروتون 1 والشحنة الكلية للنيوترون صفر.



شكل 23.1: الكواركات

مثال 23.0.146 السؤال

$$=7 \times \frac{2}{3} + 8 \times \frac{-1}{3} = \frac{14}{3} - \frac{8}{3}$$

$$= \frac{6}{3} = 2$$

احسب الشحنة الكلية لبروتونين وثلاث نيوترونات

باستخدام شحنة الكواركات؟

الحل

تعيين المعطيات: $Q_u = 7$ ، $Q_d = 8$

التطبيق:

$$Q_{Total} = 7Q_u + 8Q_d$$

النتيجة: محصلة الشحنة الكلية تساوي 2 شحنة موجبة.

النواة وشحنتها

تم اكتشاف النواة عن طريق تجارب رذرفورد، كما سبق ذكره، وحيث أن النيوترونات متعادلة الشحنة فإننا نستطيع حساب شحنة النواة بضرب عدد البروتونات في الشحنة $Z \times 1.6 \times 10^{-19}$.

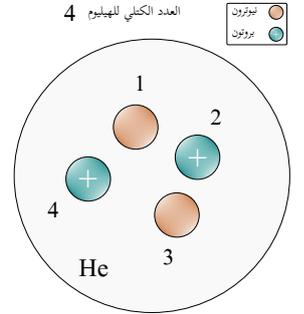
العدد الكتلي

العدد الكتلي هو مجموع عدد البروتونات وعدد النيوترونات الموجودة في نواة الذرة.

$$A = nP + nN \quad (23.1)$$

حيث nP عدد البروتونات، nN عدد النيوترونات

العدد الكتلي للهيليوم 4



شكل 23.2: العدد الكتلي يساوي مجموع البروتونات والنيوترونات.

مثال 23.0.147 السؤال

كم عدد البروتونات وعدد النيوترونات في نواة ذرة

الكربون $^{12}_6C$ ؟

$$A = nP + nN$$

الحل

تعيين المعطيات: $A = 12$ ، $Z = 6$

$$nN = A - nP$$

التطبيق:

$$nN = 12 - 6 = 6$$

عدد البروتونات يساوي العدد الذري Z ويساوي 6

النتيجة: عدد البروتونات 6 وعدد النيوترونات 6.

بروتونات

إذا نظرنا للجدول الدوري فإننا نجد أن العدد الكتلي للكربون يساوي 12.011 وهو عدد غير صحيح (به فاصلة عشرية)، فهل يوجد داخل النواة أنصاف وأرباع بروتونات؟!

البروتونات والنيوترونات تكون دائماً كاملة ولا يمكن وجود ربع أو نصف أو جزء بروتون، والسبب في وجود هذه الأعداد العشرية على يمين العدد الكتلي أن بعض العناصر لها نظائر (عنصر له نفس عدد البروتونات وعدد نيوترونات مختلف)، ولكي نعين العدد الكتلي للعنصر نقوم بحساب متوسط العدد الكتلي لجميع النظائر.

6	12.011
C	
Carbon	

شكل 23.3: الكربون

رموز العناصر

كل عنصر له رمز مكون من حرف أو حرفين للدلالة عليه، ولا توجد قاعدة عامة لاشتقاق الاسم، فبعض العناصر مشتقة من أسماء أشخاص وبعضها من أسماء بلدان وبعضها من اسم العنصر المعروف به، وتحتوي رموز العناصر على ثلاث معلومات على الأقل، رمز العنصر وعدده الذري والعدد الكتلي.

$$C_{\text{العدد الذري}}^{\text{العدد الكتلي}} = C_{6}^{12.011}$$

وحدات الكتلة الذرية

وحدة الطاقة الذرية

$$1eV = 1.6 \times 10^{-19} J \quad (23.2)$$

وحدة الكتلة الذرية

$$1u = 1.66 \times 10^{-27} kg \equiv 931.494 MeV \quad (23.3)$$

ولحساب كتلة النواة نضرب عدد الكتلة في وحدة الكتلة الذرية

$$m_{\text{النواة}} = A \times u \quad (23.4)$$

حيث A عدد الكتلة

طاقة وحدة الكتلة الذرية

$$\begin{aligned} E &= mc^2 \\ &= 1.66 \times 10^{-27} \times (3 \times 10^8)^2 \\ &= 1.494 \times 10^{-10} J / 1.6 \times 10^{-19} \\ &\approx 931.494 MeV \end{aligned}$$

مثال 23.0.148 السؤال

احسب كتلة نواة ذرة الكربون C_6^{12} ؟

الحل

تعيين المعطيات: $A=12$

التطبيق:

$$m_{\text{النواة}} = A \times u$$

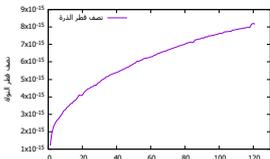
النتيجة: كتلة نواة ذرة الكربون تساوي 1.992×10^{-26} كيلو جرام.

كتلة جسيم ألفا (2برتون+2نيوترون) $4.00153u$

نصف قطر النواة

$$r = r_0 A^{\frac{1}{3}} \quad (23.5)$$

حيث r نصف قطر النواة، r_0 ثابت يساوي $m=1.2 fm$ ، A العدد الكتلي.



شكل 23.4: أنصاف أقطار أنوية عناصر الجدول الدوري.

مثال 23.0.149 السؤال

$$=1.2 \times 10^{-15} \times \sqrt[3]{12}$$

$$=2.747 \times 10^{-15} m$$

النتيجة: نصف قطر ذرة الكربون يساوي 2.747×10^{-15} متر.

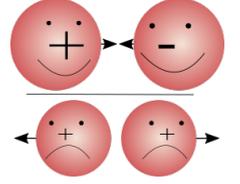
احسب نصف قطر ذرة الكربون ${}^{12}_6C$ ؟

الحل

تعيين المعطيات: $A=12$ ، $r_0=1.2 \times 10^{-15}$

التطبيق:

$$r=r_0 A^{\frac{1}{3}}$$



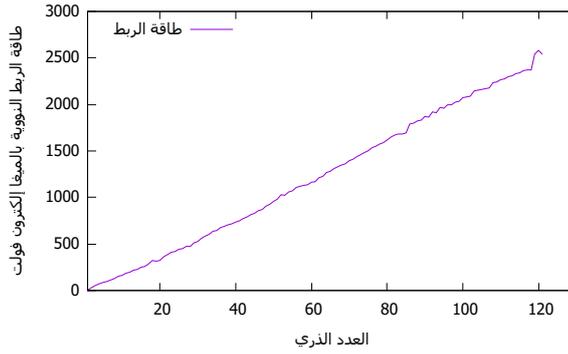
شكل 23.5: الشحنات

لكن ما الذي يجعل البروتونات متجاورة داخل النواة رغم أنها متنافرة، فجميع البروتونات موجبة ومتشابهة في الشحنة؟!

القوة النووية القوية

طاقة ربط لها كتلة، وتسمى القوة النووية القوية. وتتغلب هذه القوة على قوة التنافر بينهم، ورغم كبرها إلا أن تأثيرها لا يتعدى $1.4 \times 10^{-15} m$ ، ويمكن حسابها بالقانون:

وجد العلماء أن كتلة النيوكليونات داخل النواة لا تساوي كتلة النواة، وعندما بحث العلماء عن السبب، وجدوا أن هناك روابط بين البروتونات وبعضها، والنيوترونات وبعضها، وبين البروتونات والنيوترونات، وأن هذه الروابط عبارة عن



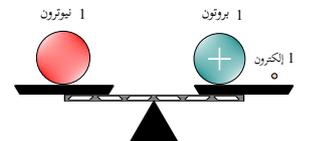
شكل 23.6: طاقة الربط النووية

$$B_E = [M_x - (Zm_p + Nm_n)] \times 931 \quad (23.6)$$

حيث B طاقة الربط، Z عدد البروتونات، N عدد النيوترونات، m_p و m_n كتلتي البروتون والنيوترون، M_x العدد الكلي، ووحدة الطاقة الإلكترون فولت.

الشحنة	الكتلة بوحدة الكتلة الذرية	الكتلة بالكيلوجرام	الرمز	
$1.602176487 \times 10^{-19} C$	$1.007825 U$	$1.672621637 \times 10^{-27} kg$	p	البروتون
0	$1.008665 U$	$1.67492729 \times 10^{-27} kg$	n	النيوترون

جدول 23.1: النيوكليونات



شكل 23.7: نسبة كتلة النيوترون إلى كتلة البروتون وكتلة الإلكترون.

مثال 23.0.150 السؤال

$$=[12.011-12.09894] \times 931$$

$$=-81.872 \text{ Mev}$$

النتيجة: طاقة الربط داخل ذرة الكربون -81.872 ميغا إلكترون فولت، مع إهمال طاقة الربط بين البروتونات والإلكترونات لضآلتها.

احسب طاقة الربط داخل ذرة الكربون $^{12}_6C$ ؟

الحل

تعيين المعطيات: $M_x=A=12.011$ ، $Z=6$

التطبيق:

$$B_E=[M_x-(Zm_p+Nm_n)] \times 931$$

$$=[12.011-(6 \times 1.007825+6 \times 1.008665)] \times 931$$

عند كسر قوة الربط النووية بين النيوكليونات¹، تخرج طاقة ضخمة نشاهدها في الانفجارات النووية، وهذه الطاقة هي الكنتز الذي تنبئ من أجله المفاعلات الذرية. لكن كيف نكسر هذه الروابط وهي قوية جداً؟!، في الحقيقة أن علماء الفيزياء يستعينون بقوة التنافر بين البروتونات نفسها، فهذا التنافر يزداد بزيادة عدد البروتونات (العدد الذري) داخل النواة. وعندما يصل العدد إلى مقدار معين، يصبح التنافر شديداً إلى درجة أن النيوكليونات تبدأ بالتفكك من النواة، وتسمى المادة في هذه الحالة بالعنصر المشع، مثل اليورانيوم والبلوتونيوم. إن انفلات النيوكليونات من النواة في العناصر المشعة يكون بمعدل ثابت، حسب قانون عمر النصف، إن معدل التحلل قد يكون سريعاً في بعض العناصر (أجزاء من الثانية) وبعضها بطيء جداً (ملايين السنين)، وفي كل الأحوال يؤدي تغير عدد البروتونات داخل النواة سواء بالنقص أو الزيادة لتحول النواة لعنصر جديد.

التحلل الإشعاعي للعناصر

كما سبق ذكره، أن القوة النووية القوية تربط بين الجسيمات داخل النواة فتمنعها من الخروج، لكن إذا وصل التنافر لدرجة معينة أو إلى نقطة تتغلب فيها قوة التنافر على القوة النووية القوية، عندها تبدأ جسيمات النواة بالتفكك، وتسمى هذه العملية بالتحلل أو الأضمحلال الإشعاعي، وتستمر عملية التحلل إلى أن ينتج عنصر مستقر تتغلب فيه القوة النووية القوية على قوة التنافر، وقد تم التنبيه لهذه العملية في تسعينات القرن التاسع عشر على يد عدد من العلماء أشهرهم بيكريل و رذرفورد. وتوصل رذرفورد إلى وجود ثلاثة أنواع من الأشعة الناتجة عن الذرة:

(1) أشعة ألفا α : هي ذرة هيليوم H_2^4 ، ويمكن إيقافها باستخدام قطعة من الورق نظراً لحجمها الكبير، وسرعتها $3 \times 10^7 \text{ m/s}$.

(2) أشعة بيتا β : هي جسيم مساوي لكتلة الإلكترون، ويمكن صدها برقاقة من الألمنيوم. وهي نوعان:

(ب) بيتا موجب β^+ أو e^+ : ويسمى بوزترون، وينتج عن تحول بروتون ليصدر نيوترون + بوزترون موجب + نيوتريينو الالكترن، وفي هذه الحالة يتحول العنصر إلى العنصر السابق له في الجدول الدوري $n_0^1 + p_1^1 \rightarrow n_0^1 + e^+ + \nu_e$.

(ا) بيتا سالب β^- أو e^- : ويسمى إلكترون، وينتج عن تحلل نيوترون ليصدر بروتون + إلكترون سالب + ضديد نيوتريينو الإلكترون²، وفي هذه الحالة يتحول العنصر إلى العنصر التالي له في الجدول الدوري $n_0^1 + p_1^1 \rightarrow n_0^1 + e^- + \bar{\nu}_e$.

(3) أشعة غاما γ : هي موجات كهرومغناطيسية تنتج عن الاندماج أو الانشطار النووي، ويمكن صدها بحاجز من الرصاص سمكه 1 cm ، وسرعتها تساوي سرعة الضوء.

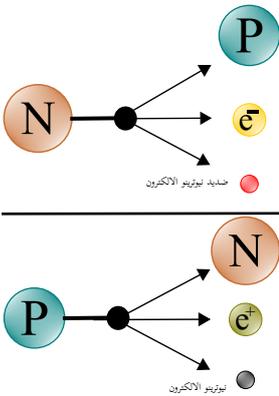
إن التغيرات التي تحصل في النواة بتأثير قوى داخلية أو خارجية يعبر عنها عادة بمعادلات تشبه معادلات التفاعل الكيميائي، أي طرف ايسر وايمن وبينهما إشارة «يؤدي إلى» المعروفة بهذا الرمز \rightarrow ، فإذا قلنا مثلاً $Rn_{86}^{222} \rightarrow Po_{84}^{218} + He_2^4$ فهذا يعني أن الرادون عند تحلله ينتج ذرة بولونيوم وجسيم ألفا.

¹النيوكلون هو البروتون أو النيوترون.

²النيوتريينو جسيم صغير جداً وليس له شحنة (مختلف فيه).

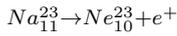
* طريقة علمية

عنصر الحديد له واحدة من أقوى قوى الربط النووية في الطبيعة.

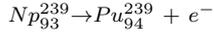


شكل 23.8: أشعة بيتا

مثال 23.0.151 السؤال



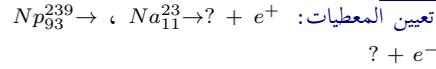
أما المعادلة الثانية تقول بأنه نتج إلكترون سالب وهذا يعني أنه فقد نيوترون ونتاج بروتون، وبالتالي سيتحول النبتونيوم للعنصر التالي له في الجدول الدوري وهو البلوتونيوم



النتيجة: في المعادلة الأولى ينتج نظير النيون Ne_{10}^{23} وفي المعادلة الثانية ينتج نظير البلوتونيوم Pu_{94}^{239} .

أكمل المعادلات التالية مستعينا بالجدول الدوري في نهاية الكتاب؟

الحل



التطبيق: المعادلة الأولى تقول بأنه نتج إلكترون موجب (بوزترون) وهذا يعني فقد بروتون وبالتالي سيتحول الصوديوم إلى العنصر السابق له في الجدول الدوري وهو النيون

23.1 معادلة عمر النصف النشط

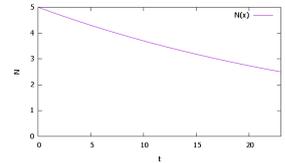
عمر النصف هو الزمن اللازم لتحلل نصف الكمية من المادة المشعة، فمثلا إذا كان لدينا $8Kg$ من مادة مشعة عمر النصف لها يوم واحد، فإن ما يتبقى منها بعد يوم $4Kg$ وبعد يومين نصف الأربعة وهو $2Kg$ وبعد ثلاثة أيام $1Kg$ ثم $0.5Kg$ ، ثم $0.25Kg$ وهكذا إلى أن نصل للصفر. ويقاس النشاط الإشعاعي للمادة المشعة في النظام الدولي بوحدة بيكريل Bq وتعرف بأنها كمية الأشعة الصادرة من مادة مشعة تتحلل فيها نواة واحدة في الثانية.

العنصر	عمر النصف	الناتج
Rn_{86}^{222}	3.8 day	ألفا
Y_{89}^{90}	5 min	بوزترون
S_{16}^{35}	87.4 day	بيتا
Th_{90}^{232}	1.41×10^{10} year	ألفا

جدول 23.2: عمر النصف لبعض العناصر. [15]

$$N = N_0 2^{\frac{-t}{T_{1/2}}} = N_0 e^{\frac{-0.693t}{T_{1/2}}} \quad (23.7)$$

حيث N الكتلة النشطة، N_0 الكتلة الأصلية، $T_{1/2}$ عمر النصف النشط، t الزمن الذي مضى.



شكل 23.9: عمر النصف

مثال 23.1.152 السؤال

$$N = N_0 2^{\frac{-t}{T_{1/2}}} \\ = 5 \times 2^{\left(\frac{-20 \times 60}{23 \times 60}\right)} \\ = 2.7366 kg$$

النتيجة: الكتلة النشطة المتبقية تساوي 2.7366 كيلوجرام.

احسب الكتلة النشطة المتبقية من $5kg$ من اليورانيوم U_{92}^{239} بعد مرور $20min$ حيث عمر النصف له $23min$ ؟

الحل

تعيين المعطيات: $N_0 = 5Kg$ ، $t = 20min = 1200s$ ، $T_{1/2} = 23min = 1380s$ ،

التطبيق:

قانون الطاقة لاينشتاين

وهو قانون ينص على أن المادة يمكن أن تتحول لطاقة، كما وتتفق مع دي برولي في أن الطاقة يمكن أن تتحول لمادة.

$$E = mc^2 \quad (23.8)$$

حيث E الطاقة الناتجة، m الكتلة، c سرعة الضوء.

23.2 الطاقة النووية

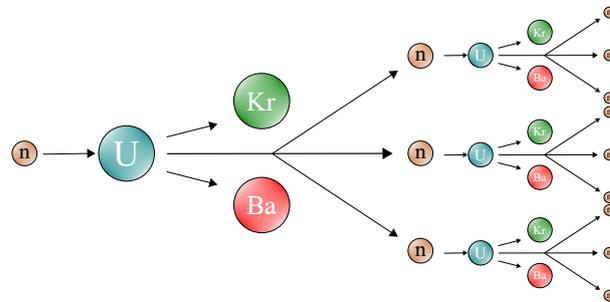
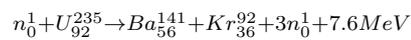
يوجد نوعين من الطاقة النووية

الطاقة الاندماجية هي عملية اندماج لذرات مادة أو أكثر تحت تأثير طاقة خارجية كبيرة، وينتج عنها ذرة جديدة أو أكثر وطاقة كبيرة جدا.

الطاقة الانشطارية هي عملية انقسام لنواة المادة المشعة وإنتاج ذرة جديدة أو أكثر بالإضافة إلى كمية من الطاقة تساوي الفرق بين كتلة المادة المنشطرة وكتلة المواد الناتجة.

23.2.1 الانشطار النووي

لاحظ العلماء في بداية القرن الماضي أن تسليط شعاع من النيوترونات على ذرة اليورانيوم يؤدي إلى إنتاج ذرات جديدة وطاقة، فاستنتجوا أن النيوترونات تسببت في انقسام نواة اليورانيوم وإنتاج عنصر الباريوم والكريتون وفق المعادلة:



شكل 23.10: التفاعل المتسلسل

ويصطدم كل نيوترون خارج من الانشطار بنواة ذرة يورانيوم جديدة محدثا انشطار جديد، وهذا ما يعرف بالتفاعل المتسلسل، ولهذا توضع قضبان جرافيت أو كادميوم متحركة داخل المفاعلات لاعتراض النيوترونات عند الرغبة بخفض عدد الانشطارات، وترفع عند الرغبة بزيادتها.

23.2.2 المفاعلات النووية

هي منشأة تستخدم لإنتاج الطاقة عن طريق الانشطار أو الاندماج النووي.

23.2.2.1 المواد المستخدمة في المفاعلات الذرية

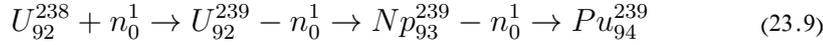
الماء الثقيل D_2O هو مادة تشبه الماء العادي إلا أنها تختلف عنه في عدة أشياء:

الماء العادي	الماء الثقيل
H_2O	D_2O
يحتوي ذرتي هيدروجين	يحتوي ذرتي ديتريوم
درجة تجمده 0 مئوي	درجة تجمده 3 مئوي
درجة غليانه 100 مئوي	درجة غليانه 101 مئوي
يتواجد في كل مكان	يتواجد في البحار والمحيطات
يصلح للشرب	لا يصلح للشرب
يصلح للزراعة	لا يصلح للزراعة

جدول 23.3: الماء الثقيل

للأسف! فبنيني هيروشيما وناجازاكي قتل أكثر من 200 ألف رجل و امرأة وطفل، وعدد غير محدد من الحيوانات.

البلوتونيوم هو عنصر يوجد كمنتج ثانوي في مفاعلات اليورانيوم، فبعد استهلاك طاقة الوقود النووي يتم استبداله بوقود جديد، وتجرى عمليات كيميائية للوقود المستهلك لاستخراج مادة البلوتونيوم، والتي تستخدم بالدرجة الأولى في صنع القنابل الذرية، لكن يستخدم أيضاً كوقود لبعض المفاعلات النووية، وينتج البلوتونيوم من اليورانيوم وفق التفاعل التالي:



فيتحول اليورانيوم 238 إلى يورانيوم 239 بعد اصطدام النيوترون بنواته، ثم يحدث تحليل بيتا لنواته وتفقد نيوترون وتكتسب بروتون فيصبح عنصر النيوبيوم، ثم يحدث تحليل بيتا فيتحول النيوبيوم إلى بلوتونيوم.

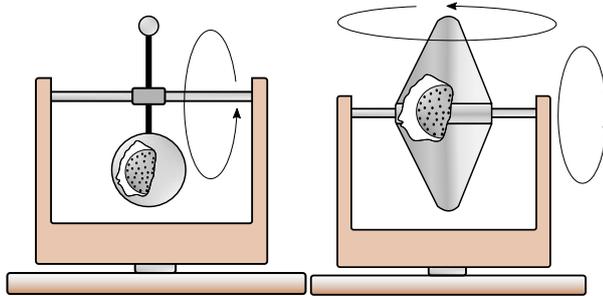
الثوريوم عنصر الثوريوم المشع Th_{90}^{232} يتميز بوفته فهو العنصر العاشر من حيث الوفرة على سطح الأرض، فالكمية الموجودة منه تكفي البشر 10 آلاف سنة، وكل $1cm^3$ منه تعادل 800 لتر من الديزل، ويتميز بأنه عند خلطه بالبلوتونيوم وبنفايات مفاعلات اليورانيوم يستهلكها ويحرقها، وبالتالي يعطينا طاقة كهربائية ويساعدنا على التخلص من نفايات اليورانيوم المخزنة في العالم على مدى العقود الماضية، فضلاً عن أن كمية الاستهلاك السنوي للمفاعلات الموجودة الآن يساوي 65000tonnes يورانيوم، بينما لو استبدلناه بالثوريوم سنحتاج 5000tonnes فقط من الثوريوم للحصول على نفس كمية الطاقة. لكن المشكلة التي تقف بيننا وبين استخدام الثوريوم هي عدم توصل العلماء إلى طريقة عملية لاستخلاص الثوريوم بكميات وأسعار تجارية لتشغيل المفاعلات النووية، وعدم وجود نماذج حديثة وأمنة لمفاعلات الثوريوم التي تعتمد على الوقود السائل وتستخدم فلوريد الليثيوم LiF وفلوريد البريليوم BeF_2 الخطرين [17]، فقد توقف تطوير هذه المفاعلات لفترة طويلة نظراً لعدم قدرة هذه المفاعلات على إنتاج القنابل النووية، وربما خلال عقدين⁴ أو ثلاثة سيبدأ عصر مفاعلات الثوريوم، وتعتبر مصر رقم 23 في المخزون العالمي للثوريوم، بالإضافة للمغرب وموريتانيا، أخيراً الثوريوم موجود في حياتنا اليومية فكل جهاز مايكرويف منزلي يحتوي على 10grams من حلقات الثوريوم داخل الماغنترون.⁵

اليورانيوم لقد وجد العلماء أن اليورانيوم من أفضل العناصر التي يمكن استخدامها في المفاعلات النووية، لكن من أين نحصل على اليورانيوم؟ وكيف نستخدمه؟

اليورانيوم U_{92}^{238} هو العنصر المشع المستخدم في غالبية المفاعلات النووية، ويتميز بأنه عنصر مشع متوفر بكميات جيدة في الطبيعة، ويوجد عادة في صخر البتسبلند(اليورانينيت)، وقد تم استخلاص اليورانيوم منه على يد العالم الألماني يوهانجورجنستات عام 1789م، ويتكون اليورانيوم الطبيعي من نوعين من اليورانيوم U_{238} ونسبته 99.284% وهو نوع رديء والنوع الثاني U_{235} ونسبته 0.711% وهو النوع الممتاز لكن نسبته منخفضة جداً، ولهذا حاول العلماء فرز النوعين واستخراج النوع الممتاز U_{235} ، إلا أن المشكلة التي واجهتهم هي تشابه الإثنين في اللون والشكل، والتفاعلات الكيميائية، ولهذا كان الفصل الكيميائي مستحيل، لذا لجأوا للطرق الفيزيائية، ولم ينجحوا في فرزها تماماً، وإنما استطاعوا تقليل نسبة اليورانيوم الرديء، ورفع نسبة اليورانيوم الممتاز، ولهذا سماوا العملية بالتخصيب وليس الفرز.

23.2.2.2 تخصيب اليورانيوم

طرق تخصيب اليورانيوم (الفرز) من الأقدم للأحدث:

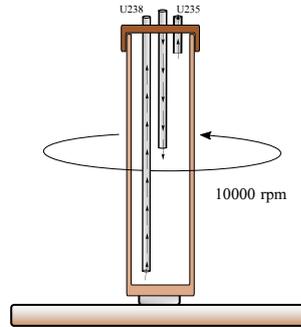


شكل 23.11: التخصيب بالانشار

⁴العقد عشر سنوات، والقرن مئة سنة.

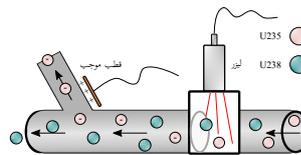
⁵الماغنترون هو القطعة التي تصدر الموجات في جهاز المايكرويف.

1- طريقة الانتشار: هي الطريقة الأقدم وتعمل على فكرة تطبيق قانون جراهام، ونجحت هذه الطريقة لكن ليس بنسبة عالية. قانون جراهام ينص على أن معدل تدفق الغازات يتناسب عكسيا مع الجذر التربيعي للكتلة المولية للغازات $\frac{R_1}{R_2} = \sqrt{\frac{M_2}{M_1}}$ ، أي أننا إذا بخرنا سداسي فلوريد اليورانيوم عند درجة 56.54°C ، ومررنا الغاز من خلال جدار مسامي فإن تدفق الغاز U_{235} (ذو الكتلة المولية الأصغر 235.0439g) أكبر من تدفق اليورانيوم الآخر (ذو الكتلة المولية الأكبر 238.0289g)، فإذا جمعنا الغاز الخارج من المسامات وكثفناه، فإننا نحصل على يورانيوم يحتوي على U_{235} بتركيز أعلى، وإذا كررنا العملية مرات ومرات، سنجعل تركيز اليورانيوم U_{235} يصل إلى الحد اللازم لتشغيل المفاعل النووي.



شكل 23.12: التخصيب بالطرد المركزي

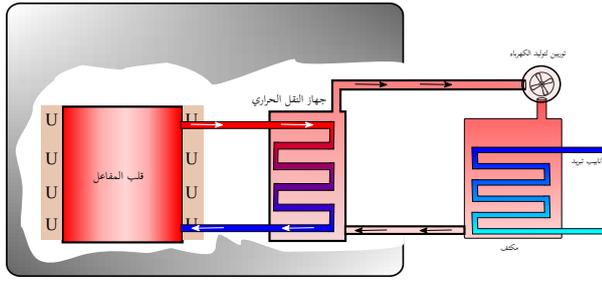
2- طريقة الطرد المركزي: وهي طريقة تعتمد على الكثافة، فحين نضع الزيت والماء معا في إناء، يطفو الزيت على الماء، لأن كثافة الزيت أقل من كثافة الماء. يتم تمرير غاز سداسي فلوريد اليورانيوم إلى أسطوانة عمودية تدور حول محورها بسرعة بين $10000-20000\text{r/min}$ ، فينفصل اليورانيوم U_{235} ويصعد لأعلى الأسطوانة لأنه الأخف، ويخرج من أنبوب في أعلى الأسطوانة، وينزل اليورانيوم U_{238} لأنه الأثقل ويخرج من أنبوب في أسفل الأسطوانة. لكن لأن نسبة اليورانيوم U_{235} منخفضة جدا، يخرج معه بعض من اليورانيوم U_{238} ، ولهذا يمرر الغاز الخارج من الأنبوب العلوي إلى جهاز آخر للتخلص من اليورانيوم U_{238} ثم جهاز ثالث ورابع، وقد يصل الصف الواحد إلى 100 جهاز طرد مركزي، إلى أن تصل نسبة اليورانيوم U_{235} للحد المطلوب.



شكل 23.13: التخصيب بالليزر

3- طريقة التآين بالليزر: وتقوم فكرة هذه الطريقة على أن الأيونات السالبة أو الموجبة تنجذب للأقطاب الكهربائية المخالفة لها في الشحنة، فيتم تسليط شعاع ليزر بتردد معين على بخار خليط اليورانيوم، بحيث يؤدي هذا التردد إلى تأين أحد نوعي اليورانيوم، ثم يوضع أنبوب جانبي متفرع من الأنبوب الرئيسي، ويوضع خارج الأنبوب الفرعي قطب كهربائي مخالف لشحنة أيون اليورانيوم، وهذا سيجعل النوع المتأين يندفع إلى الأنبوب الفرعي، بينما يستمر النوع الآخر في الأنبوب الرئيسي، وبهذا يفصل النوعين عن بعضهما، وهي أدق وأحدث طريقة لكن لا توجد عنها معلومات تفصيلية منشورة.

بعد تخصيب اليورانيوم برفع نسبة اليورانيوم U_{235} في الخليط من 0.7% إلى 4% على الأقل للمفاعلات الذرية و 15% على الأقل للقنابل الذرية، يتم تشكيل اليورانيوم على شكل أسطوانات صغيرة (U) ، وتختلف كتلة اليورانيوم اللازمة للمفاعل باختلاف حجمه ونسبة التخصيب، فكلما زادت نسبة التخصيب قلت الكتلة المطلوبة، فعلى سبيل المثال الكتلة الحرجة للقنبلة النووية التي تحتوي يورانيوم بتخصيب 15% هي 600kg بينما نسبة التخصيب 95% تخفض الكتلة الحرجة إلى 20kg تقريبا.



شكل 23.14: المحطة النووي

23.2.2.3 المحطة النووية

محطة الطاقة النووية تتكون من مفاعل نووي أو أكثر، ويتم توليد الكهرباء فيها باستخدام الحرارة الناتجة من المادة المشعة داخل المفاعل، وفي الغالب تستخدم مادة اليورانيوم، تتكون المحطة النووية عادة من جزأين رئيسيين:

1- المفاعل النووي

وهو المبنى الذي يحتوي:

قلب المفاعل

وهو خزان يحتوي على مادة ناقلة للحرارة، مثل الماء الثقيل، أو الصوديوم أو .. ، وتوضع المادة المشعة في المفاعل على شكل أنابيب معدنية مصنوعة من مادة الزركونيوم⁶، ويملاً كل أنبوب باليورانيوم، ثم تدخل الأنابيب في قلب المفاعل، المفاعلات المتوسطة تحتوي 30 - 100 طن يورانيوم، وتستبدل خلال سنتين تقريباً، وهذا يتوقف على مستوى تخصيب اليورانيوم المستخدم، وعلى كثافة تشغيل المفاعل.

جهاز النقل الحراري

وهو جهاز مكون من خزان تخترقه أنابيب تنقل سائل قلب المفاعل في حركة تردديه، وتقوم هذه الأنابيب بتسخين المادة الموجودة في خزان النقل الحراري دون أن تلامسها (لمنع الإشعاع)، ثم يدفع السائل الساخن في الخزان إلى محطة توليد الكهرباء. وفائدة جهاز النقل الحراري هي نقل الحرارة من قلب المفاعل إلى محطة توليد الكهرباء بدون إشعاع.

2- محطة توليد الكهرباء

وتتكون من خزان ماء تخترقه أنابيب تحتوي على مادة ساخنة جداً، قادمة من المفاعل، وتعود إليه في حركة مستمرة، لجعل الماء في حالة غليان مستمر، ويخرج من هذه الخزان أنبوب يحمل البخار المضغوط إلى توربين مولد الكهرباء، فتتحرك زعانفه منتجة الكهرباء.

23.2.2.4 أنواع المفاعلات الذرية

لا يوجد تقسيم واحد لأنواع المفاعلات النووية، فالبعض يقسمها حسب الغرض منها، إلى مفاعلات أبحاث ومفاعلات إنتاج الطاقة، والبعض يصنفها حسب نوع المادة المبردة، مثل مفاعل الماء العادي، ومفاعل الماء الثقيل، ومفاعل الرصاص، ومفاعل الصوديوم، كما قد تصنف حسب الحجم إلى صغيرة ومتوسطة وكبيرة.

لكن الاتجاه الآن يميل لإنتاج قلوب مفاعل مصغرة تسمى بطاريات نووية، وتأتي جاهزة من المصنع وبعضها يكون صغير وبحجم الثلاجة مثل مفاعلات الرصاص، وتعمل على مبدأ ركب شغل وافصل ادفن.

23.2.2.5 النفايات النووية

للمواد المشعة أضرار خطيرة على الكائنات الحية، من الموت، إلى تشوه الأجنة، إلى الطفرات الجينية، لهذا يتم التعامل بحذر مع النفايات النووية (اليورانيوم المستهلك)، والمادة الأكثر ضرراً في نفايات المفاعلات النووية هو السيزيوم 137 والذي يقوم بإصدار معظم الأشعة الضارة بكثافة عالية ولعشرات السنين حيث عمر النصف له 30 سنة. ويتم أولاً إجراء بعض العمليات الكيميائية على النفايات النووية، لاستخلاص البلوتونيوم لإنتاج القنابل النووية، أو إعادة استخدامه كوقود نووي في المفاعل، ثم يتم خلط اليورانيوم المستهلك بالزجاج المنصهر، وصبه في قوالب معدنية أو إسمنتية، بعدها توضع في موقع التخزين الذي يكون عادة تحت الأرض، ويستخدم جزء من النفايات لعلاج السرطان باستخدام التكنيشيوم 99M وعمر النصف له 6 ساعات والذي يصدر من تحلل الملويدنيوم 99M وعمر النصف له 3 أيام.

⁶لأنه لا ينصهر إلا عند 1855 درجة مئوية، ولا يتفاعل مع النيوترونات.

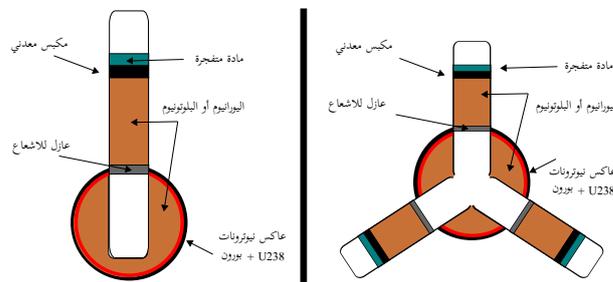
قنبلة اليورانيوم النووية

القنبلة النووية هي سلاح فتاك يعمل على إنتاج طاقة كبيرة جدا وفق قانون أينشتاين $E=mc^2$ ، وقد تم بناء أول قنبلة في الولايات المتحدة الأمريكية، وفجرت في صحراء نيومكسكو. ولكي ينفجر اليورانيوم يجب أن تتوفر فيه ثلاثة شروط:

(2) الشكل الكروي: يجب أن تكون الكتلة الحرجة لليورانيوم في شكل كروي لكي يحدث الانفجار، لأن بعد الذرات عن المركز متساوي فيصلها عدد متساوي من النيوترونات التي تساعد على حدوث التفاعل المتسلسل.

(3) كثافة التشكيل: لكي يحدث الانفجار يجب أن يكون اليورانيوم في شكل مضغوط (مكبوس) جيدا، ولا يكون على شكل مسحوق سائب.

(1) الكتلة الحرجة: وتعني أن كتلة اليورانيوم يجب أن لا تقل عن كتلة معينة، يختلف مقدارها باختلاف درجة التخصيب، فمثلا يكفي $20Kg$ من اليورانيوم المخصب بدرجة 95% لتفجير القنبلة، بينما نحتاج إلى $600Kg$ تقريبا إذا كان التخصيب 15% فقط. كما أن الكتلة الحرجة تختلف باختلاف المادة المستخدمة، فالكتلة الحرجة للبلوتونيوم أقل من الكتلة الحرجة لليورانيوم.



شكل 23.15: نموذجان مسطبان للقنبلة النووية

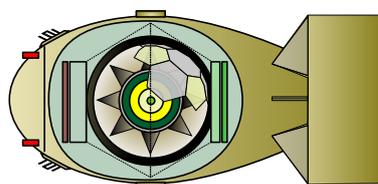
لنفرض أن لدينا $25Kg$ من اليورانيوم المخصب 95% ، ونرغب بإنتاج قنبلة نووية، إننا إن وضعنا الكمية ككتلة واحدة ستنفجر فوراً داخل المصنع، لأن كتلة هذه الكمية أكبر من الكتلة الحرجة، ولهذا نقسم الكمية إلى جزئين، بشرط أن تكون كتلة أي منهما أقل من الكتلة الحرجة وهي $20Kg$. مثلا القطعة الأولى $15Kg$ والثانية $10Kg$ ، لكن لا يمكن أن نجعلها $20Kg$ و $5Kg$ لماذا؟! ، بعد ذلك نضع مادة متفجرة خلف الكتلة الصغيرة لكي تدفعها باتجاه الكتلة الكبيرة، فيلصقان ويبدأ التفاعل المتسلسل وتنفجر القنبلة.

مثال آخر، لنفرض أن لدينا $64Kg$ من نفس اليورانيوم السابق، فإننا سلاحظ أننا لا يمكن أن نجزئه إلى قسمين فقط، لأن احدهما على الأقل سيكون أكبر من الكتلة الحرجة، ولا يمكن قسمته إلى ثلاثة أقسام أيضا لنفس السبب، ولهذا سنقسمه إلى 4 قطع، بشرط أن لا تكون كتلة أي منها $20Kg$ أو أكبر، مثل أن يكون في الوسط $19Kg$ و البقية $15Kg$ ، $15Kg$.

وكلما زادت كتلة القنبلة زاد عدد التجزيء، إذا كان لدينا $100Kg$ من نفس اليورانيوم السابق، إلى كم قطعه يجب أن نجزأها؟!

قنبلة البلوتونيوم النووية

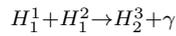
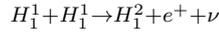
قنبلة البلوتونيوم هي قنبلة نووية انشطارية تتميز بصغر كتلة الوقود النووي المستخدم فيها، لكنها تختلف عن قنبلة اليورانيوم في آلية التفجير، حيث أن طريقة التفجير المشروحة في الأعلى والمستخدم مع اليورانيوم لا تنفذ مع البلوتونيوم، لأن البلوتونيوم سيشتعل فقط ويصهر القنبلة دون أن تنفجر، والطريقة الصحيحة لتفجير قنبلة البلوتونيوم تسمى بالتفجير الداخلي لأنها تعتمد على وضع البلوتونيوم في مركز القنبلة ثم إحاطته بالمتفجرات من كل الجهات، ثم نفجر المواد المتفجرة بشكل متزامن لإحداث ضغط هائل على البلوتونيوم، عندها سينفجر البلوتونيوم.



شكل 23.16: قنبلة البلوتونيوم

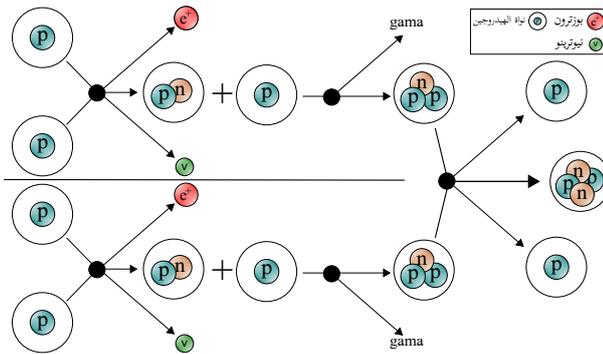
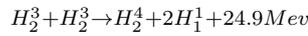
23.2.3 الاندماج النووي

هو رد فعل يحدث عندما تقترب ذرتين أو أكثر من بعضهما بدرجة كافية لإنتاج ذرة جديدة أو أكثر مع بعض الجسيمات، والفرق بين كتلتي المتفاعلات والنواتج يصدر على شكل طاقة كبيرة. ولكي تقوم بعملية الدمج فإننا يجب أن نوفر الطاقة اللازمة لتكوين روابط القوة النووية القوية بين نيوكلونات النواة، ولهذا لا تحدث عملية الاندماج إلا في درجة حرارة عالية جدا $10^7 - 10^8 K$ ويتم الحصول عليها بقنبلة انشطارية أو الليزر أو الانضغاط السريع. وإذا بحثنا في الجدول الدوري عن النواة التي تملك أقل عدد من النيوكلونات وبالتالي أقل تنافر مع الأنوية الأخرى، فإننا لن نجد أصغر من الهيدروجين، ولهذا يستخدم في عمليات الاندماج النووي. ويحدث الاندماج النووي بشكل مستمر على سطح الشمس.



ت	المتفاعلات	الطاقة الناتجة
1	$D_1^2 + T_1^3$	17 MeV
2	$D_1^2 + D_1^2$	12.5 MeV
3	$D_1^2 + He_1^3$	18.3 MeV
4	$B_5^{11} + p^+$	8.7 MeV

جدول 23.4: من أفضل خيارات الاندماج



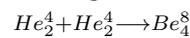
شكل 23.17: الاندماج النووي

ولا يستخدم الهيدروجين العادي عادة في الاندماجات النووية، وإنما نظائره الديتيريوم D_1^2 والتريتيوم T_1^3 معطيا طاقة تتغير بتغير المتفاعلات، وأهم التفاعلات الاندماجية هي الموضحة في الجدول في الهامش مع الطاقة الناتجة عنها.

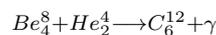
ويستخدم الليثيوم أيضا في الاندماج النووي بقذفه ببروتون مسرع حسب المعادلة: $Li_3^7 + H_1^1 \rightarrow 2He_2^4 + 17.3 MeV$

نشأة العناصر؟

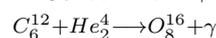
نتيجة لتفاعلات الاندماج النووي على النجوم العملاقة يتحول الهيدروجين إلى هيليوم، وعند استهلاك معظم الهيدروجين تبدأ درجة حرارة النجم بالانخفاض، وهذا يقلص قلبه المكون من الهيليوم، مما يولد ضغط هائل يرفع درجة حرارة مركزه إلى 100 مليون كالفن فينتج البريليوم:



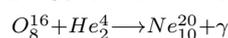
ثم يتحول البريليوم إلى كربون:



ثم يتحول الكربون إلى أكسجين:



والأكسجين يتحول إلى نيتروجين:



وتستمر العملية لإنتاج العناصر الكيميائية، ويعتقد أن جميع العناصر الموجودة على سطح الأرض قد تكونت بنفس الطريقة.

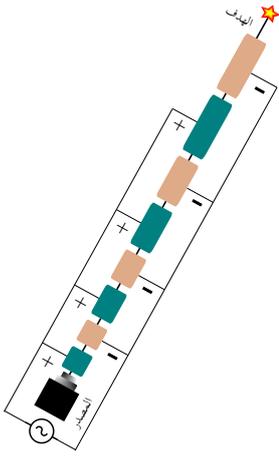
23.2.4 مسرعات الجسيمات

مسرع الجسيمات الخطي

هو جهاز مكون من أنابيب متصلة بشكل مستقيم ويفصل بينها فواصل ذات قطبية كهربائية، ويزداد طول هذه الفواصل كلما اقتربنا من الهدف. وقد يصل طول الأنابيب إلى عدة كيلومترات، ويتميز بقدرته على إكساب الجسيمات المسرعة طاقة عالية جدا، إلا أنه يستهلك كمية كبيرة من الطاقة، وإذا لم تصنع أنابيبه من مواد فائقة التوصيل فإن درجة حرارتها سترتفع بشكل كبير.

السنكروترون

هو جهاز مكون من أنابيب متصلة بشكل دائري ويفصل بينها فواصل ذات مجالات مغناطيسية، تعمل على زيادة سرعة الجسم المستهدف، ويتميز بأنه يحتاج إلى مساحة أرض أصغر، لكن يعيبه أنه لا يستطيع الوصول للسرعات التي تصل له مسرعات الجسيمات الخطية الكبيرة بسبب المدار الدائري، حيث يتسبب القصور الذاتي في تناثر كمية من الجسيمات إلى الخارج.⁷



شكل 23.18: مسرع الجسيمات الخطي

مثال 23.2.153 السؤال

$$= \frac{1.67 \times 10^{-27}}{\sqrt{1 - (0.75C)^2}} \\ = 2.52 \times 10^{-27} \text{ kg}$$

$$\therefore \frac{mv^2}{r} = Bqv \Rightarrow r = \frac{mv}{Bq}$$

$$= \frac{2.52 \times 10^{-27} \times (0.75 \times 3 \times 10^8)}{1 \times 1.6 \times 10^{-19}}$$

$$= 3.55 \text{ m}$$

النتيجة: نصف القطر اللازم للوصول لسرعة $0.75C$ يساوي 355 متر.

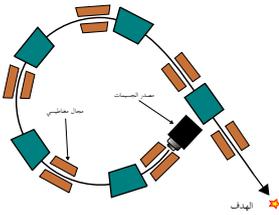
احسب نصف القطر الأدنى لسنكروترون لكي يستطيع تسريع بروتون إلى $0.75C$ ، حيث شدة مجاله 1 Tesla ؟

الحل

تعيين المعطيات: $m =$ ، $B=1T$ ، $v=0.75C$ $1.67 \times 10^{-27} \text{ Kg}$

التطبيق:

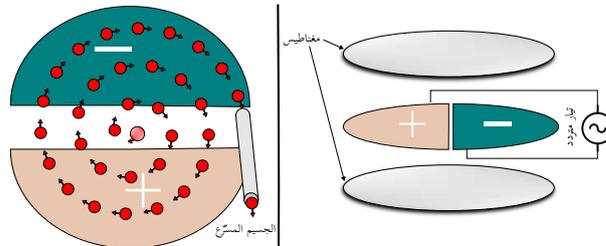
$$m = \frac{m_0}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} \quad (\text{الكتلة النسبية})$$



شكل 23.19: السنكروترون

السيكلترون

هو جهاز مكون من نصفي دائرة متقابلين ويفصل بينهما مسافة صغيرة، ويوصلان بقطبي تيار متردد، ويوضعان بين مجالين مغناطيسيين يمنعان الجسم من الهرب، بحيث يتحرك الجسم في مدار دائري فوق نصفي الدائرة كما في الرسم. ويتميز السيكلترون بصغر حجمه، وانخفاض تكلفته، لذا يمكن للجامعات الحصول عليه بسهولة أكبر من المسرع الخطي والسنكروترون، كما أن حجمه صغير فيمكن وضعه داخل أحد المختبرات.



شكل 23.20: السيكلترون

فكرة عمله

⁷ يوجد واحد في الأردن بشراكة دول منها مصر والصين وافتتح قبل 2020م.

لنفرض أننا نريد تسريع بروتون موجب، نظراً لأن التيار الكهربائي المستخدم هو تيار متردد لذا فإن قطبية نصفي الدائرة تتغير باستمرار، وطبعاً البروتون الموجب سينجذب للقطب السالب، فينجذب لنصف الدائرة الأول السالب لكن بمجرد وصوله إليه يكون قد تحول لموجب (لأن التيار متردد)، فينحرف مبتعداً، ويتجه لنصف الدائرة الثاني السالب لكن بمجرد وصوله إليه يكون قد تحول لموجب (لأن التيار متردد)، ويستمر البروتون يدور، كلما وصل للقطب السالب يفاجأ بتحوله لقطب موجب، فيعود أدراجه، ويستمر البروتون يدور ويدور إلى أن يصل لمحيط الدائرة ويخرج من المنفذ، بعد أن اكتسب السرعة المطلوبة.

23.3 التدريبات

1- توضع المادة المشعة داخل المفاعل في أنابيب مصنوعة من: كغلة اليورانيوم المستهلكة منخفضة لأننا أفترضنا كفاءة تشغيل عالية.

- (أ) الحديد
(ب) الزركونيوم ✓
(ج) النحاس
(د) الفضة

6- تحول اليورانيوم U_{92}^{238} إلى ثوريوم Th_{90}^{234} يصاحبه انبعاث جسيمات :

- (أ) ألفا ✓
(ج) جاما

(د) أشعة فوق بنفسجية
(ب) بيتا

2- المادة المشعة الأكثر استخداما في المفاعلات الذرية:

- (أ) الفرانشيوم
(ب) الراديوم
(ج) البلوتونيوم
(د) اليورانيوم ✓

3- اليورانيوم المستخرج من الأرض يحتوي على U_{235} بنسبة أكبر من U_{238} :

- (أ) صح
(ب) خطأ ✓

(أ) عدد النيوترونات
(ب) عدد الإلكترونات

- (ج) عدد الكتلة ✓
(د) حجم الذرة

4- إن معدل تدفق الغازات من غشاء مسامي يتناسب طرديا مع الجذر التربيعي للكتلة المولية للغازات :

- (أ) صح
(ب) خطأ ✓

8- ما مقدار (Z,A) التي تجعل المعادلة $U_{92}^{238} \rightarrow \alpha + Y_Z^A$ صحيحة :

- (أ) $Z=90, A=234$ ✓
(ج) $Z=92, A=238$

- (ب) $Z=90, A=238$
(د) $Z=92, A=234$

5- احسب كمية اليورانيوم U_{235} التي يستهلكها مفاعل ذري قدرته $500 \times 10^6 W$ وكفاءته 25% ؟

الحل

تعيين المعطيات: $E_{U_{235}} = 200 MeV$
التطبيق: طاقة انشطار ذرة U_{235} بالجول

$$E = 200 \times 10^6 eV \times 1.6 \times 10^{-19}$$

$$= 32 \times 10^{-12} J$$

طاقة الخرج 25%

$$= 32 \times 10^{-12} \times 0.25 = 8 \times 10^{-12} J$$

عدد الانشطارات (النوية) المطلوبة في الثانية واليوم (اليوم) 86400 ثانية)

$$= \frac{\text{القدرة}}{\text{طاقة الخرج}}$$

$$= \frac{500 \times 10^6}{8 \times 10^{-12}} = 62.5 \times 10^{18} / s$$

$$= 62.5 \times 10^{18} \times 86400$$

$$= 54 \times 10^{23} / day$$

10- الطاقة النووية اللازمة لاضمحلال نصف كتلة العنصر المشع تسمى ؟

- (أ) نصف العمر
(ب) عمر الحياة

- (ج) نصف
(د) عمر النصف ✓

11- الطاقة النووية على سطح الشمس ؟

- (أ) اندماجية ✓
(ج) تفاعلية

- (ب) انشطارية
(د) انعكاسية

كتلة اليورانيوم المستهلكة في اليوم

$$= \text{عدد الكتلة} \times \frac{\text{عدد الانشطارات}}{\text{عدد أفوغادرو}}$$

$$= \frac{54 \times 10^{23}}{6.02 \times 10^{26}} \times 235$$

$$= 39.03 \times 10^{-3} Kg$$

12- في التفاعلات النووية الذي يختلف ؟

التطبيق:

$$r=r_0A^{\frac{1}{3}}$$

$$=1.2\times 10^{-15}\times \sqrt[3]{320}$$

$$=8.2\times 10^{-15}m$$

ج) كمية الحرارة (ا) العدد الكتلي ✓

د) مقدار الكتلة (ب) الطاقة

13- احسب نصف قطر أكبر ذرة في الجدول الدوري

?Unknown₁₂₀³²⁰

الحل

تعيين المعطيات: $r_0=1.2\times 10^{-15}$ ، $A=320$

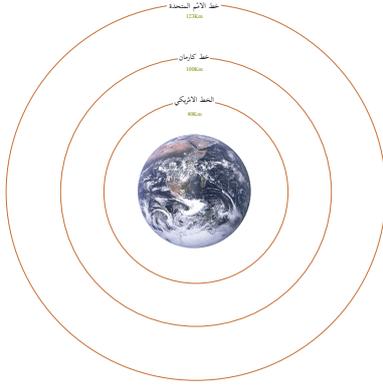


- الغلاف الجوي
- الصواريخ الفضائية
- الأقمار الصناعية



24.1 الغلاف الجوي

الغلاف الجوي للأرض هو خليط من الغازات تحيط بالكرة الأرضية وتبقى حولها بفعل الجاذبية الأرضية. علما أن نهاية الغلاف الجوي حسب علم الطيران تكون عند خط كارمان على ارتفاع 100 كم عن سطح البحر، لكن الحد السياسي لكل دولة يقع على ارتفاع 123 كيلومتر حسب أنظمة الأمم المتحدة.



شكل 24.2: بداية الفضاء

24.1.1 طبقة التروبوسفير

هي طبقة الغلاف الجوي الأقرب إلى الأرض، وتحتوي معظم الغازات، وأهمها الأكسجين اللازم للتنفس والنيتروجين اللازم للأسمدة النباتية، وبها كل التضاريس الأرضية، وكل الكائنات الحية. وتتميز بأن درجة الحرارة فيها مناسبة لعيش الكائنات الحية، وهي محمية من معظم الأشعة فوق البنفسجية الضارة والأشعة الكونية عن طريق السحب والغازات التي تمتصها.

24.1.2 طبقة الستراتوسفير

هي طبقة الغلاف الجوي الثانية، وتحتوي في معظمها غاز الأوزون O_3 الذي يحمي الأرض من الأشعة فوق البنفسجية، ونظرا لعدم وجود الغازات تقريبا فإننا نجد أن الرياح والتقلبات الجوية غير موجودة فيه.

24.1.3 طبقة الميزوسفير

هي طبقة الغلاف الجوي الثالثة، وتتميز ببرودتها حيث تصل درجة حرارة الطبقة العليا منها إلى $100^\circ C$ ، وهي الطبقة التي تحترق فيها الشهب وتتوهج النيازك¹.

24.1.4 طبقة الثيرموسفير

هي طبقة الغلاف الجوي الرابعة، وسميت بالطبقة الحرارية نظرا لارتفاع درجة حرارة الطبقة العليا فيها حيث تصل $300^\circ C$ وقد تزيد، وتوجد بها محطة الفضاء الدولية والأقمار الصناعية.

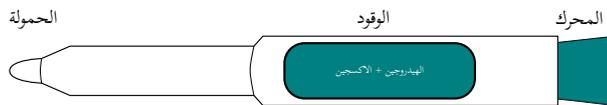
24.1.5 طبقة الإكسوسفير

هي طبقة الغلاف الجوي الخارجية وتنتهي عند $64400 Km$ عن سطح البحر، ولا يوجد بها غازات تقريبا.

24.2 الصواريخ الفضائية

أثناء الحرب العالمية الثانية قامت ألمانيا بصناعة الصواريخ الكبيرة، ونجحت في صنع صواريخ تصل إلى مدينة لندن، وكان درة هذه الصواريخ نموذج V_2 ، والذي بنيت على أساسه كل الصواريخ في أمريكا والاتحاد السوفيتي وبقية دول العالم، حيث استولوا على ما تبقى منها بعد هزيمة ألمانيا، واختطفوا العلماء المطورين لها.

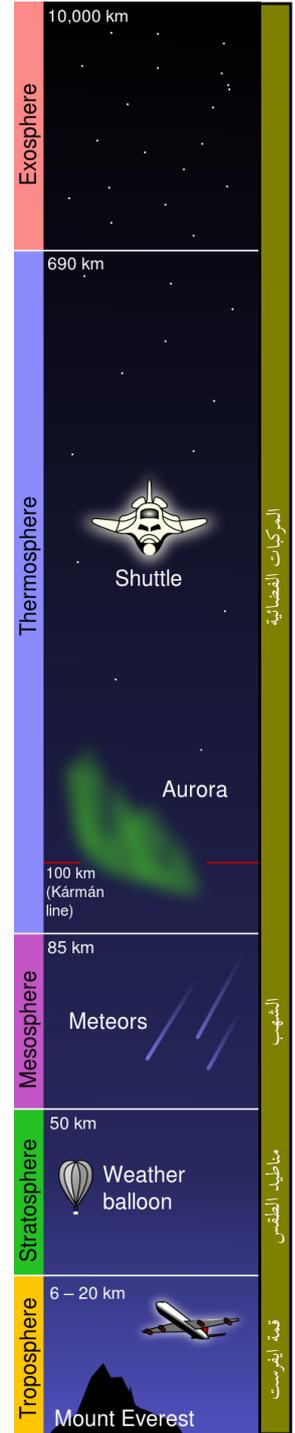
تركيب الصاروخ الفضائي



شكل 24.3: الصاروخ الفضائي

يتكون الصاروخ الفضائي من ثلاثة أجزاء رئيسية:

الفرق بين الشهاب والنيزك، أن النيزك يصل للأرض أما الشهاب يتبخر قبل وصوله للأرض.



شكل 24.1: الغلاف الجوي للأرض. [6]

- (1) الجزء العلوي ويحتوي الحمولة مثل القمر الصناعية وقطع الغيار والمواد الترمينية للمحطات الفضائية.
- (2) الجزء الأوسط ويحتوي خزانات الوقود والأكسجين وأجهزة التحكم الإلكترونية.
- (3) الجزء السفلي ويحتوي المحرك.

سرعة الإفلات اللازمة للخروج من مجال الجاذبية الأرضية والوصول لفضاء تساوي $11.2Km/s$!

مثال 24.2.154 السؤال

احسب سرعة الإفلات اللازمة للخروج من مجال الجاذبية الأرضية والوصول لفضاء؟

الحل

تعيين المعطيات: $G=6.67 \times 10^{-11}$ ، $R=6.37 \times 10^6 m$ ، $m=5.98 \times 10^{24} Kg$ ، 10^{-11}

التطبيق:

$$= \sqrt{\frac{2 \times 6.67 \times 10^{-11} \times 5.98 \times 10^{24}}{6.37 \times 10^6}}$$

$$= 11190 m/s = 11.19 Km/s$$

النتيجة: سرعة الإفلات اللازمة للخروج من مجال الجاذبية الأرضية $11.19 Km/s$.

$$v = \sqrt{\frac{2GM}{R}} \quad (\text{سرعة الإفلات})$$

ويجب أن يصل الصاروخ لارتفاع $10Km$ بعد زمن $40s$ أو أقل من لحظة إقلاعه، وتكون سرعته عندها $2-2.5Km/s$ على الأقل، ويحتاج كل $1Kg$ من وزن الصاروخ إلى طاقة رفع لا تقل عن $62 \times 10^6 J$ لكي يصل للفضاء.

مثال 24.2.155 السؤال

احسب الطاقة اللازمة لرفع $1Kg$ من المادة إلى الفضاء؟

الحل

تعيين المعطيات: $m=1Kg$ ، $v=11200m/s$

التطبيق:

$$KE = \frac{mv^2}{2}$$

$$= \frac{1 \times (11200)^2}{2} = 62 \times 10^6 J$$

النتيجة: الطاقة اللازمة لرفع $1Kg$ إلى الفضاء تساوي 62×10^6 جول.

حيث أن كل $1m^3$ من الهيدروجين السائل ينتج $2360Kwh$ وتساوي $8496MJ$.

وعند هبوط الصاروخ من الفضاء تبدأ درجة حرارته بالارتفاع نتيجة للاحتكاك بالغلاف الجوي، وتصل درجة الحرارة إلى مرحلة التوهج «منطقة التسخين» عندما تكون سرعة الصاروخ أو المركبة الفضائية بين $10-25$ ماخ.

24.3 الأقمار الصناعية

هي مركبات ترسل للفضاء لأداء وظيفة معينة.

وتدور الأقمار الصناعية حول الأرض في نوعين من المدارات:

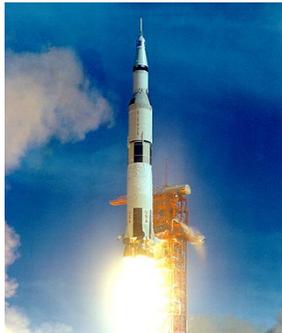
- (1) مدار دائري (2) مدار إهليجي

ويتم حساب سرعة القمر الصناعي والزمن الدوري في المدار الدائري بالقانونين التاليين:

$$v = \sqrt{\frac{GM_e}{r}} \quad (24.1)$$

$$P = 2\pi \sqrt{\frac{r^3}{GM_e}} \quad (24.2)$$

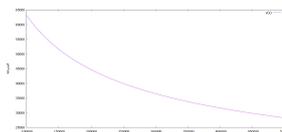
تعاود استهلاك الكهرباء في منزل متوسط الحجم لمدة شهر كامل.



شكل 24.4: الصاروخ الفضائي الحامل للأقمار الصناعية. [6]

* ومضة

الطاقة $2360Kwh$ تعادل الطاقة الكهربائية المستهلكة في منزل متوسط لشهر كامل.



شكل 24.5: المسار الدائري للقمر الصناعي

حيث G ثابت الجذب العام و M_e كتلة الأرض و r بعد القمر عن مركز الأرض، و P الزمن الدوري للقمر.

مثال 24.3.156 السؤال

$$= \sqrt{\frac{6.67 \times 10^{-11} \times 5.98 \times 10^{24}}{67.3 \times 10^5}}$$

$$v = 7698.49 \text{ m/s}$$

كم سرعة القمر الصناعي اللازمة لبقاءه مستقر في مدار دائري يبعد 350 Km عن سطح الأرض؟

الحل

تعيين المعطيات: $r = 350 \times 10^3 \text{ m}$ ، $M_e = 5.98 \times 10^{24} \text{ kg}$
 $t = 2 \times 10^3 + 6.38 \times 10^6$

التطبيق:

$$v = \sqrt{\frac{GM_e}{r}}$$

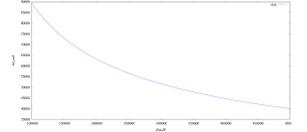
النتيجة: سرعة القمر الصناعي عند ارتفاع 350 Km يجب أن تكون 7698.49 متر/ثانية.

أما سرعة القمر وزمنه الدوري في المدار الإهليجي فيحسبان بالقانونين التاليين:

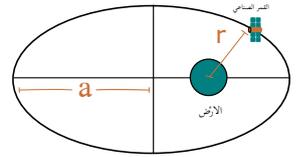
$$v = \sqrt{GM_e \left(\frac{2}{r} - \frac{1}{a} \right)} \quad (24.3)$$

$$P = 2\pi \sqrt{\frac{a^3}{GM_e}} \quad (24.4)$$

وكلما بعد القمر الصناعي عن مركز الأرض تقل سرعته، وفي الأقمار الصناعية التي تدور في مدار إهليجي حين يقترب القمر الصناعي من الأرض تزيد سرعته وإذا أبتعد عنها تقل سرعته لضعف الجاذبية، للتغلب على قوة جذب الأرض، ونقصان السرعة يؤدي إلى سقوط القمر الصناعي إلى الأرض أما زيادتها فتؤدي لتحول حركته إلى حركة إهليجية، وإذا زادت عن حد معين يفلت القمر الصناعي من جاذبية الأرض وينطلق في الفضاء.



شكل 24.6: المسار الإهليجي للقمر الصناعي

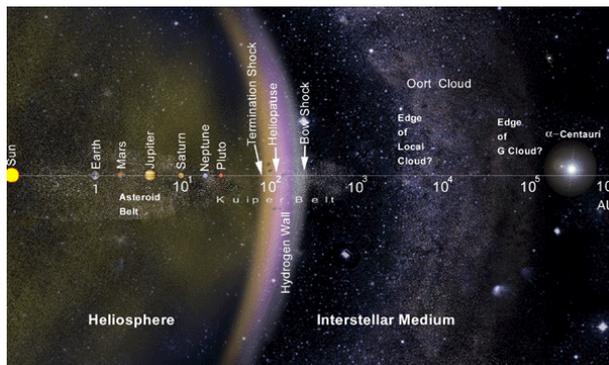


شكل 24.7: الحركة الإهليجية للقمر الصناعي

الإرتفاع	v	P
200Km	7.8Km/s	88.3min
1000Km	7.4Km/s	104.9min
10000Km	4.9Km/s	347.4min

جدول 24.1: السرعة والزمن الدوري لقمر صناعي في مدار دائري

هل نستطيع إرسال قمر صناعي لخارج المجموعة الشمسية؟



شكل 24.8: جدار الهيدروجين الذي يحيط بالمجموعة الشمسية [7]

تقاس المسافات في الفضاء بوحدة السنة الضوئية، لكن هناك وحدة أخرى هي AU الوحدة الفلكية، وتساوي المسافة بين الأرض والشمس $150M Km$ ، على بعد $140AU$ من الشمس تقريبا، يوجد جدار الهيدروجين (بعد بلوتو) وهو حلقة إهليجية تحيط بالمجموعة الشمسية، ويجواره من الداخل توجد منطقة «صدمة الفناء» (صدمة النهاية) وتدمر أي شيء يحاول عبورها، ويقابلها من الجهة الخارجية لجدار الهيدروجين [3]، منطقة «الصدمة القوسية» التي تحمي المجموعة الشمسية من الأجرام التي تحاول الدخول إليها. وتسمى المنطقة داخل فقاعة جدار الهيدروجين بغلاف الشمس البادئة *Heliosphere* وهي منطقة تأثير الرياح الشمسية وأشعتها فوق البنفسجية، أما المنطقة خارج الفقاعة فهي بحر من البلازما (غاز متأين) والنجوم. ولهذا فإنه من شبه المستحيل القدرة على الخروج من المجموعة الشمسية في الوقت الحاضر على الأقل.

24.4 التدريبات

1- يبلغ ارتفاع طبقة التروبوسفير:

5Km (ا)

15Km (ج)

20Km (د)

✓ 10Km (ب)

2- كم كمية الطاقة اللازمة لإيصال صاروخ إلى

الفضاء، حيث وزنه مع الحمولة 25tonnes ؟

الحل

تعيين المعطيات: $m=25 \times 10^3 \text{ Kg}$
التطبيق:

$$KE = \frac{mv^2}{2} = \frac{25 \times 10^3 \times (11200)^2}{2}$$

$$= 1.568 \times 10^{12} \text{ J}$$

• أسئلة متنوعة



ج (ا شبه موصل و
شبه موصل و
شبه موصل b موصل a ✓
 b موصل a ✓

د (ب موصل و
شبه موصل b موصل a ✓
 b موصل a ✓

9- سار شخص مسافة 3m شرقاً ثم قطع مسافة 4m شمالاً،
احسب الإزاحة الكلية له ؟

ج (ا $5m$ ✓
12m

د (ب $7m$
1m

10- فسر اينشتاين التأثير الكهروضوئي بأن الضوء عبارة عن
حزمة من :

ج (ا الفوتونات ✓
البروتونات

د (ب الإلكترونات
النيوترونات

11- اضمحلال غاما يؤدي إلى :

ج (ا إعادة ترتيب
وتوزيع الطاقة
في النواة ✓
البروتونات

د (ب تحرر
الإلكترونات
النيوترونات

12- التفسير العلمي لظاهرة طبيعية بناء على مشاهدات
واستقصاءات مع مرور الزمن يسمى :

ج (ا النظرية العلمية
العلمي ✓

د (ب القانون العلمي

د (ب الافتراض
الرؤية العلمية

13- العالم الذي يخالف النظرية الكهرومغناطيسية :

ج (ا بور ✓
رذرفورد

د (ب تومسون
اينشتاين

14- حين نمشي على سجادة، نسمع فرقة ناتجة عن
الشحن :

ج (ا بالذلك ✓
بالتوصيل

د (ب بالحث
البطارية

15- إذا تحول البروتون إلى نيوترون فإنه ينتج أيضاً :

ج (ا بوزترون ✓
كوارك

د (ب باراتون
بروتون

تم إضافة أسئلة التحصيلي إلى أسئلة التدريبات في
نهاية كل فصل، والأسئلة التي لا دروس لها في هذا الكتاب
أو تشبه أسئلة أخرى يتم إضافتها هنا.

1- قام عالم بمراقبة خفاش، وبعد تفكير طويل، اكتشف أن
الخفاش من الثدييات، يسمى العمل الذي قام به :

ج (ا فرضية
تنبؤ

د (ب استنتاج ✓
نظرية

2- عملية شحن الجسم دون ملامسته :

ج (ا حث ✓
ذلك

د (ب توصيل
تأريض

3- احسب طاقة فوتون تردده $1 \times 10^{15} Hz$ حيث ثابت
بلانك $6.36 \times 10^{-34} J/Hz$:

ج (ا 6.36×10^{-49}
 0.15×10^{-49}

د (ب 6.36×10^{-19} ✓
 7.36×10^{-19}

4- اشترى طفل لعبة، وعند تحريكها تولدت طاقة كهربائية،
هذا يشبهه :

ج (ا المولد
المغناطيس
الكهربائي ✓
الكهربائي

د (ب المحرك
المصباح
الكهربائي

5- من هو مكتشف الأشعة السينية :

ج (ا رونتجن ✓
رذرفورد

د (ب سين
بور

6- من هو مكتشف الحث الكهرومغناطيسي :

ج (ا فاراداي ✓
رذرفورد

د (ب رونتجن
بور

7- إن طاقة اهتزاز الذرات كمماة، لذا فإن أحد القيم التالية
خاطيء ؟

ج (ا $1.5hv$ ✓
 $3hv$

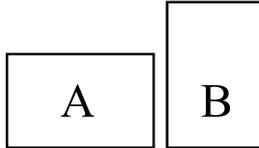
د (ب $2hv$
 $4hv$

8- لدينا نوعين من الترانزستور a به فجوة، و b ليس به فجوة
؟

23- إمكانية تحرير إلكترونات معدن ما بواسطة شعاع ضوئي مناسب يسمى ؟

- (أ) التأثير الكهروضوئي ✓
 (ب) التأثير الكهروستاتيكي
 (ج) تأثير دوبلير
 (د) الانشطار النووي

24- أي الصندوقين المتساويين في الكتلة والحجم، له قوة احتكاك سكوني أكثر على الأرض ؟



- (أ) كلاهما يساويان الصفر ✓
 (ب) الصندوق A من صفر
 (ج) الصندوق B أكبر
 (د) كلاهما يساويان أكبر من صفر
- 25- حسب قانون كبلر: تسير الكواكب في مدارات حول الشمس ؟

- (أ) اهليلجية ✓
 (ب) دائرية
 (ج) مستقيمة
 (د) متقاطعة
- 26- جسم كتلته على سطح الأرض $10Kg$ ، كم كتلته إذا وضعناه على سطح القمر ؟
- (أ) $10Kg$ ✓
 (ب) $98Kg$
 (ج) $90Kg$
 (د) صفر

27- الكميات التالية كميات قياسية ما عدا ؟

- (أ) القوة ✓
 (ب) الزمن
 (ج) المسافة
 (د) شدة التيار
- 28- نتأكد من صحة الفرضية عن طريق ؟
- (أ) الاستنتاج
 (ب) التحليل
 (ج) التجريب ✓
 (د) السؤال

29- تمثيل حركة الجسم بسلسلة متتابعة من النقاط المفردة ؟

- (أ) الجسم الخطي
 (ب) الجسم النقطي ✓
 (ج) الجسم الحلزوني
 (د) الجسم القضي

16- يتحرك إلكترون على مجال مغناطيسي شدته $0.4T$ بسرعة $5 \times 10^6 m/s$ ، فإذا كانت شحنة الإلكترون $1.6 \times 10^{-19} C$ ، احسب القوة المؤثرة على الإلكترون :

- (أ) $2 \times 10^{-19} N$
 (ب) $3.2 \times 10^{-13} N$
 (ج) $7 \times 10^{-13} N$
 (د) $4.7 \times 10^{-11} N$

17- أي العلاقات التالية تكافئ العلاقة $T = \frac{v \cdot s}{m^2}$:

- (أ) $m = \sqrt{\frac{v \cdot s}{T}}$
 (ب) $m = \sqrt{\frac{T}{v \cdot s}}$
 (ج) $v = s \cdot T \cdot m^2$
 (د) $v \cdot s = \frac{T}{m^2}$

18- سقط فوتون تردده $108 \times 10^{14} Hz$ على سطح تردد العتبة لمادته $8 \times 10^4 Hz$ ، كم ستكون طاقة الإلكترون المتحرر ؟

- (أ) $6.626 \times 10^{-18} J$
 (ب) $116 \times 10^{-18} J$
 (ج) $864 \times 10^{-18} J$
 (د) $13.5 \times 10^{-18} J$

19- أي الوحدات التالية هي وحدة لكمية فيزيائية قياسية ؟

- (أ) الأمبير ✓
 (ب) الفولت
 (ج) الأوم
 (د) التسلا

20- إذا كانت كتلة مادة مشعة $12grams$ وكان عمر النصف لها $4days$ ، احسب كتلتها يوم السبت بعد القادم ، إذا كان اليوم هو الجمعة ؟

- (أ) $3grams$ ✓
 (ب) $6grams$
 (ج) $2grams$
 (د) $4grams$

21- الأشعة السينية هي موجات ؟

- (أ) ترددها عال وطولها الموجي صغير ✓
 (ب) ترددها عال وطولها الموجي كبير
 (ج) ترددها منخفض وطولها الموجي صغير
 (د) ترددها منخفض وطولها الموجي كبير

22- انتقال الحرارة في الفضاء يسمى ؟

- (أ) إشعاع ✓
 (ب) توصيل
 (ج) حمل
 (د) رفع

- 30- أي العمليات التالية تعتبر عملية فيزيائية ؟
 (أ) توصيل النحاس للكهرباء ✓
 (ب) صدأ الحديد
 (ج) احتراق الورق
 (د) نمو الشجرة
- 31- إذا تحركت الموجات بالسرعة نفسها فإن معدل نقلها للطاقة يتناسب طردياً مع ؟
 (أ) مربع سرعتها
 (ب) مربع سعتها ✓
 (ج) طولها الموجي
 (د) مربع سعتها
- 32- المقصود بأن طاقة الذرة مكماة، أنها تأخذ قيم ؟
 (أ) صحيحة ✓
 (ب) طبيعية
 (ج) نسبية
 (د) صغيرة
- 33- يرمز للنظام الدولي للوحدات بالرمز ؟
 (أ) \sqrt{SI}
 (ب) Tr
 (ج) MI
 (د) GI
- 34- أي الوحدات التالية وحدة لكمية أساسية في النظام العالمي ؟
 (أ) الأمبير \sqrt{A}
 (ب) التسلا T
 (ج) الفولت V
 (د) الأوم Ω
- 35- إحدى الوحدات التالية تعد مشتقة ؟
 (أ) m/s
 (ب) Kg
 (ج) m
 (د) s
- 36- المسافة بين مدينتي جدة والطائف $180Km$ ، تكون المسافة بالأمتار ؟
 (أ) $18 \times 10^4 m$
 (ب) $180 \times 10^6 m$
 (ج) $1800m$
 (د) $180 \times 10^3 m$
- 37- كم Hz في $0.6MHz$ ؟
 (أ) $6 \times 10^5 Hz$
 (ب) $6 \times 10^7 Hz$
 (ج) $6 \times 10^6 Hz$
 (د) $0.6 \times 10^5 Hz$
- 38- أي القيم التالية تساوي $86.2cm$ ؟
 (أ) $8.62 \times 10^{-4} Km$
 (ب) $8.62m$
 (ج) $862dm$
 (د) $0.862mm$
- 39- علم يدرس الطاقة والمادة والعلاقة بينهما ؟
 (أ) الفيزياء ✓
 (ب) الكيمياء
 (ج) الأحياء
 (د) الرياضيات
- 40- مقارنة كمية مجهولة بأخرى معيارية ؟
 (أ) القياس ✓
 (ب) الضبط
 (ج) الدقة
 (د) الطريقة العلمية
- 41- طريقة قراءة التدريج تكون بالنظر إليه ؟
 (أ) عمودياً وبعين واحدة ✓
 (ب) مائلاً وبعين واحدة
 (ج) عمودياً وبكلتا العينين
 (د) مائلاً وبكلتا العينين
- 42- دقة قياس الأداة تساوي ؟
 (أ) نصف قيمة اصغر تدريج ✓
 (ب) ربع قيمة اصغر تدريج
 (ج) نصف قيمة أكبر تدريج
 (د) ربع قيمة أكبر تدريج
- 43- علم يدرس الطاقة والمادة والعلاقة بينهما ؟
 (أ) الفيزياء ✓
 (ب) الكيمياء
 (ج) الأحياء
 (د) الرياضيات
- 44- إذا كانت طاقة الوضع لجسم $100J$ عندما كان على ارتفاع $10m$ ، فما مقدار طاقته الحركية عندما يسقط إلى ارتفاع $5m$ عن الأرض ؟
 (أ) $50J$ ✓
 (ب) $5J$
 (ج) $9.8J$
 (د) $15J$
- 45- أكبر الإشعاعات التي لديها قدرة على النفاذ ؟
 (أ) غاما ✓
 (ب) بيتا
 (ج) ألفا
 (د) تحت الحمراء
- 46- علم يدرس الطاقة وتحولاتها في الكون :

- (أ) الديناميكا الحرارية ✓
 (ب) الميكانيكا الحرارية ✓
 (ج) الكهروستاتيكا
 (د) الميكانيكا الحرارية
 (أ) متوازي مستطيلات ✓
 (ب) هرم
 (ج) كرة
 (د) أنبوب

49- تخمين علمي يمكن أن يكون صائبا أو خاطئا ؟

- (أ) الفرضية ✓
 (ب) النظرية
 (ج) القانون
 (د) الحقيقة العلمية

47- إذا كانت طاقة الفوتون الساقط على سطح فلزي $5.5eV$ وكان اقتران الشغل للفلز $4.5eV$ ، فإن طاقة الإلكترون المتحرر تساوي ؟ $E_{out}=E_{in}-E_{pairing}$

50- قذف جسم إلى أعلى وبعد ثانيتين وصل الجسم لأقصى ارتفاع، كم كانت السرعة الابتدائية ($g=10m/s^2$) ؟

- (أ) $1eV$ ✓
 (ب) $10eV$
 (ج) $1.22eV$
 (د) $24.75eV$

- (أ) $20m/s$ ✓
 (ب) $5m/s$
 (ج) $10m/s$
 (د) $2m/s$

48- نموذج الجسم الأسود الذي استخدمه بلانك كان على شكل :

26.1 أساسيات الرياضيات للفيزيائيين

تعتمد الفيزياء على قوانين الرياضيات لحل المسائل ولإثبات القوانين واستنتاجها، ولهذا لا يمكن أن ندرس الفيزياء بدون معرفتنا ببعض الأساسيات الرياضية

أنواع العمليات الرياضية توجد عدة أنواع من العمليات الرياضية منها:

الجبر *Algebra* ويدرس الدوال الرياضية وإيجاد القيم المجهولة.

الهندسة *Geometry* ويدرس الأشكال المسطحة والفراغية.

التفاضل والتكامل *Calculus* ويدرس القيم المتغيرة.

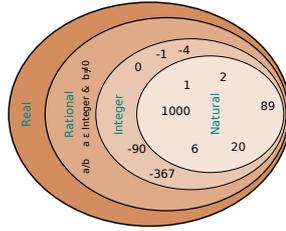
حساب المثلثات *Trigonometry* ويدرس الدوال المثلثية مثل الجيب *Sin* وجيب التمام *Cos*.

الهندسة التحليلية *Analytical Geometry* ويدرس المتجهات وتحليلها.

رموز رياضية مهمة بعض الرموز الرياضية المهمة.

الرمز	الوظيفة	الرمز	الوظيفة	الرمز	الوظيفة
∞	مالا نهائية	\Rightarrow	يقتضي أن	\equiv	يكافئ
\therefore	بما أن	\neq	لا يساوي	\leftarrow	يؤدي إلى
\therefore	إذاً	\simeq	يساوي تقريبا	\in	ينتمي إلى
\notin	لا ينتمي	\forall	للكل	$\#$	غير موجود
\exists	موجود	$\exists!$	يوجد واحد فقط	\emptyset	مجموعة فارغة

أنواع الأعداد



يوجد عدة أنواع من الأعداد منها:

الأعداد الطبيعية *Natural numbers* $N=\{1,2,3,\dots\}$

الأعداد الصحيحة *Integer numbers* $Z=\{0,\pm 1,\pm 2,\pm 3,\dots\}$

الأعداد الكسرية *Rational numbers* $Q=\{\frac{a}{b} \text{ where } b \neq 0, b \in Z\}$

الأعداد الحقيقية *Real numbers* هي كل الأعداد $-\infty < R < +\infty$ ، أي الأعداد الصحيحة والكسرية.

الأعداد الفردية والزوجية يمكن أيضا تقسيم الأعداد إلى:

الأعداد الزوجية *Even numbers* هي التي يمكن قسمتها على 2 بدون باق، وتحسب بالقانون $Even=2(n-1)$ ، وهي $\{0,2,4,6,\dots\}$.

الأعداد الفردية *Odd numbers* وهي التي إذا قسمناها على 2 ينتج لنا باق، وتحسب بالقانون $Odd=2n-1$ ، وهي $\{1,3,5,\dots\}$.

ما هو العدد الفردي الرابع والزوجي الرابع؟

$$Odd_4=2n-1=(2 \times 4)-1=7$$

$$Even_4=2(n-1)=2 \times (4-1)=6$$

الدوال الفردية والزوجية يمكن أيضا تقسيم الدوال *Functions* إلى:

الدوال الزوجية *Even functions* هي التي يكون $f(-x)=f(x)$

الدوال الفردية *Odd functions* هي التي يكون $f(-x)=-f(x)$

مثال: ها هو نوع الدالتين التاليتين $y=x^3$ ، $\cos(\theta)$ ؟

$$y=x^3$$

$$y=(-1)^3=-1$$

بما أن النتيجة سالبة فهذا يعني أن الدالة فردية.

$$y=\cos(\theta)$$

$$y=\cos(-30)=\cos(30)=0.866$$

بما أن النتيجة موجبة في الحالتين $+30$ & -30 فهذا يعني أن الدالة زوجية.

الأعداد الكسرية الكسور هي أعداد مكونة من بسط ومقام، مثل $\{\frac{a}{b}, \frac{2}{3}, \frac{6}{4}, \dots\}$ ، ويمكن إجراء العمليات الرياضية على هذه الكسور.

جمع الكسور

يمكن جمع الكسور بضرب الواسطين وضرب الطرفين ثم جمعهم ووضعهم في البسط، وضرب المقامات ووضع ناتج الضرب في المقام.

$$\frac{a}{b} + \frac{c}{d} = \frac{(a \times d) + (c \times b)}{b \times d}$$

مثال: ما هو ناتج جمع $\frac{1}{4}$ و $\frac{2}{6}$ ؟

$$\begin{aligned} \frac{1}{4} + \frac{2}{6} &= \frac{(1 \times 6) + (2 \times 4)}{4 \times 6} \\ &= \frac{6+8}{24} = \frac{14}{24} = \frac{7}{12} \end{aligned}$$

طرح الكسور

يمكن طرح الكسور بضرب الواسطين وضرب الطرفين ثم طرحهم ووضعهم في البسط، وضرب المقامات ووضع ناتج الضرب في المقام.

$$\frac{a}{b} - \frac{c}{d} = \frac{(a \times d) - (c \times b)}{b \times d}$$

مثال: ما هو ناتج طرح $\frac{1}{2}$ و $\frac{3}{8}$ ؟

$$\begin{aligned} \frac{1}{2} - \frac{3}{8} &= \frac{(1 \times 8) - (3 \times 2)}{2 \times 8} \\ &= \frac{8-6}{16} = \frac{2}{16} = \frac{1}{8} \end{aligned}$$

ضرب الكسور

يمكن ضرب الكسور بضرب البسط في البسط والمقام في المقام.

$$\frac{a}{b} \times \frac{c}{d} = \frac{a \times c}{b \times d}$$

مثال: ما هو ناتج ضرب $\frac{2}{5}$ و $\frac{1}{3}$ ؟

$$\frac{1}{3} \times \frac{2}{5} = \frac{1 \times 2}{3 \times 5} = \frac{2}{15}$$

قسمة الكسور

يمكن قسمة الكسور بقلب الكسر الثاني ثم ضرب البسط في البسط والمقام في المقام.

$$\frac{a}{b} \div \frac{c}{d} = \frac{a}{b} \times \frac{d}{c} = \frac{a \times d}{b \times c}$$

مثال: ما هو ناتج قسمة $\frac{3}{4}$ و $\frac{2}{6}$ ؟

$$\begin{aligned} \frac{3}{4} \div \frac{2}{6} &= \frac{3}{4} \times \frac{6}{2} \\ &= \frac{3 \times 6}{4 \times 2} = \frac{18}{8} = \frac{9}{4} \end{aligned}$$

الأسس هذه بعض العمليات الرياضية البسيطة:

$$x^a x^b = x^{a+b} \quad \& \quad (x^a)^b = x^{ab} \quad \& \quad (xy)^a = x^a y^a$$

$$x^0 = 1 \quad \& \quad 0^x = 0$$

بعض العمليات الحسابية هذه بعض العمليات الرياضية البسيطة:

$$(x \pm y)^2 = x^2 + y^2 \pm 2xy$$

$$(x \pm y)^n = \sum_{k=0}^n \frac{n!}{k!(n-k)!} x^{n-k} \pm y^k$$

مثال

$$\begin{aligned} (x+2)^5 &= \sum_{k=0}^5 \frac{5!}{0!(5-k)!} x^{5-0} + 2^0 \\ &= \sum_{k=0}^5 \frac{1 \times 2 \times 3 \times 4 \times 5}{1 \times (5-0)!} x^{5-0} + 1 \\ &= \sum_{k=0}^5 \frac{1 \times 2 \times 3 \times 4 \times 5}{1 \times (1 \times 2 \times 3 \times 4 \times 5)} x^5 + 1 \\ &= \sum_{k=0}^5 x^5 + 1 \end{aligned}$$

جذور معادلة الدرجة الثانية

$$x^2 + ax + b = 0 \quad \& \quad x_{1,2} = -\frac{a}{2} \pm \sqrt{\frac{a^2}{4} - b}$$

مثال

$$x^2 + 6x + 8 = 0$$

$$x_1 = -\frac{3}{2} + \sqrt{\frac{6^2}{4} - 8} = -\frac{6}{2} + \sqrt{9-8} = -2$$

$$x_2 = -\frac{3}{2} - \sqrt{\frac{6^2}{4} - 8} = -\frac{6}{2} - \sqrt{9-8} = -3.5$$

الزوايا إن أشهر نوعين من وحدات قياس الزوايا هي الدرجة Deg والراديان rad .

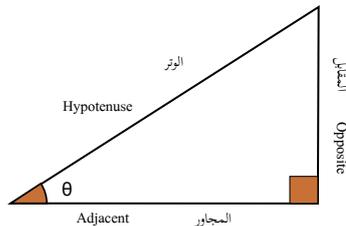
$$Rad = \frac{Deg \times 2\pi}{360} \quad \text{لتحويل الدرجة إلى راديان نستخدم القانون}$$

$$Deg = \frac{Rad \times 360}{2\pi} \quad \text{لتحويل الراديان إلى درجة نستخدم القانون}$$

مثال: حول 45 درجة إلى راديان ؟

$$\begin{aligned} Rad &= \frac{Deg \times 2\pi}{360} \\ &= \frac{45 \times 2\pi}{360} = 0.785 rad \end{aligned}$$

حساب المثلثات



يمكننا حساب الزاوية في المثلث القائم الزاوية بعدة طرق:

$$\sin\theta = \frac{\text{Opposite}}{\text{Hypotenuse}}$$

باستخدام جيب الزاوية

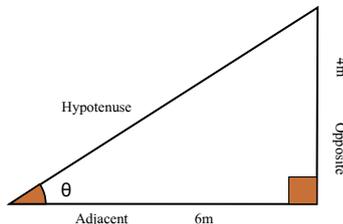
$$\cos\theta = \frac{\text{Adjacent}}{\text{Hypotenuse}}$$

أو باستخدام جيب تمام الزاوية

$$\tan\theta = \frac{\text{Opposite}}{\text{Adjacent}} = \frac{\sin\theta}{\cos\theta}$$

أو باستخدام جيب الزاوية

مثال: احسب الزاوية في الرسم



$$\tan\theta = \frac{\text{Opposite}}{\text{Adjacent}}$$

$$\theta = \tan^{-1}\left(\frac{4}{6}\right) = 33.69^\circ$$

بعض الدوال المثلثية المهمة يوجد مجموعة من الدوال المثلثية المهمة التي يحتاجها دارس الفيزياء، والتي تسهل عليه العمل مع الزوايا.

$$\sin^2(\theta) + \cos^2(\theta) = 1$$

$$\sin(A \pm B) = \sin(A)\cos(B) \pm \cos(A)\sin(B)$$

$$\cos(A \pm B) = \cos(A)\cos(B) \mp \sin(A)\sin(B)$$

$$\sin(2A) = 2\sin(A)\cos(A)$$

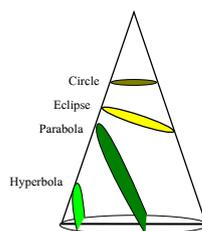
$$\cos(2A) = \cos^2(A) - \sin^2(A)$$

$$\cos(2A) = 1 - 2\sin^2(A) = 2\cos^2(A) - 1$$

$$1 + \tan^2(A) = \sec^2(A)$$

$$1 + \cot^2(A) = \text{cosec}^2(A)$$

المخاريط



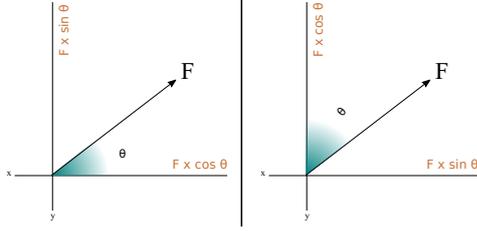
عند تقاطع المستوي Plane مع المخروط Conic ينتج لدينا عدة أشكال أهمها الدائرة والقطع الناقص والقطع المكافئ والقطع الزائد.

	Shape	Cartesian Equation	Parametric Equation
	الشكل	المعادلة الديكارتية	معطيات المعادلة
الدائرة	Circle	$x^2 + y^2 = a^2$	$x = \cos(t), y = \sin(t)$
القطع الناقص	Ellipse	$\frac{x^2}{a^2} + \frac{y^2}{b^2} = 1$	$x = a \cos(t), y = b \sin(t)$
القطع المكافئ	Parabola	$x = 4ay^2$	$x = 4ay^2, y = t$
القطع الزائد	Hyperbola	$\frac{x^2}{a^2} - \frac{y^2}{b^2} = 1$	$x = a \tan(t), y = b \sec(t)$

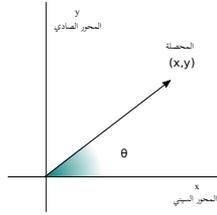
جدول 26.1: أشكال تقاطع المستوي مع المخروط

الكميات المتجهة الكميات المتجهة *Vector* هي كميات فيزيائية لها مقدار واتجاه مثل القوة والسرعة، وكل كمية متجهة \vec{x} لها مقدار $|\vec{x}|$ واتجاه \hat{x} .

تحليل المتجهات



لتحليل كمية متجهة مثل القوة F فإننا نقوم بحساب مركبتها على المحور السيني x والمحور الصادي y باستخدام حساب المثلثات حسب مكان وجود الزاوية، فمركبة المحور الذي يكون بجوار الزاوية تساوي الكمية مضروبة في تمام $\cos(\theta)$ والمحور البعيد عن الزاوية نضربها في جيب الزاوية $\sin(\theta)$ ، مع ملاحظة أن المركب السينية x والمركبة الصادية y تمثل إحداثيات رأس المتجه على الرسم الديكارتي *Cartesian coordinate*. ولإيجاد محصلة مركبتين متجهتين أو أكثر بينهما زاوية قائمة فإننا نقوم بالخطوات التالية:



1- نحسب المركبة الكلية على المحور السيني (x) : $\sum F_{xi} = F_{x1} + F_{x2} + \dots$

2- نحسب المركبة الكلية على المحور الصادي (y) : $\sum F_{yi} = F_{y1} + F_{y2} + \dots$

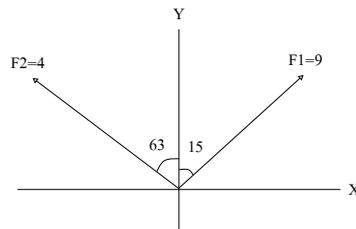
3- نحسب محصلة القوة: $F_i = \sqrt{F_{xi}^2 + F_{yi}^2}$

4- نحسب زاوية محصلة القوة F_f (عادة المحصورة بين المحصلة والمحور السيني x إلا إذا طلب غير ذلك) بواحد من ثلاث طرق:

بين المحصلة والمحور السيني	بين المحصلة والمحور الصادي
$\theta = \tan^{-1}\left(\frac{F_y}{F_x}\right)$	$\theta = \tan^{-1}\left(\frac{F_x}{F_y}\right)$
$\theta = \cos^{-1}\left(\frac{F_x}{F_f}\right)$	$\theta = \cos^{-1}\left(\frac{F_y}{F_f}\right)$
$\theta = \sin^{-1}\left(\frac{F_y}{F_f}\right)$	$\theta = \sin^{-1}\left(\frac{F_x}{F_f}\right)$

جدول 26.2: زاوية محصلة القوة أو أي كمية متجهة

مثال: احسب محصلة القوتين في الرسم



$$\sum F_{xi} = 9 \times \sin(15) - 4 \times \sin(63) = -1.23N$$

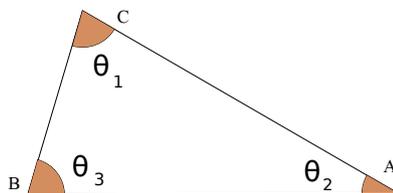
$$\sum F_{yi} = 9 \times \cos(15) + 4 \times \cos(63) = 10.5N$$

$$=\sqrt{-1.23^2+10.5^2}=10.58N$$

$$\theta=\cos^{-1}\left(\frac{F_y}{F_f}\right)=\cos^{-1}\left(\frac{10.5}{10.58}\right)=7^\circ$$

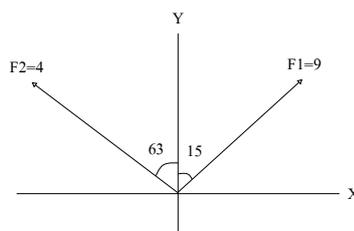
حالة خاصة: نستطيع استخدام القانون $F_i=\sqrt{F_x^2+F_y^2+2F_xF_y\cos(\theta)}$ لحساب محصلة قوتين فقط، حيث θ الزاوية بينهما.

قانون حساب الزوايا:



$$\frac{\sin(\theta_1)}{|AB|} = \frac{\sin(\theta_2)}{|BC|} = \frac{\sin(\theta_3)}{|AC|}$$

مثال: احسب محصلة القوتين في الرسم



$$F_i=\sqrt{F_x^2+F_y^2+2F_xF_y\cos(\theta)}$$

$$=\sqrt{9^2+4^2+2\times 9\times 4\times \cos(78)}=10.58N$$

المصفوفات هذه بعض العمليات الأساسية البسيطة على المصفوفات.

$$\begin{pmatrix} a & b \\ c & d \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} e & f \\ g & h \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} a+e & b+f \\ c+g & d+h \end{pmatrix} \text{ جمع المصفوفات}$$

$$\text{مثال: أوجد جمع المصفوفتين } \begin{pmatrix} 6 & 2 \\ 3 & 1 \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} 1 & 7 \\ 2 & 8 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 7 & 9 \\ 5 & 9 \end{pmatrix}$$

$$\begin{pmatrix} a & b \\ c & d \end{pmatrix} - \begin{pmatrix} e & f \\ g & h \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} a-e & b-f \\ c-g & d-h \end{pmatrix} \text{ طرح المصفوفات}$$

$$\text{مثال: أوجد طرح المصفوفتين } \begin{pmatrix} 6 & 2 \\ 3 & 1 \end{pmatrix} - \begin{pmatrix} 1 & 7 \\ 2 & 8 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 5 & -5 \\ 1 & -7 \end{pmatrix}$$

$$\begin{pmatrix} a & b \\ c & d \end{pmatrix} \times \begin{pmatrix} e & f \\ g & h \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} ae+bg & af+bh \\ ce+dg & cf+dh \end{pmatrix} \text{ ضرب المصفوفات}$$

$$\text{مثال: أوجد ضرب المصفوفتين } \begin{pmatrix} 6 & 2 \\ 3 & 1 \end{pmatrix} \times \begin{pmatrix} 1 & 7 \\ 2 & 8 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 6+4 & 42+16 \\ 3+2 & 21+8 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 10 & 58 \\ 5 & 29 \end{pmatrix}$$

Limits هذه بعض العلاقات الخاصة بالنهايات.

$$\lim_{n \rightarrow \infty} \frac{1}{x} = 0$$

$$\lim_{n \rightarrow 0^+} \frac{1}{x} = \infty$$

$$\lim_{n \rightarrow 0^-} \frac{1}{x} = -\infty$$

$$\lim_{n \rightarrow a} f(x)g(x) = \lim_{n \rightarrow a} f(x) + \lim_{n \rightarrow a} f(x)$$

$$\lim_{n \rightarrow a} f(x) + \lim_{n \rightarrow a} f(x) = \lim_{n \rightarrow a} f(x)g(x)$$

$$\lim_{n \rightarrow a} \frac{f(x)}{g(x)} = \frac{\lim_{n \rightarrow a} f(x)}{\lim_{n \rightarrow a} g(x)}$$

مثال: أوجد ناتج

$$\lim_{n \rightarrow \infty} \frac{4x^2 + x + 6}{2x^2 + 3}$$

$$\lim_{n \rightarrow \infty} \frac{\frac{4x^2}{x^2} + \frac{x}{x^2} + \frac{6}{x^2}}{\frac{2x^2}{x^2} + \frac{3}{x^2}} = \lim_{n \rightarrow \infty} \frac{4 + \frac{1}{x} + \frac{6}{x^2}}{2 + \frac{3}{x^2}}$$

$$= \frac{4 + \lim_{n \rightarrow \infty} \frac{1}{x} + \lim_{n \rightarrow \infty} \frac{6}{x^2}}{2 + \lim_{n \rightarrow \infty} \frac{3}{x^2}}$$

$$= \frac{4 + 0 + 0}{2 + 0} = \frac{4}{2} = 2$$

Sigma sign

$$\sum x = x_1 + x_2 + \dots$$

مثال

$$\begin{aligned} \sum_{n=1}^3 2n &= (2 \times 1) + (2 \times 2) + (2 \times 3) \\ &= 2 + 4 + 6 = 12 \end{aligned}$$

factorial and Product signs

$$x! = x_1 \times x_2 \times \dots$$

مثالين

$$\begin{aligned} 4! &= 1 \times 2 \times 3 \times 4 = 24 \\ 0! &= 1 \end{aligned}$$

$$\prod_{n=1}^3 n = n_1 \times n_2 \times n_3$$

مثال

$$\begin{aligned} \prod_{n=1}^3 2n &= (2 \times 1) \times (2 \times 2) \times (2 \times 3) \\ &= 2 \times 4 \times 6 = 48 \end{aligned}$$

اللوغاريتمات

$$\begin{aligned} \ln x \cdot y &= \ln x + \ln y & \ln \frac{x}{y} &= \ln x - \ln y & \ln x^y &= y \ln x \\ \log_z x \cdot y &= \log_z x + \log_z y & \log_z \frac{x}{y} &= \log_z x - \log_z y & \log_z x^y &= y \log_z x \\ \log_y x &= \frac{\ln x}{\ln y} \end{aligned}$$

مثال

Differential قبل أن نبدأ كتابة بعض العلاقات الخاصة بالتفاضل يجب أن نعرف رموز الفترات والفرق بينها:

[1,5] تعني أن $1 \leq x \leq 5$ أي الواحد والخمسة جزء من الفترة.
 (1,5) تعني أن $1 < x < 5$ أي الواحد والخمسة لا تنتمي للفترة لكن تحدها فقط.
 [1,5) تعني أن $1 \leq x < 5$ أي الواحد لا ينتمي للفترة لكن الخمسة تنتمي لها.
 (1,5] تعني أن $1 < x \leq 5$ أي الواحد ينتمي للفترة لكن الخمسة لا تنتمي لها.
 لمعادلة التفاضل العادية ordinary صيغة عامة بسيطة تكتب الشكل التالي:

$$y^n = \left(\frac{\partial^n y}{\partial x^n} \right)^m$$

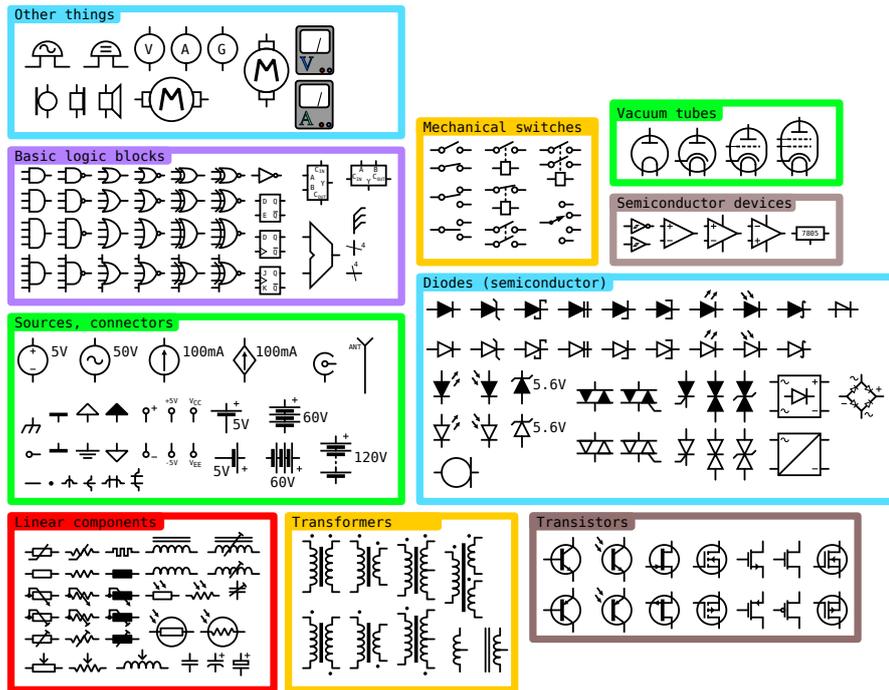
حيث n رتبة أو مرتبة order المشتقة ، m درجة degree المعادلة التفاضلية، y المتغير التابع، x المتغير المستقل.
 أما معادلة التفاضل الجزئية partial فيكون فيها أكثر من متغير مستقل مثل : $\frac{\partial y}{\partial x} + \frac{\partial y}{\partial z} = 0$ حيث لدينا المتغيرين المستقلين (x, z) .

تكون المعادلة التفاضلية خطية linear إذا كانت $m=1$ ولا تحتوي متغيرات توابع مضروبه ببعضها، ولا تحتوي دوال مثلثية مثل \sin ، وتكتب المعادلة التفاضلية الخطية القياسية بالصورة:

$$P_n(x)y^n + P_{n-1}(x)y^{n-1} + \dots + P_1(x)y' + P_0(x)y = Q(x)$$

وإذا كان الطرف الأيسر يساوي صفر نقول أنها خطية متجانسة أما إذا كانت لا تساوي صفر فإنها تكون غير متجانسة.

26.3 أشهر رموز الدوائر الكهربائية



26.4 بايثون للفيزيائيين

بايثون هي لغة برمجة عالية المستوى تستخدم على نطاق واسع من قبل علماء الفيزياء في العالم، نظرا لقوتها وسهولتها بالنسبة للغة سي وجافا، ويستخدمها العلماء لإجراء الحسابات المتنوعة وحل المسائل المعقدة، وحفظ واسترجاع البيانات، وتتميز بأنها مدعومة على جميع أنظمة التشغيل، بالإضافة إلى احتوائها *modules* التالية *math* و *numpy* و *scipy* للتعامل مع جميع الحسابات الرياضية تقريبا و *visual modules* التالية *pylab* و *MatPlotLib* للرسوم البيانية العلمية والإحصائية. انتبه إلى أن الحزمة *math* فقط هي التي تأتي مدمجة مع بايثون أما بقية الحزم يجب تركيبها بالأمر *pip*.

من تجربتي الشخصية وجدت أن أسهل طريقة لتركيب حزم البايثون على الويندوز هي تنزيل الحزم بصيغة *whl* من <http://www.lfd.uci.edu/~gohlke/pythonlibs/> ثم تركيبها بالأمر *pip install c:/youdir/yourmodule.whl* ، ويكون اسم الحزم مثل هذا *scipy-0.18.1-cp36-cp36m-win_amd64.whl* وحجم بعضها يتجاوز 100 ميغابايت، وعند تنزيلنا للحزمة نركز على نهاية اسم الملف هل هو 64 بت للأجهزة الحديثة أم 32 بت للأجهزة القديمة جدا، والرقم الذي يأتي بعد *cp* يدل على إصدار البايثون، مثلا *cp36* تعني الحزمة تتوافق مع إصدار بايثون 3.6 .



وتستخدم بايثون في التعامل مع الروبوتات، وبناء البرامج البسيطة وكذلك المعقدة، وينصح الفيزيائيين بتعلم أساسياتها، ولهذا تستخدم في ناسا وكثير من مراكز الأبحاث، لكن لا ينصح بالتركيز عليها وحدها للطالب الذي يرغب التخصص في البرمجة لأن شركات البرمجة تبحث عن المتخصصين في الجافا و C++ ، أما بقية اللغات فيعتبرونها نقاط قوة لكن ليست أساسية، لكن هذا لا يعني أنها ضعيفة، إنها قوية لكنها ليست الأولى. لأهمية البايثون للفيزيائيين، تم إضافة هذا الملحق لشرح بعض الأمور الأساسية في البايثون، والتي تساعد الفيزيائي على حل المسائل، إن الإنترنت تحتوي على عدد كبير من الكتب المجانية التي تعلم البايثون وبعضها باللغة العربية، لكن تذكر دائما أن قيامك بحل المسائل بشكل يدوي يرسخ وينمي إتقانك لحل المسائل الفيزيائية.

لا تقم أبدا بالاعتماد الكلي على الحاسب الآلي في حل المسائل، لأنك ستفقد مهاراتك بالتدريج وربما تصل لنسيان القوانين، لكن استخدمه عندما يكون وقتك ضيقا، أو تحتاج لتطبيق قانون معين على عدد كبير من الحالات أو للتأكد من صحة حلك، وأخيرا للمسائل والرسوم البيانية المعقدة.



ومن المراجع التي يمكن استخدامها لدراسة بايثون للفيزيائيين:

- كتاب تعلم البرمجة مع بايثون 3 ، وابحث عنه في قوقل باسم *learn_python3.pdf* .
- كتاب *Computers with Solving Problem Physics Computational* ، وابحث عنه في قوقل باسم *computational_physics.pdf* .
- كتاب *Python With Physics Computational* ، وابحث عنه في قوقل باسم *CPWP.pdf* .
- كتاب *Science for Python to Introduction* ، وابحث عنه في قوقل باسم *PythonMan.pdf* .

لا أعرف نوع تصريح الملكية الفكرية لكل كتاب منها، لذا ابحث عن ذلك بنفسك.



تركيب البايثون

يمكن تركيب البايثون من موقعها python.org ويفضل بشدة تركيب الإصدار الأخير من بايثون 3 وليس بايثون 2 القديمة. لكتابة أكواد البايثون نحتاج لمحرر، توجد الكثير من برامج التحرير المجانية، لكن أشهرها *pycharm* ويستخدمه أكثر من 50% من مبرمجي بايثون (لمبرمجي برامج الهاتف أو الأجهزة التي تحتوي شاشات لمس ينصح بتركيب *module* باسم *kivy* أيضا فهو يسهل عملية صنع واجهة البرامج ودعم شاشات اللمس) ، وتوجد محررات أخرى.

من أهم أنواع المتغيرات في بايثون

- الأعداد الحقيقية *float* وهي الأعداد التي بها فواصل عشرية أو أسس مثل 3.14 أو 3.2×10^{-12} .
- الأعداد الصحيحة *int* هي الأعداد التي لا تحتوي على فواصل عشرية مثل 1013 أو 8 .
- النصوص *str* هي الحروف أو الكلمات النصية.
- الفاصلة تكتب دائما نقطة (9.8) وليس (9,8).

مثال للتدريب: قانون نيوتن الثاني $F=ma$

```
m = 2
a = 9.8
F = m*a
```

ولطباعة النتيجة على الشاشة نستخدم الأمر `print` ويجب وضع المطلوب طباعته بين قوسين () والنصوص داخل القوسين، يجب وضعها بين علامتي تنصيص مزدوجة "text" ، كما يجب وضع فاصلة بين النصوص والمتغيرات:

```
print(m)
print(a)
print(F)
print(" the force is " , F , " Newton ")
```

لجعل العملية متقدمة أكثر يمكننا أن نجعل البرنامج يطلب من المستخدم كتابة القيم في نافذة صغيرة :

```
from math import *
m = float(input(" write m here "))
a = float(input(" write a here "))
F = m*a
print(" Force is " , F)
```

في المثال السابق استخدمنا `input` للطلب من المستخدم كتابة الكتلة، وغلفناه ب `float` لكي يتم تحويل أي رقم يكتب إلى عدد حقيقي قابل للاستخدام.

العمليات الحسابية

العمليات الحسابية تكتب بالطريقة العادية في الجمع والطرح والضرب والقسمة:

```
from math import *
a+b
a-b
a*b
a/b
```

الشيء المختلف هو إشارة // وتعني ناتج القسمة بدون باق (حذف الباقي)، وكذلك % وتعني الباقي فقط، والأس يكتب ** ، ويجب أن لا نخلط بين إشارة يساوي == وإشارة القيمة = التي تساوي بين المتغير وقيمه.

```
import math from *
a = 9//2
b = 9%2
c = 4**2
print(a , b , c)
```

ستكون قيمة $a=4$ بينما $b=1$ وقيمة $c=16$.

كتابة المعادلات

قانون نيوتن الثاني $F=ma$ يكتب هكذا $F=m*a$

قانون الحركة الخطية $x=v_0t+\frac{1}{2}at^2$ يكتب هكذا $x=v_0*t+0.5*a*t**2$ يمكن للتسهيل والاختصار، أن نكتب المساواة بين أكثر من قيمة في سطر واحد مثل:

```
from math import *
a , b , c = 3 , 2 , 9
```

وتعني $a=3$ و $b=2$ و $c=9$.
بعض العمليات الرياضية الأخرى:

log	tan
log10	asin
exp	sinh
sin	sqrt
cos	pi

إنشاء دالة لحل مسألة حسابية

لماذا ننشئ دالة لحل معادلة بينما الآلات الحاسبة متوفرة؟!، اليدوية منها والمدمجة في الهواتف أو الحواسيب.

ببساطة للحفاظ على الوقت، فبعض المعادلات طويلة، وبعض المسائل تتطلب التعويض في عدة قوانين إلى أن نصل للحل النهائي، تخيل أن طالبا أو باحثا يكرر تجربة في المختبر، وتتطلب نتائج التجربة التعويض في قانون معين كل مرة. إن التعويض في قانون بسيط مثل $F=ma$ ربما لن يشكل مشكلة كبيرة، ولكن ماذا إذا كنا نريد التعويض في قانون طويل مثل قانون حساب الضغط:

$$P = P_0 \cdot \left(1 - \frac{L \cdot h}{T_0}\right)^{\frac{g \cdot M}{R \cdot L}}$$

لنبدأ بإنشاء دالة صغيرة ثم دالة أعقد، لنفرض أننا نريد إنشاء دالة لحساب قانون نيوتن الثاني:

```
def f(m, a):
    print(m*a)

f(3, 4)
```

الدالة تبدأ دائما بثلاثة حروف هي def ويليه مسافة ثم اسم الدالة (أي اسم نختاره)، ويفضل أن يكون للاسم ارتباط بما نريد، لكي يسهل علينا مراجعة الكود، في المثال السابق اخترنا f لأننا سنحسب القوة، بين القوسين نضع رموز المتغيرات، لكن لا نكتب رموز الثوابت كتسارع الجاذبية الأرضية، وبعدها رمز النقطتين الرأسية (:). ثم نقر على زر الإدخال enter ، وسنلاحظ أن السطر الجديد لم يبدأ من أول السطر، وإنما بعد أربعة مسافات من بداية السطر الذي قبله، ثم نكتب print أي أظهر على الشاشة (وليس اطبع بالطابعة)، ونكتب قوسين بينهما المعادلة، أخيرا لكي نحسب القوة في مسألة ما، نكتب f(3,4) ونستبدل 3 بالكتلة و 4 بالتسارع المعطى في السؤال. ولا نحتاج لإعادة الأسطر الأولى إذا رغبتنا بحل مسألة جديدة، فقط نكتب السطر الأخير مع تغيير المعطيات مثل f(24,8) وهكذا.

كيف نكتب معادلة بها 3 متغيرات؟

بنفس الطريقة السابقة، لكن نضيف رمز المتغير الثالث داخل اسم الدالة، مثال قانون الحركة الأول $V_f = V_0 + at$:

```
def vf(v0, a, t):
    print(v0+a*t)

vf(2, 5, 20)
```

كتابة الجذر في معادلة $v = \sqrt{2 \cdot g \cdot h}$ يحتاج استيراد الحزمة math والعملية سهله، لاستيراد حزمة في بايثون، نكتب from ثم اسم الحزمة ثم import لاختيار وظيفة معينة في الحزمة (النجمة بعد import تعني أيها الحاسب استورد في ذاكرتك (الرام) جميع الأوامر أو الوظائف الموجودة في الحزمة math).

لاحظ أن استيراد كل الأوامر قد يستهلك الذاكرة العشوائية للجهاز ويبطئه لذا حاول أن تستورد ما تريده فقط.



ويمكننا استبدال النجمة بكلمة sqrt :

```

from math import *
def vg(h):
    g = 9.81
    print("% .2f"% math.sqrt(2 * g * h))
vg(9.9)

```

الجديد في المثال السابق هو استخدام الجذر `sqrt` ، و الأمر `%.2f` يعني إذا كان الناتج به فاصلة، اعرض أول خانيتين فقط، وإذا اردنا 3 خانات نكتب `3f` وهكذا، أما إذا رغبتنا بحذف كل ما بعد الفاصلة نكتب صفر `0f` ، ويمكن استبدال حرف `f` بحرف `e` لكتابة النتيجة بالصيغة العلمية، أو `g` لجبر الكسر، أي إكمال العدد العشري لعدد صحيح، أو `d` لحذف ما بعد الفاصلة [12].

الكود	النتيجة
<code>%.2f</code>	12.79
<code>%.2e</code>	1.27e+01
<code>%.2g</code>	13
<code>%.2d</code>	12

لنفرض أن لدينا قانون له متغيرين، ويكون أحدهما مجهول في مسألة، والآخر يكون مجهولا في مسألة أخرى، بدلا من أن نكتب دالة لكل مسألة، نكتب دالة للحالتين.

```

def speed(vg, h):
    g = 9.81
    if vg == '':
        print("% .2f"% math.sqrt(2 * g * h))
    elif h == '':
        print("% .2f" % (vg * 2 / (2 * g)))
speed('', 9.9)
speed(50, '')

```

قانون حساب سرعة السقوط الحر يحتوي على متغيرين `vg` و `h` وهما السرعة والارتفاع، بالإضافة لثابت تسارع الجاذبية الأرضية `g` ، ولأنه ثابت لم نضعه مع المتغيرات بين القوسين، إن الدالة تقول: الدالة اسمها `speed` وتحتوي على متغيرين هما `vg` و `h` ، يوجد ثابت اسمه `g` وقيمته 9.81 ، وإذا كانت قيمة السرعة `vg` المعطاة من قبل المستخدم للدالة ، تساوي " أي مجهولة : احسب واطبع النتيجة باستخدام صيغة المعادلة التالية وإذا كانت النتيجة تحتوي على فاصلة فاطبع أول خانيتين فقط، أما إذا كان الارتفاع `h` مجهول فاحسب واطبع النتيجة باستخدام الصيغة الثانية... الخ، أخيرا لاستخدام الدالة نكتب `speed('',9.9)` إذا كانت السرعة مجهولة، و `speed(50,'')` إذا كان الارتفاع مجهول.

hphysics هي مكتبة بايثون 3 تحتوي على قوانين فيزياء جاهزة للاستخدام، ويستفاد منها في حل المسائل الفيزيائية بسرعة وسهولة.

يمكن تنزيل آخر إصدار من هنا:

sourceforge.net/projects/hphysics/files/

طريقة الاستخدام:

تحتوي المكتبة على أكواد لحل مجموعة من المسائل الفيزيائية، ويتم استخدامها بالطريقة التالية:

١. يتم حفظ ملف المكتبة `hphysics.py` في مجلد بايثون الذي نحفظ فيه ملفاتنا.

save hphysics.py in any folder

أو ننسخه لمجلد:

`C:\Users\username\AppData\Local\Programs\Python\Python36`

بعد حذف رقم الاصدار من اسم الملف ليصبح `hphysics` ، وبذلك نستطيع استيراده في IDEL .

٢. نستورد المكتبة بالأمر: `from hphysics import *`

*create new python file, then write "from hphysics import *"*

٣. نستورد دالة الحل بالطريقة التالية: نحدد القانون المطلوب، وننسخ دالته، مثل $h1(f,m,a)$ ونعوض فيها بالمعطيات، ونعوض عن المجهول

بقوسين فارغين ' ' لكي يعرف الكود أن هذا المتغير مجهول، ويمكن معرفة اسماء الدوال من الجدول التالي.

in 2nd line, write function name, like "h1(f,m,a)", and put " in unkonown like: h1(",2,4),or h1(8,",4) or h1(8,2,"

بالنسبة لمستخدمي جوالات اندرويد يمكنهم تركيب برنامج `qpython3` المجاني، ونسخ مكتبة الفيزياء في مجلد السكريبتات `.qpython/scripts3`. ثم

فتح ملف جديد فارغ وحفظه في نفس المجلد باسم `ph.py`، واستيراد المكتبة كما تم شرحه في الخطوات السابقة.

we can used hphysics in android with "qpython3 program" or python3 program

ت	English	عربي	القانون	def
1		قانون نيوتن الثاني	$F=ma$	$h1(f,m,a)$
2		السرعة الخطية	$v=\frac{d}{t}$	$h2(v,d,t)$
3		التسارع الخطي	$a=\frac{v}{t}$	$h3(a,v,t)$
4		معادلة الحركة الخطية 1	$v_x=v_0+at$	$h4(v_x,a,t,v_0)$
5		معادلة الحركة الخطية 2	$x=v_0t+\frac{1}{2}at^2$	$h5(x,a,t,v_0)$
6		معادلة الحركة الخطية 3	$v_f^2=v_0^2+2ax$	$h6(v_f,v_0,a,x)$
7		زمن السقوط الحر	$t=\sqrt{\frac{2h}{g}}$	$h7(t,h,g)$
8		سرعة السقوط الحر	$v=\sqrt{2gh}$	$h8(v,g,h)$
9		سرعة السقوط في آلة أتوود	$v_x=\sqrt{\left(\frac{m_1-m_2}{m_1+m_2}\right)2gh}$	$h9(v,m_1,m_2,g,h)$
10		المسافة الأفقية في المقذوفات	$x=\frac{v_0^2\sin(2\theta)}{g}$	$h10(x,v_0,\theta)$
11		زمن المسافة الأفقية في المقذوفات	$t=\frac{2v_0\sin(\theta)}{g}$	$h11(t,v_0,\theta)$
12		العزم مع الجيب	$\tau=Fr\times\sin\theta$	$h12(t,f,r,\theta)$
13		العزم مع جيب التمام	$\tau=Fr\times\cos\theta$	$h13(t,f,r,\theta)$
14		عزم الاتزان	$F_1\times r_1-F_2\times r_2=0$	$h14(f_1,f_2,r_1,r_2)$
15		القوة مع الدفع	$J=F\Delta t$	$h15(j,f,t)$
16		الدفع مع الزخم	$J=p_f-p_i$	$h16(j,m_1,m_2,v_1,v_2)$

^١بتحويل لغة لوحة المفاتيح للإنجليزية ثم نقره واحدة على الزر المجاور لفتح Enter من اليسار.

26.5 برنامج Gnuplot

برنامج جنو بلوت `gnuplot` هو برنامج قوي لإنتاج الرسوم البيانية البسيطة والمتقدمة، وهو مجاني ومفتوح المصدر ويعمل على الويندوز واللينكس وماك، وله واجهة بسيطة، ويمكن للفيزيائي استخدامه لإنتاج رسوماته البيانية، وانصح بتركيبه إذا لم يتم تركيب برنامج ماكسيما.

26.5.1 الرسم المسطح باستخدام `plot`

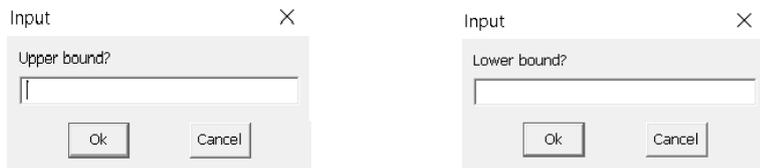
مثال 1 لنفرض أننا نريد رسم منحنى $\sin\theta$ جيب الزاوية؟
نكتب أمر الرسم `plot` وبعده المعادلة، ثم انقر على زر `Enter` في لوحة المفاتيح لينتج الرسم البياني! أليست عملية سهلة.

```
plot sin(x)
```

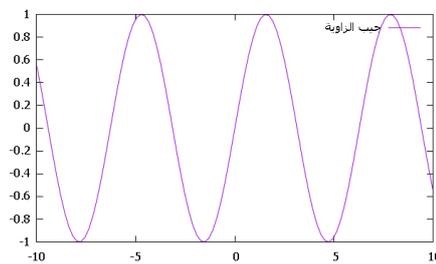
لنفرض أننا نريد تحديد مدى الأرقام على المحور السيني أو الصادي أو كليهما، كل ما علينا فعله هو استخدام الأمر `xrange` والأمر `yrange`.

```
set xrange [-10:10]
set yrange [-1:1]
plot sin(x)
```

أو من القائمة الرئيسية نختار `Axes > X-Range`، ففتح لنا نافذة لإدخال الحد الأدنى `Lower` ثم نافذة لإدخال الحد الأعلى `Upper`.



وهذه نتيجة الرسم:

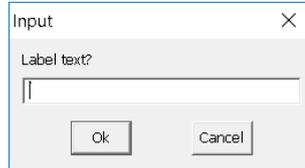


شكل 26.1: `gnuplot2`

كيف أكتب اسم المتغير على المحور السيني أو المحور الصادي؟
يمكننا ذلك باستخدام الأمر `xlabel` والأمر `ylabel` واللاحقة `x,y,z` اختياريًا يمكن حذفها، وهي لتحديد الموقع.

```
set xrange [-10:10]
set yrange [-1:1]
set xlabel 'text_her' offset x,y,z
set ylabel 'text_her' offset x,y,z
plot sin(x)
```

أو من القائمة الرئيسية نختار Axes > X-Label ، فنتفتح لنا نافذة لإدخال النص المطلوب.



كما يمكننا ملء الرسم البياني بالأمر *with* (يمكن كتابته *W* فقط)، متبوعاً بنوع الملء مثل *linespoints* أو *filledcurves* أو تخطيط ما تحته *impulses* (توجد خيارات كثيرة - راجع دليل برنامج جنو بلوت).

```
set xrange [-10:10]
set yrange [-1:1]
set xlabel 'text_her'
set ylabel 'text_her'
plot sin(x) with filledcurves
```

مثال 2 كيف نكتب كود لرسم بياني لأكثر من دالة أو معادلة؟
يمكننا رسم معادلتين أو أكثر بوضع فاصلة بينها كما في الكود التالي:

```
set xrange [-10:10]
set yrange [-1:1]
set xlabel 'text_her'
set ylabel 'text_her'
a(x) = sin(x)
b(x) = cos(x)
plot a(x) , b(x)
```

وكما هو واضح أننا نكتب المعادلة الثانية في سطر جديد وباسم جديد *b* ، ويمكن إضافة معادلة ثالثة ورابعة و... ، وكل معادلة في سطر جديد وباسم جديد، وفي السطر الأخير نطبع المعادلات بالأمر *plot* ثم كتابة أسماء الدوال مع وضع فاصلة بينها. كيف نكتب نص داخل الرسم البياني؟
نستخدم الأمر ملصق *label* مع تحديد مكان ظهور النص بالأمر *at* تتبعه الإحداثيات:

```
set label 'text' at 2,3.5
```

وتعني اطبع كلمة *text* على الرسم البياني عند الإحداثيات 2 على المحور السيني و 3.5 على المحور الصادي.
كيف أكتب عنوان نصي للرسم البياني؟

```
set title 'text_her'
```

ومن الأوامر المهمة تعيين نوع الزاوية (راديان أو درجات)، البرنامج يعتمد الراديان افتراضياً، وإذا رغبتنا بالتغيير، نستخدم أحد الأمرين التاليين:

```
set angles degrees
set angles radians
```

استيراد البيانات

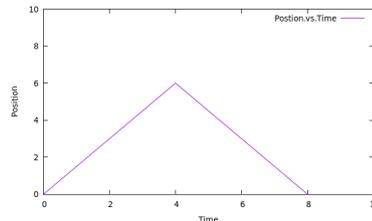
لنفرض أننا نريد رسم بياني للنقاط التالية (0,0) و (4,6) و (8,0)، نقوم بفتح ملف نصي في النوت باد مثلا ونكتب إحدائية النقطة الأولى في السطر الأول بدون أقواس مع فاصلة بينهما بهذا الشكل 4,6 ثم نضغط *Enter* ونكتب الإحدائية الثانية في السطر الثاني، ثم الإحدائية الثالثة في السطر الثالث، وهكذا إلى أن ننتهي من كل الإحدائيات، ثم نحفظ الملف بأي اسم مثل *speed.csv* ونوعية الملف *csv* هو ملف ممتاز وخفيف ومدعوم في كل البرامج تقريبا لحفظ البيانات على شكل أعمدة أو جداول.

البيانات داخل ملف *csv* تكتب بهذا الشكل (كل فاصلة تعني عمود بيانات جديد):

```
Time , Position
0 , 0
4 , 6
8 , 0
```

ولكي نرسم الإحدائيات على برنامج جنو بلوت نستخدم الكود التالي:

```
set datafile separator ','
plot 'speed.csv' using ($1):($2) with lines title "P. vs. T"
```



مثال آخر على استيراد البيانات من ملف خارجي، لنفرض أننا نريد إنتاج رسم بياني للعدد الكتلي الخاص بعناصر الجدول الدوري، ولنفرض أن البيانات مخزنة في ملف *mass number.csv* والملف يحتوي بيانات كل العناصر، والعدد الكتلي هو العمود 20 في الجدول داخل ملف *csv*.

```
set datafile separator ','
plot 'mass_number.csv' using :($20) with lines
```

في السطر الأول أخبرنا البرنامج بنوع الفاصلة الموجودة بين البيانات في ملف *csv* (ملفات *csv* يمكن أن تستخدم عدة أنواع من الفاصلات)، ويمكن معرفة نوع الفاصلة بفتح الملف ببرنامج المفكرة أو أي محرر نصوص. السطر الثاني يقول ارسم *plot* مستخدماً *using* (يمكن كتابتها *u* فقط) العمود عشرين في الملف *mass number.csv*، لاحظ أن البرنامج يستخدم علامة الدولار \$ للدلالة على رقم العمودي في الجدول، واجعل *with lines* الرسم البياني على شكل خط متصل بين النقاط *lines* (لو لم نكتب هذه الجزئية سيقيم البرنامج برسمها على شكل نقاط)، ويمكن إجراء عملية حسابية على العدد الكتلي أو إدخاله في معادلة مثل قسمته على 3، وستلاحظ أن البرنامج يسمح باختصار جملة *with lines* إلى الحرف الأول من كل منهما *w l* للتسهيل.

```
set datafile separator ','
plot 'mass_number.csv' u :($20)/3 w l
```

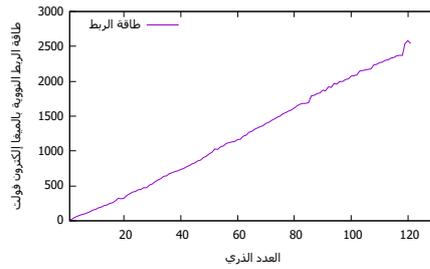
لنفرض أن جدول البيانات في الملف يحتوي على عدد كبير من الصفوف ونرغب باختيار مدى معين، مثلا نريد الرسم البياني للصفوف من 1 إلى 10 في الجدول وذلك بكتابة [1:10] بعد الأمر `plot`:

```
plot [1:10] 'mass_number.csv' u :($20) w l
```

مثال آخر: الرسم البياني لمعادلة طاقة الربط النووية القوية بين البروتونات، حيث العمود \$20 العدد الكتلي، و \$27 العدد الذري.

$$B_E = [M_x - (Zm_p + Nm_n)] \times 931$$

```
set datafile separator ','
plot 'mass_number.csv' /
u :(( $20 ) - (( $20 ) * 1.007825 + ( $20 - $27 ) * 1.008665 )) * 931 /
w l
```



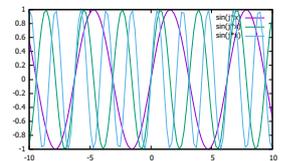
شكل 26.2: binding

تم تقطيع السطر بعد `plot` بسبب حجم الصفحة، لذا عند رغبتك بتجربة هذا المثال، فضلا احذف / ثم ضع كل ما بعد `plot` في سطر واحد.

تكرار الرسم بالحلقة البرمجية `loop`

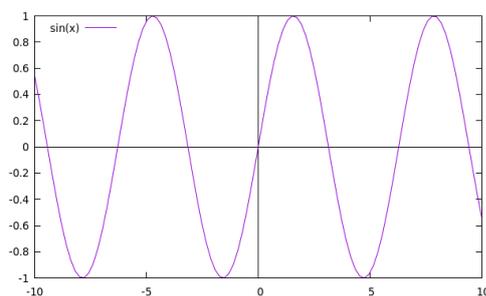
```
plot for [j=1:3] sin(j * x)
```

نكتب المدى بعد `for` مع ملاحظة أن نعوض باسم المتغير في المعادلة المراد رسمها.



شكل 26.3: loop

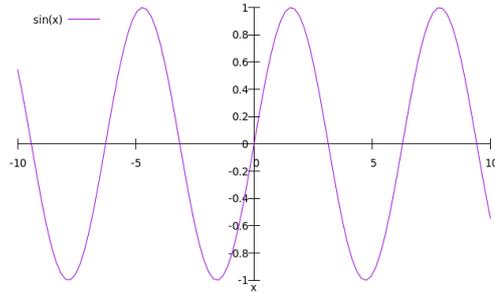
المحاور وسط الرسم البياني



أحيانا نرغب بجعل المحاور في وسط الرسم كما في الرسم التوضيحي، وللقيام بذلك نستخدم *zeroaxis* كما في الكود التالي.

```
set zeroaxis linetype 1 linecolor rgb '#000000'
```

ويمكن تحسين الرسم والتعديل عليه كما في الرسم والكود التالي.



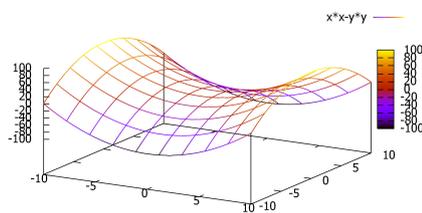
```
set zeroaxis linetype 1 linecolor rgb '#000000'
set xtics axis
set ytics axis
set border 0
```

السطر الأول لجعل المحاور في الوسط وبلون اسود (الافتراضي: اللون الوردى)، السطر الثاني والثالث لكتابة الإحداثيات على المحاور، والسطر الرابع لحذف الإطار المستطيل، وجميعها اختياريه يمكن حذف ما نشاء منها.

26.5.2 الرسم المجسم يتم باستخدام الأمر *splot*

مثال على الرسم المجسم باستخدام *palette* :

```
splot x*x-y*y with line palette
```



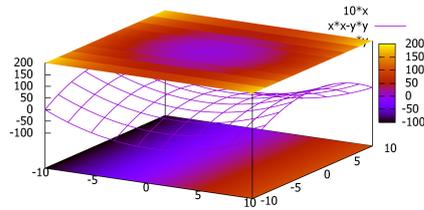
شكل 26.4: *palette*

مثال آخر على الرسم المجسم باستخدام *pm3d* مع *at b* لوضع الرسم في الأسفل أو *at t* لوضع الرسم في الأعلى، وبدون *at* لوضع الرسم في الوسط :

```

splot 10*x with pm3d at b
splot x*x-y*y
splot x*x+y*y with pm3d at t
splot 10*x with pm3d at b, x*x-y*y, x*x+y*y with pm3d at t

```



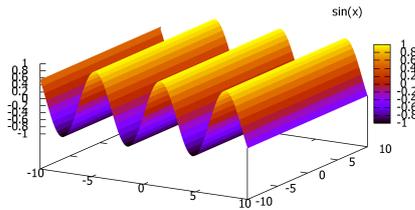
شكل 26.5: pm3d

مثال آخر

```

splot sin(x) w pm3d

```



شكل 26.6: pm3d

وأخيرا توجد الكثير من الخيارات والوظائف المتقدمة التي يمكن الاطلاع عليها في دليل المستخدم الخاص ببرنامج جنو بلوت، ولا تنس بعد أي رسم اكتب *reset* لمسح الذاكرة والبدء من جديد.

ملاحظات مهمة:

كثير من الأوامر التي تم شرحها مثل *xlabel* و *xrange* و *title* موجودة في الواجهة الرسومية في قائمتي *Axes* و *chart*، أي يمكن إضافتها بدون كتابة أي كود. ملف CSV هو ملف نصي يستخدم بكثرة لتصدير الجداول من اكسل أو كلك أو مواقع الويب، ويتميز بصغر حجمه ودعمه في جميع انظمه التشغيل، وجميع برامج الجداول الممتدة (حسب علمي) تدعم التصدير إليه.



26.6 برنامج Maxima

برنامج ماكسيما Maxima هو برنامج جبري (رياضيات وفيزياء) لحساب نتائج أي عملية رياضية تقريبا، من المعادلات البسيطة إلى معادلات التفاضل والتكامل، مروراً بالمصفوفات وكثيرات الحدود وتحليل العوامل واللوغاريتمات وعلم المثلثات وغيرها من العمليات الرياضية، بالإضافة إلى الرسومات البيانية، وهو البديل المجاني لبرنامج Mathematica المشهور. البرنامج له عدة واجهات رسومية (يتم تركيبها بعد تركيب البرنامج) ولكن أشهرها منذ 25 سنة، واجهة Wxmaxima، وهي واجهة سهلة وتم دمجها أخيراً في البرنامج (نسخة ويندوز)، ولا اعرف عن نسخة لينكس وماك، ولهذا أنصح به لجميع أساتذة الجامعات ومعلمي الفيزياء وطلاب الفيزياء في الجامعات، أما طلاب المرحلة الثانوية فلا اعتبره مهم لهم في الفيزياء، إن هذا البرنامج تم إنتاجه من عام 1967م أي من قبل اختراع الويندوز وأجهزة الحاسب الشخصي، أي عمره 49 سنة، ويتم تطويره بشكل مستمر، وهو من جامعة MIT الأمريكية العريقة، أخيراً بعد أن تكتب أي معادلة انقر Ctrl+Enter لإظهار النتيجة.

26.7 برنامج Octave

برنامج أوكتاف Octave هو برنامج حساب عددي (رياضيات) لحساب نتائج العمليات الرياضية العددية ورسمها. وللبرنامج واجهة رسومية مدمجة به. وهو البديل المجاني لبرنامج MatLab، بل يمكن برمجة أوامر وعمليات الماتلاب عليه ويحفظ الملفات بصيغة m الخاصة بالماتلاب، وهو مفيد للمهندسين أكثر من الفيزيائيين، لكن يستخدم من قبل الفيزيائيين في الرسوم البيانية المعقدة المبينة على كمية بيانات كبيرة ناتجة عن تجربة معينة.

26.8 برنامج PHET

برنامج فيت PHET، هو برنامج تكنولوجيا الفيزياء التعليمية، إنه برنامج رائع من إنتاج جامعة كلورادو الأمريكية، وتشارك جامعة الملك سعود السعودية في تمويله، وهو مختبر علمي افتراضي، يحتوي قريبا من 100 تجربة فيزيائية مشهورة تغطي مناهج المرحلة الثانوية والجامعية، ويستطيع الطالب إجراء التجارب من خلال الحاسب الآلي في منزله أو مدرسته، دون الاتصال بالنت، وفي نفس الوقت مجاني، ومتعدد اللغات، ومعرب تقريبا، ويسمح بالمشاركة في تعريبه.

26.9 برنامج Inkscape

برنامج إنكسكيب inkscape هو برنامج رسم متجهي* يساعد الفيزيائي وغيره على رسم أي شيء، ويمتلك مميزات رائعة تجعله صديقا للفيزيائي، والبرنامج مجاني ويعمل على لينكس وويندوز، ويحتوي موقعه على مكتبه رسومات كبيرة تبرع بها مستخدمو البرنامج.

برامج الرسم المتجهي هي برامج تخزن الرسوم على شكل معادلات رياضية بدلا من حفظها نقطة نقطة، ولهذا تكون ملفات رسوماتها صغيرة مهما كانت معقدة، وهو ما يجعلها تستخدم في الرسومات التي تتطلب دقة عالية، مثل تصميم العملات الورقية، والرسومات الهندسية في أوتوكاد، والرسومات المجسمة في ثري دي ستوديو، وبرامج الرسم الصناعي والعلمي.



26.10 برنامج R

برنامج R هو برنامج ممتاز يعمل كبديل مجاني ومفتوح المصدر لبرنامج الإحصاء المشهور SPSS، ولهذا هو مفيد لعدد محدود من الفيزيائيين.

26.11 برنامج Lyx

برنامج Lyx.org هو أفضل برنامج لكتابة الكتب العلمية ورسائل الماجستير والدكتوراه، ومبني على لغة LaTeX المختصة بكتابة الأبحاث العلمية، ولهذا فهو يعمل على فلسفة «ما تريد هو ما تحصل عليه»، وليس «ما تراه هو ما تحصل عليه»، أي ركز على الكتابة فقط وسيقوم البرنامج بالتنسيق نيابة عنك بطريقة احترافية، ويستطيع تصدير كتابك بصيغة بوستسكريبت عالية الجودة الخاصة بالمطابع الحديثة، بالإضافة إلى pdf والورد والرايتر وغيرها. وقد تم اختراع لغة لتيك قبل اختراع الويندوز، ولهذا فإن بعض الجامعات والمجلات العلمية المشهورة تشترط تسليم نسخة من الرسالة العلمية أو المقالة أو البحث مكتوبا بلغة LaTeX، ولشهرة هذه اللغة وقتها تم بناء برنامج Lyx بواجهة سهلة ومعربة وتدعم اللغة العربية (الواجهة بلغة C).

أنصح كل أستاذ جامعي بتركيب البرنامج (حتى غير الفيزيائيين) ، وأنصح به كل مدرس فيزياء أو رياضيات وكل شخص يريد كتابة رسالة الماجستير أو الدكتوراه أو حتى كتابة بحث علمي، برنامج Lyx لا يختص بالكتب العلمية فقط، إنه يخدم جميع الكتب وجميع الرسائل العلمية والأدبية.



قائمة الجداول

16	الكميات الفيزيائية الأساسية	1.1
18	بادئات الوحدات	1.2
26	معاملات الاحتكاك لبعض الأنظمة	2.1
30	معامل لزوجة الهواء والماء [18]	2.2
30	بعض معاملات الإعاقة	2.3
40	وحدات الحركة الزاوية	3.1
54	إشارات الزخم	4.1
54	زاوية محصلة التصادم	4.2
55	إشارات الموقع بعد التصادم	4.3
55	وحدات الزخم وحفظه	4.4
73	الحرارة النوعية لبعض المواد	7.1
74	الطاقة الكامنة لانصهار وغليان بوحدة KJ/kg	7.2
76	التوصيلية الحرارية لبعض المواد $J/s.m.^{\circ}C$	7.3
84	كثافة بعض المواد	8.1
92	التوتر السطحي لبعض المواد	8.2
93	زاوية الاتصال أو التماس	8.3
96	رقم رينولد في الأنابيب [11]	8.4
96	معامل لزوجة الهواء والماء، لاحظ لزوجة الهواء تزداد بارتفاع درجة الحرارة. [18]	8.5
98	معامل التمدد الطولي لبعض المواد	8.6
98	معامل التمدد الحجمي لبعض المواد	8.7
104	القوة - الاستطالة	9.1
116	شدة الصوت في بعض المواد	10.1
116	معامل الحجم لبعض المواد	10.2
117	سرعة الصوت في بعض المواد	10.3
119	تردد الرنين في الأنابيب المغلقة	10.4
119	تردد الرنين في الأنابيب المفتوحة	10.5
121	المقاومة الصوتية لبعض المواد	10.6
126	الاستضاءة	11.1
128	مزج الأضواء الملونة	11.2
128	مزج الأصباغ الملونة	11.3
133	معامل الانكسار لبعض المواد الشفافة	12.1
135	صفات الصور في العدسات	12.2
136	حالات تكون الصور في العدسات المحدبة 1	12.3
136	حالات تكون الصور في العدسات المحدبة 2	12.4
137	حالات تكون الصور في العدسات المقعرة	12.5
138	إشارات القانون العام للعدسات والمرايا	12.6
138	قيم تكبير العدسة	12.7
141	صفات الصورة	12.8

141	حالات تكون الصور في المرايا المقعرة .	12.9
142	حالات تكون الصور في المرايا المحدبة .	12.10
142	إشارات القانون العام للعدسات والمرايا .	12.11
143	قيم تكبير العدسة .	12.12
148	تداخل الضوء المترابط .	13.1
186	قاعدة فلمنج لاتجاه المجال المغناطيسي .	18.1
227	طاقة مستويات الهيدروجين .	22.1
238	النوكليونات .	23.1
240	عمر النصف لبعض العناصر. [15]	23.2
241	الماء الثقيل .	23.3
246	من أفضل خيارات الاندماج .	23.4
254	السرعة والزمن الدوري لقمر صناعي في مدار دائري .	24.1
267	أشكال تقاطع المستوي مع المخروط .	26.1
268	زاوية محصلة القوة أو أي كمية متجهة .	26.2

	د	ا
	الدفع, 52	اكسوسفير, 252
	درجة الحرارة, 72	الأغشية الرقيقة, 149
	دوبلر, 128	الإزاحة, 108
	ذ	الإزاحة الزاوية, 40
	الذرة, 154	الإلكترونات, 155
	ر	الاتزان, 46
	معيار ريليه, 151	الاتزان الحراري, 72
	ز	الاستضاءة, 126
	الزاوية الحرجة, 133	الاستقطاب, 127
	الزخم, 52	الانعكاس, 132
	الزمن الدوري, 108	الانكسار, 133
	س	القاتوود, 31
	الأشعة السينية, 232	السرعة الزاوية, 41
	السرعة, 27	ب
	السعة الحرارية, 73	البندول, 107
	ستراتوسفير, 252	باسكال, 89
	سرعة الضوء, 127, 132	برنولي, 94
	سرعة الموجة, 108	بويل, 86
	سعة الاهتزازة, 108	ت
	ش	التداخل, 148
	الشحنات, 154	التدفق الضوئي, 126
	الشغل, 60	التردد, 108
	شارل, 86	التسارع, 28
	شبه الموصلات, 155	التسارع الزاوي, 42
	شدة الإضاءة, 126	التصادم, 54
	شدة المجال الكهربائي, 162	التصادمات, 68
	ض	التطعيم, 196
	الضغط, 84	التمدد الحجمي, 98
	الضوء المترابط, 148	التمدد الطولي, 97
	ط	التوصيل على التوازي, 177
	الطاقة الحركية, 60, 66	التوصيل على التوالي, 176
	الطاقة الكهربائية, 171	تحت الصوتية, 120
	الطاقة المخزنة, 66	تروبوسفير, 252
	الطفو, 90	توتر سطحي, 92
	الطور, 108	ث
	الطول الموجي, 108	ثيرموسفير, 252
	طاقة الإلكترون, 226	ح
	طاقة الوضع السكونية, 67	الحرارة النوعية, 72
	طاقة الوضع المرورية, 67	حفظ الطاقة, 67
	طاقة وضع الجاذبية, 66	خ
	قوة الطفو, 90	الخلية الشمسية, 198
	ع	الخلية الكهروحرارية, 198
	العدسات المحدبة, 135	خاصية شعرية, 92
	العدسات المقعرة, 137	خطوط الانسياب, 95

تجربة يونج, 148

العزم, 44

ف

الفائدة الميكانيكية, 62

الفائدة الميكانيكية المثالية, 62

فوق الصوتية, 120

نموذج فيرمي, 237

ق

القانون العام للغازات, 87

القدرة, 61

القدرة الكهربائية, 169, 171

القرنية, 137

القوة الزاوية, 42

قانون الغاز المثالي, 87

قوة التلاصق, 92

قوة التماسك, 92

ك

الكفاءة, 62

كثافة, 84

كمية الحرارة, 72

ل

اللزوجة, 30, 96

الليزر, 229

م

المجال الكهربائي, 160

المجال المغناطيسي, 184

المرايا المحدبة, 141

المرايا المقعرة, 140

المطياف, 229

المقاومة الكهربائية, 169

المقاومة النوعية, 170

المقذوفات, 32

المنشور, 134

الموائع, 84

محزوز الحيود, 150

مركز الكتلة, 46

مصادر التيار الكهربائي, 168

معامل شدة الانعكاس, 121

مقاومة صوتية, 121

ميزوسفير, 252

ن

النابض, 104

قوانين نيوتن, 25

نصف العمر النشط, 240

ه

هوك, 104

و

الوصلة الثنائية, 197

وحدة الطاقة الذرية, 237

وحدة الكتلة الذرية, 237

وزن نوعي, 91

ي

المصطلحات

Bernoulli's Principle	مبدأ برنولي
Interference Fringes	أهداب التداخل
Semiconductors	اشباه الموصلات
X-ray	الأشعة السينية
Displacement	الإزاحة
Radiation	الإشعاع الحراري
Exosphere	الإكسوسفير
Thermal balance	الاتزان الحراري
Angular displacement	الإزاحة الزاوية
Polarization	الاستقطاب
Population inversion	الاسكان المعكوس
Nuclear Fusion	الاندماج النووي
Nuclear Fission	الانشطار النووي
Pulley	البكرة
Attraction	التجاذب
Streamline Flow	التدفق الأنسيابي
Turbulent Flow	التدفق المضطرب
Frequency	التردد
Mesosphere	التروبوسفير
Stratosphere	التروبوسفير
Troposphere	التروبوسفير
Acceleration	التسارع
Angular acceleration	التسارع الزاوي
Doping	التشويب أو التطعيم
Collision	التصادم
Elastic collision	التصادم المرن
Repulsion	التنافر

Parallel Circuit	التوازي
Series Circuit	التوالي
Surface Tension	التوتر السطحي
Conduction	التوصيل الحراري
Parallel Circuit	التوصيل على التوازي
Series Circuit	التوصيل على التوالي
Thermosphere	الثيرموسفير
Electromagnetic induction	الحث الكهرومغناطيسي
Mechanics	الحركة
Convection	الحمل الحراري
Capillary Action	الخاصية الشعرية
Photoelectric cell	الخلية الكهروضوئية
Impulse	الدفع
Dynamics	الديناميكا
Atom	الذرة
Critical Angle	الزاوية الحرجة
Momentum	الزخم
Time Periodic	الزمن الدوري
Speed	السرعة
Angular velocity	السرعة الزاوية
Work	الشغل
Pressure	الضغط
Atmospheric pressure	الضغط الجوي
Kinetic energy	الطاقة الحركية
Kinetic energy	الطاقة الحركية
Phase	الطور
Wavelength	الطول الموجي
spectrum Line	الطيف الخطي
spectrum Continuous	الطيف المستمر
Torque	العزم
Insulators	العوازل

Mechanical advantage الفائدة الميكانيكية

Ideal mechanical advantage الفائدة الميكانيكية المثالية

Magnetic flux الفيض المغناطيسي

Power القدرة

Cornea القرنية

Inertia القصور الذاتي

Centripetal Force القوة المركزية

Gaser القيزر

density الكثافة

Efficiency الكفاءة

Physical Quantity الكمية الفيزيائية

Viscosity اللزوجة

Laser الليزر

Spherical Mirrors المرايا الكروية

Convex Mirrors المرايا المحدبة

Plane Mirrors المرايا المستوية

Concave Mirrors المرايا المقعرة

Spectrometer المطياف

Acoustic Impedance المقاومة الصوتية

Projectile المقذوفات

Fluids الموائع

Hydrodynamics الموائع المتحركة

Electromagnetic Waves الموجات الكهرومغناطيسية

Mechanical waves الموجات الميكانيكية

InfraSound الموجات تحت الصوتية

UltraSound الموجات فوق الصوتية

Longitudinal Waves الموجة الطولية

Transverse Waves الموجة المستعرضة

Conductors الموصلات

Pulse النبضة

Special theory of relativity النظرية النسبية الخاصة

- specific gravity الوزن النوعي
- Medium الوسط
- pn junction الوصلة الثنائية
- Length Contraction انكماش الطول
- Grass Seeds بذور العشب
- Compton effect تأثير كومبتون
- cavity resonant External تجويف رنيني خارجي
- cavity resonant Internal تجويف رنيني داخلي
- Vortex Flow تدفق دوامي
- Lattice constant ثابت الشبكة البلورية
- Electric Dipoles ثنائي القطب الكهربائي
- Nuclear size حجم الذرة
- Single slit diffraction حيود الشق الأحادي
- Field Lines خطوط المجال
- Thermoelectric خلية كهروحرارية
- Temperature درجة الحرارة
- Reaction رد الفعل
- Atwood machine velocity سرعة آلة أتوود
- Amplitude سعة الموجة
- Semitransparent شبه منفذة
- Elastic potential energy طاقة الوضع المرنة
- Gravitational lensing عدسة الجاذبية
- Phonon فونون
- Trough قاع
- Crest قمة
- Eustachian Tube قناة استاكيوس
- Adhesion قوة التلاصق
- Cohesion قوة التماسك
- Buoyant Force قوة الطفو
- Fundamental and Derived كميات أساسية ومشتقة
- Thermal energy كمية الحرارة

Donor	مانح
Donor	مانحة
Pascal's Principle	مبدأ باسكال
Acceptor	متقبلة
Diffraction grating	محروز الحيود
Transmission	محولات الكهرياء
Vector Field Diagram	مخطط المجال المتجهي
Center of mass	مركز الكتلة
Acceptor	مستقبل
Sources of energy	مصادر الطاقة
Intensity reflection coefficient	معامل شدة الانعكاس
Drag Coefficient	مقاومة المائع
Radioactive Half-Life	نصف العمر النشط
Electron Energies	طاقة الالكترن
Nuclear Energies unit	وحدة الطاقة الذرية
Atomic masses uint	وحدة الكتلة الذرية

المصادر

- [1] .Grass Gis project with gpl licene
- [2] .siyavula images in github with creative 3 licene
- [3] .NATIONAL ACADEMIES PRESS .Solar Physics Decadal
- [4] unitednuclear.com.
- [5] فكرة الرسم من موقع وكالة ناسا.
- [6] موقع ويكيبيديا. مجاني ومفتوح المصدر.
- [7] .2007 NASA, .Courtesy of NASA
- [8] كتيب الفيزياء الدورانية - الفصل9. جامعة كلورادو, uccs, 2016.
- [9] .2010 ,Duke University Physics. Lee.
- [10] ocw.mit.edu. المشروع المفتوح لمعهد ماساتشوستس للتقنية.
- [11] Physics. College team. openstax
- [12] .2013 .Computational Physics With Python .Dr. Eric Ayars,California State University
- [13] wolfweb.unr.edu. موقع ذئب الانترنت. جامعة نيفادا.
- [14] نخبة من الأساتذة. مبادئ القيزياء. الدار الدولية للنشر والتوزيع, 1997.
- [15] علي سعيد-سهام الجاسم. أسس الكيمياء النووية.
- [16] عبد الرحمن فكري و محمد العدوي. النظرية النسبية.
- [17] مجلة علوم بالعربي. الثوريوم.
- [18] د. عويش حربي. أساسيات في الفيزياء العامة.
- [19] نوبل موريس. الالكترونيايات.
- [20] د. ابراهيم ناصر. النظرية النسبية.