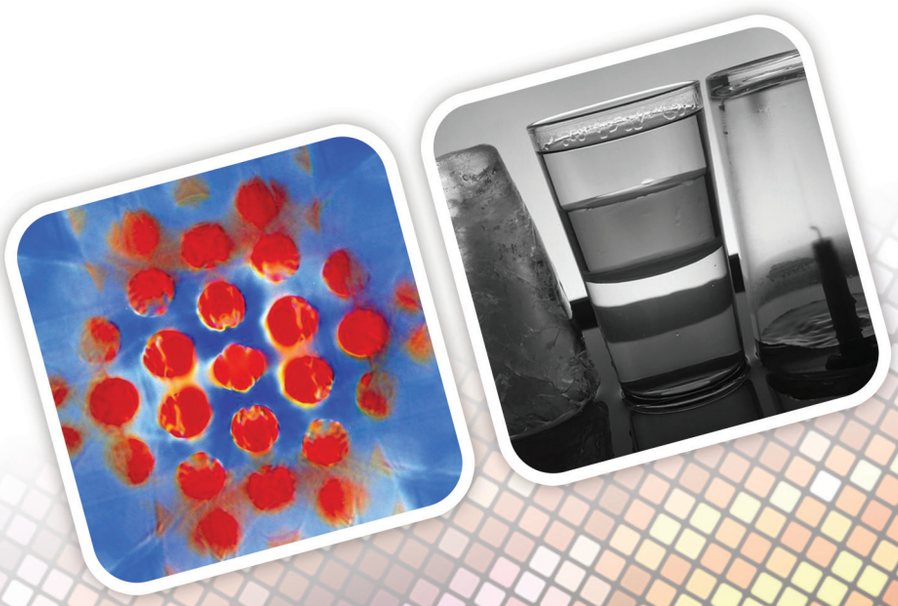
دولة قطر
وزارة التعليم والتعليم العالي

الفيزياء

للصف الثاني عشر المتقدم

الفصل الدراسي الثاني



النشيد الوطني

قَسَمًا بِمَنْ رَفَعَ السَّمَـاءْ	قَسَمًا بِمَنْ نَشَرَ الضِّيَـاءْ
قَطَرٌ سَتَبْقَـى حُـرَّةً	تَسْمُو بِرُوحِ الأَوْفِيَـاءْ
سِيـرُوا عَلَـى نَهْـجِ الأُلَـى	وَعَلَى ضِيَاءِ الأَنْبِيَـاءْ
قَطَـرٌ بِقَلْبِي سِيـرَةٌ عِـزٌّ	وَأَمْـجَادُ الإِبَاءْ
قَطَـرُ الرِّجَـالُ الأَوَّلِينَ	حُمَاتُنَا يَوْمَ النِّـدَاءْ
وَحَمَائِـمٌ يَوْمَ السَّلَامْ	جَوَارِحٌ يَوْمَ الْفِـدَاءْ

لون علم دولة قطر العنابي والأبيض ، وتفصل بين اللونين تسعة رؤوس.

الأبيض : هو رمز السلام الذي يسعى له حكام قطر وأبناؤها.

العنابي : يرمز إلى الدماء المتخثرة، وهي دماء الشهداء من أبناء قطر الذين خاضوا معارك كثيرة في سبيل وحدة دولة قطر وخاصة في النصف الأخيرمن القرن التاسع عشر.

الرؤوس التسعة : ترمز إلى أن دولة قطر هي العضو التاسع في الإمارات المتصالحة من دول الخليج العربية.

علم دولة قطر

رؤية قطر الوطنية 2030

تهدف رؤيـة قطر الوطنية 2030 التي تمت المصادقة عليها بموجب القرار الأميري رقم 44 لسنة 2008، إلى تحويل قطـر بحلـول عام 2030 إلى دولة متقدمة قادرة على تحقيق التنمية المستدامة وعلى تأمين استمرار العيش الكريم لشعبها جيلا بعد جيل. حيث تحدد الرؤية الوطنيـة لدولة قطـر النتـائج التي يسعى البلد لتحقيقها على المدى الطويـل كما أنها تـوفـر إطارا عاما لتطوير إستراتيجيات وطنية شاملة وخطط تنفيذها.

وتستشرف الرؤية الوطنية الآفاق التنموية من خلال الركائز الأربع المترابطة التالية :

التنمية البشرية	التنمية الاجتماعية	التنمية الاقتصادية	التنمية البيئية

الركيزة الأولى ـ التنمية البشرية
الغايات المستهدفة :

سكان متعلمون :

- نظام تعليمي يرقى إلى مستوى الأنظمة التعليمية العالمية المتميزة ويزود المواطنين بما يفي بحاجاتهم وحاجات المجتمع القطري، ويتضمن:
  - مناهج تعليم وبرامج تدريب تستجيب لحاجات سوق العمل الحالية والمستقبلية.
  - فرصا تعليمية وتدريبية عالية الجودة تتناسب مع طموحات وقدرات كل فرد.
  - برامج تعليم مستمر مدى الحياة متاحة للجميع.

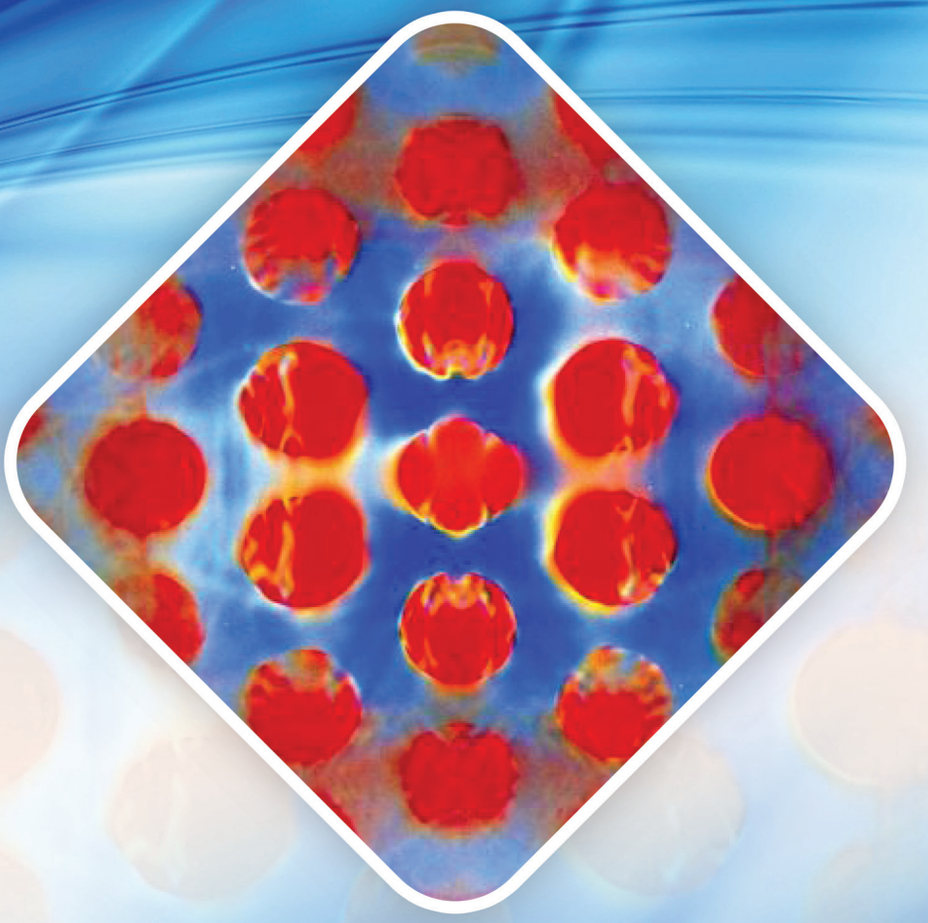
- شبكة وطنية للتعليم النظامي وغير النظامي تجهز الأطفال والشباب القطريين بالمهارات اللازمة والدافعية العالية للمساهمة في بناء مجتمعهم وتقدمه، تعمل على:
  - ترسيخ قيم وتقاليد المجتمع القطري والمحافظة على تراثه.
  - تشجيع النشء على الإبداع والابتكار وتنمية القدرات.
  - غرس روح الانتماء والمواطنة.
  - المشاركة في مجموعة واسعة من النشاطات الثقافية والرياضية

- مؤسسات تعليمية متطورة ومستقلة تدار بكفاءة وبشكل ذاتي ووفق إرشادات مركزية وتخضع لنظام المساءلة.
- نظام فعال لتمويل البحث العلمي يقوم على مبدأ الشراكة بين القطاعين العام والخاص بالتعاون مع الهيئات الدولية المختصة ومراكز البحوث العالمية المرموقة.
- دور فاعل دوليا في مجالات النشاط الثقافي والفكري والبحث العلمي.
- استقطاب التوليفة المرغوبة من العمالة الوافدة ورعاية حقوقها وتأمين سلامتها، والحفاظ على أصحاب المهارات المتميزة منها.

المحتويات

الوحدة الأولى: الفيزياء الكمية والنووية 12AP.6
الموجات والجسيمات
التأثير الكهروضوئي
الطبيعة المزدوجة للإلكترون
الأطياف الذرية
تفسير أطياف العناصر
الإلكترون
الطاقة والمادة
الوحدة الثانية : طبيعة المادة 12AP.2
قانون هوك
الإجهاد والانفعال
المواد المركبة
التوتر السطحي
تأثير برنولي
الغاز المثالي
قوانين الغازات
متوسط طاقة الحركة لجزئ الغاز

الوحدة الأولى



الفيزياء الكمية والنووية

Quantum and Nuclear Physics

12AP.6

الأهداف

- يقارن بين نموذج الجسيمات والأمواج.
- يفسر ويعرف الخلية الكهروضوئية ويربطها بالطبيعةِ المعيّنةِ للإشعاعِ الكهرومغناطيسيِ
- يعرف الكم وتكميم الإشعاع (أي تحويل الإشعاع إلى وحدات كم) والفوتون.
- يستخدم طاقة الفوتون.
- يصف الخلية الكهروضوئية.
- يمثل بيانياً فرق الجهد والتردد ويقوم بحساب ثابت بلانك من الرسم.
- يفسر تردد العتبة ودالة الشغل للفلزات.
- يحل مسائل على العلاقات التالية:

$$E = nhf = nhc/\lambda$$
$$E_k = eV$$
$$E_k = hf - \phi$$
$$\phi = hf_0 = hc/\lambda_0$$
$$p = \frac{hf}{c} = \frac{h}{\lambda}$$

المصطلحات الأساسية

كمة	Quantum
الظاهرة الكهروضوئية	Photoelectric effect
تردد العتبة	Threshold frequency
جهد الإيقاف	Stopping potential
فوتونات	Photons

الموجات والجسيمات

في نهاية القرن التاسع عشر كان علم الفيزياء قد تطور تطوراً عظيماً من الناحية النظرية. فمن جهة، كانت هناك قوانين نيوتن في علم الميكانيكا والتي استطاعت أن تحقق نجاحاً باهراً في تفسير حركات الأجسام ووصفها، ومن جهةٍ أخرى كانت هناك معادلات ماكسويل والتي تمثل الأساس النظري لعالَم الكهرباء والمغناطيسية. كان العلماء على قناعة تامة بأنّ النظرية الكونية الشاملة، والتي يفترض فيها أن تفسر كلّ ما يحدث أو يشاهد في كوننا، قد أصبحت بالفعل في متناول الأيدي، وأنّ مسألة كشف ما زال مجهولاً من حقائق إنّما هي مسألة زمن وأنّه سرعان ما ستتّضح وتنقشع غمامة الجهل بالتطبيق المناسب للأسس المعرفية المتمثلة آنذاك بميكانيكا نيوتن ومعادلات ماكسويل أو ما يسمّى بالفيزياء التقليدية.

نستعرض في هذا الدرس نموذجين هما الجسيمات والموجات ، وعليك أن تعرف عزيزي الطالب أن لكل نموذج حدود واستخدام وتطبيق ، وأحياناً تظهر مواقف علمية يتداخل فيها النموذجان.

نموذج الجسيمات

لتفسير خواص المواد المختلفة، كان من الطبيعي ربط تلك الخواص بالجسيمات التي تكون المادة وسلوكيات تلك الجسيمات، حيث نتخيل أن الجسيمات عبارة عن مواد جامدة لها كتلة وتتحرك تبعاً لقوانين ميكانيكا نيوتن.

عند اصطدام جسيمات مع بعضها البعض ، يمكننا التنبؤ بحركة كل جسيم منهما بعد الاصطدام.

فمثلاً يمكننا تصوير حركة جزيئات الغاز على أنها جسيمات صلبة ، تتحرك عشوائياً وتصطدم ببعضها البعض اصطداماً عشوائياً ومع جدار الإناء الحاوي لها.

نموذج الموجات

يتصور الفيزيائيون الموجات بصورة مثالية على أن شكلها يتطابق مع شكل منحنى الجيب. بالطبع الموجات أكثر تعقيداً ولكن هذا التصور يستخدم لتبسيط بعض الظواهر الموجية.

وبالرغم أن النموذج الجسيمي قادر على تفسير ظاهرتي الانكسار والانعكاس إلا أنه غير قادر على تفسير ظاهرتي التداخل والحيود وهنا يظهر أهمية النموذج الموجي.

كما درست سابقاً أن الضوء يسلك سلوك الموجات ولكن هل يسلك الضوء سلوك الجسيمات؟

الفوتونات

ازداد الفيزيائيون اقتناعاً بأن سلوك الضوء يكون مشابهاً لحركة تيار من الجسيمات بعد ظهور الظاهرة الكهروضوئية وتفسير اينشتاين لها. قبل الخوض في تلك الظاهرة بالتفصيل فإننا بحاجة ماسة لمعرفة كيفية حساب طاقة الفوتونات.

استخدم نيوتن كلمة جسيم في وصف طبيعة الضوء على أنه مكون من العديد منها. ولكن في وقتنا هذا نطلق عليها فوتونات وأن جميع الموجات

الكهرومغناطيسية تتألف من تلك الفوتونات. يعرف الفوتون على أنه كم الطاقة الكهرومغناطيسية.
بنى الباحث ألبرت أينشتاين حساباته في إيجاد العلاقة بين طاقة E الفوتون بالجول(J) وتردده (f) بالهرتز (Hz) على مجهودات العالم الألماني الفيزيائي ماكس بلانك، واستخدم العلاقة التي وضعها بلانك في تعيين طاقة الاشعاع الكهرومغناطيسي حيث سمى كمة الطاقة بالفوتون ، على الصورة:

$$E = hf$$

حيث (h) ثابت له قيمة عملية قدرها $(6.63 \times 10^{-34}\ \mathrm{J.s})$ ويسمى ذلك الثابت، بثابت بلانك ووحدته $(\mathrm{J.s})$.

وعند حساب طاقة أكثر من فوتون تصبح المعادلة على الصورة :

$$E = nhf$$

حيث (n) عدد الفوتونات.

من العلاقة السابقة يتضح أن طاقة الفوتون تتناسب مع تردد الموجة ، أي كلما ازداد تردد الموجة الكهرومغناطيسية كلما ازدادت طاقة الفوتون.
يرتبط كل من التردد (f) والطول الموجي (λ) للموجات الكهرومغناطيسية بسرعة الموجة (c) بالمعادلة :

$$c = \lambda f$$

وبالتعويض عن ذلك في معادلة أينشتاين نصل أن :

$$E = \frac{nhc}{\lambda}$$

من تلك المعادلة نلاحظ أن طاقة الفوتون تتناسب عكسياً مع الطول الموجي (λ) أي أن أشعة إكس ذات الطول الموجي القصير تكون ذات طاقة عالية عن تلك الموجات ذات الطول الموجي الطويل.

مثال

احسب الطاقة الفوتونية لضوء أحمر طوله الموجي $600\ nm$.

الحل

$$f = \frac{c}{\lambda} = \frac{3 \times 10^{8}}{6 \times 10^{-7}} = 5.0 \times 10^{14}\ Hz$$

$$E = nhf = 1 \times 6.63 \times 10^{-34} \times 5.0 \times 10^{14} = 3.32 \times 10^{-19}\ \mathrm{J}$$

مثال

كم عدد الفوتونات التي تنبعث في الثانية الواحدة بواسطة مؤشر ليزر قدرته $0.400\ mW$ إذا كان متوسط الطول الموجي الناتج بواسطة المؤشر هو $600\ nm$.

الحل

لما كانت قيمة $1\ W$ تساوي $1\ J/s$ ، أي أنه كل ثانية يطلق مؤشر الليزر طاقة قدرها $4.0 \times 10^{-4}\ J$.

إذن عدد الفوتونات المنطلقة في الثانية هي :

$$n = \frac{E\lambda}{hc} = \frac{4.0 \times 10^{-4} \times 6 \times 10^{-7}}{6.63 \times 10^{-34} \times 3.0 \times 10^{8}} = 1.21 \times 10^{15}$$

تدريب

كم عدد الفوتونات في الثانية الواحدة لضوء أزرق له طول موجي $400nm$ والتي يمكن أن تعطي قدرة مقدارها $10\ W$ ؟

الإلكترون فولت

يمتلك الفوتون طاقة قليلة أقل بكثير من واحد جول، وعليه فإن وحدة الجول تصبح غير مناسبة لقياس طاقة الفوتونات.

تستخدم وحدة الإلكترون فولت للتعبير عن الطاقات الصغيرة والتي تقل قيمتها عن الجول الواحد.

عندما يتحرك إلكترون عبر فرق جهد، فإن الطاقة تنتقل معه، فإذا كانت شحنة الإلكترون هي $1.6 \times 10^{-19}\ C$ ويتحرك خلال فرق جهد قدره واحد فولت ، فإن الشغل المبذول يعطى بالعلاقة:

$$W = QV = 1.6 \times 10^{-19} \times 1 = 1.6 \times 10^{-19}\ \text{J}$$

يمكننا استخدام العلاقة السابقة كأساس لتعريف الإلكترون فولت :

يعرف الإلكترون فولت على انه : **الشغل المبذول (الطاقة المنقولة) عندما يتحرك إلكترون داخل فرق جهد قدره واحد فولت.**

وعليه :

$$1\ eV = 1.6 \times 10^{-19}\ \text{J}$$

مثال

احسب الطاقة بالإلكترون فولت لفوتون أشعة إكس تردده $3.0 \times 10^{18}\ Hz$.

الحل

$$E = nhf = \frac{1 \times 6.63 \times 10^{-34} \times 3 \times 10^{18}}{1.6 \times 10^{-19}} = 1.2 \times 10^{4}\ eV$$

تدريب

احسب طاقة الفوتون لأشعة جاما ذات التردد $10^{26}\ Hz$ بوحدة الجول مرة وبوحدة الإلكترون فولت مرة أخرى.

تعيين ثابت بلانك

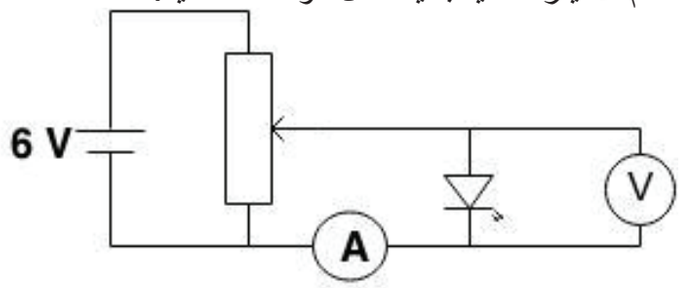
يمكننا تعيين قيمة تقريبية لثابت بلانك h وذلك باستخدام تجربة بسيطة.
يستخدم لذلك وصلات ثنائية باعثة للضوء (LED) ذي ألوان مختلفة.
الوصلة الثنائية الباعثة للون الأحمر تبعث ضوء ذو طاقة ضعيفة بينما الوصلة الثنائية الباعثة للون الأزرق تبعث ضوء ذو طاقة أعلى.
إن فكرة انتاج الفوتونات في الوصلة الثنائية هي أن الطاقة الكهربية التي يفقدها إلكترون عند مروره داخل الوصلة الثنائية تتحول لطاقة ضوئية على هيئة فوتون انبعاث ضوئي ، وبالتالي يمكننا كتابة المعادلة التالية :
الطاقة المفقودة (الشغل المبذول) بواسطة إلكترون = طاقة الفوتون

$$eV = \frac{hc}{\lambda}$$

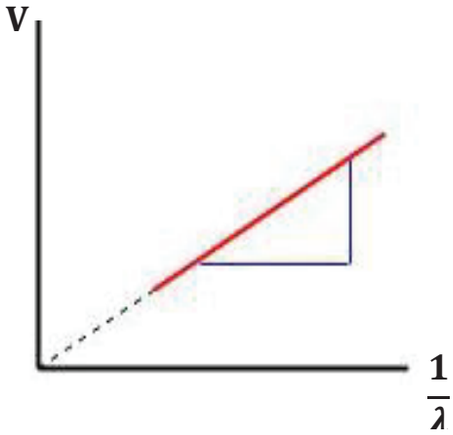
حيث V هي فرق جهد النهاية الصغرى (جهد العتبة) للوصلة الثنائية. وكل من قيمة c, e معرفة سابقاً. بقياس كل من فرق الجهد Vوالطول الموجي λ للضوء المنبعث يمكننا حساب ثابت بلانك h.
إذن لقياس ثابت بلانك فإننا نحتاج إلى :

- قيمة فرق الجهد V عبر الوصلة الثنائية عندما يبدأ التوصيل.
- الطول الموجي للضوء المنبعث من الوصلة الثنائية يمكن تعيينه باستخدام محزوز الحيود أو من الطول الموجي المكتوب بواسطة المصنع على الوصلة الثنائية.

وباستخدام وصلات ثنائية مختلفة ذات V, λ مختلفة يمكننا رسم العلاقة بين $V, \frac{1}{\lambda}$ بحيث يكون ميل الخط المستقيم هو $\frac{hc}{e}$ وبالتعويض عن القيم المعرفة سابقاً يمكننا حساب قيمة h .
الدائرة الكهربية التالية تستخدم لتعيين جهد العتبة لمجموعة الوصلات الثنائية ، ويستخدم الأميتر لتحديد بداية عمل الوصلة الثنائية.



عند رسم العلاقة البيانية بين جهد العتبة للوصلات وبين مقلوب الأطوال الموجية للضوء الصادر عن الوصلات يمكن الحصول على ميل الخط المستقيم الناتج والذي يستخدم للحصول على ثابت بلانك.



$$slope = \frac{hc}{e}$$

تدريب

لتعيين ثابت بلانك تم استخدام أكثر من وصلة ثنائية ذي أطوال موجية مختلفة. بالتجربة تم تعيين كل من V, λ لجميع الوصلات المستخدمة. سجلت النتائج كما هو مبين بالجدول التالي :

لون الوصلة	الطول الموجي $(10^{-9}\ m)$	جهد العتبة (V)
أشعة تحت حمراء	910	1.35
أحمر	670	1.70
أصفر	610	2.00
أخضر	560	2.30

احسب القيمة العملية لثابت بلانك.

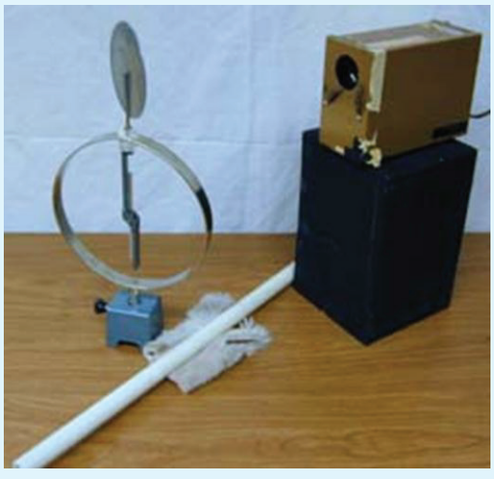
نشاط

الهدف : أن يفسر الطالب ظاهرة التأثير الكهروضوئي

الأدوات

كشاف كهربي (إلكتروسكوب) – ساق إبونيت – قطعة صوف جافة – مصباح زئبق – لوح خارصين نظيف – لوح زجاجي.

الخطوات



- قم بتثبيت لوح خارصين نظيف أعلى كشاف كهربي ثم قم بشحن الكشاف بشحنة سالبة (عن طريق ملامسة لوح الخارصين بساق إبونيت مدلوكة بقطعة من الصوف) حتى تنفرج الورقتان الذهبيتان.
- أسقط شعاعاً كهرومغناطيسياً من مصباح زئبق على لوح الخارصين ، ماذا تلاحظ ؟ ما تفسيرك؟
- ضع اللوح الزجاجي بين مصدر الضوء ولوح الخارصين .. ماذا تلاحظ؟

.....

- أعد التجربة باستخدام مصباح عادي وضاء .. ماذا تلاحظ؟

.....

- الاستنتاج ..

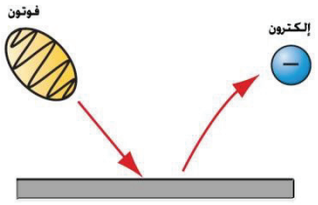
.....

التأثير الكهروضوئي
The Photoelectric effect

12A.30.2

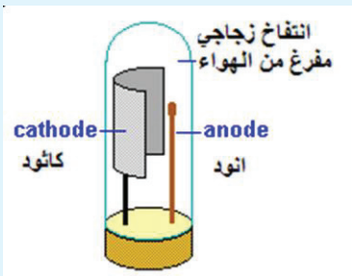
إن انتزاع الإلكترونات من سطح المعدن تحتاج طاقة محددة ، يتم الحصول على هذا القدر المحدد من الطاقة من ضوء له تردد معين ، هذا التردد يطلق عليه **التردد العتبي** ويعتمد هذا التردد على نوع المعدن المستخدم.
التـردد العتبـي : قيمـة التـردد الصـغرى للضـوء السـاقط الـلازم لانتـزاع إلكترونات من سطح المعدن.

واجه الفيزيائيون صعوبة في تفسير انتزاع إلكترونات من سطح المعدن إذا سقطت عليه أشعة فوق بنفسجية خافته، بينما لا يتم انتزاع إلكترونات من نفس السطح إذا سقط عليه ضوء مرئي قوي ووضاء. لتفسير ذلك تخيل الفيزيائيون أن الأشعة الضوئية تنتشر على سطح المعدن عند وصولها إليه ولم يستطيعوا تفسير أن الأشعة فوق البنفسجية الضعيفة تكون أكثر تأثيراً من الضوء المرئي القوي. يمتلك عنصر الزنك إلكترونات لا ترتبط ارتباطاً قوياً بالمعدن يطلق عليها إلكترونات التكافؤ (التوصيل) وهي ذات حركة حرة داخل المعدن ، فعند سقوط فوتونات الأشعة الكهرومغناطيسية على سطح المعدن فإن بعض تلك الإلكترونات تنطلق حرة تاركة سطح المعدن حيث تحتاج تلك الإلكترونات قليلاً من الطاقة (حوالي 10^{-19} J) للهروب من سطح المعدن.
وتعرف الظاهرة الكهروضوئية على أنها : ظاهرة تحرر وانطلاق الإلكترونات من سطح فلز ما نتيجة سقوط ضوء ذو تردد مناسب عليه .



عندما يصطدم فوتون بلوح معدني فاحتمال انتزاع إلكترون من سطح المعدن وارد إذا امتلك الفوتون طاقة كافية لذلك.

اقترح أينشتاين أن فوتونات الأشعة الكهرومغناطيسية الساقطة على المعدن تمكنها من إعطاء طاقتها للإلكترونات الحرة لتستطيع الهروب من سطح المعدن، ويشترط ألا تقل طاقة الفوتون عن قيمة صغرى من الطاقة تسمى بدالة الشغل.
يرمز لدالة الشغل بالرمز (Ø) وتعرف بأنها **كمية الطاقة الصغرى التي يحتاجها إلكترون المعدن ليهرب من السطح.**
استطاع أينشتاين بذلك تفسير معنى التردد العتبي وأوضح أنه إذا كانت فوتونات الضوء تمتلك طاقة أقل من Ø فإنها لا تستطيع نزع إلكترونات المعدن من السطح ، وعلى العكس إذا كانت طاقة الفوتون أكبر من Ø فإن الإلكترونات تكتسب طاقة الفوتون بحيث تستنفذ جزء من تلك الطاقة في الهروب من سطح المعدن والمتبقي تكتسب به طاقة حركة.
يمكن صياغة ما سبق في معادلة أينشتاين للتأثير الضوئي ، كالتالي:
طاقة الفوتون = دالة الشغل + الطاقة العظمى لحركة الإلكترون.



تركيب الخلية الكهروضوئية :
1- **انتفـاخ مـن الزجـاج** (أو الكوارتز) لكي يسمح بمرور الإشعاع إلى الخلية ، وهذا الانتفاخ مفرغ من الهواء لمنع تصادم الإلكترونات مع جزيئات الهواء وضمان عدم إعاقتها.
2- **كاثود** : وهو صفيحة معدنية مقعرة يطلى سطحها الداخلي بطبقة رقيقة من عنصر السيزيوم (أو أي فلز آخر مناسب يتأثر بالضوء المرئي تنطلق منه الإلكترونات بشكل أسهل من غيره من الفلزات).
3- **آنود :** يصمم من سلك معدني أو ملف رفيع لكي لا يحجب الأشعة الساقطة على الكاثود، كما يقوم الآنود بتجميع الإلكترونات الضوئية المنبعثة من الكاثود بسبب جهده.
4- **القاعدة العازلة** : وهي لتثبيت عناصر الخلية ، يخرج منها مسماري التوصيل الكهربائي لكل من الكاثود والآنود.

- لاحظ أن الإلكترونات تصل من الكاثود إلى الآنود قفزاً عبر الفراغ بينهما.

12A.30.2

$$E = hf = \emptyset + E_{kmax}$$

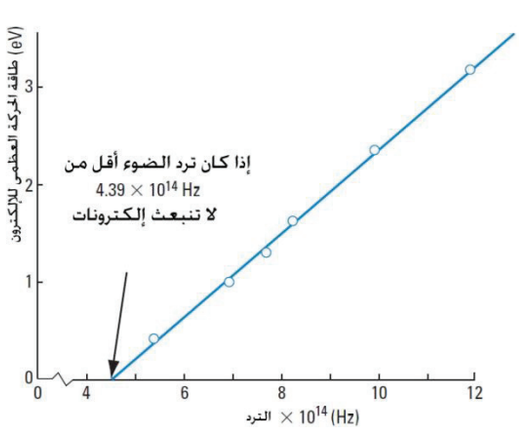
وتبعاً لتلك المعادلة فإذا كان الضوء الساقط له طاقة أقل من دالة الشغل فإن الإلكترون لن يستطيع الهروب من قوى التجاذب التي تربطه بسطح المعدن وسوف تظهر تلك الطاقة المكتسبة على هيئة طاقة حركة للإلكترون داخل المعدن ومن ثم يبدأ المعدن في ارتفاع درجة حرارته وهو ما يفسر ارتفاع درجة حرارة لوح معدني عندما يتواجد بجوار مصباح ضوئي.
تمتلك المعادن المختلفة دالة شغل مختلفة ، فالمعادن القلوية مثل الصوديوم والبوتاسيوم والراديوم لها تردد عتبي يقع في مجال الضوء المرئي لطيف الأشعة الكهرومغناطيسية. أما إلكترونات التوصيل في حالة معدن الزنك فإنها أكثر ارتباطاً بالمعدن من المعادن القلوية وعليه فإن التردد العتبي للزنك يقع في منطقة الأشعة فوق البنفسجية للطيف الكهرومغناطيسي.

تدريب

تسقط فوتونات بطاقات مختلفة قدرها (1.0 eV, 2.0 eV, 3.0 eV) على سطح معدن دالة شغله (1.8 eV) :

- أذكر أياً من تلك الفوتونات يستطيع نزع إلكترون من المعدن.
- احسب النهاية العظمى للطاقة الحركية للإلكترونات المنتزعة من سطح المعدن ، أعط إجابتك بوحدة الجول مرة ووحدة الإلكترون فولت مرة أخرى.

كذلك من الجهود الناجحة في تفسير الظاهرة الكهروضوئية ، تجربة العالم الأمريكي روبرت ميليكان والتي أجراها في عام 1916 .
الشكل البياني التالي يوضح نتائج تجربة ميليكان التي توضح العلاقة بين طاقة الحركة للإلكترون وتردد الضوء الساقط. عندما يكون تردد الضوء أقل من تردد العتبة ، لا تنبعث إلكترونات بينما يبدأ انبعاث الإلكترونات إذا كانت طاقة الضوء تساوي تردد العتبة إلا أن قيمة طاقة حركتها تكون صفرية وعندها يتقاطع الخط البياني مع المحور (x) كما بالشكل التالي:



الإلكترونات الضوئية

هي الإلكترونات التي تتحرر وتنبعث من سطح الفلز نتيجة سقوط ضوء ذو تردد مناسب عليه.

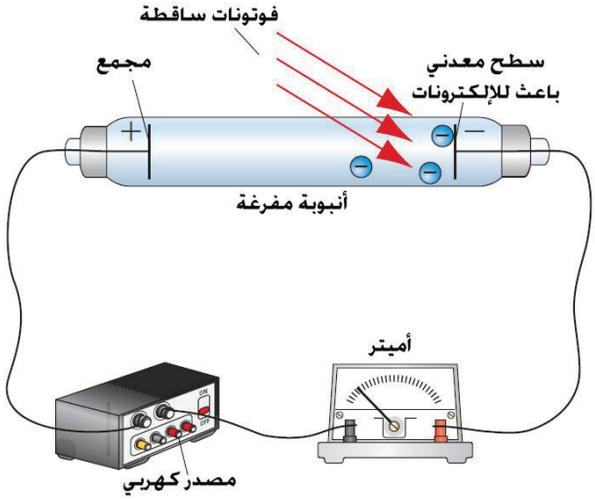
دالة الشغل لبعض الفلزات:

المعدن	دالة الشغل (eV)
سيزيوم	1.9
كالسيوم	2.7
ذهب	4.9
بوتاسيوم	2.0
زنك	4.3

وبمجرد أن يزيد تردد الضوء الساقط عن تردد العتبة تبدأ ظاهرة انبعاث الفوتونات ثم تبدأ زيادة طاقة حركة الإلكترونات المنبعثة مع زيادة تردد الضوء بشكل مضطرد.
وبناء على ما سبق وضع العلماء مبدأين هامين للانبعاث الكهروضوئي:

1- تنبعث الإلكترونات من سطح الفلز بسرعات (طاقات) مختلفة لا تعتمد على شدة الضوء الساقط بل على تردده.
2- تتناسب شدة الإضاءة طردياً مع قيمة التيار الناشئ عن الإلكترونات الضوئية وذلك عندما يكون تردد الضوء الساقط أعلى من تردد العتبة.

الشكل الموضح يمثل شكل مبسط للجهاز الذي استخدمه ميليكان في تعيين طاقة الحركة العظمى لإلكترونات منبعثة من سطح معدن ، ويتكون من أنبوبة مفرغة تحتوي على سطح معدني كمصدر للإلكترونات وقرص معدني يسمى " المجمع ".



يزود المصدر الكهربي المجمع بشحنة موجبة ويقوم الأميتر بتسجيل أي تيار كهربي بمجرد أن يصل تردد الفوتونات إلى تردد العتبة. إن انبعاث أي إلكترون من سطح المعدن يتم جذبه بواسطة المجمع فتمر الشحنات في الجهاز مكونة تياراً كهربياً.

فكر:

هل يمكن أن ينشأ تياراً كهربياً في حال عدم تزويد المجمع بشحنة حتى وإن زاد تردد الفوتونات الساقطة عن تردد العتبة؟

الآن ماذا لو تم تزويد المجمع بشحنات سالبة؟

بالطبع ستعاني الإلكترونات الصادرة من السطح المعدني من قوة كهربية توجهها بعيداً عن المجمع ولن تصل الإلكترونات إلى المجمع إلا أن تكون طاقتها الحركية كافية لذلك.

إذا زادت قيمة الشحنة السالبة على المجمع فإنه في نهاية الأمر لن يصل أي إلكترونات إليه وعندها ستكون قيمة التيار الذي يسجله الأميتر هي صفر وتكون قيمة فرق الجهد مساوية لجهد الإيقاف ($V_\circ$) وفي هذه الحالة يمكن التعبير عن جهد الإيقاف من العلاقة:

$$E_{k\,max} = qV_\circ$$

والتي تبين أن طاقة الحركة لأسرع الإلكترونات المحررة تساوي الشغل المبذول من القوة الكهربية لإيقافهم.

جهد الإيقاف : هو أقل جهد عكسي يكفي لإيقاف أسرع الإلكترونات الضوئية بحيث يمنع وصولها للمجمع.

مثال

يسقط ضوء أزرق اللون على سطح معدن فيسبب انبعاث الإلكترونات ، فإذا كان الجهد اللازم لمنع الإلكترونات من الوصول نهائياً للمجمع يساوي 2.6 V. احسب طاقة الحركة العظمى للإلكترونات.

الحل

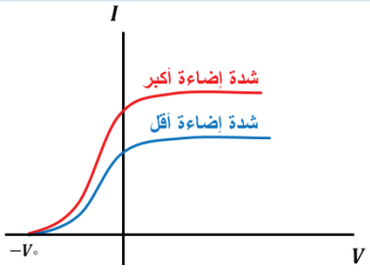
$$E_{max} = qV_\circ = 1.6 \times 10^{-19} \times 2.6 = 4.2 \times 10^{-19}\ \text{J}$$

تدريب

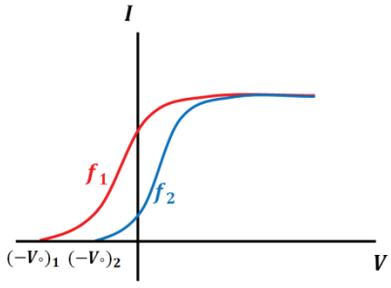
ما مقدار جهد الإيقاف اللازم لإيقاف إلكترونات بطاقة 5.3×10^{-19} J ؟

تدريب

في ضوء ما تعلمته مسبقاً ، أكتب نبذة مختصرة تشرح المخططات البيانية التالية:



.....


I
f_1
f_2
$(-V_0)_1$ $(-V_0)_2$
V

.....

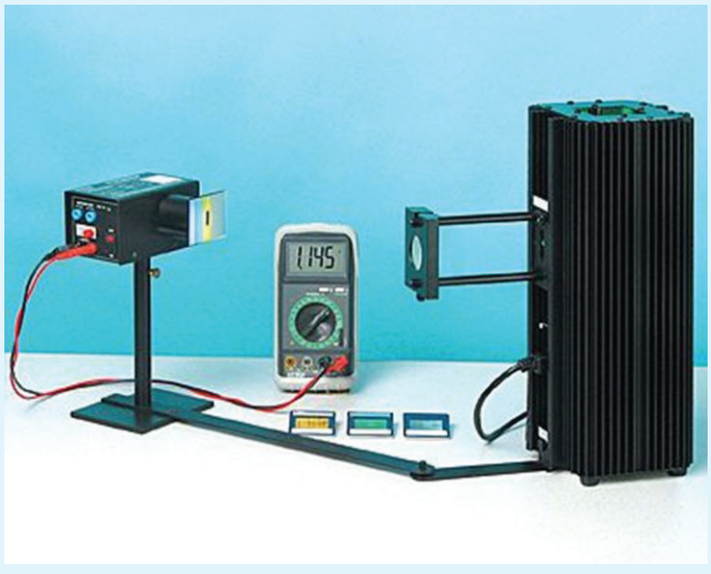
نشاط

الهدف : حساب جهد الإيقاف وطاقة الحركة العظمى للإلكترونات لاستنتاج قيمة ثابت بلانك.

الأدوات:

جهاز الظاهرة الكهروضوئية الموضح بالشكل.

والتالي شكل الجهاز بعد التركيب



نشاط

الهدف : حساب جهد الإيقاف وطاقة الحركة العظمى للإلكترونات لاستنتاج قيمة ثابت بلانك.

خطوات العمل

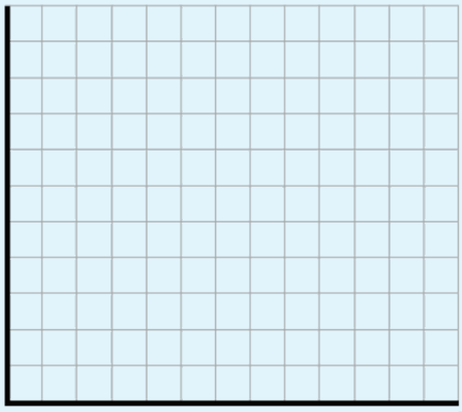
1- قم بتشغيل لمبة الزئبق وتركها لمدة 5 دقائق قبل أخذ أي قراءات.
2- تأكد من تثبيت حساس الضوء بحيث يمر الضوء خلال الشق تماماً.
3- تأكد من عمل البطارية (9.0 V) بواسطة الفولتميتر بحيث تكون قراءتها دائماً قيمتها الفعلية.
4- تأكد من استخدام سلك التأريض خلال عملية القياس حيث أن الجهاز حساس للشحنات الكهروستاتيكية.
5- اختر الطيف واستخدم المرشح الضوئي الذي يعطي الشدة المناسبة.
6- قم بتسجيل جهد الإيقاف في الجدول بالأسفل.
7- أعد الخطوات مع الأطياف الأخر وسجل جهد الإيقاف في كل حالة (لا تستخدم اللون الأحمر في التجربة حيث أنه يكون مختلط بأطياف أخرى) ثم احسب طاقة الحركة العظمى في كل حالة. ..... ماذا تلاحظ؟

.....

الطيف	التردد	جهد الإيقاف	طاقة الحركة العظمى

8- استخدم الشبكة البيانية بالأسفل لرسم العلاقة بين جهد الإيقاف وتردد اللون الطيفي (مرفق في دليل استخدام الجهاز).
9- باستخدام الخط البياني الناتج عين كلاً من ..
   - تردد العتبة للمعدن.
   - دالة الشغل للمعدن.

V_o(V)



f ($\times 10^{\cdots}$ Hz)

كمية الحركة للفوتون: p

بما أن الظاهرة الكهروضوئية تعتبر أن الفوتون عديم الكتلة ولكنه يمتلك طاقة كطاقة الحركة للجسيمات، ففي عام 1916م توقع اينشتين أن للفوتون صفة جسيمية هي كمية الحركة، حيث اعتبر أن كمية الحركة للفوتون تعطى بالعلاقة:

$$p = \frac{hf}{c} = \frac{h}{\lambda}$$

حيث تعبر هذه المعادلة عن الخاصية الثنائية للإشعاع، أي أنه موجات تمتلك صفة الجسيمات.

مثال: احسب كمية الحركة لفوتون طول موجته ($\lambda = 4.2$ nm).

$$p = \frac{h}{\lambda}$$
$$p = \frac{6.63 \times 10^{-34}}{4.2 \times 10^{-9}}$$
$$p = 1.58 \times 10^{-25} \text{ J.s/m (or kg.m/s)}$$

مثال: احسب كمية الحركة لفوتون تردده ($f = 5 \times 10^{14}$ Hz).

$$p = \frac{hf}{c}$$
$$p = \frac{6.63 \times 10^{-34} \times 5 \times 10^{14}}{3 \times 10^{8}}$$
$$p = 1.1 \times 10^{-27} \text{ J.s/m}$$

12A.30.5

الأهداف

- يفسر تجربة حيود الإلكترونات.
- يذكر فرضية د ي برولي.
- يفسر ازدواجية الإشعاع والمادة.
- يحل مسائل على العلاقات التالية:

$$\lambda = \frac{h}{p} = \frac{h}{mv}$$

$$v = \sqrt{\frac{2qV}{m}}$$

المصطلحات الأساسية

حيود الإلكترونات
Electron diffraction
الطبيعة المزدوجة (الجسيم-الموجة)
Wave-particle duality
طول الموجة Wavelength
كمية الحركة Momentum
الأشعة السينية X-rays

الطبيعة المزدوجة للإلكترون
Wave-particle duality for electron

هل طبيعة الضوء – موجات أم جسيمات؟

بات من الواضح أنه لتفسير الظاهرة الكهرومغناطيسية وتأثيرها الكهروضوئي وكذلك تفسير خطوط الطيف لابد من استخدام فكرة الضوء (وجميع الموجات الكهرومغناطيسية) كجسيمات.

ولكن لتفسير ظواهر الحيود والتداخل والاستقطاب للضوء سوف نقوم باستخدام نموذج الموجات.

الموجات الإلكترونية

إذاً اتفق العلماء أن للضوء طبيعة مزدوجة ، ولكن بنفس الكيفية هل هناك ما يمنع أن يمتلك الإلكترون أيضاً طبيعة مزدوجة؟

قام العالم الفيزيائي لويس دي برولي بالإجابة على هذا السؤال عام 1924 حيث تصور دي برولي انتشار الإلكترونات في الفراغ كالموجات، حيث افترض أن الطبيعة الموجية لجسيم مثل الإلكترون يمكن وصفها بواسطة الطول الموجي (λ) والذي تربطه علاقة مع كمية التحرك (p) على الصورة :

$$\lambda = \frac{h}{p}$$

ويسمى الطول الموجي هذا باسم الطول الموجي لدي برولي ، والموجة المصاحبة للإلكترون يطلق عليها الموجة الجسيمية.

وحيث أن كمية التحرك هي حاصل ضرب كتلة الجسيم (m) وسرعته (v) ، إذن يكون الطول الموجي لدي برولي هو :

$$\lambda = \frac{h}{mv}$$

ثابت بلانك (h) هو نفس الثابت الذي ظهر في المعادلة $(E = hf)$ لطاقة الفوتون ، لذا من المذهل حقاً ارتباط ثابت بلانك بكل من الطبيعة الجسيمية والطبيعة الموجية (لكل من الإلكترونات والفوتونات).

مثال

ما هو طول الموجة المصاحبة لإلكترون يتحرك بسرعة $(10^6\ m/s)$ ؟

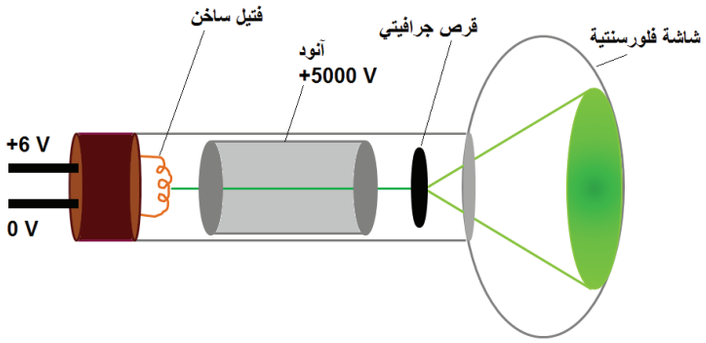
الحل

$$\lambda = \frac{h}{mv} = \frac{6.63 \times 10^{-34}}{9.1 \times 10^{-31} \times 10^6} = 7.28 \times 10^{-10}\ m$$

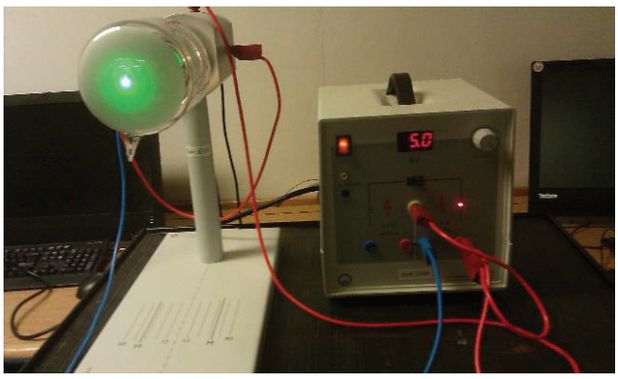
تم تأكيد الطبيعة المزدوجة للإلكترونات عام 1927 حيث أثبت العلماء أن الإلكترونات يحدث لها ظاهرة حيود باستخدام بلورة أحادية من النيكل.
وفي تجربة أخرى قام الباحث جورج تومسون بإطلاق الإلكترونات على شريحة رقيقة من المعدن في جو مفرغ ، حيث اتضح له حيود الإلكترونات داخل ذرات المعدن المستخدم.

حيود الإلكترونات

يمكن مشاهدة حيود الإلكترونات باستخدام أنبوب حيود الإلكترونات وذلك عندما يمر شعاع إلكتروني عبر قرص رقيق من الجرافيت موضوعاً داخل أنبوبة مفرغة.



حيث تبدأ رحلة الإلكترونات من الفتيل الساخن حيث يتم تسريعها لسرعات عالية باستخدام فرق جهد كبير بين كل من الكاثود (الفتيل الساخن) والآنود (القطب الموجب) حيث يمر شعاع من الإلكترونات عبر عينة رقيقة من الجرافيت المصنع من بلورات متناهية في الصغر كل منها يتكون من عدد كبير من ذرات الكربون تنتظم في طبقات ذرية متجانسة.
يخرج شعاع الإلكترونات من رقائق الجرافيت محدثاً حيوداً على هيئة حلقات مشابهاً في ذلك ما يحدثه الضوء عند مروره عبر فتحة دائرية صغيرة.



بالطبع لا يمكننا تفسير ظهور مثل تلك الحلقات إذا اعتبرنا أن الإلكترونات تسلك سلوك الجسيمات فقط ، إذ يمكننا تفسير ظهور الحلقات على أن الإلكترونات عبرت رقائق الجرافيت مثل الموجات حيث تم حدوث حيود لها بواسطة ذرات الكربون والمسافات البينية فيما بينها حيث تعتبر المسافات البينية بين ذرات الكربون كما أنها محزوز حيود متعدد الشقوق.

لويس دي برولي
Louis Victor de Broglie

(1892 -1987). فيزيائي فرنسي حصل على جائزة نوبل في الفيزياء عام 1929. من انجازاته:
- ساهم في نظرية الكم.
- صاحب الافتراض ازدواجية جسيم -موجة للإلكترون.
- ومن ضمن تطبيقات افتراض دي برولي هو اختراع المجهر الإلكتروني.

فرضيّة دو برولّي

فرضيّة دو برولّي قدّمت تفسيراً علميّاً لبعض مسلّمات نظرية بور. فبور لم يقدّم أيّ تفسير لماذا يجب أن تكون كمية الحركة الزاوية من مضاعفات $h/2\pi$، ولماذا تكون الإلكترونات في مدارات محدّدة، كما أنّه لم يقدّم تفسيراً حقيقيّاً لماذا لا تُصدر الإلكترونات أشعّةً كهرومغناطيسيّة عند دورانها حول النواة.

لاحظ أن الإلكترون يظهر حيوداً لأن الطول الموجي لدي برولي يكون مماثلاً للمسافة البينية بين ذرات الكربون.
ماذا يحدث عند زيادة قيمة فرق الجهد بين الكاثود والآنود ؟
ترتبط سرعة الإلكترونات في أنبوبة الحيود بفرق الجهد بين الكاثود والآنود وتتحدد تلك العلاقة من المعادلة:

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

وبالتالي فإنه بزيادة فرق الجهد بين الكاثود والآنود تزداد طاقة حركة الإلكترونات وتزداد سرعتها ومن ثم يتناقص الطول الموجي فتنكمش الحلقات طبقاً للمعادلة :

$$\lambda = 2dsin\theta$$

حيث (θ) هي زاوية الحيود ، (d) تعبر عن المسافة بين الذرات للجرافيت.

ملحوظة : يمكن استخدام معادلة طاقة الحركة للإلكترونات مع أي نوع من أنواع الجسيمات المشحونة (بروتونات – أيونات).

تدريب موسع

تم تعجيل شعاع إلكتروني من السكوني داخل فرق جهد قدره 1.0KV .

- **ما هي طاقة كل إلكترون (eV) داخل الشعاع الإلكتروني.**
- **احسب سرعة الإلكترونات وكذلك كمية تحركها.**
- **احسب الطول الموجي لدي برولي لكل إلكترون.**
- **هل تتوقع حيود هذا الشعاع الإلكتروني إذا عبر من خلال شريحة معدنية رقيقة المسافة البينية بين ذراتها تبلغ $0.25 \times 10^{-9}\ m$.**

الموجات المصاحبة للأجسام الكبيرة

يمكننا تطبيق معادلة دي برولي على أي شيء له كتله ، مما يعني أنه يمكننا من تطبيقها على كرات الجولف والإنسان.
نفترض أن كتلة شخص ما $65.0\ kg$ يجري بسرعة قدرها $3.0\ m/s$ عبر فتحة عرضها $0.80\ m$ فطبقاً لقانون دي براولي ، فإن الطول الموجي لهذا الشخص هو :

$$\lambda = \frac{h}{mv} = \frac{6.63 \times 10^{-34}}{65 \times 3} = 3.4 \times 10^{-36}\ m$$

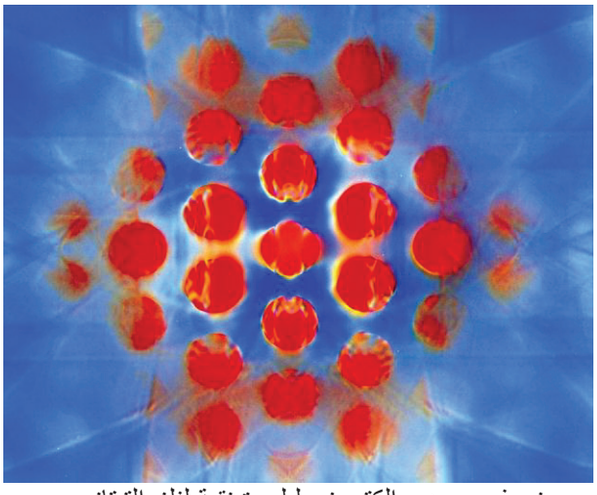
هذا الطول الموجي صغير جداً إذا ما قورن بعرض الفتحة ، وبالتالي لا يحدث حيود للشخص عند مروره منها.

إن الناس لا يحدث لهم حيود عند مرورهم من الفتحات المعتادة يومياً إذ أن الطول الموجي لدي برولي لهذا الشخص دائماً وأبداً يكون أصغر كثيراً من أي فتحة يعبرها ، ولهذا السبب لا نستخدم النموذج الموجي لدراسة سلوك الناس ولكن نحصل على نتائج أكثر واقعية للبشر عند دراسة سلوكهم بالنموذج الجسيمي باعتبارهم أجساماً كبيرة.

سبر المادة

في ضوء ظاهرة حيود الجسيمات تمكن الإنسان من سبر أسرار المواد التي ظلت خفية لقرون متعاقبة والتحقق من تركيبها الداخلي ، فمثلاً تستخدم ظاهرة حيود النيترونات الحرارية (طولها الموجي $10^{-10}\ m$) في المفاعلات النووية لدراسة ترتيب الذرات داخل المعادن والمواد الأخرى ، أما حيود الإلكترونات فيستخدم للكشف عن تركيب الجزيئات المعقدة مثل حمض **DNA**.

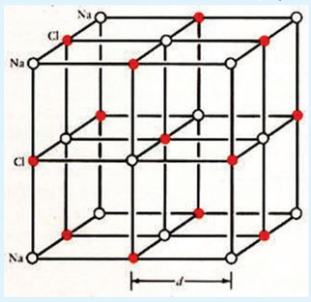
كذلك يمكن تعجيل الإلكترونات لتكتسب سرعة تجعل طولها الموجي مثالياً في تعيين نصف قطر نواة الذرة حيث أن الإلكترونات المعجلة تمتلك طولاً موجياً قصيراً في المدى $10^{-15}\ m$ ويكون ذلك الطول الموجي قريباً في قيمته من قطر نواة الذرة.



نموذج حيودي إلكتروني لبلورة نقية لفلز التيتانيوم.

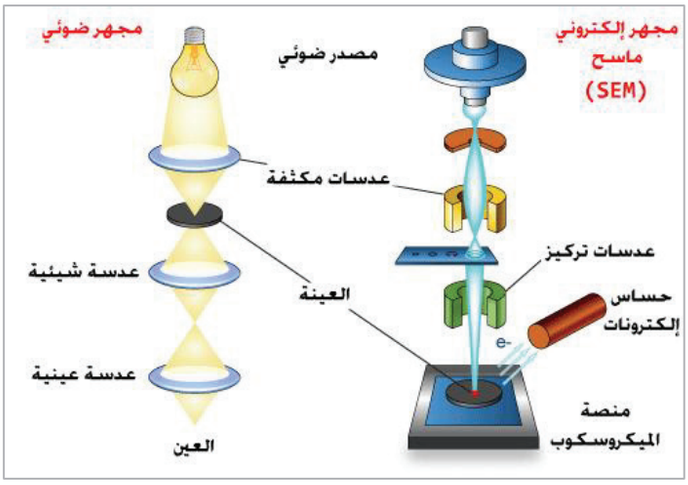
حيود الإلكترونات
(Electron Diffraction)

هو انكسار منظم لموجات الإلكترونات عند تخللها البلورات. وينشأ عن ذلك الانكسار أن شعاع الإلكترونات الساقط يتشتت بعد الخروج منها معطياً توزيعاً منتظماً يدل على البناء البلوري (المنتظم) للمادة الصلبة. وقد يكون البناء البلوري مكعباً كما في الحديد والنحاس والذهب والفضة، أو سداسي التركيب كما في الجرافيت. ويستخدم حيود الإلكترونات لغرض تعيين توزيع الذرات في المادة الصلبة.



المجهر الإلكتروني

إن فكرة الطبيعة المزدوجة للجسيمات ليست فكرة مجردة بعيدة عن التطبيق العملي ، لقد استفاد العلماء من الطبيعة الموجية للإلكترون في بناء مجهر قادر على التكبير بقوة هائلة.



مقارنة بين المجهر الضوئي والمجهر الإلكتروني الماسح

تعتمد قوة التكبير الهائلة في المجهر الإلكتروني على الطول الموجي المتناهي في الصغر للإلكترون ، حيث يستخدم في المجهر الإلكتروني النافذ (*transmission electron microscope (TEM)*) مجموعة من المغانط (العدسات المغناطيسية) التي تقوم بتركيز شعاع إلكتروني وتمرره خلال شريحة رقيقة من العينة المراد تصويرها.

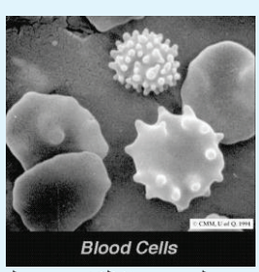
إن المجاهر الإلكترونية الحديثة قادرة على التكبير لدرجة فائقة تصل إلى القدرة على تصوير الذرات. في المجهر الإلكتروني الماسح *scanning electron microscope(SEM))* والذي يشبه المجهر الإلكتروني النافذ ، يعتمد على تقنية انعكاس الإلكترونات على العينة المراد تصويرها مما يوفر صور ثلاثية الأبعاد.

صورة ثلاثية الأبعاد لرأس نملة مأخوذة بواسطة مجهر ماسح.

المجهر الإلكتروني

نظراً لأن الإلكترونات لها طول موجة أقصر نحو (100,000) مرة من طول موجة الضوء العادي ففي استطاعتنا رؤية أشياء أصغر بكثير من خلال المجهر الإلكتروني عما نراه من خلال المجهر العادي. وتبلغ تكبير المجهر الإلكتروني نحو (2,000,000) مرة بينما يبلغ أقصى تكبير للمجهر الضوئي نحو (2,000) مرة فقط. لكن من سلبياته أنه لا يمكن استخدامه لمشاهدة العينات وهي حية.

المجهر الإلكتروني



صورة بالمجهر الإلكتروني لخلايا الدم

12A.30.1

الأهداف

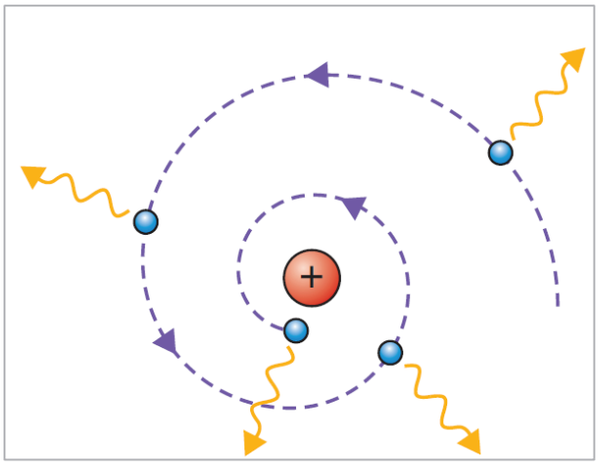
- يقارن بين طيف الانبعاث وطيف الامتصاص.
- يفسر الفروق بين نوعي الطيف.
- يذكر أن لكل عنصر طيفه الخطي الخاص به.

المصطلحات الأساسية

طيف الانبعاث
Emission spectra
الطيف المتصل
Continuous spectra
طيف الامتصاص
Absorption spectra

الأطياف الذرية
Atomic spectra

في عام 1912 قام العالم الدانماركي " نيلز بور Niels Bohr " بإجراء بعض التجارب في مختبرات " رذرفورد " عن التركيب الذري ، وتوصل كلا من العالمين " نيلز بور ورذرفورد" إلى عيوب في النموذج الكوكبي للذرة (يفترض ذلك النموذج دوران الالكترونات حول النواة بنفس الشكل الذي تدور به الكواكب حول الشمس).
تلك العيوب ظهرت عندما أثبتت الدراسات التي قام بها العالم الفيزيائي جيمس ماكسويل أن الأجسام المتحركة تطلق موجات كهرومغناطيسية بشكل مستمر، وبناء على ذلك فإن الالكترونات التي تدور حول النواة بتسارع ثابت ستطلق موجات كهرومغناطيسية الأمر الذي يؤدي إلى فقدانها للطاقة مما يجعلها تدور في مدار حلزوني ينتهي بها إلى الالتصاق بالنواة ، وإن حدث ذلك فهذا يعني فناء المادة.

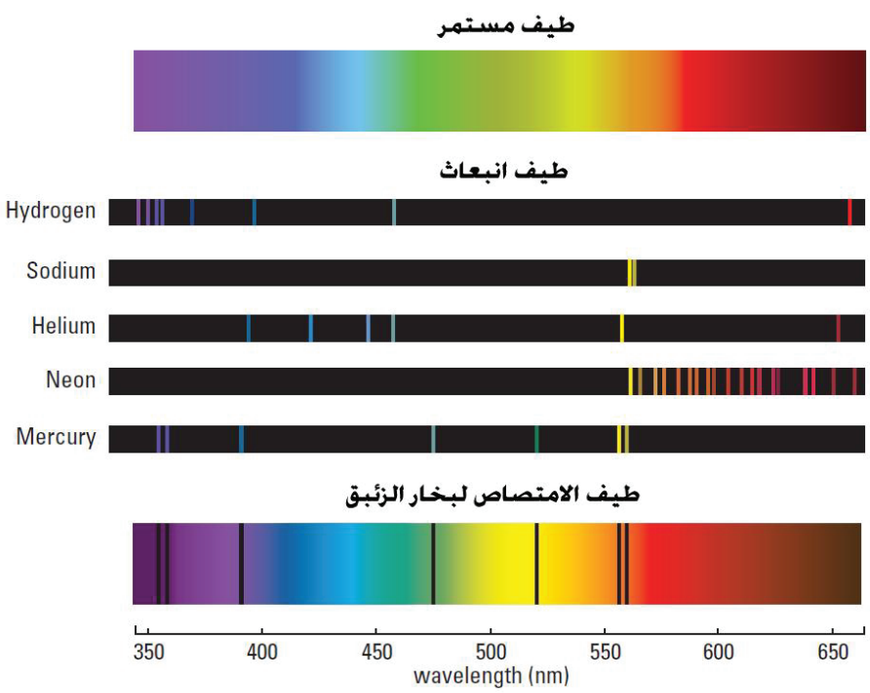


اعتقد "بور" بأن مبدأ الطاقة المكممة للعالم بلانك قد يوفر الحل لتلك المعضلة ويضع تفسيراً يوفق بين النموذج الكوكبي وبين ما توصل له العالم " ماكسويل " ولكن لم يكن يعرف كيف يمكن التوفيق بين النظريتين بشكل منطقي ومقبول علمياً.
قام العالم " هانزن " (والذي قد درس علم التحليل الطيفي بشكل مفصل في ألمانيا) بتوضيح أن الأطوال الموجية لأطياف الهيدروجين تتصف بطبيعة نمطية محددة ، وعليه وجد العالم " بور" التفسير وقد وضع أول أساس نظري لعلم الأطياف.

التحليل الطيفي

في العام 1814 لاحظ العالم " جوزيف فرانهوفر " عدد من الخطوط السوداء في طيف الشمس ولكن لم يجد العلماء تفسيراً لها في ذلك الوقت حتى جاء العالم الألماني " جوستاف كيروشوف " في عام 1859 وقام بتجهيز غازات لبعض العناصر والمركبات تحت ضغط منخفض لكل منها طيف مميز.
قام " كيروشوف " باستخدام الأطياف لتحديد بعض العناصر التي لم تكن معروفة آنذاك واستخدم ذلك في توضيح تأثير درجة الحرارة والضغط على الضوء المنبعث أو الممتص عن طريق المادة وذلك كالتالي:

- المواد الساخنة الصلبة والسائلة تطلق طيف متصل بدون أي خطوط سوداء أو لامعة.
- الغاز الساخن تحت ضغط منخفض يطلق **طيف انبعاث خطي** مميز بخطوط لامعة عند أطوال موجية محددة.
- الغاز البارد الواقع تحت ضغط منخفض يمتص الضوء بنفس الأطوال الموجية والتي يبعثها عندما يكون نفس الغاز ساخناً، ولذلك عند تسليط ضوء أبيض قوي خلال هذا الغاز ينتج **طيف امتصاص خطي** وهو عبارة عن خطوط سوداء لها نفس الأطوال الموجية للخطوط اللامعة في حال كان الغاز ساخناً (قارن في الشكل أدناه بين طيف الانبعاث الخطي وطيف الامتصاص الخطي لبخار الزئبق من حيث الطول الموجي لكلا الطيفين)



إن النتائج التي توصل إليها " كيروشوف " ساعدت العالم " جوزيف فرانهوفر " على تفسير سبب الخطوط السوداء التي تظهر في طيف الشمس وقد أوَّلها " فرانهوفر" بأنها تنتج من مرور أشعة الشمس على أغلفة غازية باردة مما يؤدي لامتصاص تلك الغازات لبعض الأطوال الموجية للضوء للصادر.

نشاط

الهدف : التعرف على طيف الانبعاث لمجموعة من العناصر.

الأدوات :

- أنابيب تفريغ تحتوي على غازات لعناصر مختلفة .
- محزوز حيود أو منشور زجاجي.

الخطوات :

- ثبت احدى أنابيب التفريغ في قاعدة الجهاز وقم بتشغيل الجهاز.
- استخدم محزوز الحيود في تحديد ألوان الطيف الصادر.
- قم بتبديل الأنبوبة وقم بنفس الخطوة السابقة.
- قم بتسجيل نتائج بالجدول التالي:

العنصر	ألوان الطيف الصادر

أجب عن الآتي :

- ماذا تستنتج من هذه التجربة؟

- كيف يمكن إعادة خطوات التجربة بحيث يمكنك الاستدلال على نوع العنصر بدليل الطيف الصادر؟

12A.30.3

الأهداف

- يدرس نموذج مستويات الطاقة ويحسب الفرق بين مستويات الطاقة.
- يقيس التردد والطول الموجي لأطياف الهيدروجين.
- يحلل الطيف الخطي مستخدماً نموذجي الموجة والفوتون للضوء.
- يعرف كمية الحركة الزاوية (L) للإلكترون في المدار الدائري (r)
- يحل مسائل على العلاقات التالية:

$$E = hf = E_m - E_n$$

$$L = \frac{nh}{2\pi} = mvr$$

$$E_n = \frac{E_1}{n^2}$$

مستويات الطاقة
Energy levels

تفسير أطياف العناصر

مما سبق يمكننا استنتاج أن ذرات عنصر ما (مثل الهيليوم) تستطيع أن تبعث أو تمتص ضوء ذا طول موجي محدد، ولكن كيف يحدث ذلك؟
لتفهم ما يحدث لابد لنا من التأكيد على نقطتين :

- أولاً : الضوء مكون من فوتونات لها طاقة محددة يمكن تعيينها من القانون :

$$E = hf \quad OR \quad E = \frac{hc}{\lambda}$$

- ثانياً: عند تفاعل الضوء مع المادة فإن إلكترونات المادة تمتص الطاقة القادمة من الفوتونات الضوئية. عندما يفقد الإلكترون جزءاً من طاقته فإنها تُبعث على هيئة فوتونات ضوئية.

ماذا يخبرنا الطيف الخطي عن إلكترونات ذرات المادة؟

من الطيف الخطي يمكننا استنتاج أن إلكترونات المادة تمتلك كميات ثابتة من الطاقة.
من الضروري أن تعرف أن لكل مستوى ذري طاقة معينة فمثلاً يمكن تعيين طاقة أي مدار في ذرة الهيدروجين من العلاقة :

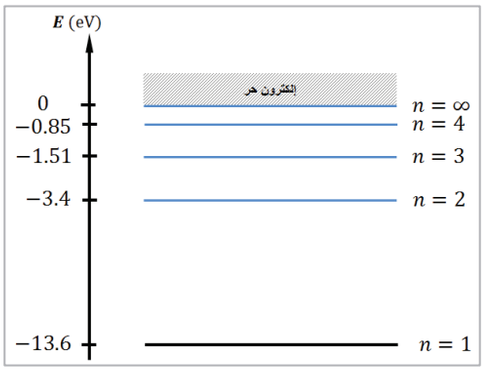
$$E_n = \frac{E_1}{n^2}$$

حيث n رقم المدار.

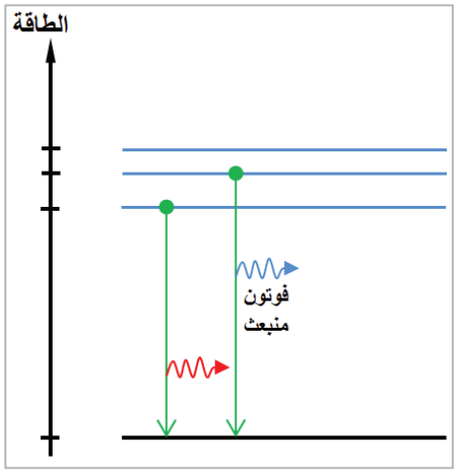
مثال

احسب طاقة المدار الثاني لذرة الهيدروجين.

$$E_2 = \frac{E_1}{2^2} = \frac{-13.6}{2^2} = -3.4\ eV$$



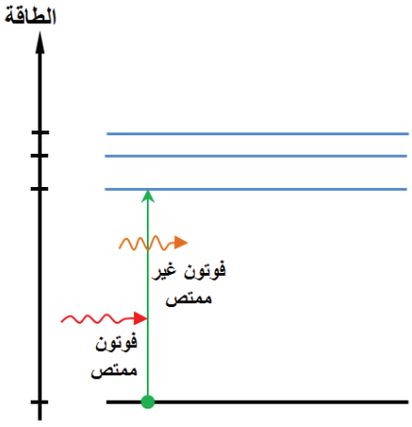
الشكل الموضح يبين مستويات الطاقة لإلكترون ذرة الهيدروجين. يمتلك الإلكترون قيمة واحدة فقط من قيم الطاقة الموضحة ، ولا يستطيع أن يمتلك طاقة لها قيمة محصورة بين مستويين من مستويات الطاقة.
تكون إشارة مستويات الطاقة سالبة القيمة حيث أنها تعبر عن قيمة الطاقة الخارجية الواجب توافرها لانتزاع إلكترون من الذرة.



رجوعاً إلى طيف الانبعاث ، يمكننا تفسير سبب انبعاث هذا الطيف كما يلي :
عندما ينتقل أحد إلكترونات الذرة من مستوى طاقة أعلى إلى مستوى طاقة أقل ينبعث فوتون ضوئي تكون طاقته مساوية لفرق الطاقة بين المستويين ، وتزداد طاقة الفوتون بازدياد الفرق بين المستويات التي ينتقل بينها.
تدل مستويات الطاقة المميزة للذرة على أن الفوتونات المنبعثة من الذرة لها أطوال موجية محددة تميز تلك الذرة عن غيرها مما يفسر ظهور أطوال موجية محددة في طيف الانبعاث الخطي للغاز الساخن.

لكن ما تفسير وجود طيف الامتصاص الخطي ؟

إن الضوء الأبيض كما هو معروف يتكون من أطياف مختلفة تدل على وجود فوتونات ذات طاقات مختلفة ، وكي يحدث امتصاص لفوتونات ما فلابد من أن تكون طاقته مساوية للطاقة اللازمة لنقل إلكترون الذرة من مستوى طاقة أقل إلى مستوى طاقة آخر أعلى. إذا كانت قيمة طاقة الفوتون أكبر من ذلك أو أصغر من ذلك فلا يتم امتصاص من قبل ذرات المادة.
الشكل التالي تبين امتصاص الفوتونات حسب توافق طاقتها مع فرق الطاقة بين مستويين في الذرة.



طاقة الفوتون

عندما ينتقل إلكترون بين مستويين للطاقة في الذرة E_1, E_2 فإنه إما يمتص فوتون أو يبعث فوتون ، وتساوي طاقة الفوتون الفرق بين طاقة المستويين.

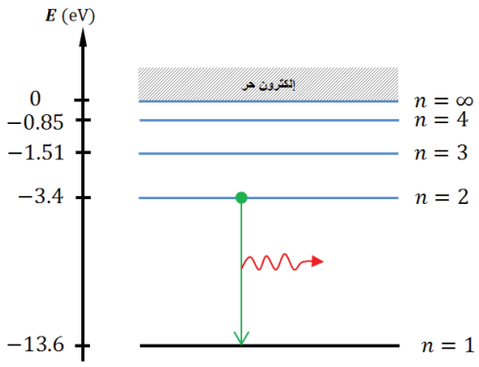
$$\Delta E = E_1 - E_2 = hf = \frac{hc}{\lambda}$$

حيث أن :
c هو سرعة الضوء في الفراغ ويساوي $3 \times 10^8\ m/s$
λ هو الطول الموجي للفوتون المنبعث ويقاس بوحدة المتر (m)

مثال

احسب طاقة وتردد الفوتون المنبعث نتيجة انتقال إلكترون من مستوى الطاقة الثاني إلى المستوى الأرضي في ذرة الهيدروجين.

الحل

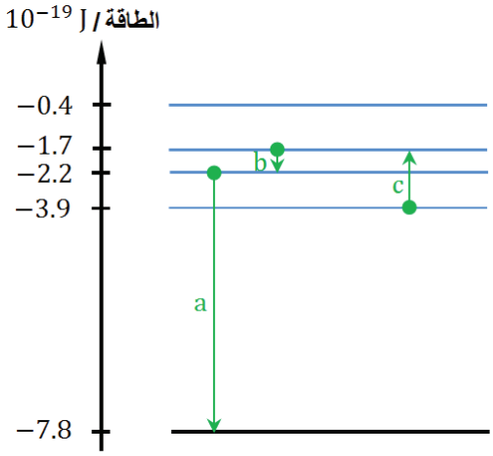


$$\Delta E = hf = -3.4 - (-13.6) = 10.2\ eV$$
$$\Delta E = 1.6 \times 10^{-19} \times 10.2 = 1.63 \times 10^{-18}\ \text{J}$$
$$f = \frac{\Delta E}{h} = \frac{1.63 \times 10^{-18}}{6.63 \times 10^{-34}} = 2.46 \times 10^{15}\ Hz$$

تدريب

يبين الشكل التالي جزءاً من مستويات الطاقة لذرة افتراضية تمثل الأسهم ثلاثة انتقالات بين مستويات الطاقة. لكل من هذه الانتقالات أجب عن الآتي:

- **احسب طاقة الفوتون.**
- **احسب كلاً من الطول الموجي والتردد للأشعة الكهرومغناطيسية المنبعثة.**
- **بين نوع الطيف الناشئ.**



لقد درسنا الطيف الضوئي للغازات الساخنة والتي تتباعد ذراتها عن بعضها ومن ثم تعطي أطياف خطية بسيطة.

أما في حالة السوائل والجوامد تقترب الذرات من بعضها بحيث تتفاعل إلكترونات ذرة ما مع الذرات المجاورة لها فينتج عن ذلك تغير في شكل مستويات الطاقة والذي يأخذ شكلاً أكثر تعقيداً كلما زاد عدد الذرات المتجاورة بحيث ينتج طيفاً به أطوال موجية كثيرة ولذلك السوائل الساخنة والجوامد تعطي أطيافاً متصلة.

ابحث في مكتبتك أو خلال الانترنت.. هل هناك مواد تعطي أطيافاً خطية مثلما تعطي الغازات الساخنة؟

كمية الحركة الزاوية ($\vec{L}$) للإلكترون في المدار:

استطاع العالم بور من حساب كمية الحركة الزاوية للإلكترون من خلال العلاقة:

$$\vec{L} = r \times \vec{p}$$

وهي كمية متجهة متعامدة على متجهي السرعة ونصف القطر، وبالتعويض عن كمية التحرك فإن:

$$L = mvr$$

وحسب ما أوضحه دي برولي من أن للإلكترون طبيعة موجية بجانب طبيعته الجسيمية ، معنى ذلك أن له طول موجي مصاحب لحركته، وقد أثبت العلماء أن هناك علاقة بين محيط المدار الذي يتحرك به الإلكترون والطول الموجي للموجة المصاحبة كالتالي:

$$2\pi r_n = n\lambda$$

حيث أن :

$$\lambda = \frac{h}{mv}$$

إذن :

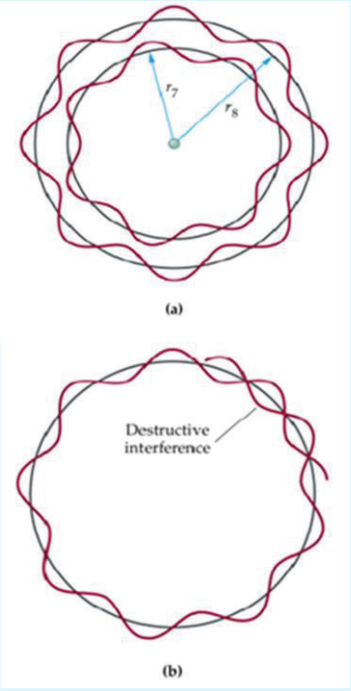
$$2\pi r_n = \frac{nh}{mv}$$

$$L = \frac{nh}{2\pi}$$

حيث (n) رقم المدار.
ويتضح من تلك العلاقة أن كمية الحركة الزاوية للإلكترون مكممة.

12A.30.3

يوضّح الرسم التالي أنّ محيط المدار الموجود فيه الإلكترون يجب أن يكون من مضاعفات الطول الموجي لذلك الإلكترون وإلاّ تداخلت موجة الإلكترون مع بعضها تداخلاً هدّاماً ممّا يؤدّي إلى فناء الإلكترون. من هذا نستنتج أنّ هناك مدارات محدّدة يوجد فيها الإلكترون



رياضيّاً يكتب الشرط أعلاه على النحو التالي:

$$2\pi r = n\lambda$$
$$\lambda = \frac{h}{mv}$$
$$2\pi r = n\frac{h}{mv}$$
$$mvr = L = n\frac{h}{2\pi}$$

ومنه يتبيّن أنّ كمية الحركة الزاوية من مضاعفات $h/2\pi$

إن كل ما سبق لم يكن ليتم تفسيره إلا في ضوء نموذج الفوتون الذي وضع مع نشأة ميكانيكا الكم، وحتى تتضح أهمية هذا النموذج أكثر نستعرض تفسيرات كلاً من النموذج الموجي ونموذج الفوتون لبعض الملاحظات الفيزيائية:

الملاحظة	تفسير النموذج الموجي	تفسير نموذج الفوتون
انبعاث إلكترونات بمجرد سقوط الضوء على سطح المعدن.	الضوء الساقط ذو شدة عالية	الفوتونات الساقطة ذات تردد عالي (طاقة أكبر من دالة الشغل)
الضوء الخافت قد يكون مؤثراً	الضوء الخافت ليس له تأثير بسبب ضعف شدة الإضاءة.	الضوء الخافت يعني عدد فوتونات أقل ولا يعني طاقة فوتونية قليلة.
عندما تزداد شدة الضوء يزداد معدل مغادرة الإلكترونات لسطح المعدن.	لأن زيادة شدة الضوء تعني طاقة كثيرة وبالتالي انبعاث عدد إلكترونات أكبر.	زيادة شدة الضوء تعني زيادة عدد الفوتونات لكل ثانية ومن ثم زيادة عدد الإلكترونات المنبعثة في الثانية (بشرط أن يكون طاقة الضوء الساقط أكبر من دالة الشغل للمعدن)

الإلكترون
The electron

12A.30.4

الأهداف

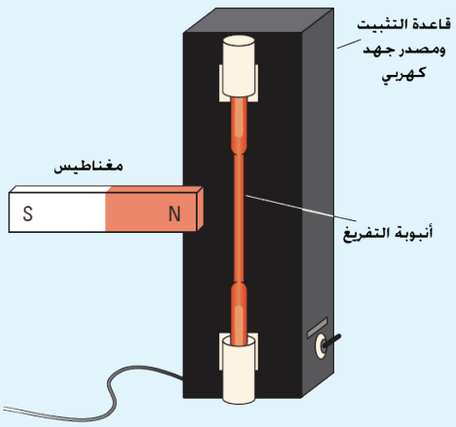
- يحسب النسبة (e/m) باستخدام تجربة طومسون.
- يصف تجربة مليكان.
- يحسب عدد الإلكترونات على قطرة الزيت في تجربة مليكان.
- يحل مسائل على العلاقات التالية:

$$F_e = qE$$
$$e/m = V/Br$$

نشاط

الهدف : التعرف على طبيعة الشحنات المكونة لأشعة المهبط.

الأدوات:



أنبوبة تفريغ بها أحد الغازات.
قاعدة مصدر عالي الجهد
قضيب مغناطيس قوي

خطوات العمل

1- قم بتثبيت أنبوبة التفريغ في مكانها بالقاعدة.
2- قم بتشغيل الجهاز وفي حال كان الوميض خافتاً يمكن إطفاء مصابيح المختبر.
3- حدد مكان الكاثود في الأنبوبة.
4- قرب المغناطيس إلى سطح أنبوبة التفريغ. حدد اتجاه المجال المغناطيسي والاتجاه الذي يتحرك فيه الشعاع الطيفي.
5- كرر الخطوة رقم 4 مع مواضع مختلفة على طول أنبوبة التفريغ.

أجب عن الأسئلة الآتية:

- كيف قمت بتحديد اتجاه المجال المغناطيسي؟

.....

- ما سبب الوميض داخل الأنبوبة؟

.....

- ما هو الدليل على أن المغناطيس هو ما يسبب انحراف الشعاع داخل الأنبوبة؟

.....

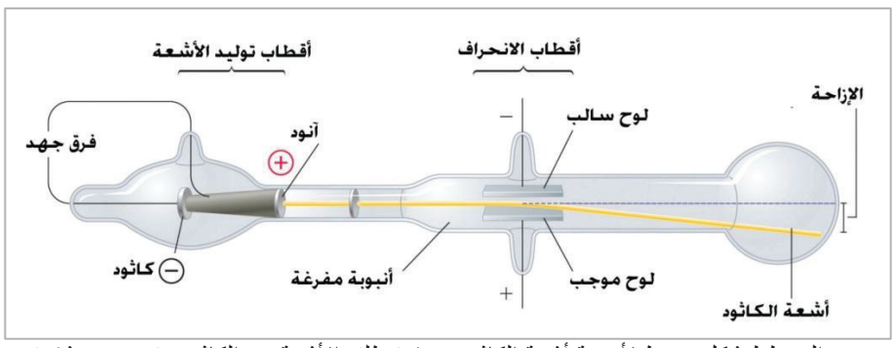
- كيف تعرف أن أشعة الكاثود تنطلق من القطب السالب لأنبوب التفريغ؟

.....

- صف طريقة أخرى لتعيين نوع الشحنة التي يتكون منها أشعة الكاثود.

اكتشاف الإلكترون

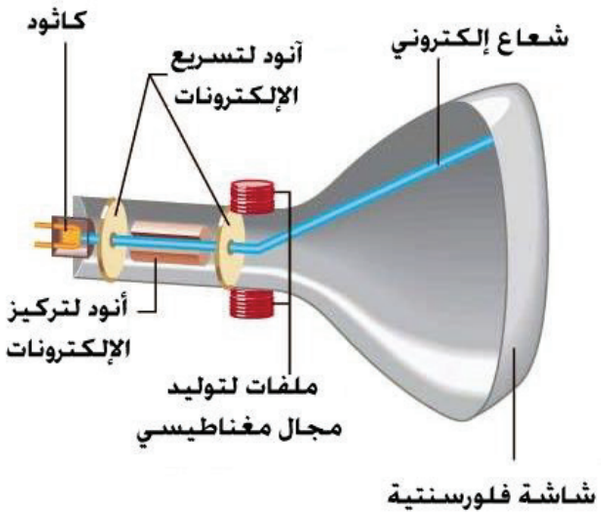
خلال إحدى التجارب التي أجريت في القرن التاسع عشر، اكتشف العلماء أنه بتوصيل مصدر جهد عالي بأقطاب تقع على جانبي أنبوبة زجاجية مفرغة يتولد فيها أشعة تتدفق من القطب السالب باتجاه القطب الموجب والتي سميت بعد ذلك بأشعة الكاثود. تلك الأشعة سببت وهج بالأنبوبة الزجاجية ، ولاحظ العلماء أن تلك الأشعة تنحرف عند تقريب مجال مغناطيسي منها ، وعند استخدام مجال كهربي كمؤثر خارجي آخر انحرفت الأشعة بشكل يؤكد أن تلك الأشعة تتكون من شحنات سالبة ، وكانت تلك بداية اكتشاف الإلكترون.



يوضح المخطط شكل مبسط لأنبوبة أشعة الكاثود حيث تنطلق الأشعة من الكاثود وتمر عبر شقوق في الآنود والمثبت جيداً في الأنبوبة المفرغة. بعد مرور الأشعة خلال الشق الثاني تمر بين لوحين من الألومنيوم بطول 5 سنتيمترات ويفصلهما مسافة 1.5 cm لتنطلق الأشعة بعد ذلك نحو الشاشة الفلورسنتية لتصنع بها نقاط مميزة عند اصطدامها بالشاشة.

بنية أشعة الكاثود

على الرغم من إسهامات العالم توموسون في اكتشاف الإلكترون إلا أنه لم يستطع إيجاد طريقة لتعيين كتلة أو شحنة الإلكترون كل على حدة إلا أنه استطاع تعيين النسبة بين شحنة وكتلة الإلكترون باستخدام مجال كهربي ومجال مغناطيسي في أنبوبة أشعة الكاثود كما هو موضح بالشكل التالي :



جوزيف جون طومسون
Joseph John Thomson

(1856 – 1940) عالم انجليزي.
ومن انجازاته:

- الكشف عن الكثير من الحقائق المتعلقة بالذرة ومكوناتها.
- اكتشف الإلكترون عام 1897م
- دراسة خواص الأشعة الموجبة (نوى الهيدروجين المسرعة) الذي أدى إلى اكتشاف نظائر النيون.
- وضع نموذج للذرة عرف باسمه "نموذج طومسون" وكان هذا أول نموذج تصوري للذرة ومحتوياتها.

12A.30.4

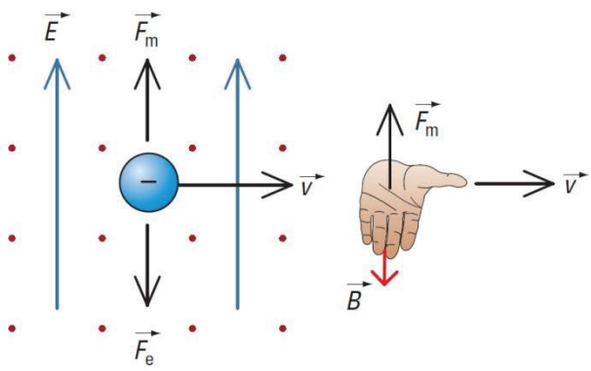
باسترجاع القانون الذي تم دراسته سابقاً والذي يعرف القوة الكهربية التي تؤثر على جسيم مشحون :

$$F_e = qE$$

حيث (F_e) هي القوة الكهربية ، (q) هي مقدار الشحنة على الجسيم، (E) هو شدة المجال الكهربي المؤثر.
وإذا تم تطبيق مجال مغناطيسي فإن هناك قوة مغناطيسية ستؤثر على الجسيم ، ويمكن تحديد اتجاه تأثير تلك القوة عن طريق استخدام قاعدة اليد اليسرى ، كذلك يمكن حساب قيمتها من العلاقة:

$$F_m = qvB$$

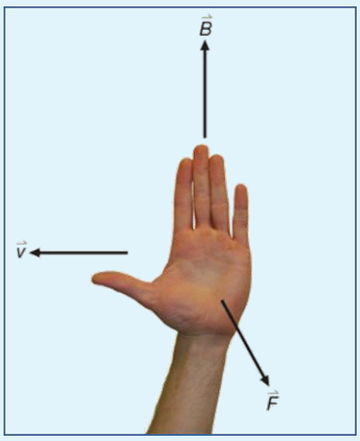
حيث (v) هي سرعة الجسيم عمودياً على المجال المغناطيسي، (B) هي شدة المجال المغناطيسي.
يمكن تمثيل كلا القوتين بالشكل التالي والذي يوضح تأثير مجال كهربي على جسيم سالب الشحنة حيث يؤثر عليه بقوة إلى أسفل بينما هناك مجال مغناطيسي يؤثر عليه بقوة إلى أعلى ، فإذا كانت قوة الجاذبية مهملة وكانت قيمة كل من القوة الكهربية والقوة المغناطيسية متساوية وتعملان في اتجاهين متضادين فإن محصلة القوى تكون صفرية.
ويمكن تلخيص ما سبق باستخدام العلاقات التالية :



$$F_e + F_m = 0$$
$$F_e = F_m$$
$$Eq = Bqv$$
$$E = Bv$$

$$v = \frac{E}{B}$$

قاعدة اليد اليسرى
تستخدم لمعرفة اتجاه القوة المغناطيسية. فعند بسط راحة اليد بحيث يكون اتجاه المجال المغناطيسي باتجاه الأصابع واتجاه الإبهام باتجاه السرعة يكون اتجاه دفع راحة اليد باتجاه القوة المغناطيسية.



مثال

شعاع إلكتروني يمر بلا انحراف خلال مجال مغناطيسي شدته $0.5\ T$ ، فإذا طُبق مجال كهربي شدته $50\ kN/C$ وكان كل من المجال المغناطيسي والمجال الكهربي وسرعة الإلكترونات متعامدة على بعضها ، فما سرعة الإلكترونات؟

الحل

حيث أن الشعاع الإلكتروني يمر بلا انحراف فإن محصلة القوى المؤثرة على الإلكترونات تكون صفرية ويكون قيمة كل من القوة الكهربية والقوة المغناطيسية متساوية.

إذن:

$$v = \frac{E}{B} = \frac{5.0 \times 10^4}{0.5} = 10^5\ m/s$$

تدريب

ما قيمة شدة المجال المغناطيسي المطلوب لمنع انحراف أيونات تتحرك بسرعة $75\ km/s$ خلال مجال كهربي شدته $150\ N/C$ ؟

تجارب تومسون

استخدم تومسون مجال كهربي ومجال مغناطيسي متعامدين لتعيين سرعة أشعة الكاثود ثم قام بتعيين انحراف الأشعة عند تطبيق مجال واحد فقط. لاحظ تومسون أن مقدار الانحراف يعتمد على شدة المجال وطول المسار الذي تقطعه الأشعة عبر المجال وسرعة وشحنة وكتلة الجسيمات المكونة لأشعة الكاثود. استطاع تومسون تعيين الكميات الثلاث الأولى فقط بينما أدرك أنه يمكنه استخدام المعلومة تلك في تعيين النسبة بين الكميات المجهولة المتبقية.

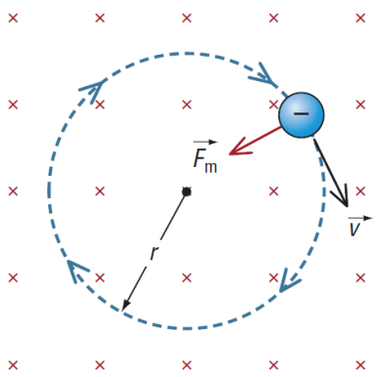
قام تومسون بعمل سلسلة من التعديلات في أنبوبة أشعة الكاثود بحيث يتم تغيير المعدن المستخدم في الكاثود في كل مرة فوجد أن النسبة بين شحنة وكتلة الجسيمات المكونة للأشعة قيمة ثابتة مما دفعه لاستنتاج أن كل أشعة الكاثود تتكون من جسيمات متطابقة في الشحنة والكتلة.

أوضحت تجارب تومسون أن النسبة $(\frac{q}{m})$ للإلكترون تساوي تقريباً $10^{11} C/kg$ وقد لاحظ العلماء إن هذه النسبة هي أكبر من ألف ضعف من نفس النسبة بين شحنة أيون الهيدروجين وكتلته كما لاحظوا أن تلك الأشعة قادرة على المرور خلال رقائق من المعدن والمرور بسرعة أكبر في الهواء أكثر مما تفعل الذرات مما دفعهم للاعتقاد بأن تلك الجسيمات التي تتكون منها أشعة الكاثود أصغر بكثير من الذرات.

النسبة بين شحنة الإلكترون وكتلته

قام تومسون بقياس انحراف أشعة الكاثود لتعيين النسبة بين شحنة الإلكترون وكتلته.

عند مرور جسيم مشحون عمودياً على مجال مغناطيسي منتظم يتغير اتجاه حركته بفعل القوة المغناطيسية بينما تبقى سرعته ثابتة، مما يدفع الجسيم للحركة في مسار دائري حركة دائرية منتظمة تحت تأثير قوة مركزية (القوة المغناطيسية)



مما يمكن معه من تطبيق قوانين الحركة الدائرية المنتظمة عليها فيكون :

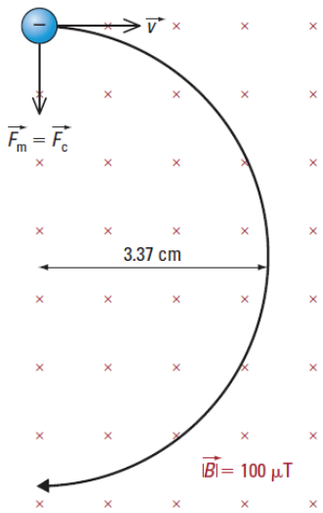
$$F_c = F_m$$

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

$$\frac{q}{m} = \frac{v}{Br}$$

مثال

إذا تم تعجيل حزمة من الإلكترونات لسرعة $5.93 \times 10^5\ m/s$ ثم تم توجيهها باستخدام مجال مغناطيسي منتظم شدته $100\ \mu T$ مما أدى لحركتها في مسار دائري نصف قطره $3.37\ cm$. احسب النسبة بين شحنة وكتلة الإلكترون.



الحل

$$\frac{q}{m} = \frac{v}{Br} = \frac{5.93 \times 10^5}{10^{-4} \times 3.37 \times 10^{-2}}$$
$$= 1.76 \times 10^{11}\ C/kg$$

تدريب

إذا علمت أن النسبة بين شحنة وكتلة أيون الكربون - 12 هي $8.04 \times 10^6\ C/kg$ ، احسب نصف قطر المسار الذي يتحرك فيه الأيون إذا كانت سرعته $150\ km/s$ عمودياً على مجال مغناطيسي شدته $0.50\ T$.

تكميم الشحنة

كما تعلمت سابقاً أن كلا من العالمين بلانك وأينشتين وضعوا مبدأ التكميم في الفيزياء في بداية القرن العشرين ثم جاء اكتشاف الإلكترون ليعزز فكرة أن الشحنات الكهربية أيضاً يمكن أن تكون مكممة.

نشاط

الهدف : التعرف على معنى التكميم.

الأدوات

- أربعة أوعية بلاستيكية غير شفافة متطابقة تماماً في الكتلة لها أغطية محكمة الغلق.
- كرات متطابقة في الكتلة تماماً
- ميزان رقمي بدقة $0.1\ g$

الخطوات

1- ضع عدد مختلف من الكرات في كل علبة بحيث يزيد العدد بكرة أو كرتين عن الوعاء الآخر.
2- قم بغلق الأوعية تماماً بحيث لا يمكن التعرف على عدد الكرات من الخارج.
3- وزع الأوعية على الطلاب ثم اطلب منهم عمل جدول لوضع كتل الأوعية به ثم تعيين الفرق بين تلك الكتل.
4- عند ملاحظة الفروق بين كتل الأوعية ، ماذا تلاحظ؟

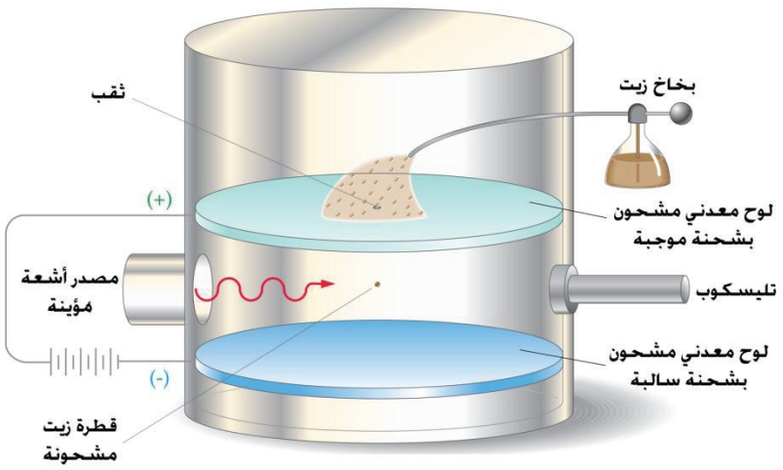
.....

هل يمكن بطريقة ما حساب كتلة الكرة الواحدة بدون فتح الأوعية ؟ فسر؟

.....

تجربة ميليكان لحساب شحنة الإلكترون

قام العالم ميليكان باستخدام بخاخ لإطلاق قطرات دقيقة من الزيت في أعلى أنبوبة تحتوي على لوحين معدنيين متوازيين كما يتضح من الشكل.



بعض قطرات الزيت تمر عبر الثقب الموجود باللوح المعدني العلوي ثم يتم تأيين الهواء الموجود بين اللوحين المعدنيين عن طريق أشعة مُؤيِّنة مما يُكسب قطرات الزيت بين اللوحين بعض الشحنات.

وحيث أن قطرات الزيت غالباً ما تكون كروية فقد استطاع ميليكان حساب كتلة القطرة عن طريق حجم القطرة وكثافة الزيت.

قام ميليكان بتوصيل مصدر جهد عالي باللوحين المعدنيين ثم لاحظ حركة قطرات الزيت في مجال كهربي منتظم بين اللوحين، وبتحليل تلك الحركة وعن طريق تعيين القوة الكهربية المؤثرة على كل قطرة استطاع تعيين مقدار الشحنة على القطرة وذلك كالتالي:

عند ضبط المجال الكهربي المؤثر على قطرات الزيت بحيث تتوقف القطرات لحظياً وتبقى معلقة فإن هناك قوتان متساويتان في المقدار ومتضادتان في الاتجاه تؤثران على القطرة ، هما القوة الكهربية ووزن القطرة :

$$qE = mg$$

وبحساب شدة المجال الكهربي بين اللوحين باستخدام العلاقة :

$$E = \frac{V}{d}$$

تمكن ميليكان من حساب الشحنة على قطرة الزيت.

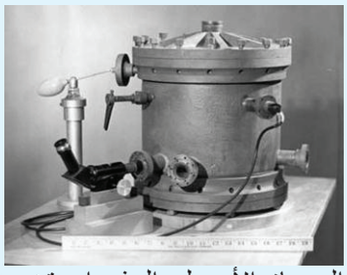
قام ميليكان بتكرار التجربة مع تغيير حجم قطرات الزيت في كل مرة فوجد أن قيمة الشحنة الموجودة على القطرة هي $1.6 \times 10^{-19}\ C$ أو مضاعفات ذلك الرقم، وقد فسر ميليكان ذلك بأن تلك القيمة هي أصغر قيمة للشحنة التي

روبرت أندروس ميليكان
Robert Andrews Millikan

(1868-1953) ومن إنجازاته:

- تعيين شحنة الإلكترون وذلك عن طريق تجربته المشهورة والمعروفة بقطرة الزيت.
- دراساته على التأثير الكهروضوئي.

تسلم جائزة نوبل نتيجة لدراساته السابقة عام 1923م.



الجهاز الأصلي الذي استخدمه مليكان.

لحساب كتلة قطرة الزيت اعتمد مليكان أولا على حساب سرعة القطرة الحدية أثناء سقوط القطرة من خلال المسافة التي تقطعها والزمن.

ومن خلال وصول القطرة لسرعة حدية نتيجة تساوي قوة اللزوجة Viscous Drag Force التي تواجهها القطرة نتيجة لمقاومة الهواء لها ووزنها تمكن ميليكان من حساب كتلة قطرة زيت. حيث استخدم قانون ستوك لحساب قوة اللزوجة.

يمكن أن تحملها القطرة سواء بفقدها أو اكتسابها لإلكترون وهي نفسها الشحنة التي يحملها الإلكترون .
أوضح ميليكان أن تلك الشحنة ليست متتالية بل هي كمية محددة ، وهذا الكشف إنما يتوافق مع ما قاله العالم بلانك في العام 1900 من أن الطاقة مكممة.
بالطبع أصبح بمقدور تومسون تعيين كتلة الإلكترون ، والذي أوضح بالفعل فيما بعد أن كتلته أقل تقريباً بحوالي 1800 مرة من كتلة أخف العناصر وهو الهيدروجين.

مثال

قطرة من الزيت كتلتها $8.2 \times 10^{-15}\ kg$ تعلقت في مجال كهربي شدته $10^5\ N/C$. كم عدد الإلكترونات التي اكتسبتها أو فقدتها قطرة الزيت؟

الحل

$$q = \frac{mg}{E} = \frac{8.2 \times 10^{-15} \times 9.8}{10^5} = 8.04 \times 10^{-19}\ C$$

$$n = \frac{q}{e} = \frac{8.04 \times 10^{-19}}{1.6 \times 10^{-19}} = 5$$

مثال

كرة بلاستيكية صغيرة كتلتها $8.2 \times 10^{-15}\ kg$ تم وضعها في مجال كهربي شدته $10^5\ N/C$ في أنبوبة مفرغة ، فإذا كانت الكرة تحمل 10 إلكترونات مكتسبة ، عين ما إا كانت الكرة ستتسارع أم لا وإذا كانت الإجابة بنعم احسب قيمة واتجاه التسارع.

الحل

$$F_g = 8.2 \times 10^{-15} \times 9.8 = 8.04 \times 10^{-14}\ N$$
$$F_e = qE = 1.6 \times 10^{-19} \times 10 \times 10^5 = 1.6 \times 10^{-13}\ N$$

يتضح مما سبق أن القوة الكهربية المؤثرة لأعلى هي أكبر في القيمة وبالتالي ستتجه القطرة لأعلى.
الآن نجد قيمة عجلة التسارع للكرة:

$$F_{net} = 1.6 \times 10^{-13} - 8.04 \times 10^{-14} = 7.96 \times 10^{-14}\ N$$
$$a = \frac{F_{net}}{m} = \frac{7.96 \times 10^{-14}}{8.2 \times 10^{-15}} = 9.7\ m/s^2$$

تدريب

احسب شدة المجال الكهربي اللازم لتعليق قطرة من الزيت كتلتها $3.2 \times 10^{-14}\ kg$ وتحمل شحنة $+2e$.

تدريب

احسب محصلة القوى المؤثرة على كرة تحمل شحنة $-5e$ وكتلتها $2.0 \times 10^{-14}\ kg$ إذا تم وضعها في مجال كهربي شدته 10^5 يؤثر لأعلى في أنبوبة مفرغة.

الطاقة والمادة
Energy and matter

12A.30.6

الأهداف

- يذكر قانون اينشتاين للطاقة والمادة.
- يفسر النقص في الكتلة وطاقة الربط النووي.
- يستخدم العلاقة $(E = mc^2)$ لحساب طاقة الربط النووية والطاقة المنطلقة من التفاعلات النووية.

المصطلحات الأساسية

النقص في الكتلة
Mass defect
طاقة الربط النووية
Binding energy
متوسط طاقة الربط
Average binding energy

في عام 1905 توصل اينشتاين إلى علاقة تربط الطاقة بالمادة:

$$E = mc^2$$

E: الطاقة المتحولة، ووحدتها: جول (J)
m: كتلة الجسم، ووحدتها: (kg)
c: سرعة الضوء، ووحدتها: (m/s)

تعتمد نظرية اينشتاين على أنّ كل جسم له كتلة يملك طاقة تتناسب مع قيمة كتلته.

مثال: احسب الطاقة المكافئة لكتلة مقدارها $(5 \times 10^{-24}\ \text{kg})$.

الحل:

$$E = mc^2$$
$$E = 5 \times 10^{-24} \times (3 \times 10^8)^2$$
$$E = 4.5 \times 10^{-7}\ \text{J}$$

أمثلة على تحولات المادة والطاقة:

تكون الجسيمات الذرية في التصادمات عالية الطاقة (على سبيل المثال في الأشعة الكونية، في تجارب فيزياء الجسيمات).
عند التقاء الجسيمات مع الجسيمات المضادة لها فإنها تتلاشى وتنتج موجات كهرومغناطيسية (مثل الإلكترون والبوزيترون).
في التفاعلات النووية يتحول النقص في الكتلة إلى طاقة حركة للجسيمات الناتجة من التفاعلات.

الأشعة الكونية:

الأشعة الكونية هي جسيمات عالية الطاقة المشحونة، والتي تنشأ في الفضاء الخارجي، والتي تنتقل بسرعة الضوء تقريباً، وتضرب الأرض من كل الاتجاهات. تتكون الأشعة الكونية من أنوية الذرات، بدءاً من أخف إلى أثقل العناصر في الجدول الدوري. كما تشمل الأشعة الكونية جسيمات ذرية ذات طاقة عالية مثل الإلكترونات، البوزيترونات، وغيرها.
تتحول الطاقة الناتجة من الانفجارات العظيمة (Supernova) إلى أشعة كونية.

تصادم الجسيمات في التجارب الفيزيائية:

عند اصطدام الجسيمات ذات الطاقة العالية وجهاً لوجه، تنتج جسيمات جديدة، على سبيل المثال عند اصطدم بروتونين، ينتج جسيمات ذرية تسمى الكواركات.

انحلال الجسيمات والجسيمات المضادة:

انحلال الإلكترون والبوزيترون:

عند اصطدام الإلكترون (e^-) أو (β^-)، والبوزيترون (e^+) أو (β^+)، يتلاشى كل من الإلكترون والبوزيترون وتنتج فوتونات أو أشعة جاما، وأحياناً قليلة تنتج جسيمات أخرى:

$$e^- + e^+ \longrightarrow \gamma + \gamma$$

النقص في الكتلة:

وجد العلماء أنه عند حساب كتلة نواة ذرة الهليوم تقل قليلاً جداً عن كتلة مكونات نواة ذرة الهليوم. ما السبب في اختلاف كتلة نواة الهليوم عن كتلة مكوناته والتي تتكون من بروتونين ونيترونين؟

من المعروف أن كتلة نواة الهليوم (4.0015) وحدة كتلة ذرية.

ونواة الهليوم تتألف من بروتونين ونيترونين، يمكن حساب كتلة نواة الهليوم على النحو التالي:

كتلة مكونات النواة:

$$\Sigma m = 2 \times 1.0073 + 2 \times 1.0087 = 4.0320\ u$$

وبمقارنة كتلة نواة الهليوم الفعلية بمجموع كتل مكونات نواتها يلاحظ أن هناك فرقاً في الكتلة.

$$\Delta m = \Sigma m - M$$
$$\Delta m = 4.0320 - 4.0015 = 0.0305\ u$$

u هي وحدة الكتل الذرية

هذا الفرق في الكتلة طبقاً لمعادلة أينشتاين يتحول إلى طاقة تربط مكونات النواة عند تكون النواة، وتسمى هذه الطاقة بطاقة الربط النووي.

طاقة الربط النووية: هي الطاقة المتحررة عند تكون أنوية الذرات من اتحاد مكوناتها.

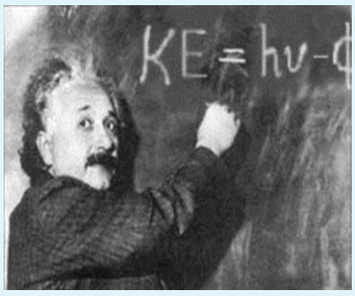
أو الطاقة التي تربط مكونات النواة بعضها مع بعض.

طاقة الربط لكل نيوكليون: وتسمى متوسط طاقة الربط النووية.

هي الطاقة التي تربط نيكليون واحد في النواة أو الطاقة اللازمة لفصل نيوكليون واحد من النواة.

وتعتبر متوسط طاقة الربط النووية مقياساً لمدى استقرار النواة فكلما كان متوسط طاقة الربط أكبر كانت النواة أكثر استقراراً

البوزيترون هو الجسيم المضاد للإلكترون، ويرمز له بالرمز: (e^+) أو (β^+)



عند استخدام علاقة اينشتين لحساب طاقة أشعة جاما الناتجة من تصادم الإلكترون والبزوترون نجد:

$$E = mc^2$$
$$E = 2(9.1 \times 10^{-31})(3 \times 10^8)^2$$
$$E = 1.64 \times 10^{-13}\ \text{J}$$

والتي تساوي تقريباً $(1.2\ \text{MeV})$ وهذه تكون الطاقة لفوتونين جاما.

أما إذا أردنا حساب الكتلة النسبية لفوتون تردده $(5 \times 10^{14}\ \text{Hz})$ فعند استخدام علاقة اينشتين:

$$E = mc^2$$
$$m = \frac{E}{c^2} = \frac{hf}{c^2}$$
$$m = \frac{6.6 \times 10^{-34} \times 5 \times 10^{14}}{(3 \times 10^8)^2}$$
$$m = 3.66 \times 10^{-36}\ \text{kg}$$

12A.30.6

كتلة البروتون:
$m_p = 1.0073\ \text{u}$
$m_p = 1.673 \times 10^{-27}\ \text{kg}$

كتلة النيترون:
$m_n = 1.0087\ \text{u}$
$m_n = 1.675 \times 10^{-27}\ \text{kg}$

وحدة الكتل الذرية والطاقة:

إن وحدة "جول" هي وحدة الطاقة على المستوى الكبير، وبالنسبة للجسيمات، فإن قيم الطاقة ستكون صغيرة جداً، لذلك نستعمل وحدة أخرى على المستوى الذري هي وحدة "إلكترون فولت" (eV).
حيث أن:

$$1\ \text{eV} = 1.6 \times 10^{-19}\ \text{J}$$

اثبت أن: $(1\ \text{u} = 931.5\ \text{MeV})$.

مثال: احسب طاقة الربط النووية لذرة الهليوم (^4_2He).
الحل:

$$\Delta m = 4.0320 - 4.0015 = 0.0305\ \text{u}$$
$$E_b = 0.0305 \times 931.5 = 28.4\ \text{MeV}$$

استقرارية الأنوية:

عند حساب طاقة الربط النووي لأنوية ذرات العناصر تبين ما يلي:
- العناصر ذات العدد الكتلي القليل (الخفيفة) غير مستقرة وذات متوسط طاقة ربط نووي قليلة.
- العناصر ذات العدد الكتلي الكبير (الثقيلة) غير مستقرة وذات متوسط طاقة ربط نووي قليلة.
- العناصر ذات العدد الكتلي المتوسط مستقرة وذات متوسط طاقة ربط نووي عالية.

لذا يتوقع أن تميل أنوية العناصر الثقيلة للانشطار لتكوين أنوية متوسطة الكتلة، بينما يتوقع أن تندمج أنوية العناصر الخفيفة لتكوين أنوية متوسطة.

12A.30.6

يمكن حساب كل من طاقة الربط النووية ومتوسط طاقة الربط النووية مباشرة من العلاقات التالية:

$$E_b = (Z \times m_p + N m_n - m_a)931.5 \text{ MeV}$$

$$\frac{E_b}{A} = (Z \times m_p + N m_n - m_a)\frac{931.5}{A} \text{ MeV}$$

حيث:

E_b: طاقة الربط النووية

$\frac{E_b}{A}$: متوسط طاقة الربط النووية

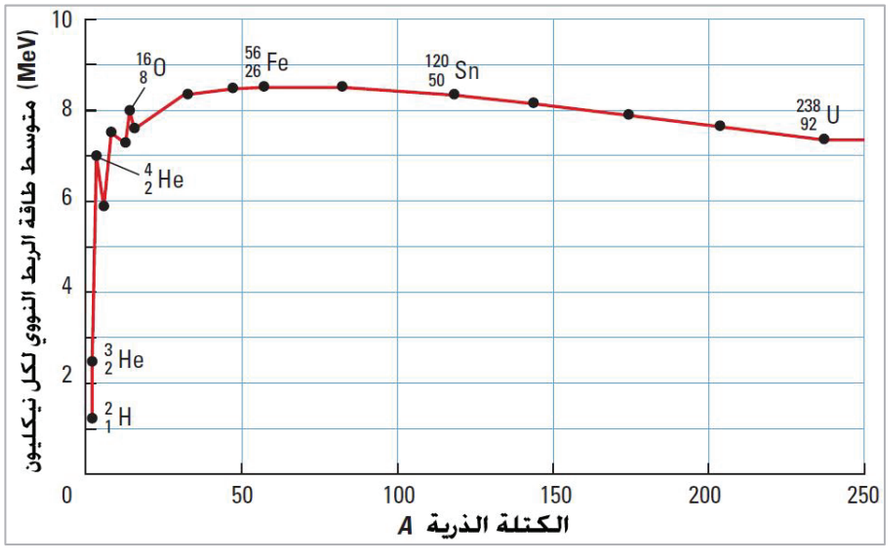
Z: عدد البروتونات (العدد الذري)

N: عدد النيترونات

A: العدد الكتلي

m_a: كتلة النواة

في الشكل التالي يوضح الرسم البياني طاقة الربط النووي لكل نيكليون مقابل الكتلة الذرية للنواة المستقرة. تصل ذروة الخط البياني عند 8.79 MeV لكل نيوكليون ويتضح من المنحنى أن أكثر نظائر مستقرة هي النيكل $^{62}_{28}\text{Ni}$ والحديد $^{58}_{26}\text{Fe}$ والحديد $^{56}_{26}\text{Fe}$.



سؤال: من الرسم البياني، أجب عن الأسئلة الآتية:

1- أي من أنوية العناصر تعتبر الأكثر استقراراً؟

2- أي نواة أكثر استقراراً: نواة الباريوم 141 أم نواة اليورانيوم 238؟

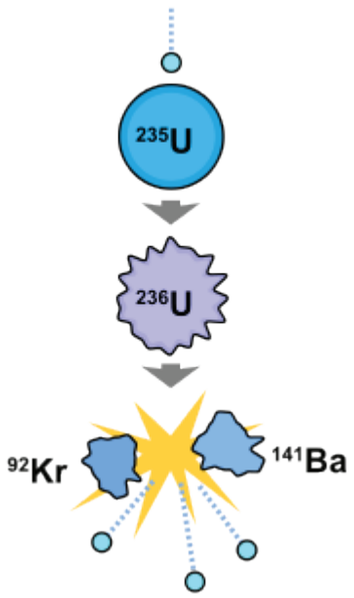
الانشطار النووي:

هي عملية انقسام نواة ذرة ما إلى قسمين أو أكثر، ويتحول بهذه العملية مادة معينة إلى مواد أخرى، وينتج عن عملية الانشطار هذه نيترونات وفوتونات عالية الطاقة ودقائق نووية مثل جسيمات ألفا وبيتا وأشعة جاما.

ويؤدي انشطار العناصر الثقيلة إلى تولد كميات ضخمة من الطاقة الحرارية والإشعاعية.

تستعمل عملية الانشطار النووي في إنتاج الطاقة الكهربائية في المفاعلات النووية كما تستعمل لإنتاج الأسلحة النووية. ومن المواد النووية الانشطارية الهامة والتي تستخدم كثيراً في المفاعلات الذرية مادتي اليورانيوم-235 والبلوتونيوم-239.

مثال على عملية الانشطار النووي:



$$^{235}_{92}\mathrm{U} + {}^{1}_{0}n \longrightarrow {}^{236}_{92}\mathrm{U} \longrightarrow {}^{141}_{56}\mathrm{Ba} + {}^{92}_{36}\mathrm{Kr} + 3\,{}^{1}_{0}n + E$$

تاريخ اكتشاف الانشطار النووي

كان إنريكو فيرمي أول من قام بتصويب النيترونات على اليورانيوم عام 1934 ولكنه لم ينجح في تفسير النتائج.

وقام العالم الكيميائي الألماني أوتو هان وزميلته ليزا مايتنر وزميلهما شتراسمان بتلك الأبحاث وقاموا بتحليل المواد الناتجة عن التفاعل.

وكانت مفاجأة لم يستطيعوا أولاً تفسيرها إذ أنهم وجدوا عناصر جديدة تكونت من خلال التفاعل.

وكان أن أعادوا التجربة باستخدام يورانيوم عالي النقاوة، فكانت النتيجة هي ما وجدوه من قبل وتكوّن عنصر الباريوم.

في مطلع عام 1939 استطاعت مايتنر بمساعدة فريتش على تفسير تجربة اليورانيوم بأنها انشطار نووي واستطاعا الاثنان التفسير بأنه من خلال انقسام نواة اليورانيوم يحدث فقداً في الكتلة بين وزن اليورانيوم ووزن الباريوم والمنتجات الأخرى الناتجة عن الانقسام.

وكانت مجموعة من العلماء تعمل في فرنسا تحت رئاسة فريدريك كوري زوج ماري كوري واكتشفوا أنه خلال انشطار نواة اليورانيوم ينطلق عدد من نيترونات في المتوسط لكل انشطار فيما بعد.

ولما عرف أينشتاين وزميله زيلارد بأمريكا نتائج مايتنر بالإضافة إلى نتائج المجموعة الفرنسية عن النيترونات المصاحبة للانشطار قام أينشتاين وزيلارد بتوجيه خطابا إلى الرئيس الأمريكي.

12A.30.6

مثال: احسب الطاقة الناتجة من التفاعل التالي:

$$^{235}_{92}\mathrm{U} + ^{1}_{0}n \longrightarrow ^{236}_{92}\mathrm{U} \longrightarrow ^{141}_{56}\mathrm{Ba} + ^{92}_{36}\mathrm{Kr} + 3^{1}_{0}n + E$$

إذا علمت أن كتل الذرات المشاركة في التفاعل هي كالتالي:

$$^{235}_{92}\mathrm{U} = 234.9934\ \mathrm{u}$$

$$^{141}_{56}\mathrm{Ba} = 140.9139\ \mathrm{u}$$

$$^{92}_{36}\mathrm{Kr} = 91.8973\ \mathrm{u}$$

$$m_n = 1.0087\ \mathrm{u}$$

الحل:

يمكن حساب الطاقة الناتجة من التفاعل الانشطاري أو الاندماج من العلاقة :

$$E = \Delta m \times 931.5\ \text{MeV}$$

$$= [m_{reactants} - m_{products}] \times 931.5$$

$$E = (234.9934 + 1.0087 - 140.9139 - 91.8973 - 3 \times 1.0087)931.5$$

$$E = 153.42\ \text{MeV}$$

تاريخ اكتشاف الانشطار النووي

قامت الحكومة الأمريكية في البدء بتشجيع الأبحاث النووية. وقام إنريكو فيرمي وكان يعمل في جامعة شيكاغو آنذاك ببناء أول كومة ذرية مكونة من اليورانيوم والجرافيت، واختار الجرافيت كمهدئ لسرعة النيترونات، ونجح في توصيل الكومة الذرية إلى الحالة الحرجة، وكان ذلك في ديسمبر عام 1942.

بدأت الولايات المتحدة مشروع مانهاتن عام 1942 بغرض إنتاج السلاح النووي، واتضح أن صناعة القنبلة الذرية يحتاج إلى اليورانيوم-235 عالي النقاوة، كما توصلوا إلى أن عنصر البلوتونيوم-239 له نفس خواص اليورانيوم-235، فعزم العاملون في مشروع مانهاتن على إتباع الطريقتين في نفس الوقت لضمان التوصل إلى صنع القنبلة. وأدت تلك المجهودات إلى إنتاج قنبلتي هيروشيما ونجازاكي التي ألقيتا من الجو على اليابان في 6 أغسطس و11 أغسطس 1945.

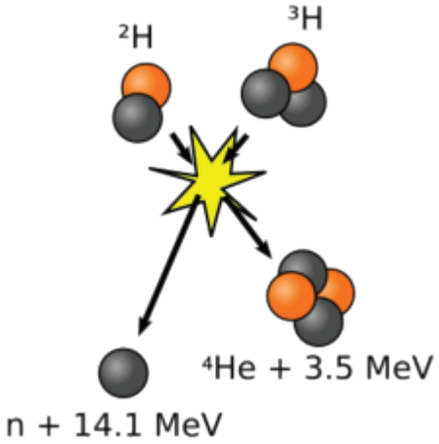
12A.30.6

الاندماج النووي:

هو عملية تتجمع فيها نواتان ذريتان لتكوين نواة واحدة أثقل.
ويلعب اندماج الأنوية الخفيفة مثل البروتون، وهو نواة ذرة الهيدروجين، والديوترون وهو نواة الهيدروجين الثقيل، والتريتيون وهو نواة التريتيوم دوراً هائلاً في العالم وفي الكون، حيث ينطلق خلال هذا الاندماج كمية هائلة من الطاقة تظهر على شكل حرارة وإشعاع كما يحدث في الشمس، فتمدنا بالحرارة والضوء والحياة.

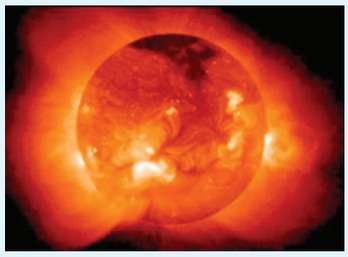
تكمن فائدة الاندماج النووي في إطلاقه كميات طاقة أكبر بكثير مما يطلقه الانشطار النووي.
وبالإضافة إلى ذلك، فإن المحيطات تحتوي بشكل طبيعي على كميات كافية من الديتريوم اللازم للتفاعل، كما أن المواد المنبعثة عن الاندماج (خصوصاً الهليوم 4)، ليست مواد مشعّة.

مثال على عملية الاندماج النووي:



$$^{2}_{1}\mathrm{H} + ^{3}_{1}\mathrm{H} \longrightarrow ^{4}_{2}\mathrm{He} + ^{1}_{0}n + E$$

السؤال الآن من أين تنتج الطاقة الناتجة من الانشطار والاندماج النووي؟
تنتج تلك الطاقة الهائلة عن فرق الكتلة بين المتفاعلات والنواتج في كل تفاعل حيث أن هذا الفقد في الكتلة يتحول إلى طاقة طبقاً لمعادلة ألبرت أينشتاين التي تربط العلاقة بين الكتلة والطاقة.



تحقيق قانون أينشتاين

عام 1932 قام العالمان الإنجليزيان كوكروفت J. D. Cockcroft ووالتون E. T. S. Walton باختبار صحة قانون أينشتاين عملياً، فقد عمدا إلى قصف الليثيوم ببروتون ذو سرعة عالية فتكونت دقائق ألفا وكمية كبيرة من الطاقة:
وقد صاحب التفاعل النووي السابق نقص في الكتلة مقداره (0.0186) وحدة كتلة ذرية.

وقد تمت الحسابات على النحو التالي:
فرق الكتلة =
$8.0216 - 8.0030 = 0.0186$
وحدة كتلة ذرية.

وقد وجد كروكروفت ووالتون أن مقدار الطاقة المنبعثة من التفاعل تماثل مقدار الطاقة التي يمكن حسابها من معادلة أينشتاين، وبذلك تم إثبات صحة قانون أينشتاين وإمكانية تحويل الكتلة إلى طاقة.

تذكر أن...

- أدنى تردد (f_0) مطلوب لانبعاث الإلكترونات من سطح الفلز يُسمى بتردد العتبة.
- كل فوتون يحمل طاقة (E) تعتمد على تردده من خلال المعادلة التالية:
$$E = hf$$
- معادلة اينشتين في تفسير الظاهرة الكهروضوئية:
$$E = E_{k_{max}} + \phi$$
- دالة الشغل (work function) والتي تُعّرف على أنها مقدار الشغل اللازم بذله لتحرير الإلكترون الأقل ارتباطاً بسطح المعدن.
$$\phi = hf_o$$
- كمية الحركة للفوتون:
$$p = \frac{hf}{c} = \frac{h}{\lambda}$$
- أنواع الأطياف الذرية:
  - طيف الانبعاث
    - أ) طيف الانبعاث المتصل (المستمر)
    - ب) طيف الانبعاث الخطي
  - طيف الامتصاص الخطي
- الإلكترون أثناء دورانه في مداره الطبيعي لا يشع طاقة مع أنه يتسارع.
- طاقة الإلكترون في مستوى الطاقة الأول (الأرضي) حسبت وكانت:
$$E_1 = -13.6 \text{ eV}$$
$$1 \text{ eV} = 1.6 \times 10^{-19} \text{ J}$$
- يمكن حساب طاقة أي مدار (مستوى طاقة) من العلاقة:
$$E_n = \frac{E_1}{n^2}$$
- طاقة الفوتون المنبعث:
$$E = E_m - E_n = hf = \frac{hc}{\lambda}$$
- كمية الحركة الزاويّة للإلكترون في المدار (L):
$$L = mvr = \frac{nh}{2\pi}$$

تذكر أن...

- تكتسب أشعة المهبط طاقة حركة نتيجة تعجيلها بفرق جهد عالي بين المهبط والمصعد في أنبوبة أشعة المهبط والذي يمكن حسابه من العلاقة:

$$E_{\mathrm{k}} = q\,V$$

- المجال الكهربائي في أنبوبة أشعة المهبط يؤثر على الشحنة الكهربائية بقوة كهربائية تعطى بالعلاقة:

$$F_{\mathrm{e}} = q\,E$$

- المجال المغناطيسي في أنبوبة أشعة المهبط يؤثر بقوة مغناطيسية على شحنة تتحرك في مجاله وتعطي بالعلاقة:

$$F_m = qvB\sin\theta$$

- السرعة التي تتحرك بها الإلكترونات في مسار مستقيم تحت تأثير المجالين الكهربائي والمغناطيسي المتعامدين.

$$v = \frac{E}{B}$$

- المعادلتين التاليتين تستخدمان لحساب النسبة بين شحنة الإلكترون وكتلته

$$\frac{q}{m} = \frac{E}{B^2 r}$$

$$\frac{q}{m} = \frac{v}{Br}$$

- في تجربة ميلكان عند تساوي قوة الجاذبية مع القوة التي يؤثر فيها المجال الكهربائي، تتوقف القطرة لحظياً وتبقى معلقة ثابتة.

$$mg = qE$$

- تمكن دي برولي من حساب الطول الموجي المصاحب للجسيم المتحرك:

$$\lambda = \frac{h}{p} = \frac{h}{mv}$$

- شحنة الإلكترون مكمّمة، ومقدارها $(1.6 \times 10^{-19}\ \mathrm{C})$، أي أن:

$$q = ne$$

- معادلة اينشتاين التي علاقة تربط الطاقة بالمادة:

$$E = mc^2$$

- يمكن حساب كل من طاقة الربط النووية ومتوسط طاقة الربط النووية مباشرة من العلاقات التالية:

$$E_b = \left(Z \times m_p + N m_n - m_a\right) 931.5\ \mathrm{MeV}$$

$$\frac{E_b}{A} = \left(Z \times m_p + N m_n - m_a\right) \frac{931.5}{A}\ \mathrm{MeV}$$

تذكر أن...

- أمثلة على تحولات المادة والطاقة:
  - تكون الجسيمات الذرية في التصادمات عالية الطاقة.
  - عند التقاء الجسيمات مع الجسيمات المضادة لها فأنها تتلاشى وتنتج موجات كهرومغناطيسية.
  - في التفاعلات النووية يتحول الفقد في الكتلة إلى طاقة حركة للجسيمات الناتجة من التفاعلات.

- طاقة الربط النووية: الطاقة المتحررة عند تكون أنوية الذرات من اتحاد مكوناتها أو الطاقة التي تربط مكونات النواة بعضها مع بعض.

- طاقة الربط لكل نيوكليون (متوسط طاقة الربط النووية)هي الطاقة التي تربط نيكليون واحد في النواة أو الطاقة اللازمة لفصل نيوكليون واحد من النواة.

- الانشطار النووي هي عملية انشطار نواة ذرة ما إلى قسمين أو أكثر.

- الاندماج النووي هي عملية تتجمع فيها نواتان ذريتان لتكوين نواة واحدة أثقل.

اختبر نفسك

أسئلة اختيار من متعدد

(1)أي من الآتي يمكن تفسيره في ضوء نموذج الجسيمات؟

- انعكاس موجات الضوء.
- انحراف الشعاع الضوئي عند مرور خلال الفتحات الضيقة.
- تكون بقع مظلمة وأخرى مضيئة عن تداخل موجتين من الضوء.
- جميع الإجابات صحيحة.

(2)أي من التالي لا يمكن تفسيره إلا في ضوء النموذج الموجي؟

- تصادم جزيئات الغاز بجدران الإناء.
- تغيير الشعاع الضوئي لمساره عند انتقاله بين وسطين مختلفين في الكثافة الضوئية.
- انعكاس الجسيمات على بعض الأسطح.
- حيود شعاع الليزر عند مروره من فتحات ضيقة جداً.

(3)في ضوء معادلة أينشتاين لحساب طاقة الفوتون ، أي موجات الضوء التالية أكثرها طاقة؟

- الحمراء.
- الخضراء.
- الزرقاء.
- البنفسجية.

(4)ما مقدار طاقة الفوتون في موجة ترددها $10^{18}\ Hz$ ؟

- $3.5 \times 10^{-22}\ J$
- $6.63 \times 10^{-16}\ J$
- $8.99 \times 10^{-16}\ J$
- $6.63 \times 10^{-50}\ J$

(5)ما قيمة الطول الموجي للموجة في السؤال السابق؟

- $3.8 \times 10^{8}\ m$
- $3.0 \times 10^{-10}\ m$
- $9.4 \times 10^{-16}\ m$
- $6.1 \times 10^{10}\ m$

(6)كم عدد الفوتونات لضوء أزرق طوله الموجي $550\ nm$ واللازمة لنقل طاقة مقدارها $10\ J$ ؟

- 2.8×10^{19} فوتون .
- 5.2×10^{18} فوتون .
- 6.9×10^{34} فوتون .
- 9.5×10^{33} فوتون .

(7) ما قيمة الطاقة المنقولة بوحدة الإلكترون فولت بواسطة حزمة من الضوء الأزرق طوله الموجي $400\ nm$ وتحتوي على 1000 فوتون؟

- $3.1 \times 10^{3}\ eV$
- $5.2 \times 10^{16}\ eV$
- $4.92 \times 10^{-19}\ eV$
- $4.96 \times 10^{-16}\ eV$

(8) شعاع ليزر يخرج من جهاز قدرته $0.6\ W$ ، طوله الموجي $550\ nm$ ، كم عدد الفوتونات التي تنطلق خلال ثانية واحدة من الجهاز؟

- 2.12×10^{16} فوتون .
- 3.45×10^{19} فوتون
- 4.34×10^{22} فوتون
- 1.66×10^{18} فوتون

(9) عند سقوط شعاع ضوئي ذو تردد مناسب على سطح فلز تنطلق إلكترونات من سطحه. ماذا تسمى تلك الظاهرة؟

- انعكاس الضوء.
- انبعاث الإلكترونات.
- التأثير الكهروضوئي.
- الموجات الإلكترونية.

(10) كيف يمكن زيادة طاقة حركة الإلكترونات المتحررة من سطح معدن يسقط عليه شعاع ضوئي؟

- زيادة تردد الضوء الساقط على المعدن.
- زيادة الطول الموجي للضوء الساقط.
- زيادة شدة الشعاع الساقط مع تقليل تردده إلى ما دون تردد العتبة.
- جميع الإجابات ممكنة.

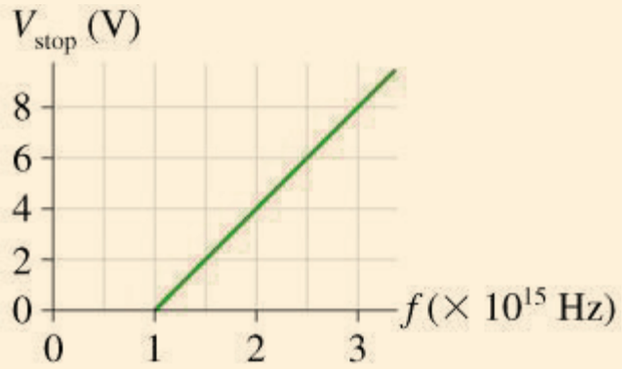
(11) يعتمد مقدار الشغل المبذول لتحرير أقل الإلكترونات ارتباطاً من سطح أي معدن على ..

- تردد الضوء الساقط على سطح المعدن.
- طول موجة الضوء الساقط على سطح المعدن.
- شدة الضوء الساقط على سطح المعدن.
- نوع المعدن المستخدم.

(12) ما هي طاقة الحركة لأسرع الإلكترونات المحررة داخل خلية كهروضوئية إذا كان جهد الإيقاف في الخلية يساوي $(1.2V)$ ؟

- $7.9 \times 10^{-34}\text{J}$
- $1.9 \times 10^{-19}\text{J}$
- $7.5 \times 10^{18}\text{J}$
- $1.33 \times 10^{-19}\text{J}$

(13) تعرض لوح معدني لأشعة كهرومغناطيسية ترددها f . يبين الشكل اعتماد جهد الإيقاف على مقدار تردد الموجة الساقطة. ادرس الشكل ثم أجب عن السؤالين التالية :



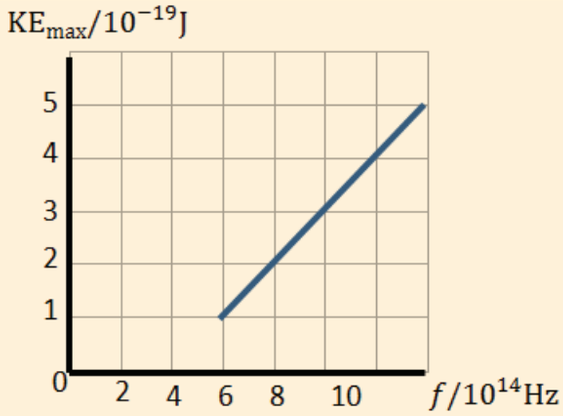
(أ) ما قيمة تردد العتبة للمعدن.

- 1Hz
- 10^{15}Hz
- $2 \times 10^{15}\text{Hz}$
- $8 \times 10^{15}\text{Hz}$

(ب) ما قيمة دالة الشغل للمعدن؟

- $2.6 \times 10^{-15}\text{J}$
- $6.63 \times 10^{-19}\text{J}$
- $8 \times 10^{15}\text{J}$
- $3 \times 10^{15}\text{J}$

(14) لوح من فلز ما سقط عليه شعاع ضوئي تردده f . يبين الشكل التالي اعتماد طاقة الحركة العظمى على مقدار تردد الشعاع الساقط.



(أ) ما قيمة تردد العتبة للفلز.

- $4 \times 10^{14}\text{Hz}$
- $6 \times 10^{14}\text{Hz}$
- 10^{14}Hz
- $5 \times 10^{-19}\text{Hz}$

(ب) ما قيمة دالة الشغل للفلز؟

- $3.3 \times 10^{-52}\text{J}$
- $3.98 \times 10^{-19}\text{J}$
- $6.63 \times 10^{-19}\text{J}$
- $2.65 \times 10^{-19}\text{J}$

(15) ما هي قيمة كمية الحركة لفوتون طول موجته $2.4 \times 10^{-7}m$ ؟

- $1.6 \times 10^{-40}\text{J.s/m}$
- $3.6 \times 10^{26}\text{J.s/m}$
- $2.76 \times 10^{-27}\text{J.s/m}$
- $1.23 \times 10^{-24}\text{J.s/m}$

(16) تم تعجيل شعاع إلكتروني من السكون داخل فرق جهد قدره $1000V$ ، احسب الآتي :

(أ) طاقة حركة كل إلكترون داخل الشعاع الإلكتروني.

- $1.6 \times 10^{-16}\text{J}$
- $19.4 \times 10^{-19}\text{J}$
- $6.2 \times 10^{21}\text{J}$
- $1.6 \times 10^{-22}\text{J}$

(ب) ما هي سرعة الإلكترونات المعجلة؟

- $1.87 \times 10^{7}\text{m/s}$
- $3.5 \times 10^{14}\text{m/s}$
- $3.7 \times 10^{7}\text{m/s}$
- $8.5 \times 10^{24}\text{m/s}$

(17) ترجع كفاءة المجهر الإلكتروني إلى قيامه على مبدأ ..

- الطبيعة الجسيمية للإلكترون فقط.
- الطبيعة الموجية للإلكترون فقط.
- الطبيعة الموجية وكذلك الجسيمية للإلكترون فقط.
- شحنة الإلكترونات تخالف شحنة البروتونات.

(18) ما هي السرعة التي يجب أن يتحرك بها الإلكترون في المجهر الإلكتروني كي نتمكن من رؤية فيروس طوله $3.7nm$ ؟

- $2 \times 10^{-4}\text{m/s}$
- $6.63 \times 10^{5}\text{m/s}$
- $9 \times 10^{15}\text{m/s}$
- $2 \times 10^{5}\text{m/s}$

(19) تظهر خطوط ملونة محددة تنبعث من أنابيب التفريغ الكهربي تسمى ..

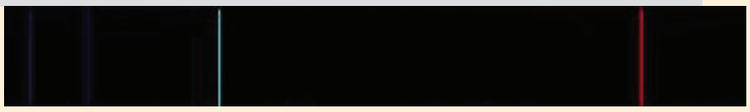
- طيف الانبعاث الخطي.
- طيف الانبعاث المتصل.
- طيف الامتصاص الخطي.
- طيف الامتصاص المتصل.

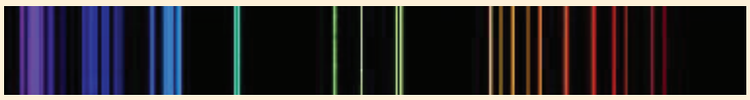
(20) تظهر خطوط سوداء في طيف الشمس (خطوط فرانهوفر) نتيجة ..

- عدم قدرة الضوء على قطع المسافة بين الشمس والأرض.
- حيود الضوء القادم من الشمس بسبب مروره بالغلاف الجوي للأرض.
- مرور أشعة الشمسة على أغلفة غازية باردة .
- ارتداد أشعة الشمس نتيجة اصطدامها بالغلاف الجوي للأرض.

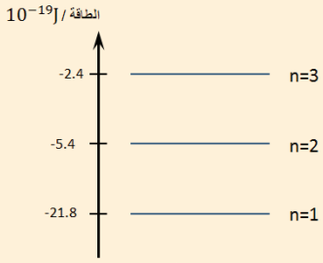
(21) إذا كانت الشكل الأول يمثل طيف الامتصاص لعنصر الكربون ،

فأي الأشكال التالية تمثل طيف الانبعاث لنفس العنصر؟





(22) يبين الشكل التالي مستويات الطاقة لذرة عنصر غازي.



ماذا يحدث لإلكترون في المستوى الأرضي عندما يمتص طاقة من فوتون قيمتها 19.4×10^{-19}J ؟

- ينتقل للمستوى الثاني.
- ينتقل للمستوى الثالث.
- يصبح حراً طليقاً خارج الذرة.
- يظل في مكانه حيث أن الطاقة لا تكفيه للانتقال بين المستويات.

ما هي قيمة الطول الموجي للأشعة الكهرومغناطيسية المنبعثة نتيجة انتقال الإلكترون بين المستويين الثاني والثالث؟

- 6.63×10^{-7}m
- 1.2×10^{-7}m
- 1.5×10^{6}m
- 4.2×10^{7}m

(23) ما هي سرعة إلكترون بالمدار الأول لذرة الهيدروجين إذا كان نصف قطر المدار يساوي $0.0529nm$ وكتلة الإلكترون $9.1 \times 10^{-31}kg$ ؟

- 4.8×10^{-41}m/s
- 2.2×10^{6}m/s
- 1.7×10^{-20}m/s
- 5.12×10^{6}m/s

(24) أي من النماذج التالية قام بتفسير تأثير الضوء الخافت على خروج إلكترونات من سطح فلز تفسيراً دقيقاً؟

- النموذج الجسيمي.
- النموذج الموجي.
- النموذج الفوتوني.
- النموذج الذري.

(25) مما تتكون منطقة انحراف أشعة المهبط؟

- مجال كهربي قوي.
- مجال مغنطيسي قوي.
- مجال كهربي ومجال مغناطيسي متعامدين.
- لا يوجد إجابة صحيحة.

(26) داخل أنبوبة أشعة المهبط يتحرك إلكترون بسرعة $1.6 \times 10^{6} m/s$ بشكل عمودي على مجال مغناطيسي شدته $4.2 \times 10^{-2} T$ فإذا كان المجال المغناطيسي هو القوة الوحيدة المؤثرة على الإلكترون ، فما هي قيمة نصف قطر المسار الذي يتحرك فيه الإلكترون؟

- $4.6 \times 10^{3}\text{m}$
- $3.2 \times 10^{-4}\text{m}$
- $1.16 \times 10^{-5}\text{m}$
- $2.16 \times 10^{-4}\text{m}$

(27) اكتشف طومسون في تجربته أن النسبة بين الشحنة إلى كتلة أشعة المهبط لا تتغير بتغير الغاز المستخدم. ما النتيجة التي أدت إليها تلك الحقيقة؟

- كتلة الإلكترونات صغيرة جداً إذا ما قورنت بشحنتها.
- شحنة الإلكترون سالبة.
- أن نوعية الغاز لا تؤثر على نتائج أي تجربة.
- أن الإلكترونات هي المكون الرئيس لذرات أي مادة.

(28) لاحظ مليكان بعد تكرار تجربته لأكثر من مرة أن قطرات الزيت كانت تحمل دائماً مقداراً مضاعفاً للعدد ($1.6 \times 10^{-19} C$) . ماذا تعني تلك النتيجة؟

- شحنة الإلكترون سالبة.
- شحنة الإلكترون مكممة.
- هناك ارتباط وثيق بيت حجم القطرة وعدد الإلكترونات التي يمكن أن تحملها.
- للزيت قدرة عالية على اكتساب الشحنات السالبة.

(29) استطاع أحد الطلاب الإبقاء على قطرة من الزيت وزنها $2.4 \times 10^{-15} N$ معلقة تحت تأثير مجال كهربي قدره $5000\ N/C$. ما هو عدد الإلكترونات على قطرة الزيت؟

- 1
- 2
- 3
- 4

(30) يرجع اختلاف الكتلة النظرية لمكونات نواة الذرات عن الكتلة الفعلية لها إلى ..

- طاقة الربط النووي.
- طاقة التنافر بين البروتونات داخل النواة.
- طاقة التجاذب بين البروتونات داخل النواة.
- طاقة التجاذب بين إلكترونات الذرة ونواتها.

(31) عند اصطدام إلكترون عالي الطاقة مع بوزيترون ينتج ..

- الكواركات.
- أشعة جاما.
- جسيمات ألفا.
- جسيمات بيتا.

(32) أكثر العناصر في مقدار طاقة الربط النووي هي العناصر ..

- كبيرة الكتلة.
- متوسطة الكتلة.
- الخفيفة.
- جميع الإجابات ممكنة.

(33) ما هي قيمة طاقة الترابط النووي لكل نيكليون داخل جسيم ألفا إذا علمت أن الفرق بين الكتلة النظرية والكتلة الفعلية $0.0292amu$ ؟

- 27.1852MeV
- $7.841 \times 10^{-6}\text{MeV}$
- 6.7963MeV
- 0.0073MeV

(34) ما قيمة الترابط النووي لكل نيكليون في نواة ذرة العنصر $^{9}_{4}Be$ إذا علمت أن الفرق بين الكتلة النظرية والفعلية هي $0.06248amu$ ؟

- 6.46MeV
- 14.55MeV
- 4.476MeV
- $5.81 \times 10^{-6}\text{MeV}$

أسئلة متنوعة

(1) قارن بين النموذج الموجي والنموذج الجسيمي في تفسير التأثير الكهروضوئي.
(2) ما هي الظواهر التي لم يستطع النموذج الجسيمي تفسيرها؟
(3) عين الجمل الصحيحة من الأربع جمل التالية:

أ. يحمل الفوتون شحنة سالبة.

ب. ينتشر الفوتون في الفراغ بسرعة قدرها $3 \times 10^8 \text{ms}^{-1}$.

ج. الفوتون هو كم من الأشعة الكهرومغناطيسية.

د. فوتون أشعة إكس له طاقة أقل من فوتون أشعة الراديو.

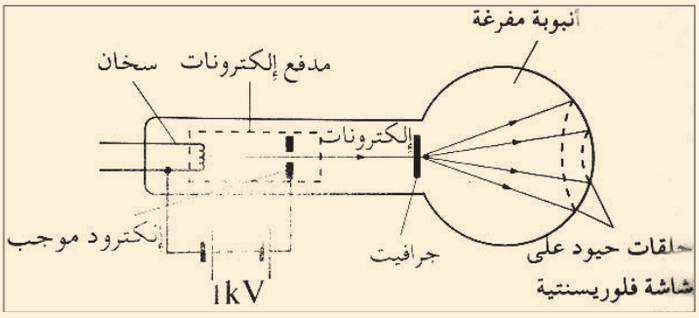
(4) اشرح الظاهرة الكهروضوئية بدلالة تفاعل الفوتونات مع سطح المعدن.

(5) ما المقصود بالإلكترون فولت؟

(6) ماذا نعني بكل من :

- بأن دالة الشغل للذهب تساوي $4.9\ eV$ ؟
- ماذا نعني بقولنا أن التردد العتبي لفلز ما يساوي $4.55 \times 10^{14}\ Hz$ ؟
- ماذا نعني بقولنا أن أقل جهد عكسي يكفي لإيقاف أسرع الإلكترونات الضوئية يساوي $1.3\ V$ ؟

(7) في الشكل التالي يتم تعجيل الإلكترونات إلى سرعة عالية بواسطة مسدس الإلكترونات ، يمر الإلكترون المعجل خلال شريحة رقيقة من الجرافيت ويخرج لينتج حلقات حيود على شاشة فلورسنتية.



أ. استخدم فكرة دي برولي لتبين كيف أظهرت تلك التجربة السلوك الموجي للإلكترونات.

ب. بين (داخل مسدس الإلكترونات) كيف تظهر تلك التجربة أيضاً السلوك الجسيمي للإلكترونات.

(8) احسب كمية الحركة لفوتون الأشعة السينية ذي الطول الموجي $(\lambda = 5 \times 10^{-12}\ \text{m})$.

(9) احسب طاقة فوتون كل من التالي بوحدة (J) و(eV).
أ- موجات راديو بتردد (100 MHz).

اختبر نفسك

ب- موجات الميكروويف بطول موجة (10 cm).
جـ- موجات تحت حمراء بطول موجة (1 mm).
د- موجات فوق بنفسجية بطول موجة (100 nm).

(10) احسب طاقة الفوتون لضوء أصفر طوله الموجي يساوي 550nm ؟

(11) سقط شعاع ضوئي تردده (6.7×10^{14} Hz)، على فلز السيزيوم في خلية كهروضوئية. احسب طاقة الحركة لأسرع الإلكترونات إذا علمت أن دالة الشغل للسيزيوم (3.43×10^{-19}J).

(12) طول موجة تردد العتبة للبوتاسيوم ($\lambda_0 = 550$ nm) احسب دالة الشغل له.

(13) كاثود خلية كهروضوئية دالة الشغل لفلزه (2.8 eV).
أ. إذا سقط ضوء ذو طول موجي (400 nm) هل تتحرر الإلكترونات؟
ب. إذا سقط ضوء وحرر الإلكترون بطاقة حركة (1.4 eV)، فما طول موجة الضوء الساقط؟

(14) الجدول التالي يبين طاقة الحركة للإلكترون المحرر من خلية كهروضوئية وتردد الضوء الساقط.

التردد ($\times 10^{14}$ Hz)	طاقة الحركة لأسرع الإلكترونات (eV)
5.00	0.22
6.00	0.88
7.00	1.54
8.00	2.20
9.00	2.87

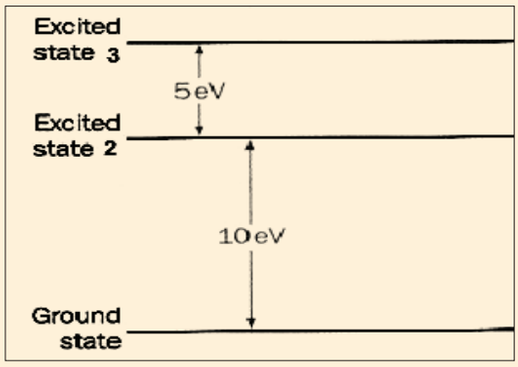
أ. ارسم العلاقة البيانية بين طاقة الحركة للإلكترون على المحور الصادي والتردد على المحور السيني.
ب. استخدم المنحنى الناتج لحساب دالة الشغل للفلز.
ج. احسب ميل المستقيم الناتج، وفسر ماذا يساوي؟

(15) احسب طاقة المدار الثالث والمدار الرابع لذرة الهيدروجين.

(16) احسب فرق الطاقة بين المدارين الثالث والثاني لذرة الهيدروجين. ثم احسب طول موجة الفوتون المنبعث في هذه الحالة.

(17) الشكل يمثل ثلاث مستويات طاقة. ما طاقة الفوتونات التي يمكن أن تنبعث منها؟

اختبر نفسك



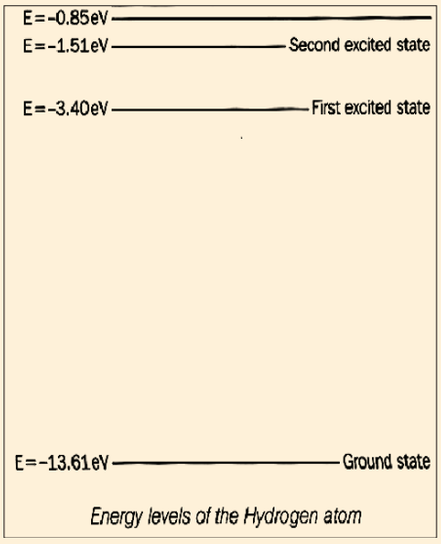
(18) استخدم الشكل المقابل لحساب:

أ. طاقة التأين لذرة الهيدروجين.

ب. ما أكبر طاقة لفوتون منبعث من خلال مستويات الطاقة الأربعة الموضحة بالشكل؟

ج. ما أقل تردد لفوتون منبعث؟

د. ما أكبر طول موجي لفوتون منبعث؟



Energy levels of the Hydrogen atom

(19) حدد سلوك الإلكترون هل هو سلوكاً موجياً أم سلوكاً جسيمياً في الحالات الآتية:

- اتخاذ مسار دائري داخل مجال مغناطيسي.
- تشكيل نمط الحيود.
- امتصاص الفوتون والخروج من سطح الفلز.

(20) إذا كان نصف قطر المدار الأول لذرة الهيدروجين يساوي $(r_1 = 5.27 \times 10^{-11}\ m)$، وسرعة الإلكترون في المدار تساوي $(v_1 = 2.18 \times 10^{6}\ m/s)$، وكتلة الإلكترون تساوي $(m = 9.1 \times 10^{-31}\ kg)$.

أ. احسب كمية الحركة الزاوية للإلكترون في المدار الأول.

ب. ما كمية الحركة الزاوية لإلكترون ذرة الهيدروجين في المدار الرابع؟

(21) تم تعجيل شعاع إلكتروني بفرق جهد مقداره $(250\ V)$. احسب طاقة الحركة وسرعة الإلكترونات عندما تخرج من المدفع الإلكتروني.

(22) يتحرك إلكترون عبر مجال مغناطيسي شدته $(6 \times 10^{-2}\ T)$، في خط مستقيم عند تطبيق مجال كهربائي مقداره $(3 \times 10^{3}\ N/C)$. ما السرعة التي تحركت بها الإلكترونات؟

اختبر نفسك

(23) بروتونات تتحرك دون انحراف عندما يتوازن مجال مغناطيسي شدته $(0.6\ \mathrm{T})$ مع مجال كهربائي شدته $(4.5 \times 10^3\ \mathrm{N/C})$. ما هي سرعة البروتونات المتحركة؟

(24) احسب شدة المجال المغناطيسي لجعل الإلكترون يتحرك في دائرة نصف قطرها $(8\ \mathrm{cm})$، إذا كان فرق الجهد المطبق في المدفع الإلكتروني $(400\ \mathrm{V})$.

(25) في تجربة طومسون استخدم شعاع من الإلكترونات عندما كان فرق الجهد بين الفتيلة والمصعد $(880\ \mathrm{V})$، فاكتسب سرعة قدرها (v)، وعند دخوله المنطقة التي يؤثر فيها المجال المغناطيسي الذي كثافته (B)، اتخذ في هذه المنطقة مساراً دائرياً نصف قطره $(20\ \mathrm{cm})$، ثم أثر عليه في نفس المنطقة بمجال كهربائي شدته (E) حتى عاد شعاع الإلكترونات إلى مساره الأصلي دون انحراف احسب:

أ. سرعة الإلكترونات بفرض أنها بدأت من السكون.

ب. شدة المجال المغناطيسي.

(26) إذا كانت سرعة شعاع الإلكترونات في أنبوبة طومسون تساوي $(16 \times 10^6\ \mathrm{m/s})$، ثم أثر عليه مجال مغناطيسي متعامد عليه شدته $(91 \times 10^{-5}\ \mathrm{T})$، احسب:

أ. نصف قطر انحناء المسار الدائري.

ب. فرق الجهد الذي يوصل على اللوحين لجعل الإلكترونات تسير في خط مستقيم دون انحراف علماً بأن المسافة بين اللوحين $(5\ \mathrm{cm})$.

(27) قطرة زيت تسقط إلى الأسفل في جهاز ميليكان عندما لم يطبق بين لوحيه مجال كهربائي.

أ. ما هي القوى المؤثرة على قطرة الزيت أثناء سقوطها، بغض النظر عن تسارعها؟

ب. إذا كانت قطرة الزيت تتحرك إلى الأسفل بسرعة ثابتة، ما هي القوى المؤثرة في هذه الحالة؟

(28) في تجربة مليكان وجد أن قطرة ذات شحنة تزن $(6.4 \times 10^{-13}\ \mathrm{N})$. بقيت القطرة معلقة دون حراك عند تطبيق مجال كهربائي مقداره $(4.0 \times 10^6\ \mathrm{N/C})$.

أ. ما مقدار الشحنة على قطرة الزيت؟

ب. ما عدد الإلكترونات المفقودة على قطرة الزيت؟

ج. عند إزالة المزيد من الإلكترونات ما مقدار شدة المجال الكهربائي اللازم لاتزان قطرة الزيت؟

(29) اتزنت قطرة زيت كتلتها $(2 \times 10^{-11}\ \mathrm{kg})$ بين اللوحين في تجربة مليكان، احسب شدة المجال الكهربائي بين اللوحين علماً بأن قطرة الزيت تحمل (10) إلكترونات.

(30) يتم تعجيل الإلكترونات من السكون بجهد مقداره $(5000\ \mathrm{V})$. ما هو طول الموجة دي برولي المصاحبة للإلكترون؟

(31) احسب طاقة الربط النووية، ومتوسط طاقة الربط النووية لنواة الأكسجين $({}^{16}_{8}\mathrm{O})$، حيث: كتلة نواة الأكسجين:

$${}^{16}_{8}\mathrm{O} = 15.99491\ \mathrm{u}$$
$$m_n = 1.0087\ \mathrm{u}$$
$$m_p = 1.0073\ \mathrm{u}$$

(32) أي النواتين أكثر استقراراً ($^{4}_{2}\mathrm{He}$) أم ($^{235}_{92}\mathrm{U}$)؟ حيث كتل الأنوية:

$$^{4}_{2}\mathrm{He} = 4.0026\ \mathrm{u}$$
$$^{235}_{92}\mathrm{U} = 234.9934\ \mathrm{u}$$
$$m_n = 1.0087\ \mathrm{u}$$
$$m_p = 1.0073\ \mathrm{u}$$

(33) احسب الطاقة الناتجة من التفاعل الانشطاري التالي:

$$^{235}_{92}\mathrm{U} + {}^{1}_{0}n \rightarrow {}^{146}_{57}\mathrm{La} + {}^{87}_{35}\mathrm{Br} + 3{}^{1}_{0}n + E$$

حيث كتل الأنوية هي كالتالي:

$$^{235}_{92}\mathrm{U} = 234.9934\ \mathrm{u}$$
$$^{87}_{35}\mathrm{Br} = 86.9028\ \mathrm{u}$$
$$^{146}_{57}\mathrm{La} = 145.8684\ \mathrm{u}$$
$$m_n = 1.0087\ \mathrm{u}$$

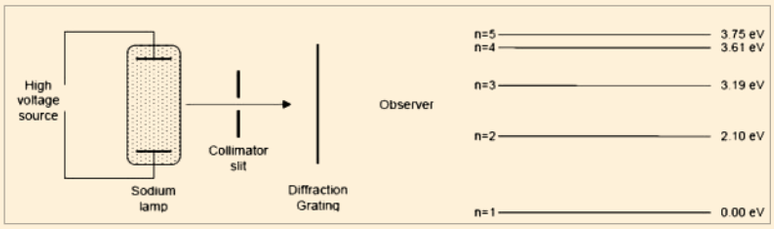
(34) احسب الطاقة الناتجة من التفاعل الاندماجي التالي:

$$^{2}_{1}\mathrm{H} + {}^{3}_{1}\mathrm{H} \rightarrow {}^{4}_{2}\mathrm{He} + {}^{1}_{0}n + E$$

حيث كتل الأنوية هي كالتالي:

$$^{2}_{1}\mathrm{H} = 2.014102\ \mathrm{u}$$
$$^{3}_{1}\mathrm{H} = 3.016049\ \mathrm{u}$$
$$^{4}_{2}\mathrm{H_e} = 4.0026\ \mathrm{u}$$
$$m_n = 1.0087\ \mathrm{u}$$

(35) تم إعداد المطياف لملاحظة الطيف الناتج من مصباح بخار فلز ما كما بالشكل. مستويات الطاقة الدنيا للصوديوم معطاة في الشكل .



ما نوع الطيف الناتج و كم عدد خطوط الطيف المناظرة لمستويات الطاقة يمكن مشاهدتها ؟

(36) إلكترون طول موجة دي برولي له تساوى طول موجة فوتون تردده 1.5×10^{15} Hz. ما هي كمية حركة هذا الإلكترون ؟

الوحدة الثانية

طبيعة المادة

Nature of Matter

12AP.2

قانون هوك
Hook's law

12A.26.1

الأهداف

- يذكر نص قانون هوك.
- يمثل بيانياً العلاقة بين القوة المؤثرة على نابض ومقدار الاستطالة فيه (قانون هوك وحَد المرونة).
- يعين تجريبياً ثابت النابض.

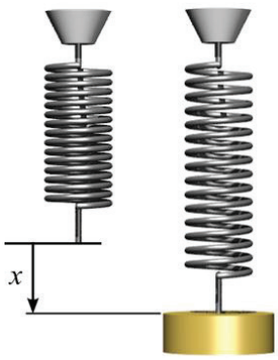
المصطلحات الأساسية

قانون هوك	Hooke's Law
الاستطالة	Extension
حد المرونة	Elastic limit
مواد صلدة	Stiff materials
مواد مرنة	Elastic materials
مواد بلاستيكية	Plastic materials
مواد هشة	Brittle materials

الميزان النابضي (الزنبركي)

يستخدم الميزان الزنبركي لقياس وزن الأجسام، ويعتمد في عمله على قانون هوك حيث يحتوي بداخله على نابض، تتناسب مقدار استطالته طردياً مع مقدار قوة الوزن المؤثرة عليه، وذلك ضمن حدود مرونته.

اعتمد الانسان في صناعة الجسور والمباني على مواد صلبة وذلك لما لها من قدرة على الاحتفاظ بالشكل عند تعرضها للقوى المختلفة مثل الضغط والشد .
ولكن ما سبب قدرة تلك المواد على الاحتفاظ بشكلها؟
بالنظر لدقائق المادة نجد أنها مكونة من ذرات أو جزيئات ، وفي حالة قوى الشد مثلاً فإن ذرات أو جزيئات المادة الصلبة تقع تحت قوى تسحبها بعيداً عن بعضها البعض ، بيد أن مقدار تلك القوى تعتبر صغيرة عادة إذا ما قورنت بالقوة الهائلة التي تحافظ على بقاء تلك الجزيئات في حالة ترابط.
ولنفس السبب في حالة قوة الانضغاط ، فإن قوة تنافر تنشأ بين الجزيئات بحيث تقاوم الضغط الواقع عليها.
ولكن في حالات معينة عندما تكون القوى الخارجية المؤثرة أكبر من قوى التجاذب أو التنافر لدقائق المادة الصلبة فإنها تتعرض لتشوه بشكل ما يعتمد مقداره وطبيعته على طبيعة المادة.
وكمثال على ذلك فإن بعض المواد عند تعرضها لقوة شد فإنها تستطيل بحيث يتناسب مقدار الاستطالة مع مقدار القوة المؤثرة.
إن أول من قام بتعريف وقياس هذه العلاقة هو العالم روبرت هوك وقد قام بدراستها على المواد التي يمكن تشكيلها على هيئة نوابض ، ثم وجد بعد ذلك أن هذه العلاقة يمكن أن تطبق على المواد التي تتشكل أيضاً على هيئة أسلاك أو قضبان مع الأخذ في الاعتبار أن مقدار الاستطالة يكون أصغر.
دعنا في السطور التالية نركز على النابض لتوضيح العلاقة بين القوة المؤثرة على مادة ومقدار الاستطالة.
وضع هوك قانون يصف بها تلك العلاقة :
" يتناسب مقدار الاستطالة في ساق أو نابض طردياً مع مقدار قوة الشد المؤثرة ما لم تتعدى حد المرونة"
تطبيقاً لهذا القانون ، لو تم تعليق ثقل في نابض كما بالشكل التالي فإن وزن الثقل سيعمل على استطالة النابض بمقدار (x)



وعليه يمكن صياغة قانون هوك بصيغة رياضية كالتالي:

$$F\alpha\, x$$

$$\boldsymbol{F = kx}$$

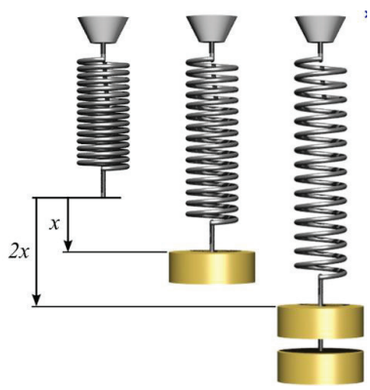
حيث :

F : قوة الشد ووحدتها (نيوتن) (N)

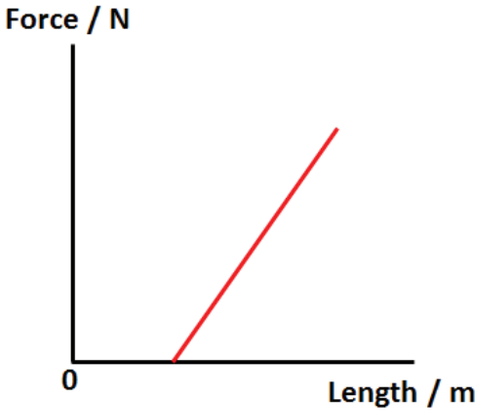
k : ثابت النابض ، ووحدته (N/m) ، وتختلف قيمته من مادة لأخرى.

x : الاستطالة ووحدتها (متر) (m)

نلاحظ أنه عند إضافة أثقال متساوية فإن مقدار الاستطالة يزيد بكميات متساوية ، كما يتضح من الشكل التالي :

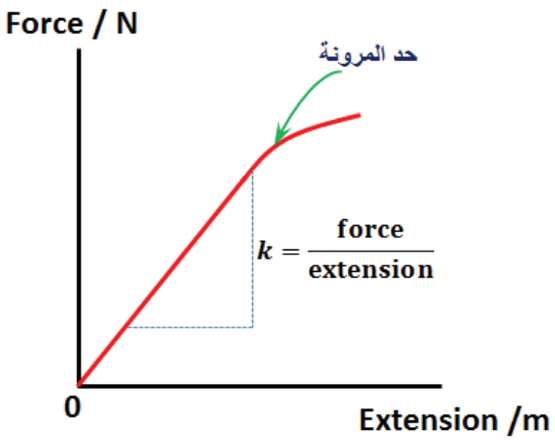


وإذا قمنا برسم علاقة بين قوة الشد المؤثرة على النابض بسبب الأثقال المضافة وطول النابض مع كل إضافة للأثقال ينتج خط مستقيم. انظر الشكل التالي:



فكر : لماذا بدأ المنحنى على المحور السيني بعيداً عن النقطة (0) ؟

وفي حالة زيادة الأثقال إلى الحد الذي لا تتحمله مرونة النابض فإنه يستطيل إلى الحد الذي لا يمكنه الرجوع إلى حالته الأصلية مرة أخرى ، وفي هذه الحالة فإننا نقول أن النابض تخطى **حد المرونة** وهنا لا يمكن تطبيق قانون هوك. انظر الشكل التالي :



لاحظ أن ميل المنحنى يساوي ثابت النابض ولكن في المنطقة المستقيمة فقط من الخط البياني.

فكر : لماذا بدأ المنحنى على المحور السيني هذه المرة من النقطة (0) ؟

مثال محلول

نابض طوله (0.38 m)، عندما أثرت عليه قوة مقدارها (2.0 N)، استطال إلى (0.42 m). ما قيمة ثابت النابض؟ افترض أن النابض مرن.

الحل

$$x = 0.42 - 0.38 = 0.04 \text{ m}$$

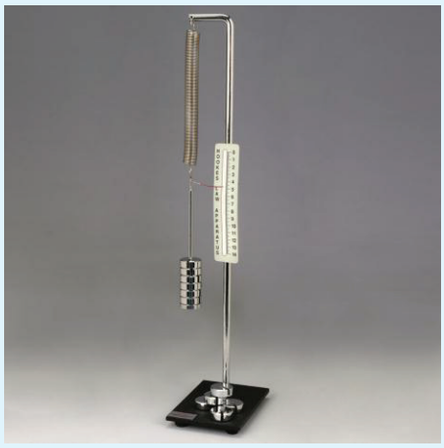
$$F = kx$$

$$k = \frac{F}{x} = \frac{2.0}{0.04} = 50 \text{ N/m}$$

نشاط

الهدف : استنتاج العلاقة بين قوة الشد والاستطالة وتعيين ثابت النابض

الأدوات :
نابض مرن، أثقال متساوية الكتل، حامل، مسطرة

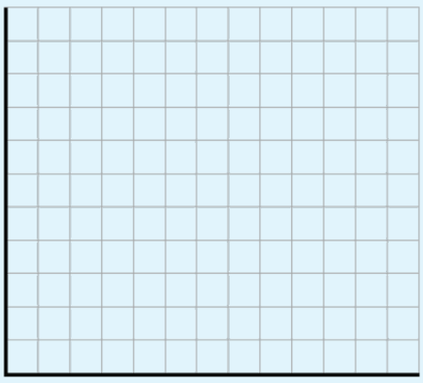


خطوات العمل:

1- علّق النابض المرن في حامل من أحد طرفيه وثبت خلفه مسطرة مدرجة وحدد عليها علامة اتزان.
2- علّق ثقلا في الطرف الثاني للنابض ثم سجل وزن الثقل المعلق (مقدار قوة الشد) والاستطالة الحادثة في النابض.
3- أضف ثقلاً آخر وسجل من جديد مقدار قوة الشد والاستطالة الحادثة عنها.
4- كرّر العملية عدة مرات (بشرط ألا يتعدى النابض حد مرونته) ثم سجل النتائج في الجدول.

مقدار الكتلة المعلقة (m) kg	الاستطالة الحادثة (x) m	مقدار قوة الشد $(F = mg)$ N

5- على الشبكة البيانية أدناه ارسم خطاً بيانياً يبين العلاقة البيانية التي تربط قوة الشد (F) المؤثرة على النابض على المحور الصادي والاستطالة (x) الناتجة عنها على المحور السيني.



ماذا تلاحظ في شكل المنحنى ؟
.....

ماذا يمثل ميل المنحنى ؟ وضح بالعمليات الحسابية.
.....
.....

ماذا تستنتج من التجربة؟
.....

الإجهاد والانفعال
Stress and Strain

12A.26.1

الأهداف

- يعرف الإجهاد والانفعال.
- يفسر مخططات الإجهاد والانفعال لجوامد مختلفة.
- يعرف مفهوم معامل يونج.
- يذكر أنواع الإجهاد.
- يحل مسائل الإجهاد والانفعال ومعامل يونج.

المصطلحات الأساسية

الإجهاد Stress
الانفعال Strain
معامل يونج
Young's modulus

البرج الوطني الكندي

طول البرج الوطني الكندي (NC tower) في تورنتو يصل إلى نصف كيلو متر. عند هبوب الرياح فإن الجزء العلوي يتمايل بمقدار نصف متر. وبسبب مرونة المواد التي يتركب منها (الصلب والخرسانة) فإنه يعود إلى حالته الطبيعية دائما.

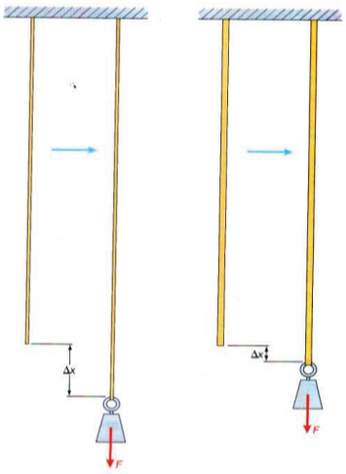
قياس المرونة:

تعرف المرونة بأنها خاصية للأجسام تمكنها من استعادة شكلها وحجمها الأصلي بعد زوال القوة المؤثرة عليها.

تكمن أهمية المرونة في أن المهندسين يعتمدون عليها في تقدير تحمل المباني للأجسام الموضوعة عليها ويتم دراسة مرونة المواد عن طريق الكميات الفيزيائية التالية : الإجهاد، الانفعال، معامل يونج.

الإجهاد (Stress): σ

إذا أثرت قوة خارجية على جسم، فإنه يستجيب لهذه القوة فيتحرك تحت تأثيرها بسرعة وتسارع ما ويقطع مسافة معينة خلال زمن معين.
ولكن في بعض الأحيان يكون الجسم مثبتاً بطريقة أو بأخرى، فعندما تؤثر عليه قوة خارجية لا تحركه ولكن تغير من شكله. التغير الحادث في شكل الجسم يتناسب مع القوة المسببة لذلك، وهذا التغير يكون إما في طول الجسم أو في شكله أو حجمه.



يوضح الشكل سلكين من النحاس مختلفين في مساحة المقطع تمددا تحت تأثير أوزان متساوية.
القوة المؤثرة في السلكين متساوية، لكن استطالتهما مختلفة. هل يمكن تفسير ذلك؟

السلكان لهما مساحة مقطع مختلفة، السلك الذي مساحة مقطعه أقل استطال بمقدار أكبر. أي أنه تحت إجهاد شدّ أكبر.

الإجهاد: هو القوة المؤثرة على وحدة المساحات.

$$\sigma = \frac{F}{A}$$

σ: الإجهاد، ووحدته: نيوتن لكل متر مربع (N/m^2) أو باسكال (Pa).
F: قوة الشد، ووحدتها: نيوتن (N)
A: مساحة مقطع السلك، ووحدتها: متر (m^2)

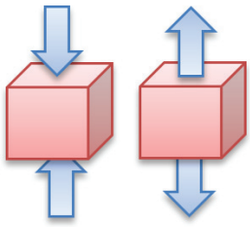
مثال:
سلك مساحة مقطعه ($4 \times 10^{-8}\ m^2$)، استطال عندما أثرت عليه قوة مقدارها ($200\ N$)، ما مقدار إجهاد الشد المؤثر على هذا السلك؟

الحل:

$$\sigma = \frac{F}{A} = \frac{200}{4 \times 10^{-8}} = 5 \times 10^{9}\ \mathrm{N/m^2}$$

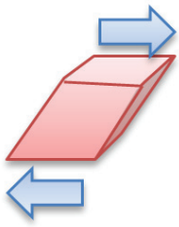
يوجد ثلاثة أنواع من الإجهاد وهي:

إجهاد الشد والانضغاط (Tensile and compressive stress):



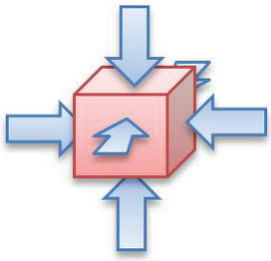
وهو إجهاد عمودي.
مثال عليه: عند التأثير على نابض مثبت في حائط بقوة شد أو انضغاط فإنه لا ينتقل من مكانه ولكنه يستطيل أو ينضغط.

إجهاد القص (Shear stress):



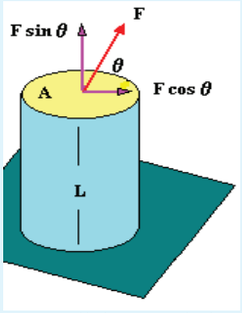
وهو إجهاد مماسي.
مثال عليه: عند التأثير على وجهين متقابلين لمكعب أو كتاب بازدواج، فإن شكل المكعب أو الكتاب سيتغير.

إجهاد حجمي (Bulk stress):



عند التأثير على جميع أوجه مكعب بضغط (P) فإن حجم المكعب سيتناقص.
مثال عليه : الكرة داخل الماء تتعرض لضغط من جميع الجهات والذي يعمل على تقليل حجمها.

إذا كانت القوة المؤثرة على الجسم تصنع زاوية مع المستوى الأفقي، كيف نحسب إجهاد القص والانفعال القصي؟

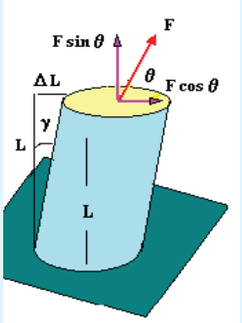


المركبة العمودية للقوة ستؤثر بإجهاد شد مقداره:

$$\sigma = \frac{F \sin\theta}{A}$$

المركبة الأفقية للقوة ستؤثر بإجهاد قص مقداره:

$$\sigma = \frac{F \cos\theta}{A}$$



الانفعال القصي:

$$\text{shear strain} = \frac{\Delta L}{L}$$

$$\text{shear strain} = \tan\gamma = \gamma$$

بسبب أن الزاوية تكون صغيرة.

الانفعال (Strain): ε

الانفعال هو النسبة بين التغير الحادث في أبعاد الجسم عند التأثير عليه بقوى خارجية إلى أبعاد الجسم الأصلية.

والانفعال ليس له وحدات لأنه نسبة.

$$\text{strain} = \frac{\text{extension}}{\text{original length}}$$

$$\boldsymbol{\varepsilon = \frac{\Delta L}{L}}$$

حيث:

ε: الانفعال.

ΔL: التغير في طول الجسم، ووحدته: متر (m).

L: الطول الأصلي، ووحدته: متر (m).

مثال(1):

سلك من الصُّلب طوله (2.3 m) استطال بمقدار (1.5 mm). ما مقدار الانفعال لهذا السلك؟

الحل:

$$\varepsilon = \frac{\Delta L}{L} = \frac{1.5 \times 10^{-3}}{2.3} = 6.5 \times 10^{-4}$$

مثال للتدريب

أرجوحة طفل معلقة بأحبال طول كل منها 3 m ، استطالت عندما جلس عليها طفل بمقدار 30 mm ، احسب انفعال الأحبال.

12A.26.1

تمرين
سلك معدني طوله (80 cm) ومساحة مقطعه ($10\ mm^2$) شُد بقوة قدرها (100 N) فأصبح طوله (80.5 cm).
احسب: أ- الإجهاد ب- الانفعال ج- معامل يونج.

ابحث عن الآتي
ما قيمة معامل يونج للعظام؟ وبين كيف أن قيمة معامل يونج تساعد على تحمل العظام للإجهاد الواقع عليها من الجسم؟

معامل المرونة (يونج):
الانفعال يتناسب طردياً مع الإجهاد على المادة طالما الجسم لم يتعدى حدّ المرونة.
والنسبة بين الإجهاد والانفعال تسمى معامل المرونة (Elastic Modulus).

$$\sigma \propto \varepsilon$$
$$\boldsymbol{\sigma = Y\varepsilon}$$

إذا كان الإجهاد المؤثر إجهاداً طولياً، فإن الانفعال الناشئ يكون انفعالاً طولياً وثابت المرونة يسمى في هذه الحالة **معامل يونج.**

$$\boldsymbol{Y = \frac{\sigma}{\varepsilon} = \frac{F/A}{\Delta L/L}}$$

Y: معامل يونج، ووحدته: نيوتن لكل متر مربع (N/m^2).
σ: الإجهاد، ووحدته: نيوتن لكل متر مربع (N/m^2).
ε: الانفعال، وليس له وحدة.

مثال:
معامل يونج للحديد يساوي $(2.1 \times 10^{11}\ Pa)$، انكسر السلك عند انفعال قدره (0.0005)، ما مقدار الإجهاد الذي تسبب في كسر السلك؟

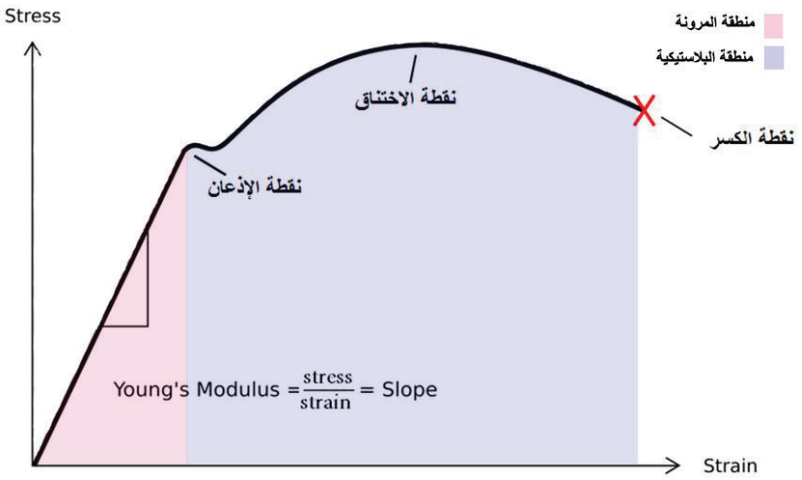
الحل:

$$Y = \frac{\sigma}{\varepsilon}$$
$$2.1 \times 10^{11} = \frac{\sigma}{0.0005}$$
$$\Longrightarrow \sigma = 1.05 \times 10^{8}\ Pa$$

تعيين معامل يونج:
الفلزات ليست تامة المرونة . عملياً يمكن شدها بنسبة 0.1% تقريباً بالنسبة لطولها الأصلي، وإذا كان مقدار الشد أعلى من ذلك تصبح دائمة التشوه. من أجل الوصول لقيم يونج الحقيقية يجب اتباع الآتي:
أولاً : يجب أن يكون السلك المستخدم طويلاً حتى يمكن الحصول على استطالة كبيرة يمكن قياسها بدقة.
ثانياً: يجب معرفة مساحة مقطع السلك بدقة عالية.

منحنى الإجهاد – الانفعال (Stress-strain graphs):

يمكن استخلاص الكثير من الخواص الميكانيكية للمادة وسلوكها عند تأثرها بقوة خارجية وذلك من منحنى الإجهاد- الانفعال للمادة.



من قراءة وتحليل منحنى الإجهاد-الانفعال لسلك من الصلب يمكنك ملاحظة الآتي:

- توجد علاقة خطية بين الإجهاد والانفعال في المنطقة المستقيمة من المنحنى ، مما يعني عند إزالة القوة عن السلك في هذه المنطقة يرجع السلك إلى طوله الأصلي.

ميل الخط المستقيم يساوي معامل يونج. ويستخدم معامل يونج لمقارنة المرونة بين المواد، فكلما كانت قيمة معامل يونج كبيرة دل ذلك على أن المادة أكثر مرونة (لا تتمدد أو تنحني بسهولة).

ملحوظة : (قيمة معامل يونج للمطاط منخفضة للغاية)

- **نقطة الإذعان** : وعند هذه النقطة إذا زاد الإجهاد بمقدار صغير فإن انفعال المادة يكون كبيراً وعندها يحدث تشوه دائم ولا يعود السلك لحالته الأصلية.
- **نقطة الاختناق** : وتمثل أقصى جهد يتحمله السلك فيحدث للمادة تشوه ويتناقص مساحة مقطع السلك حتى ينكسر.
- **نقطة الكسر** : وعند هذه النقطة يحدث كسر للمادة.
- المواد المطاوعة مثل النحاس يحدث لها تشوه كبير قبل أن تنكسر. ويتم تمثيل هذا التشوه في منحنى الإجهاد- الانفعال بمنحنى أفقي طويل بعد نقطة الإذعان.
- قد تسلك المادة سلوكاً مرناً بحيث ترجع لحالتها الأولى بسرعة وبشكل كامل بعد زوال أثر القوة ، وقد تسلك سلوكاً بلاستيكياً حيث تتشوه بسهولة دون أن تنكسر.

الهيئة العامة القطرية للمواصفات والمقاييس

تقوم الهيئة العامة القطرية للمواصفات بالارتقاء بنوعية السلع والمواد وضمان جودتها. وهذه بعض اختصاصاتها:

1 - اعتماد المواصفات القياسية القطرية للسلع والمنتجات وطرق التشغيل والفحص والاختبار والخامات والأدوات وأسس التقييم.

2- توحيد نظم القياس والمصطلحات والتعاريف والرموز وغيرها.

3 - اعتماد شهادات المطابقة للمواصفات القياسية وعلامات الجودة.

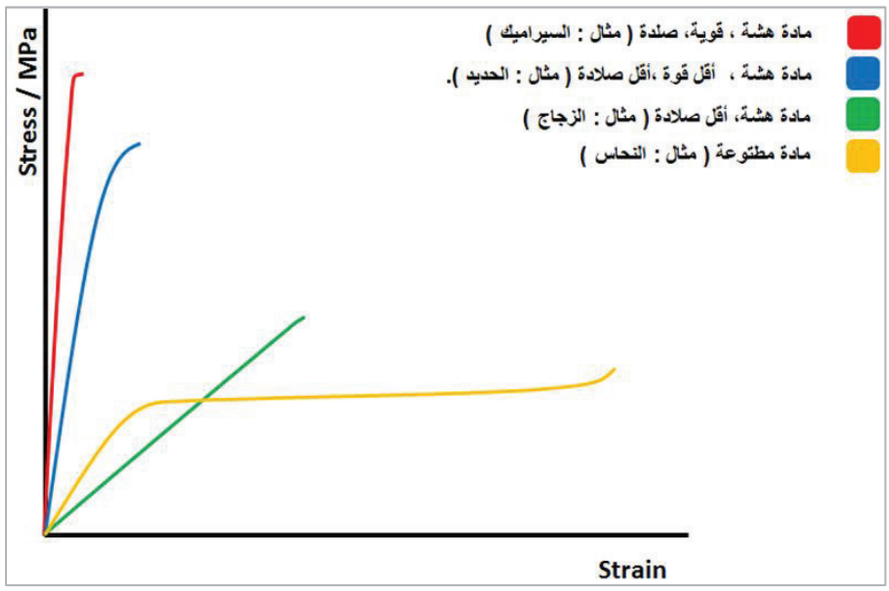
4 - متابعة السلع والمنتجات المحلية والمستوردة للتحقق من مطابقتها للمواصفات القياسية المعتمدة.

5 - إجراء البحوث والدراسات المتعلقة بالمطابقة للمواصفات القياسية ونظم الجودة.

12A.26.1

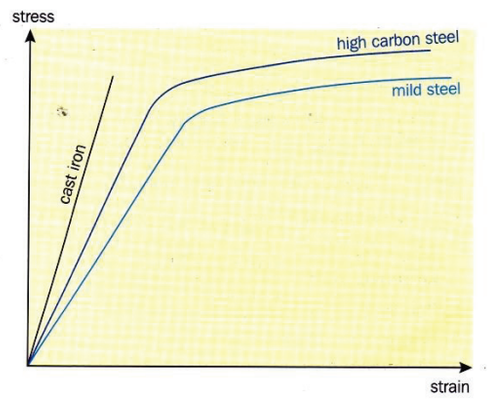
ابحث عن الآتي
الخواص الميكانيكية للمواد المستخدمة في بناء المساكن والأبراج ومنحنيات الإجهاد – الانفعال لهذه المواد.

منحنيات الإجهاد- الانفعال لمواد مختلفة:



لمنحنيات الإجهاد – الانفعال أهمية كبيرة في اختيار المواد المناسبة في الاستخدامات المختلفة سواء في التصنيع أو التشييد والبناء أو غيرها من التطبيقات الحياتية اليومية حسب خصائصها الميكانيكية . سنقوم بتوضيح بعض تلك الخصائص لبعض المواد مستخدمين المنحنيات الموضحة أعلاه:

- المادة الهشة (لا يوجد لها علاقة غير خطية) يحدث لها تشوه بسيط أو لا يحدث لها أي تشوه قبل أن تنكسر مثل مادة السيراميك، كذلك فهي صلدة (لها ميل كبير أي أن قيمة معامل يونج لها كبيرة).
- المادة المطاوعة يحدث لها تشوه كبير (منحنى أفقي طويل بعد نقطة الإذعان) قبل أن تنكسر مثل النحاس.
- المساحة تحت منحنى الإجهاد- الانفعال تساوي الشغل المبذول لاستطالة كل وحدة حجم من المادة. ومعنى ذلك أن المواد المطاوعة تحتاج إلى بذل شغل كبير قبل أن تنكسر.



تمرين: انظر إلى الشكل البياني التالي ثم أجب:

أ- حدد الخواص الميكانيكية لكل مادة.
ب- قارن بين المواد من حيث الصلادة والمرونة.

نشاط

الهدف : تعيين ثابت القوة لسلك نحاسي – معامل يونج لمادة النحاس.

الأدوات:

- منضدة تثبيت.
- مشبك تثبيت.
- بكرة.
- سلك نحاسي رفيع طوله $1.5\ m$.
- عدة أثقال فئة $100\ g$.
- شريط يستخدم كمؤشر يثبت على سلك النحاس.
- مسطرة.
- ميكروميتر (قدمة ذات الورنية).

الخطوات:

- كون جهاز كما بالشكل ولكن بدون وضع أي أثقال.

- قم بقياس طول السلك من نقطة التثبيت وحتى المؤشر المثبت على السلك النحاسي وسجل ذلك بالجدول.
- قم بقياس قطر السلك بواسطة الميكروميتر ثم عين مساحة مقطع السلك وسجل ذلك في الجدول.
- حدد مكان المؤشر بالنسبة المسطرة المثبتة أسفل السلك.
- ابدأ بإضافة الأثقال واحداً تلو الآخر مع تسجيل مقدار الاستطالة بالسلك عن طريق تسجيل حركة المؤشر المثبت بالسلك النحاسي بالنسبة للمسطرة المثبتة أسفله وذلك حتى قطع السلك.
- سجل النتائج بالجدول.

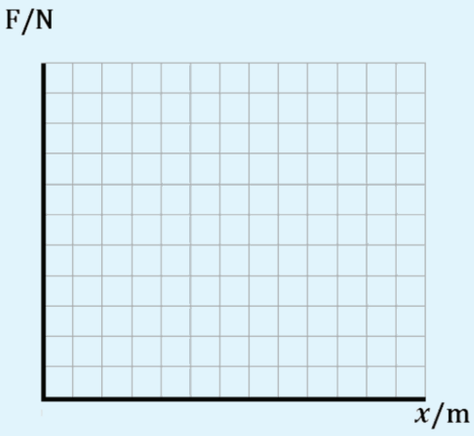
نشاط

الهدف : تعيين ثابت القوة لسلك نحاسي – معامل يونج لمادة النحاس.

الطول المبدئي للسلك	.....
مساحة مقطع السلك	.....

الثقل (N)	الاستطالة (m)	الإجهاد (N/m^2)	الانفعال

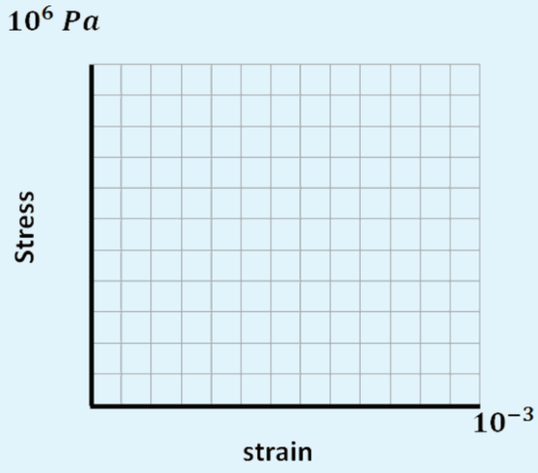
استخدم النتائج السابقة في رسم منحنى القوة – الاستطالة.



- ماذا يمثل ميل المنحنى؟

.....

استخدم النتائج السابقة في رسم منحنى الإجهاد – الانفعال.



- ماذا يمثل ميل المنحنى؟

.....

كرر التجربة مع سلك من مادة أخرى مثل الحديد والألومنيوم ، ثم قارن بين النتائج التي حصلت عليها من المنحنى الأول والثاني للنحاس مع النتائج التي حصلت عليها في حالة الحديد والألومنيوم.

- ما فائدة القيمة الناتجة في اختيار مادة لبناء الجسور؟

.....

المواد المركبة
Composite Materials

12A.26.2

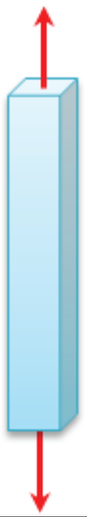
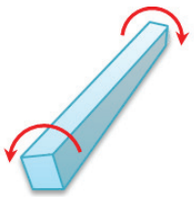
الأهداف

- يذكر أنواع القوى المؤثرة على المواد.
- يصنف المواد حسب خواصها الميكانيكية.
- يفسر استخدام مواد معينة في استخدامات خاصة بسبب اختلاف المواد في استجابتها للقوى المختلفة.
- يعرف المواد المركبة.
- يوضح أهمية المواد المركبة.
- يناقش أمثلة على المواد المركبة مبينا أهميتها.

المصطلحات الأساسية

المواد المركبة
Composite Materials

كما ذكرنا سابقاً أن المواد الصلبة قد تتشوه (يتغير شكلها أو حجمها) عند تعرضها لقوة مؤثرة بشكل كاف ، ويعتمد هذا التشوه على نوع وحجم القوى المؤثرة والتي تختلف باختلاف اتجاه تأثيرها ، ويتضح ذلك من الجدول التالي:

قوى الشد	قوى الضغط	قوى القص	قوى الالتواء
هي تلك القوى المؤثرة باتجاه الخارج في اتجاهين متضادين بحيث تعمل على استطالة الجسم. 	هي القوى المؤثرة باتجاه الداخل في اتجاهين متضادين بحيث تعمل على تقليص حجم الجسم.	هي القوى التي تعمل في اتجاهين متضادين على الأوجه المتوازية للجسم بحيث قد تؤدي لانزلاق الطبقات المكونة للجسم.	وهى نوع من قوى القص والتي تعمل على التواء الجسم بشكل طولي. 

في بعض الأحيان يتعرض الجسم لأكثر من نوع من القوى في نفس الوقت ، وتعتمد استجابة الجسم لهذه القوى على حجمه وشكله والمادة المصنوع منها. ولذلك كان من المهم التعرف على صفات المواد التي يتم استخدامها حتى يمكن اختيار المادة الأفضل عند الرغبة في استخدامها في صناعة من الصناعات.

على سبيل المثال ، الخرسانة قوية جداً تحت الضغط ولكنها ضعيفة تحت تأثير قوى الشد حيث أنها تنكسر ولذلك يفضل استخدام الخرسانة في بناء الأعمدة والأسقف.

الصلادة

عند استخدام المواد في حياتنا ، تكون خاصية الصلادة معياراً هاماً في الحكم على مجالات استخدام تلك المواد ، مثل:

- تصميم المنشآت التي يسمح لها بانحراف بسيط مثل الجسور والدراجات الهوائية والأثاث.
- تصميم النوابض التي تختزن طاقة الوضع المرونية مثل الحبال المرنة (المطاطية).

يمكن تصنيف المواد حسب الخواص الميكانيكية إلى :

مواد هشة (brittle): هي المواد التي تنكسر فجأة تاركه حوافاً خشنة وما أن يبدأ الكسر فيها فإنه ينتشر بسهولة. من أمثلتها الزجاج والحديد الزهر.

مواد مطاوعة (Ductile) وهي عكس المواد الهشة حيث أنها لا تنكسر بسهولة. من أمثلتها الحبال والنيلون ومعظم المنسوجات كذلك تعتبر العظام وأربطة العضلات مواد مطاوعة.

مواد قوية (strong): وهي المواد التي تحتاج إلى إجهاد عالي لكي تتشوه مثل سبائك الحديد والتيتانيوم.

مواد ضعيفة (Weak) : هي المواد التي تتشوه تحت إجهاد منخفض مثل الطباشير.

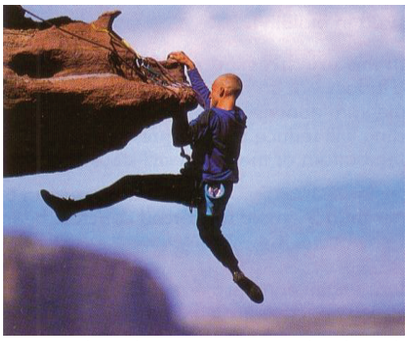
مواد صلدة (stiff): وهي المواد التي لا تنثني بسهولة مثل الألماس.

تدريب:

ما هي الخصائص الميكانيكية للمواد التالية؟

- خيط
- مسطرة بلاستيكية
- ممحاة مطاطية.

المواد المركبة: Composite Materials



انظر إلى الشكل التالي:
ماذا تتوقع أن يحدث للمتسلق إذا سقط فجأة؟

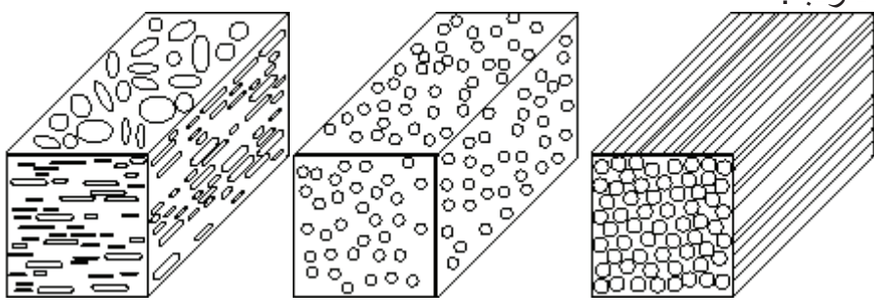
في الماضي كان المتسلقون يستخدمون حبالاً مصنوعة من مواد نباتية وهذه المواد معامل يونج لها كبير، مما يعني أن الحبال لا تتمدد، مما يؤدي إلى إصابة المتسلق عند السقوط المفاجئ.
وعلى النقيض من ذلك ، عند استخدام الحبال المطاطية فإن الحبال تتمدد بصورة كبيرة مما يؤدي إلى اصطدام المتسلق بالأرض.
وقد دفع ذلك إلى صناعة حبال التسلق الحديثة والتي تُصنع من مواد مركبة حيث أنها تتكون من قلب من النايلون محاط بنسيج قوي.
فعند السقوط المفاجئ يتمدد النايلون باستطالة مناسبة تعمل على امتصاص طاقة الحركة الناتجة من السقوط وتمنع المتسلق من الاصطدام بالأرض.
لقد أصبحت المواد المركبة عنصراً أساسياً في الحياة العصرية فهي توفر لنا خليط من خصائص مختلفة لا يمكن توفرها في مادة واحدة فقط.

ما هي المواد المركبة؟ وما هي فوائدها؟

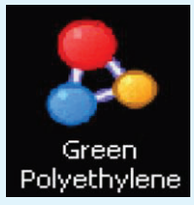
المواد المركبة: هي مواد مكونة من مادتين أو أكثر. مميزات إحدى المواد تعمل على تغطية نقاط الضعف في المادة الأخرى.

تركيب المواد المركبة:
في الغالب تتألف المادة المركبة من **مادة أساسية** تسمى المصفوفة، مثل المعادن، البوليمرات، و**مادة تعزيز** مثل الألياف، الجسيمات، الرقائق.
والمصفوفة التي تحمل مادة التعزيز تستخدم لتشكيل الشكل المطلوب، في حين أن مادة التعزيز تحسن من الخصائص الميكانيكية العامة للمادة المركبة، لذا فخواص المادة المركبة الجديدة تكون أفضل من خواص كل مادة على حدة.

والشكل التالي يوضح أنواعاً مختلفة من مواد التعزيز التي تستخدم في المواد المركبة.



المواد المركبة الحيوية
(Biocomposites)
برزت المواد المركبة الحيوية من الحاجة لمواد قابلة للتحول بعد انتهاء عمرها الافتراضي لتكون صديقة للبيئة. وتتألف هذه المواد من ألياف طبيعية ويتم اختيار ألياف التقوية من مواد ذات أصل نباتي، أي متجددة إضافة إلى خواص أخرى مهمة، مثل كونها لا تخدش أدوات الإنتاج، وكونها قابلة للاحتراق بعد انتهاء عمرها المصممة له، وخفيفة الوزن وعازلة للحرارة والصوت. وتجدر الإشارة إلى أن الألياف الطبيعية يمكن أن تكون حيوانية المصدر، كالشعر والحرير والصوف والريش وفي المواد المركبة الحيوية يجب أن تكون المادة الرابطة حيوية أيضًا.



أنواع المواد المركبة:
هناك نوعان: مواد مركبة **طبيعية**، مثل الخشب، ومواد مركبة **صناعية**، مثل الخرسانة.

أمثلة على المواد المركبة :

- **الخشب**: مادة مركبة تتكون أساساً من ألياف السليلوز التي تتميز أنها تتحمل إجهاد شد عالٍ، والصلادة لها قليلة، ومادة التعزيز هي اللجنين التي تتميز أنها تتحمل إجهاد شد منخفض، والصلادة لها كبيرة.
- **الخرسانة:** من المعلوم أن الخرسانة تتحمل إلى حد كبير قوى الضغط ولكنها ضعيفة التحمل لقوى الشد ولذلك تدعم الخرسانة بسيقان من الحديد والذي يتميز بتحمله الشديد لقوى الشد.

- **الألياف الزجاجية**: هي مادة مصنوعة من شظايا الزجاج الصغيرة وتعزز بمادة الراتنج وعناصر أخرى. والألياف الزجاجية مادة مهمة في صناعة السيارات فهي تدخل في تركيب جسم السيارة وهياكل الزوارق.

العظام
يعتبر مادة عظم الجسم مادة مركبة تتكون من ألياف ذات مرونة عالية في مصفوفة عضوية ذات مرونة منخفضة وتخللها مسام مليئة بالسوائل.

ابحث عن الآتي
ما هي المواد المركبة التي تدخل في تركيب صناعة الطائرات مع ذكر خصائص هذه المواد؟

التوتر السطحي
Surface Tension

12A.26.3

الأهداف

- يعرف التوتر السطحي.
- يفسر تكون قوى التوتر السطحي على سطح السائل.
- يقارن بين قوى التلاصق وقوى التماسك.
- يفسر أمثلة على التوتر السطحي.
- يفسر الخاصية الشعرية استناداً إلى التوتر السطحي.

المصطلحات الأساسية

التوتر السطحي
Surface Tension
قوى التلاصق Adhesion
قوى التماسك Cohesion
الخاصية الشعرية
Capillary action
زاوية الالتصاق
Contact angle

التوتر السطحي

تقدم ظاهرة التوتر السطحي تفسيراً لكثير من الظواهر الشائعة في حياتنا.

- لماذا تأخذ قطرات السوائل أشكال شبه كروية؟
- تفسر تكوين بعض السوائل لسطح محدب أو سطح مقعر.
- تفسر إمكانية عمل فقاعات الصابون بينما لا يمكن القيام بعمل فقاعات باستخدام الماء النقي وحده.

عندما تنظر حولك، هل تساءلت يوماً كيف تتحرك بعض الحشرات مثل البعوض على سطح الماء، مع أن كثافة البعوض أعلى من كثافة الماء؟

وكذلك عند وضع دبوس بلطف على سطح الماء، فإن الدبوس يطفو على السطح مع أن كثافة الدبوس أعلى من كثافة الماء.
لماذا تأخذ قطرات السوائل أشكالاً شبه كروية؟
لماذا يبلل الماء قطعة من القماش بينما لا يفعل الزئبق ذلك؟

الأشكال التالية توضح بعض الظواهر التي تحدث بسبب خاصية تسمى **" التوتر السطحي "**:

كل هذه الظواهر تحدث لأن سطح الماء يعمل كغشاء مطاطي مرن.

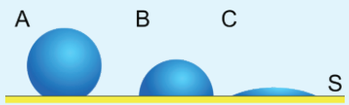
التوتر السطحي:
هي خاصية للسوائل تجعل سطح السائل كغشاء مرن مشدود.

تفسير ظاهرة التوتر السطحي للسائل:

من المعروف أن السائل يتكون من جزيئات تتجاذب مع بعضها، وبسبب قوى التجاذب بين جزيئات المادة الواحدة تتكون السطوح المرنة للسوائل.

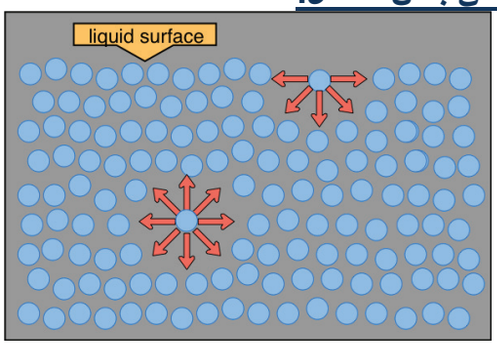
ويتأثر الجزيء بقوى الجذب الناتجة عن الجزيئات الموجودة حوله ونميز هنا بين حالتين:

تمرين



1- حدد في كل حالة إذا ما كانت قوى التماسك أو قوى التلاصق أكبر.
2- في كل حالة حدد إذا كان الماء سيبلل السطح أم لا.

الحالة الأولى: حالة جزيء يوجد في باطن السائل:



بالنسبة للجزيء الموجود في باطن السائل، كما في الشكل، يتأثر بقوى متساوية من كل الاتجاهات، فتكون القوى المؤثرة على الجزيء متزنة أي تكون محصلتها صفر.

الحالة الثانية: حالة جزيء يوجد على سطح السائل:

عندما يكون الجزيء موجود عند سطح السائل فإن القوى المؤثرة على هذا الجزيء تصبح غير متوازنة، والسبب في ذلك هو أن قوى الجذب من جزيئات السائل على الجزيء تكون أكبر من قوى الجذب من جزيئات الهواء. ولذلك فإن الجزيئات الموجودة على سطح السائل تتعرض إلى قوى جذب انكماشية عمودية كبيرة في اتجاه داخل السائل فتكسب الجزيئات طاقة تجعلها متماسكة ومتقاربة مكونة غشاءً رقيقاً مرناً مشدوداً عند سطحه الحر، وتجعل سطح السائل يميل إلى التقلص ليصغر في المساحة.

القوى بين الجزيئات:

انظر إلى الشكلين المجاورين، ماذا تلاحظ؟
إن الماء يلتصق بسطح اللوح الزجاجي ويبلله، لكن الزئبق يتكور ولا يلتصق باللوح الزجاجي ولا يبلله.

لماذا يحدث هذا الاختلاف؟

بسبب قوى التجاذب بين جزيئات المواد المختلفة:
أ- **قوى التماسك**: (cohesion) هي قوى التجاذب بين جزيئات المادة.
ب- **قوى التلاصق**: (adhesion) هي قوى التجاذب بين جزيئات مادتين مختلفتين.

إذا سكبنا قطرة من الماء على سطح لوح زجاجي نظيف نجد أن الماء يلتصق بسطح اللوح الزجاجي ويبلله، ويرجع السبب في ذلك إلى أن قوى التلاصق بين الماء والزجاج أكبر من قوى التماسك بين جزيئات الماء.
أما إذا سكبنا قطرة من الزئبق على سطح لوح زجاجي نظيف نجد أن قطرة الزئبق تتكور بسبب أن قوى التماسك بين جزيئات الزئبق ببعضها أكبر من قوى التلاصق بين الزئبق والزجاج.

العوامل التي تؤثر على التوتر السطحي:

1- إضافة مواد تقلل من التوتر السطحي.

ماذا يحدث عند إضافة قطرة من المنظفات السائلة إلى وعاء يحتوى على ماء يطفو على سطحه فلفل أسود؟

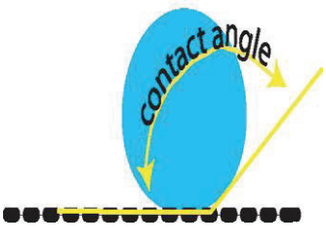
نلاحظ عند إضافة المنظفات السائلة أن الفلفل الأسود يتم دفعه إلى الحافة وهذا بسبب أن المنظفات تقلل التوتر السطحي للماء.
ولهذا السبب تضاف المنظفات أثناء غسل الملابس لتقليل التوتر السطحي ، حيث أن التوتر السطحي للماء النقي يمنعه من التغلغل بين ألياف النسيج وإزالة الأوساخ. وتسمى المواد التي تقلل من التوتر السطحي للماء النقي " **المؤثرات السطحية** " " Surfactants "

2- درجة الحرارة .

يفضل عادة غسل الثياب بالماء الساخن، لأن التوتر السطحي للماء يقل بارتفاع درجة الحرارة، فيبلل الماء الثياب فينظفها.

الخاصية الشعرية وزاوية الالتصاق (الاتصال):
Capillary action and contact angle

زاوية الالتصاق:



إذا رسمنا المماس لسطح السائل عند نقطة تماسه مع سطح الجسم الصلب الملامس له، فإن الزاوية بين سطح الجسم الصلب الملامس للسائل والمماس لسطح السائل عند تلامسه مع سطح الجسم الصلب تسمى زاوية الالتصاق.

أي أن زاوية الالتصاق هي:
الزاوية التي تنحصر بين سطح الجسم الصلب والمماس لسطح السائل عند نقطة تلاقيهما معاً.
قد تكون زاوية الالتصاق أكبر من (90°)، كما في حالة الزئبق والزجاج، لذا فالزئبق لا يبلل الزجاج، وقد تكون أقل من (90°)، كما في حالة الماء والزجاج غير النظيف، لذلك فالماء يبلل الزجاج، أما إذا كان الزجاج نظيفا

إثرائي

معامل التوتر السطحي
هناك تعريفان لمعامل التوتر السطحي:

التعريف الأول:
هو القوة السطحية المؤثرة عمودياً على وحدة الأطوال من سطح السائل ووحدته $(\mathrm{Nm^{-1}})$.

$$\gamma = F/L$$

التعريف الثاني:
هو الشغل المبذول لزيادة مساحة سطح السائل بمقدار وحدة المساحات ووحدته هي $(\mathrm{Jm^{-2}})$.

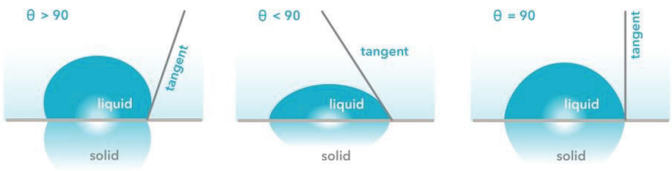
$$\gamma = \frac{W}{2\Delta A}$$

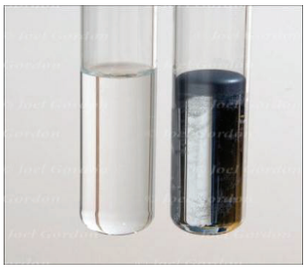
(γ): معامل التوتر السطحي للسائل ووحدته: $(\mathrm{Jm^{-2}})$، وهو صفة مميزة للسائل عند ثبات درجة حرارته.
(W): الشغل المبذول لزيادة مساحة سطح الغشاء بمقدار (ΔA).

جدول لمعامل التوتر السطحي لبعض السوائل

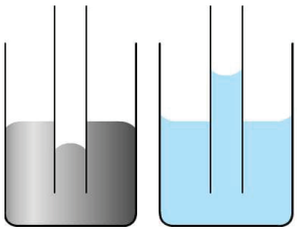
السائل	معامل التوتر السطحي $(\mathrm{N/m})$
الغليسرين	63.1×10^{-3}
الزئبق	495×10^{-3}
محلول الصابون	25×10^{-3}
الماء	72.8×10^{-3}

أملسا فإن زاوية الالتصاق مع الماء تساوي الصفر، وعندها يبلل الماءُ الزجاجَ تماماً.





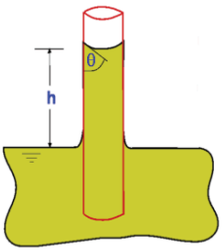
يعزى إلى التوتر السطحي ظواهر عدة، منها أن سطح السائل في إناء لا يكون مستوياً عند التقاء هذا السائل بالإناء الذي يحتويه بل تتسلق أطرافه في بعض السوائل نحو الأعلى كما في الماء حيث إن سطح السائل يكون مقعراً، وتتحدب نحو الأسفل في سوائل أخرى كالزئبق فيكون شكل السطح محدباً.



كما يلاحظ أنه إذا غمرت أنبوبة شعرية مفتوحة الطرفين في الماء فإن الماء سيبلل الأنبوبة وسيرتفع الماء في الأنبوبة إلى مستوى أعلى من مستواه في الإناء.
أما إذا غمرت الأنبوبة الشعرية في الزئبق، فإن الزئبق لا يبلل الزجاج ويكون مستوى الزئبق في الأنبوبة أكثر انخفاضاً من مستواه خارج الأنبوبة.

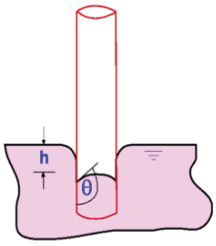
والشكل التالي يبيّن ما يحدث لمستوى السائل عند غمر أنبوبة شعرية في سائل.

التفسير:
عندما نضع كمية من الماء في أنبوبة اختبار فإن قوى التماسك بين جزيئات الماء تكون أقل من قوى الالتصاق بينها وبين جزيئات الزجاج فيغلب تأثير قوى الالتصاق، ويؤدي هذا إلى انتشار سطح الماء على سطح الزجاج، فيرتفع سطح الماء عند تلامسه لجدار الأنبوبة، ويتقعر السطح الحر له وتكون زاوية الالتصاق حادة ويبلل الماء الجدار.
أما إذا وضع زئبق في الأنبوبة فإن قوى التماسك بين جزيئات الزئبق تكون أكبر من قوى الالتصاق بينها وبين جزيئات الزجاج، وبالتالي تكون محصلتها نحو باطن الزئبق فينخفض سطحه عند التقائه مع جدار الأنبوبة، فيتحدب السطح الحر له وتكون زاوية التماس منفرجة والزئبق لا يبلل جدران الأنبوبة.



(a)

- سطح الماء مقعر
- زاوية التماس حادة
- الماء يبلل الجدار



(b)

- سطح الزئبق محدب
- زاوية التماس منفرجة
- الزئبق لا يبلل الجدار

تعرف ظاهرة ارتفاع السوائل أو انخفاضها في الأنابيب الشعرية بالخاصية الشعرية.

الخاصية الشعرية: هي قدرة الأنابيب الشعرية على سحب السائل إلى أعلى ضد قوة الجاذبية.

من تطبيقات الخاصية الشعرية في حياتنا، الأشجار التي لديها نظام من الخلايا الخشبية المترابطة التي تعمل على نقل الماء من التربة إلى الأوراق، وهذه الخلايا الرقيقة تعمل كأنابيب شعرية لرفع الماء.

إثرائي

حساب ارتفاع السائل في الانابيب الشعرية

$$h = \frac{2\gamma \cos\theta}{\rho g r}$$

حيث:

γ: معامل التوتر السائل $(\mathrm{N/m})$

θ: زاوية الالتصاق

ρ: كثافة السائل $(\mathrm{kg/m^3})$

g: عجلة الجاذبية الأرضية $(\mathrm{m/s^2})$

r: نصف قطر الأنبوبة الشعرية (m)

تمرين

غمرت أنبوبة شعرية نصف قطرها $(0.3\ \mathrm{mm})$ فارتفع الماء في الأنبوبة فوق سطح الماء في الكاس. احسب التوتر السطحي للماء علماً أن زاوية الالتصاق للماء والزجاج تساوي صفر، وأن كثافة الماء $(1000\ \mathrm{kg/m^3})$ وعجلة الجاذبية الأرضية تساوي $(9.8\ \mathrm{m/s^2})$.

حساب الضغط الداخلي للفقاعة

يمكننا حساب الضغط الداخلي لفقاعة غازية من العلاقة:

$$\Delta P = 4\gamma/R$$

R: نصف قطر الفقاعة

γ: معامل التوتر السائل $(\mathrm{N/m})$

أما حساب الضغط داخل قطرة سائل فنستخدم العلاقة:

$$\Delta P = 2\gamma/R$$

12A.26.4

الأهداف

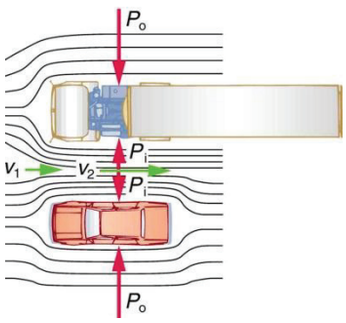
- أن يشرح تأثير برنولي.
- أن يذكر بعض التطبيقات على تأثير برنولي.

المصطلحات الأساسية

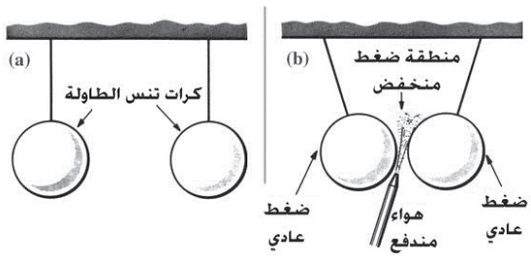
تأثير برنولي
Bernoulli effect

تأثير برنولي
Bernoulli effect

لاحظ الكثير من الأشخاص الذين يسافرون براً في الطرق السريعة أنه بمرور سيارته بجانب شاحنة بسرعة كبيرة أن السيارة تميل بقوة نحو الشاحنة وقد يؤدي ذلك في بعض الأحيان إلى حوادث إذا كانت سرعة الشاحنة والسيارة كبيرة. ما السبب في ذلك؟



حتى يمكن فهم الفكرة بشكل أوسع، يمكن تطبيق النشاط التالي:

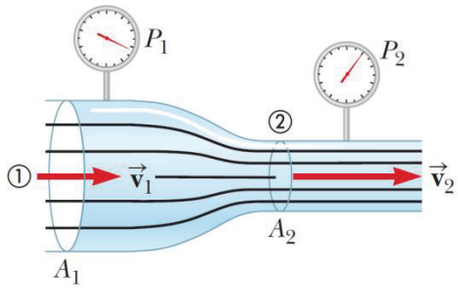


قم بتعليق كرتين من كرات تنس الطاولة بخيطين خفيفين متساويين في الطول، ثم قم باستخدام أنبوبة بلاستيكية ضيقة (شفاط عصير مثلاً) في نفخ الهواء بين الكرتين بقوة. ماذا تلاحظ؟

تتحرك الكرتان نحو بعضهما البعض بشكل ملحوظ ، ويرجع السبب في ذلك أنه بمرور الهواء بسرعة بين الكرتين تتكون منطقة ضغط منخفض بشكل مفاجئ بين الكرتين ، بينما يظل الضغط على جانبي الكرتين من الخارج بنفس القيمة فتندفع الكرتان نحو منطقة الضغط المنخفض.

رجوعاً إلى الحالة الأولى والخاصة بالمسافرين على الطرق السريعة فإنهم يلاحظون نفس الظاهرة ، وذلك أنه عند مرور الهواء بسرعة كبيرة بين السيارتين تتكون منطقة ضغط منخفض بينهما ويظل الضغط بنفس القيمة على جانبي السيارتين من الخارج مما يؤدي لاندفاع السيارتين إلى منطقة الضغط المنخفض (بين السيارتين) ولكن يظهر ذلك بشكل أكبر في حالة السيارة ذات الكتلة الأصغر. إن هذا التأثير الذي ينشأ بسبب تكوُّن منطقة ضغط منخفض في حالة مرور الغازات (أو السوائل) بسرعة كبيرة يسمي : **تأثير برنولي**.

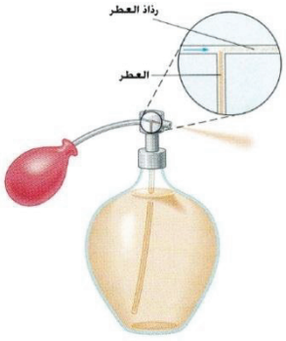
لا يقتصر تأثير برنولي على الغازات فقط وإنما على السوائل أيضاً . بالنظر للشكل التالي، عندما يمر السائل خلال أنبوبة مختلفة الأقطار في بعض أجزائها فإن سرعة تدفق السائل تختلف من جزء لآخر عكسياً مع نصف قطر الأنبوبة.



تفسير ذلك أن حجم السائل بالجزء (1) يتحرك إلى الجزء (2) فيتمدد بشكل فجائي وينتج عن ذلك زيادة سرعته في الجزء الضيق من الأنبوبة وتزيد طاقة الحركة تبعاً لذلك (لاحظ أن كتلة نفس الحجم من السائل ثابتة). إن الزيادة في طاقة الحركة سببها زيادة الشغل المبذول على السائل لدفعه من الجزء الواسع إلى الجزء الضيق بالأنبوبة ، وهذا الدفع يدل على أن هناك فرق في الضغط بين المنطقتين (1) و (2) ، كما أن الضغط في الجزء (1) أكبر في المقدار وذلك عند مرور السائل فيه. يمكن التأكد من ذلك الاستنتاج بتثبيت جهاز قياس ضغط السائل على المنطقتين كما هو موضح بالرسم. تحدث هذه العملية بشكل عكسي إذا كان السائل يتحرك من الجزء الضيق إلى الجزء الأوسع في الأنبوبة.

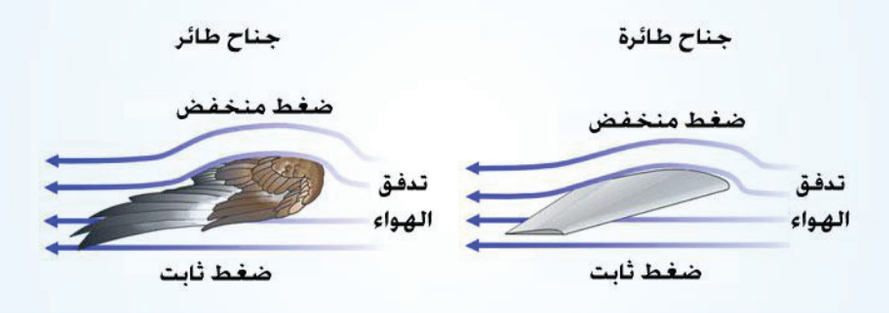
يوجد العديد من التطبيقات في حياتنا على تأثير برنولي نسرد بعضها فيما يلي:

1- بخاخات العطور.



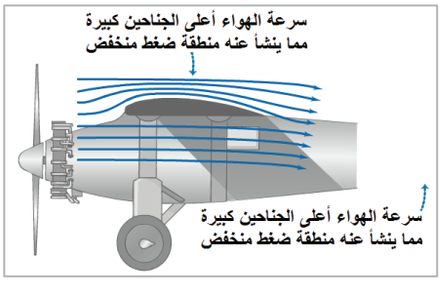
في الشكل الموضح ، عند الضغط على الانتفاخ المطاطي يندفع الهواء داخل الأنبوب الأفقي بسرعة كبيرة تؤدي لانخفاض الضغط في أعلى الأنبوبة الرأسية مما يؤدي لارتفاع العطر لأعلى وخروجه على شكل رذاذ.

2- أجنحة الطائرات.



قال الله تعالى " **أَوَلَمْ يَرَوْا إِلَى الطَّيْرِ فَوْقَهُمْ صَافَّاتٍ وَيَقْبِضْنَ ۚ مَا يُمْسِكُهُنَّ إِلَّا الرَّحْمَٰنُ ۚ إِنَّهُ بِكُلِّ شَيْءٍ بَصِيرٌ** " الملك.19

يوضح الشكل مقارنة بين جناح طائر وجناح طائرة وكيف أن العلماء استفادوا من تصميم جناح الطائر وشكله الانسيابي الذي يسمح بتدفق الهواء فوق الجناح أثناء الطيران بسرعة كبيرة مما يؤدي لانخفاض ضغط الهواء فوق الجناح بينما يظل ضغط الهواء ثابتاً أسفله مما يؤدي لارتفاع الطائر إلى أعلى ، وبنفس المبدأ تعمل أجنحة الطائرات كما هو موضح بالشكل التالي:



فكر

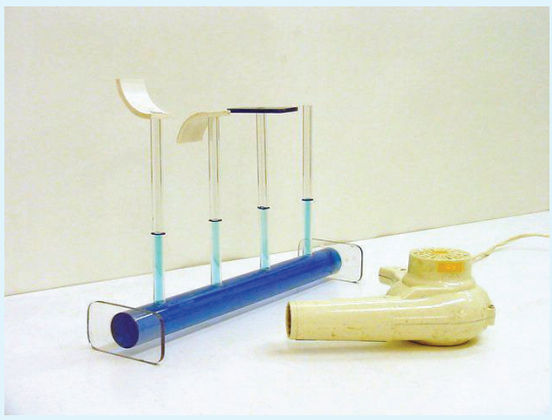
تصنع سيارات السباق عالية السرعة بحيث يقترب سطحها السفلي من الأرض بشكل ملحوظ؟

نشاط

الهدف : تفسير العلاقة بين شكل الجسم وتأثير برنولي

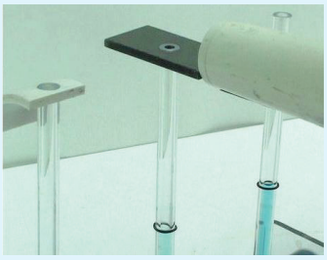
الأدوات:

- أنبوبة زجاجية يتفرع منها أنابيب رأسية تحتوي على سائل ملون.
- أسطح صغيرة (مستوية – مقعرة – محدبة) كما بالشكل.
- مصدر هواء سريع (مجفف شعر – مضخة هواء المضمار الهوائي).



الخطوات:

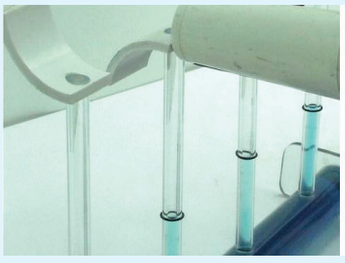
- **ثبت الأسطح على الأنابيب الرأسية كما بالشكل العلوي.**
- **ادفع الهواء تجاه كل سطح من الأسطح ثم لاحظ ارتفاع الماء في الأنبوبة.**



1- الأنبوبة ذات الفوهة المقعرة. ماذا تلاحظ؟

.....

التفسير .....



2- الأنبوبة ذات الفوهة المحدبة. ماذا تلاحظ؟

.....

التفسير .....

3- الأنبوبة ذات الفوهة المستوية. ماذا تلاحظ؟

.....

التفسير .....

4- الأنبوبة ذات الفوهة المفتوحة . ماذا تلاحظ ؟

.....

التفسير .....

الغاز المثالي
Ideal gas

12A.26.5

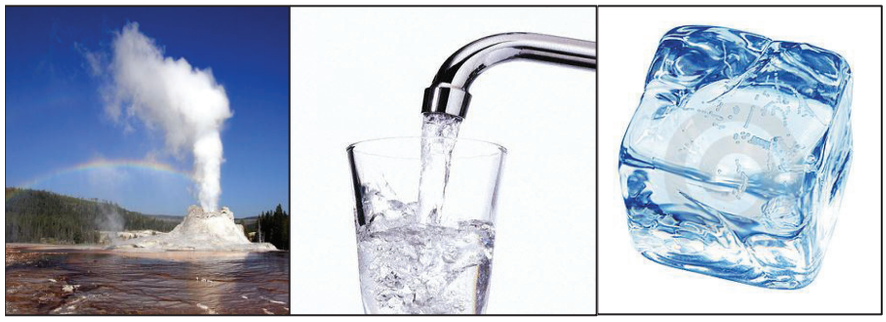
الأهداف

- يذكر خصائص الغاز المثالي.
- يذكر فرضيات نظرية الحركة الجزيئية للغازات.
- يفسر اختلاف سلوك الغاز الحقيقي عن الغاز المثالي باستخدام نظرية الحركة الجزيئية.

المصطلحات الأساسية

الغاز المثالي Ideal gas
نظرية الحركة الجزيئية للغازات
Kinetic theory
الصفر المطلق
Absolute zero

توجد ثلاث حالات للمادة وهي الحالة الصلبة والسائلة والغازية. وتوجد المادة في إحدى هذه الحالات تحت ظروف معينة من الضغط ودرجة الحرارة فمثلاً الماء يمكن أن يكون صلب (ثلج) أو سائل (ماء) أو غاز (بخار ماء) وتعتمد الخواص الفيزيائية للمادة على حالتها.

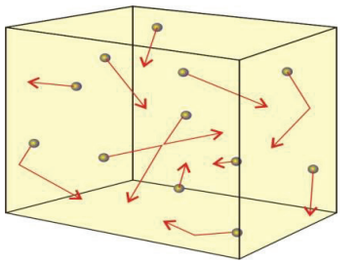


الغازات تعتبر من أبسط حالات المادة وتتميز الغازات بأن جزيئاتها في حالة حركة عشوائية مستمرة والقوى الموجودة بين جزيئاتها ضعيفة مما يجعل لكل جزيء حرية أكبر في الحركة، ولا يعتمد أو يتأثر بالجزيئات الأخرى.

نظرية الحركة الجزيئية للغازات: Kinetic theory

هي نظرية تصف حركة جزيئات الغاز. وعندما نتحدث عن جزيئات الغاز المثالي Ideal gas، نفترض الآتي:

1- تصادمات جزيئات الغاز المثالي تامة المرونة، لذلك لا تفقد طاقة حركة عند اصطدامها بجدار الوعاء، أو اصطدام بعضها ببعض.
2- لا توجد قوى تجاذب بين جزيئات الغاز المثالي، وإنما تؤثر بقوى على بعضها عند التصادم.
3- حجم الجزيئات مهمل بالنسبة إلى حجم الإناء الذي تشغله.



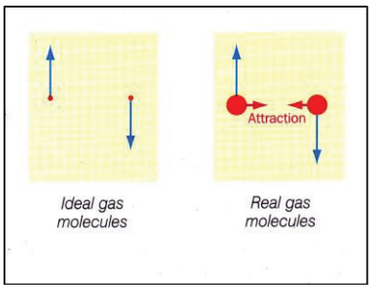
من هنا يسمى الغاز الذي تنطبق عليه الفروض السابقة الغاز المثالي، ولا يوجد غاز تنطبق عليه جميع الفروض السابقة.
فالغازات الحقيقية لا تتميز بهذه الفروض، بالرغم من أنه في معظم الظروف تكون تصادماتها مرنة.

الحركة البراونية

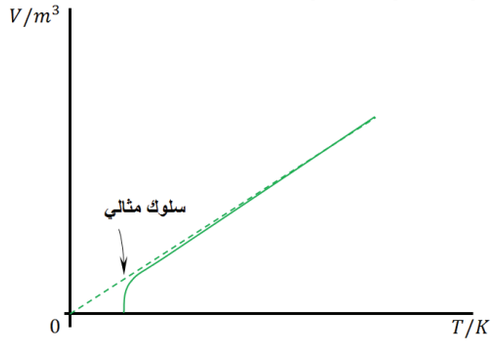
تعود تسمية الحركة البراونية إلى عالم النبات الاسكتلندي روبرت براون (1773- 1858) الذي اكتشف حركة للجزيئات بصورة عشوائية في السوائل كالماء والغازات مثل ما نراه من جزيئات متطايرة في حركة عشوائية عند نفاذ شعاع من الضوء إلى داخل غرفة مظلمة.

اختلاف سلوك الغاز الحقيقي عن الغاز المثالي:

العلاقة بين حجم وضغط والحرارة المطلقة التي ورد ذكرها من قبل بُنيت على ظواهر تجريبية على غازات مثل الهواء والهيليوم والهيدروجين وغيرها عند ضغط ودرجة حرارة الغرفة. عملياً إذا انتقلنا إلى ظروف أخرى بعيدة مثل درجات الحرارة المنخفضة أو الضغوط العالية تبدأ الغازات حيودها عن تلك القوانين ، حيث تؤثر ذرات الغاز بقوى كهربية على بعضها البعض.

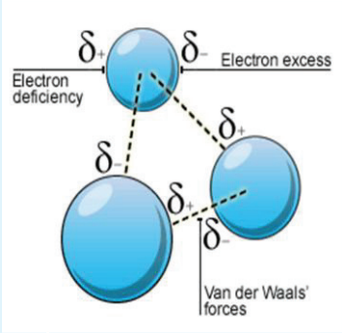


على سبيل المثال يبين الشكل التالي ما يحدث لغاز النيتروجين إذا تم تبريده بخفض درجة حرارته نحو الصفر المطلق.



في البداية تتخذ العلاقة بين حجم الغاز ودرجة حرارته المطلقة خطاً مستقيماً وعند اقتراب الغاز من درجة تكثفه فإنه يحيد عن سلوكه المثالي عند $77\ K$ حيث يتكثف تماماً ويتحول إلى نيتروجين سائل.
تسلك الغازات الحقيقية سلوك الغاز المثالي عند الضغط المنخفض ودرجات الحرارة المرتفعة.

قوى فان درفال (قوى لندن)
Van der Waals force



تتكون هذه القوى بين جميع أنواع الجزيئات سواء أكانت قطبية أم غير قطبية، ولكن تكتسب قوى لندن أهميةً خاصة في حالة الجزيئات غير القطبية (أو الذرات المتعادلة) لأنها قوى التجاذب الوحيدة العاملة بينها.
لأن وجود مركبات غير قطبية في الحالة السائلة أو الصلبة يتطلب وجود قوى تجاذب تحافظ على بقائها سائلة أو صلبة، وإلا فإنها تتحول إلى جزيئات في الحالة الغازية.

قوانين الغازات
Gas's Laws

12A.26.6

الأهداف

- يذكر نص قانون بويل.
- يرسم بيانياً العلاقة بين الضغط والحجم والضغط ومقلوب الحجم.
- يذكر نص قانون شارل.
- يرسم بيانياً العلاقة بين الحجم ودرجة الحرارة.
- يذكر نص قانون الضغط.
- يرسم بيانياً العلاقة بين الضغط ودرجة الحرارة.
- يعرف الصفر المطلق.
- يحدد الصفر المطلق في الرسوم البيانية السابقة.
- يقارن بين الغاز الحقيقي والغاز المثالي.
- يستنتج المعادلة العامة للغازات.
- يحل مسائل على قوانين الغازات.

المصطلحات الأساسية

قانون بويل Boyle's Law
قانون شارل Charles's Law
قانون الضغط Pressure Law

إسالة الغازات
Liquefaction of gases
هي مجموعة من العمليات تستخدم لتحويل الغاز إلى الحالة السائلة.
وهناك العديد من الغازات التي يمكن لها أن تتحول لسوائل تحت الضغط الجوي الطبيعي بعمليات تبريد بسيطة، مثل ثاني أكسيد الكربون.
تستخدم عملية إسالة الغازات لمعرفة خصائصها المميزة، ومدى تحملها لدرجات الحرارة والرطوبة، ومعظم تلك المعلومات تفيد في عمليات نقل الغازات من مكان لآخر، مثل إسالة الغاز الطبيعي، والثلاجات وأجهزة تكييف الهواء.

المتغيرات الفيزيائية التي يتأثر بها الغاز هي:

1- الحجم Volume
2- درجة الحرارة Temperature
3- الضغط Pressure
4- كمية المادة Amount of substance: وتقدر في النظام الدولي بوحدة: مول (mol).

ويعرف (1 mol) بأنه:
هي الكتلة الجزيئية مقدرة بالكيلوجرام .ويحتوي المول على عدد ثابت عدد أفوجادرو (6.02×10^{23}) من الوحدات.

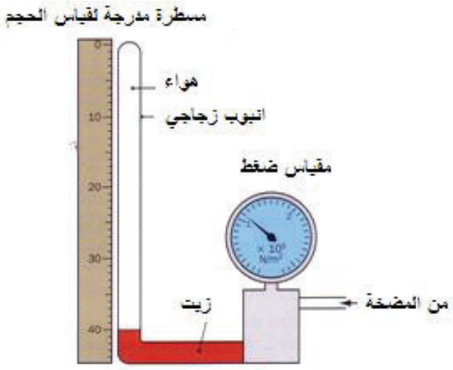
قوانين الغازات:
هي علاقات رياضية تصف سلوك الغازات، وتنطبق هذه القوانين تماماً على الغاز المثالي، ولكنها تنطبق في حدود معينة على الغازات الحقيقية.
ويمكن التحكم ومتابعة سلوك الغازات عن طريق التحكم بدرجة الحرارة والضغط.
ولقد كان لقوانين الغازات دور كبير في الوصول للنظرية الذرية ونظرية الحركة الجزيئية للغازات.

ويمكن تلخيص العلاقات بين ضغط وحجم ودرجة حرارة أي غاز بثلاثة قوانين تجريبية هي:

قانون بويل: يبين العلاقة بين ضغط الغاز وحجمه (عند ثبوت درجة الحرارة).
قانون شارل: يبين العلاقة بين حجم الغاز ودرجة حرارته (عند ثبوت الضغط).
قانون الضغط: يبين العلاقة بين ضغط الغاز ودرجة حرارته (عند ثبوت الحجم).

(1) قانون بويل: Boyle's Law

درس العالم روبرت بويل تأثير تغيير الضغط على حجم كمية معينة من الغاز، يوضح الشكل التالي الأدوات التي يمكن استخدامها لإيجاد العلاقة بين ضغط الغاز وحجمه.

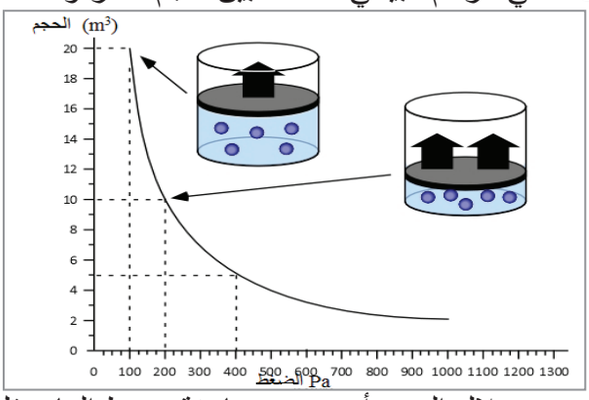


يحجز الزيت كمية ثابتة من الغاز داخل أنبوبة زجاجية. يتم تغيير الضغط ثم يتم حساب حجم الغاز ويجب الانتظار دقيقة بين القراءات حتى يعود الغاز إلى درجة حرارة الغرفة، حتى يتم تثبيت درجة حرارة الغاز خلال التجربة.

جاك شارلز

(1746-1823)، مخترع، عالم رياضيات، ومنطادي. وضع شارل عدة اختراعات مفيدة، تصميم صمام للتحكم في خروج الهيدروجين من البالون وغيرها من الأجهزة مثل مقياس كثافة السوائل ودرس العلاقة بين حجم الغاز ودرجة الحرارة والذي قام العام جوزيف لوساك بنشره عام 1802 باسم قانون شارل تكريماً له.

يوضح الشكل التالي الرسم البياني للعلاقة بين حجم الغاز وضغطه.



ويمكن أن نجد من خلال الرسم أنه عند مضاعفة ضغط الغاز يقل حجم الغاز إلى النصف وهذا يدل أن حجم الغاز يتناسب عكسياً مع ضغط الغاز.

قانون بويل:

عند ثبوت درجة الحرارة، يتناسب حجم كمية معينة من الغاز تناسباً عكسياً مع الضغط الواقع عليه.

$$P \propto \frac{1}{V}$$

$$PV = \text{const}$$

$$\boldsymbol{P_1V_1 = P_2V_2}$$

حيث:

(P_1) و(V_1): الضغط والحجم قبل التغيير.

(P_2) و(V_2): الضغط والحجم بعد التغيير.

مثال:

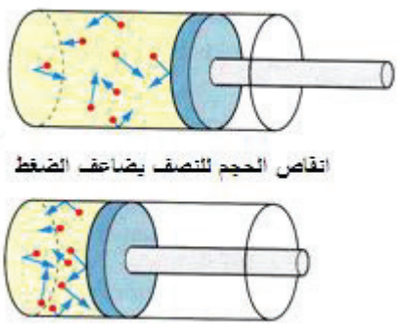
بالون يحتوي على غاز الهيليوم، حجمه $(200\ \text{m}^3)$، وتحت ضغط جوي مقداره $(100\ \text{kPa})$، عندما ارتفع البالون في السماء، ازداد حجم البالون إلى $(250\ \text{m}^3)$، ما قيمة الضغط الجوي عند هذا الارتفاع، على افتراض أن درجة الحرارة ثابتة لم تتغير.

الحل:

$$P_1V_1 = P_2V_2$$
$$100 \times 200 = P_2 \times 250$$
$$\Longrightarrow P_2 = \frac{100 \times 200}{250}$$
$$P_2 = 80\ \text{kPa}$$

تفسير قانون بويل حسب نظرية الحركة الجزيئية للغازات:

عندما ينخفض حجم غاز إلى النصف، فإن عدد تصادمات الجزيئات بجدار الإناء الحاوي لها سيتضاعف، لذلك يزداد الضغط إلى الضعف وهو ما ينص عليه قانون بويل.

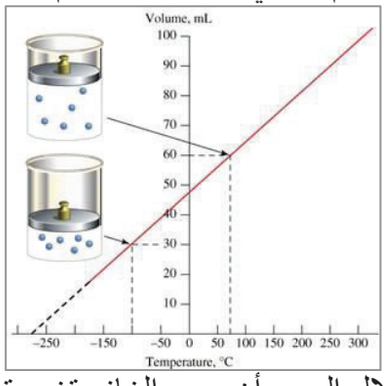


(2) قانون شارل: Charles's Law

درس العالم جاك شارلز تأثير تغيير درجة الحرارة على حجم كمية معينة من الغاز، يوضح الشكل التالي الأدوات التي يمكن استخدامها لإيجاد العلاقة بين حجم الغاز ودرجة الحرارة.

تكون كمية صغيرة من الغاز (عادة الهواء) محجوزة داخل أنبوبة شعرية باستخدام قطرة صغيرة من حمض الكبريتيك المركز لضمان أن يكون الغاز جافاً. توضع الأنبوبة الشعرية في حمام مائي ويتم قياس طول عمود الهواء بتغير درجة حرارة الماء.

يوضح الشكل التالي الرسم البياني للعلاقة بين حجم الغاز ودرجة حرارته.

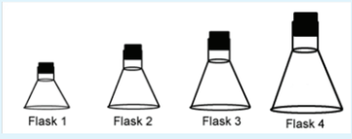


ويمكن أن نجد من خلال الرسم أن حجم الغاز يتغير تغيراً خطياً مع درجة الحرارة، وعند تمديد الخط نجد أنه يقطع المحور السيني بنقطة تسمى بدرجة الصفر المطلق.

تطبيقات على قانون شارل

- تنكمش كرة القدم المنفوخة عند وضعها خارج البيت في الأيام الباردة.
- ينتفخ طوق النجاة المطاط غير المنفوخ بشكل تام عند تركه تحت أشعة الشمس الساطعة.
- يعتمد طيران منطاد الهواء الساخن على تمدد الهواء عند التسخين.

فكر



كل من هذه دوارق تحتوي على نفس العدد من الجزيئات. في اي دورق سيكون الضغط اكبر ما يمكن ؟

وينص قانون شارل على أنه **" عند ثبوت الضغط يتغير حجم عينة من غاز ما بصورة طردية مع درجة الحرارة المطلقة"**

$$V \propto T$$

$$\frac{V}{T} = \text{const}$$

$$\boldsymbol{\frac{V_1}{T_1} = \frac{V_2}{T_2}}$$

حيث:
(V_1) و(T_1): حجم ودرجة حرارة الغاز قبل التغيير.
(V_2) و(T_2): حجم ودرجة حرارة الغاز بعد التغيير.

درجات الحرارة في قوانين الغازات تكون بالوحدة المطلقة (الكلفن) :

$$T_K = T_{°C} + 273$$

مثال:

عند درجة حرارة (200 K)، حجم كمية من الغاز في اسطوانة ذات مكبس هو ($0.0024\ m^3$). احسب حجم الغاز عند درجة حرارة (300 K) عند تسخين الاسطوانة والسماح بتمدد الغاز تحت ضغط ثابت.

الحل:

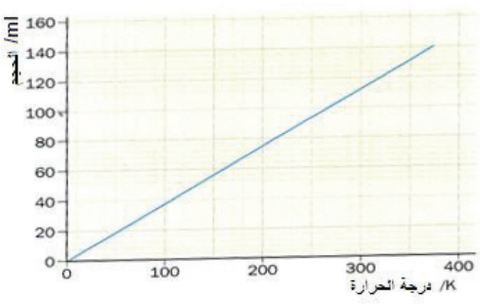
$$\frac{V_1}{T_1} = \frac{V_2}{T_2}$$

$$\frac{0.0024}{200} = \frac{V_2}{300}$$

$$\Rightarrow V_2 = \frac{0.0024 \times 300}{200}$$

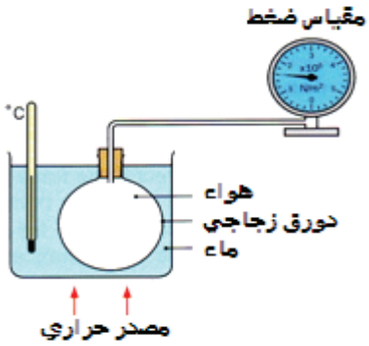
$$V_2 = 0.0036\ m^3$$

يوضح الرسم البياني العلاقة الطردية بين حجم الغاز ودرجة الحرارة المطلقة.



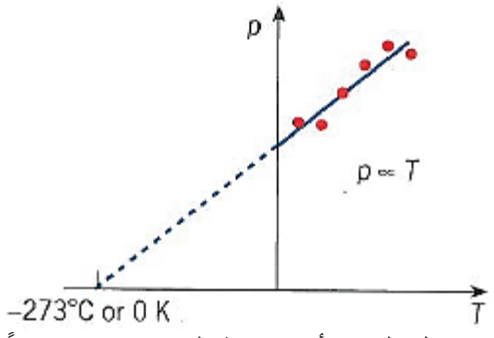
(3) قانون الضغط: Pressure Law

يوضح الشكل التالي الأدوات التي يمكن استخدامها لإيجاد العلاقة بين ضغط الغاز ودرجة الحرارة.



تسخن عينة الغاز الموجودة داخل الدورق الزجاجي في حمام مائي ويتم قياس ضغط الغاز باستخدام مقياس الضغط ويتم أخذ عدة قراءات للضغط عند درجات حرارة مختلفة.

يوضح الشكل التالي الرسم البياني للعلاقة بين ضغط الغاز ودرجة حرارته.



ويمكن أن نجد من خلال الرسم أن ضغط الغاز يتغير تغيراً خطياً مع درجة الحرارة، وعند تمديد الخط نجد أنه يقطع المحور السيني بنقطة تسمى بدرجة الصفر المطلق.

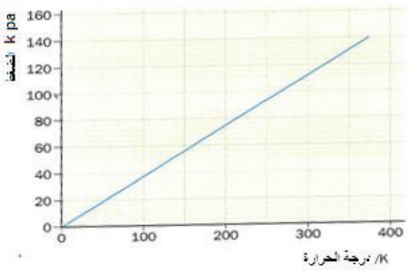
الصفر المطلق: Absolute zero

هي درجة الحرارة التي ينعدم عندها ضغط الغاز (نظرياً) عند ثبات حجمه أو ينعدم عندها حجم الغاز (نظرياً) عند ثبات ضغطه.

وتعني كذلك الحالة التي تكون فيها درجة حرارة المادة أقل ما يمكن وهي تساوي (−273 °C).

فالصفر المطلق هي أقل درجة حرارة يمكن (نظرياً) الوصول إليها، حيث لا يوجد غاز تصل درجة حرارته قريباً من (−273 °C) حيث أنه يتحول إلى سائل أو صلب عند هذه الدرجة.

يوضح الشكل أن الضغط يتناسب طردياً مع درجة الحرارة المطلقة.

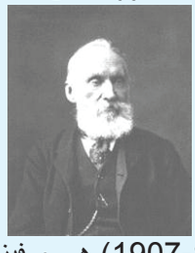


تطبيقات على قانون الضغط

• قراءة مقياس الضغط في إطارات السيارات تكون أعلى عندما تكون السيارة تسير على الإسفلت الساخن مما كانت عليه عندما كانت السيارة في المرآب. ما السبب؟

• يمنع رمي علبة الرذاذ في النار لأنه قد يؤدي إلى انفجار. ما السبب؟

لورد كلفن



(1907-1824) هو فيزيائي ومهندس اسكتلندي ولد في ايرلندا ويعتبر مؤسس الفيزياء الحديثة. ولقد حسب كلفن أخفض درجة يمكن أن تصل إليها المادة وسميت هذه الدرجة بالصفر المطلق وهي تعادل (−273.15 °C)، وسمي المقياس بالمقياس المطلق أو مقياس كلفن.

قانون الضغط:

عند ثبوت الحجم، يتغير ضغط عينة من غاز ما بصورة طردية مع درجة الحرارة المطلقة.

$$P \propto T$$

$$\frac{P}{T} = \text{const}$$

$$\boldsymbol{\frac{P_1}{T_1} = \frac{P_2}{T_2}}$$

حيث:

(P_1) و(T_1): ضغط ودرجة حرارة الغاز قبل التغيير.

(P_2) و(T_2): ضغط ودرجة حرارة الغاز بعد التغيير.

مثال:

ضغط كمية ثابتة الحجم من الغاز هو (101 kPa) عند درجة (0 ℃). ما هو مقدار ضغط الغاز عند درجة (60 ℃)؟

الحل:

$$T_1 = 0 + 273 = 273\ \text{K}, \qquad T_2 = 60 + 273 = 333\ \text{K}$$

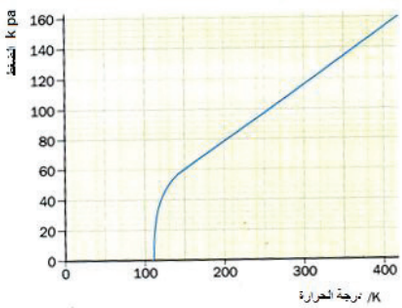
$$\frac{P_1}{T_1} = \frac{P_2}{T_2}$$

$$\frac{101}{273} = \frac{P_2}{333}$$

$$\Longrightarrow P_2 = \frac{101 \times 333}{273} = 123.2\ \text{kPa}$$

الغازات المثالية والحقيقية:

الغازات المثالية تتبع قوانين الغازات لكن الغازات الحقيقية لا تتبع هذه القوانين عند الضغط المرتفع ودرجات الحرارة المنخفضة.



يوضح الشكل التالي الرسم البياني للعلاقة بين ضغط الغاز ودرجة الحرارة المطلقة لغاز حقيقي عند حجم ثابت للغاز.

الغاز الحقيقي لا يستطيع الوصول إلى درجة الصفر المطلق، بسبب أن الجزيئات عندما تتقارب من بعضها، تنجذب لبعضها وتتحول إلى سائل أو صلب.

كذلك الغاز الحقيقي لا يتبع قانون بويل بسبب أن الغاز يتحول إلى سائل عند الضغط المرتفع.

القانون العام للغازات:

ويمكن جمع القوانين التجريبية الثلاثة في معادلة واحدة.

$$P \propto \frac{1}{V} - - - \ Boyle's\ law$$
$$V \propto T - - - Charles'\ law$$
$$P \propto T - - - Pressure\ \ law$$

$$\frac{PV}{T} = \text{const}$$

$$\boldsymbol{PV = nRT}$$

وتسمى هذه المعادلة بالمعادلة العامة للغاز المثالي Ideal gas equation.

حيث:

(P) و(V) و(T): هي الضغط المطلق وحجم ودرجة حرارة الغاز على الترتيب.

(R):الثابت العام للغازات، وهو يساوي $(8.31\ \text{J/K.mol})$.

(n): عدد مولات الغاز، ووحدته (mol)،

ويمكن إيجاده باستخدام العلاقة:

$$\boldsymbol{n = \frac{m}{M}}$$

حيث:

(m): الكتلة، ووحدتها: (kg).

(M): الكتلة المولية، ووحدتها (kg/mol).

مثال:

اسطوانة تحتوي على غاز الهيليوم حجمها $(0.200\ \text{m}^3)$، تحتوي على $(50.0\ \text{mol})$ من الغاز في درجة حرارة الغرفة عند درجة $(293\ \text{K})$. ما هو ضغط الغاز في الاسطوانة؟ (اعتبر أن غاز الهيليوم غاز مثالي).

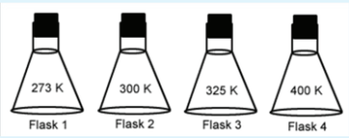
الحل:

$$PV = nRT$$
$$P \times 0.200 = 50.0 \times 8.31 \times 293$$
$$\Longrightarrow P = 6.09 \times 10^5\ \text{Pa}$$

الغاز المثالي

الغاز المثالي أو الغاز الكامل هو نموذج فيزيائي ثرموديناميك لتصرف المادة في الحالة الغازية. يفترض النموذج عدم وجود تفاعل بين جزيئات الغاز وأن جزيئات الغاز نقطية، لذا فإنه مناسب لوصف غازات ذات كثافة منخفضة. هذا النموذج اكتشف في القرن التاسع عشر.

فكر



كل من هذه دوارق تحتوي على نفس العدد من جزيئات الغاز. أي دورق سيكون فيه الضغط اقل ما يمكن؟

بما أن: ($\frac{PV}{T} = \text{const}$)، فيمكن كتابة المعادلة العامة للغاز المثالي ($PV = nRT$) على الصورة:

$$\frac{P_1V_1}{T_1} = \frac{P_2V_2}{T_2}$$

ملحوظة هامة:

عند حل مسائل متعلقة بقوانين الغازات يجب أن تأخذ في الاعتبار الملاحظات التالية :

1- الشروط القياسية (العيارية):

عندما تكون درجة الحرارة تساوي (0 °C) أي (273 K)، والضغط يساوي (1 atm) أي (76 cmHg) أو (1.013×10^5 Pa)، فإن هذه الشروط تسمى الشروط العيارية أو القياسية لدرجة الحرارة والضغط ويرمز لها: (S. T. P)، ويكون حجم مول واحد من أي غاز في الشروط القياسية مساوياً (22.4 L) أي (22.4×10^{-3} m^3).

2- الفرق بين الضغط المقاس "gauge pressure" والضغط المطلق.

من المهم أن تعلم أن أجهزة قياس ضغط الهواء داخل إطارات السيارات إنما تقيس الضغط بعيداً عن الضغط الجوي بمعنى آخر أنها تعتبر أن نقطة الصفر في القياس هي قيمة الضغط الجوي ، وحتى يمكننا الحصول على قيمة الضغط المطلق يجب أن نضيف قيمة الضغط الجوي إلى القيمة المقاسة.

مثال :

تم تسجيل الضغط داخل إطار سيارة فكان القيمة المسجلة 220 kPa فتكون قيمة الضغط المطلق:

P=220 kPa+101 kPa=321kPa

مثال:

عينة حجمها (350 cm^3) من غاز الهيليوم عند ضغط (99.3 kPa)، ودرجة حرارة (22 °C). ما هو حجم الغاز عند الشروط القياسية؟

الحل:

$$\frac{P_1V_1}{T_1} = \frac{P_2V_2}{T_2}$$

$$\frac{99.3 \times 350}{(22 + 273)} = \frac{101.3 \times V_2}{273}$$

$$V_2 = 317.5 \text{ cm}^3$$

تمرين

1. ما عدد الجزيئات في (1 cm^3) من النيتروجين في الشروط القياسية؟

2. عينة من غاز النيون جمعت تحت ضغط (2.7 atm)، ودرجة حرارة (12.0 °C)، ولها حجم مقداره (2.25 L). ما هو حجم الغاز عند الشروط القياسية؟

قانون أفوجادرو

عدد الجزيئات لوحدة الحجوم لأي غاز تحت نفس الظروف من الضغط ودرجة الحرارة تساوي (6.023×10^{23}) جزيء.

نشاط

الهدف : تحقيق قانون بويل عملياً.

الأدوات:

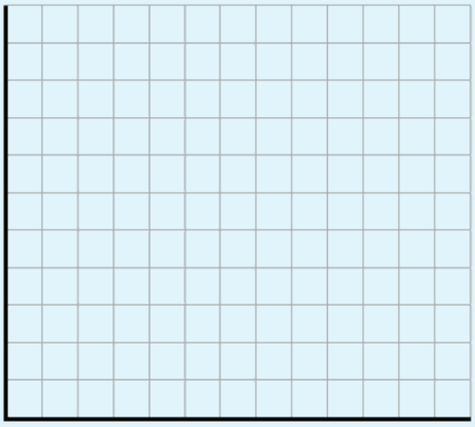
جهاز تحقيق قوانين الغاز (Gas law apparatus) – حساس الضغط – قارئ البيانات

خطوات العمل:

1- قم بتوصيل حساس الضغط بمنفذ في قاعدة الجهاز باستخدام أنبوبة قصيرة وذلك بعد أن تتأكد أن ذراع المكبس مرفوعة لأعلى.
2- قم بغلق منفذ الصمام غير المستخدم في قاعدة الجهاز.
3- قم بتوصيل حساس الضغط بقارئ البيانات ثم قم بضبط قارئ البيانات لقراءة قيم الضغط.
4- سجل حجم الغاز وقيمة الضغط عندما تكون ذراع المكبس في أعلى نقطة.
5- اضغط على ذراع المكبس لعدة مستويات مختلفة وسجل في كل مرة حجم الغاز وقيمة الضغط المقابل.

ضغط الغاز (P) atm	طول عمود الغاز (L) cm	حجم الغاز (V) cm^3	$(1/V)$ cm^{-3}

ارسم العلاقة بين ضغط الغاز على المحور الرأسي و$(\frac{1}{V})$ على المحور الأفقي.



ماذا تلاحظ من شكل المنحنى؟

.....

ماذا تستنتج؟

.....

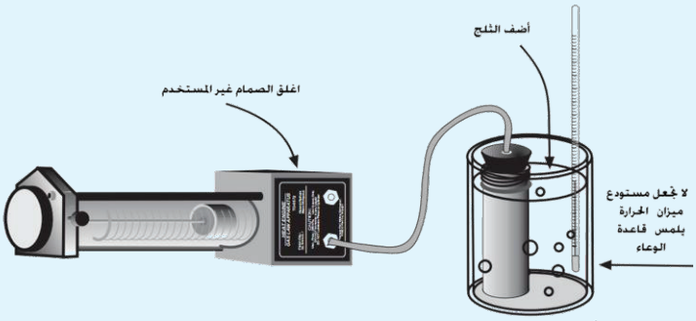
نشاط

الهدف : تحقيق قانون شارل عملياً.

الأدوات:

جهاز تحقيق قوانين الغاز (Gas law apparatus) – حساس الضغط – قارئ البيانات - ميزان حرارة وعاء – ثلج.

خطوات العمل:



1- قم بغلق الصمام غير المستخدم في قاعدة الجهاز.
2- قم بتوصيل غرفة الهواء وقاعدة الجهاز كما بالشكل.
3- ضع الجهاز في وضع أفقي واجعل ذراع المكبس في أدنى نقطه له.
4- ضع غرفة الهواء في وعاء به ماء ساخن ، انتظر حتى يتزن الهواء الموجود بالغرفة مع درجة الحرارة (يستدل على ذلك من ثبات حركة المكبس) ثم سجل حجر الغاز ودرجة الحرارة.
5- قم بإضافة الثلج إلى الوعاء ثم سجل درجة الحرارة وحجم الغاز على فترات زمنية متساوية.

ملحوظة هامة:

تأكد أن غرفة الهواء موجودة تحت الماء حتى قرب فوهتها (لا تسمح بدخول الماء داخل الغرفة مطلقاً).

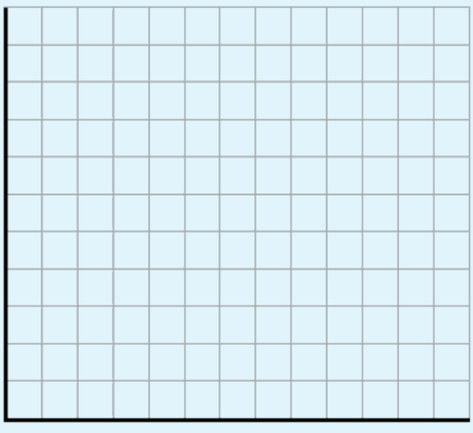
درجة الحرارة (T) °C	درجة الحرارة (T) K	طول عمود الهواء (L) cm	حجم الهواء (V) cm^3

ارسم العلاقة بين حجم الغاز على المحور الرأسي ودرجة الحرارة المطلقة على المحور الأفقي. ماذا تلاحظ من شكل المنحنى؟

.....

ماذا تستنتج؟

.....



متوسط طاقة الحركة لجزئ الغاز

12A.26.7

الأهداف

- أن يستنتج العلاقة بين طاقة الحركة لجزيئات الغاز ودرجة الحرارة المطلقة.
- أن يحسب متوسط طاقة حركة جزئ بدلالة الحرارة المطلقة.
- أن يقارن بين سلوك الغاز المثالي والغاز الحقيقي.

المصطلحات الأساسية

متوسط مربع السرعة
Mean square speed

عند دراسة ضغط الغاز فإن مجموع القوى التي تؤثر بها جزيئات الغاز على جدار الإناء مقسومة على مساحة جدار الإناء تعطي قيمة ضغط الغاز وهذا صحيح لجميع أوجه الاناء الحاوي للغاز.
هذا يبين أن ضغط كمية معينة من الغاز يعتمد على ثلاثة عوامل:

- كتلة جزيئات الغاز
- سرعة جزيئات الغاز ويكون العامل مربع السرعة
- عدد جزيئات الغاز التي يحتويها الاناء

ولقد استخدمت هذه العوامل لاستنتاج العلاقة

$$PV = \frac{1}{3}Nm\overline{c^2}$$

حيث (N) عدد جزيئات الغاز ، (V) حجم الغاز بوحدة (m^3) ، (P) ضغط الغاز بوحدة (Pa)، (m) كتلة الجزئ الواحد بوحدة (kg) ، $(\overline{c})$ الجذر التربيعي لمتوسط السرعة.
ويحسب الجذر التربيعي لمتوسط مربع السرعة بالشكل التالي:
(بفرض أن سرعة أربع جزيئات غاز هي 300, 400,500, 600 m/s
فمتوسط السرعة تساوي

$$\frac{300 + 400 + 500 + 600}{4} = \frac{450m}{s}$$

أما الجذر التربيعي لمتوسط مربع السرعة للجزيئات فيساوي :

$$\sqrt{\frac{300^2 + 400^2 + 500^2 + 600^2}{4}} = 460m/s$$

ومع أن الفرق بينهما ليس كبيراً ولكن في الغازات الحقيقية يكون الفرق كبيراً لا يمكن اهماله ، فمتوسط الجذر التربيعي لسرعة جزيئات مول من الهواء في حرارة الغرفة يساوي 500 m/s أما متوسط السرعة لها فهو 390 m/s .

من المعادلة السابقة :

$$P = \frac{1}{3}\frac{\mathrm{N\,m}}{V}\overline{c^2}$$

وبما أن :

$$\rho = \frac{N\,m}{V}$$

حيث ρ كثافة الغاز فإن:

$$P = \frac{1}{3}\rho\,\overline{c^2}$$

<u>طاقة الحركة وثابت بولتزمان:</u>

من العلاقتين التاليتين لمول واحد من الغاز :

$PV = RT$ و $PV = \frac{1}{3}\,N_A\,m\,\overline{c^2}$

$$\frac{1}{3}\,N_A\,m\,\overline{c^2} = RT \;\rightarrow\; m\overline{c^2} = \frac{3RT}{N_A}$$

وبضرب طرفي المعادلة بـالمقدار $\frac{1}{2}$

$$\frac{1}{2}\,m\,\overline{c^2} = E_k = \frac{3\,R\,T}{2N_A}$$

حيث (N_A) عدد أفوجادرو، (m) كتلة الجزيء الواحد.
وقد سميت النسبة بين الثابت العام للغازات وعدد افوجادرو بثابت بولتزمان.

$$K = \frac{R}{N_A} = 1.38 \times 10^{-23}\,J/K$$

فيكون :

$$E_k = \frac{3}{2}kT$$

ويمكن التعبير عن معادلة الغاز المثالي باستخدام ثابت بولتزمان كما يلي:

$$PV = NkT$$

حيث (N) هو العدد الكلي للجسيمات (ذرات أو جزيئات).

مثال

إذا كانت كثافة غاز النيتروجين عند الظروف القياسية هي $1.25\ kg.m^{-3}$ ، احسب متوسط مربع سرعة جزئ نيتروجين في الهواء عند الظروف القياسية. ثم احسب متوسط طاقة الحركة لجزئ النيتروجين إذا علمت أن الكتلة الجزيئية للنيتروجين = 28 .

الحل

حيث أن الضغط الجوي القياسي = $1.013 \times 10^5\ Pa$:

$$P = \frac{1}{3}\rho\overline{c^2}$$

$$1.013 \times 10^5 = \frac{1}{3} \times 1.25 \times \overline{c^2}$$

$$\overline{c^2} = 243120\ m^2.s^{-2}$$

وحيث أن مول واحد من جزيئات النيتروجين له كتلة $0.028\ kg$ فيمكن باستخدام ثابت أفوجادرو تعيين كتلة جزئ واحد للنيتروجين :

$$m = \frac{0.028}{6.022 \times 10^{23}} = 4.65 \times 10^{-26} kg$$

ومن العلاقة الخاصة بتعيين طاقة الحركة :

$$E_k = \frac{1}{2}Nm\overline{c^2} = \frac{1}{2} \times 1 \times 4.65 \times 10^{-26} \times 243120$$
$$= 5.65 \times 10^{-21}\ J$$

مثال

احسب متوسط طاقة الحركة لجزئ في الهواء عند درجة 300K .

الحل

$$E_k = \frac{3}{2}kT = \frac{3}{2} \times 1.38 \times 10^{-23} \times 300 = 6.2 \times 10^{-21}\ \text{J}$$

تدريب

عينة من غاز تحتوي على 3×10^{24} ذرة ، احسب حجم الغاز عند درجة حرارة $300\ K$ وضغط $120\ Pa$.

تذكر أن...

- ينصّ قانون هوك على أن مقدار الاستطالة الحادثة في قضيب أو نابض يتناسب طردياً مع مقدار قوة الشد المؤثرة ما لم تتعدى حد المرونة.
- المساحة تحت منحنى القوة – الاستطالة تساوي دائماً طاقة الوضع المختزنة سواء كانت العلاقة خط مستقيم أو منحنى.
- **الإجهاد σ**: القوة المؤثرة على وحدة المساحات، ووحدته: (N/m^2).
- يوجد ثلاثة أنواع من الإجهاد: إجهاد الشد (Tensile stress)، إجهاد القص(Shear stress)، إجهاد الضغط (Compressive stress).
- الانفعال هو النسبة بين التغير الحادث في الجسم عند التأثير عليه بقوى خارجية إلى أبعاد الجسم الأصلية. والانفعال ليس له وحدات لأنه نسبة.
- توجد للانفعال ثلاثة أنواع: الانفعال الطولي والقصي والحجمي.
- النسبة بين الإجهاد والانفعال تسمى معامل المرونة (Elastic Modulus).
- النسبة بين الإجهاد الطولي والانفعال الطولي تسمى معامل المرونة الطولي (معامل يونج)، ووحدته: (N/m^2).
- يمكن استخلاص الكثير من الخواص الميكانيكية للمادة من منحنى الإجهاد-الانفعال للمادة.
- التوتر السطحي: هي خاصية للسطح تجعل سطح السائل كغشاء مرن مشدود.
- قوى التجاذب بين جزيئات المواد المختلفة نوعان:

أ) قوى التماسك: (cohesion) هي قوى التجاذب بين جزيئات المادة.

ب) قوى التلاصق: (adhesion) هي قوى التجاذب بين جزيئات مادتين مختلفتين.

- زاوية الالتصاق هي الزاوية التي تنحصر بين سطح الجسم الصلب والمماس لسطح السائل عند نقطة تلاقيهما معاً.
- الخاصية الشعرية هو قدرة الأنابيب الشعرية على سحب السائل إلى أعلى ضد قوة الجاذبية.
- نظرية الحركة الجزيئية للغازات هي نظرية تصف حركة جزيئات الغاز وتفترض أن جزيئات الغاز المثالي تتميز بالتالي:

1- تصادمات جزيئات الغاز المثالي تامة المرونة، لذلك لا تفقد طاقة حركة عند اصطدامها بجدار الوعاء أو اصطدام بعضها ببعض.

2- لا توجد قوى تجاذب بين جزيئات الغاز المثالي، وتؤثر بقوى على بعضها عند التصادم.

3- حجم الجزيئات مهمل بالنسبة إلى حجم الإناء الذي تشغله.

- قانون بويل: عند ثبوت درجة الحرارة، يتناسب حجم كمية معينة من الغاز تناسباً عكسياً مع الضغط الواقع عليه.
- قانون شارل عند ثبوت الضغط يتغير حجم عينة من غاز ما بصورة طردية مع درجة الحرارة المطلقة
- قانون الضغط عند ثبوت الحجم، يتغير ضغط عينة من غاز ما بصورة طردية مع درجة الحرارة المطلقة.
- المعادلة العامة للغاز المثالي هي:

$$PV = nRT$$

- يمكن تعيين طاقة الحركة لجزيئات الغاز من العلاقة :

$$E_k = \frac{3}{2}nRT = \frac{3}{2}kT$$

اختبر نفسك

أولاً: أسئلة اختيار من متعدد

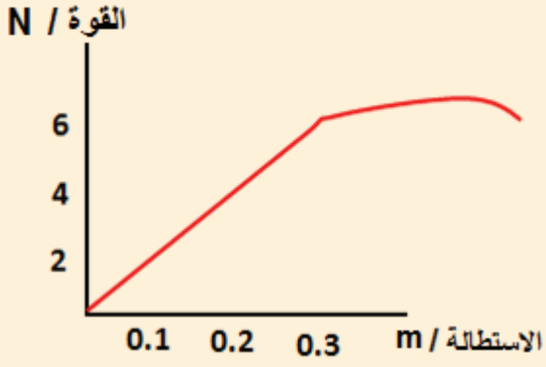
(1)ما قيمة الثابت لنابض طوله 0.53 m تم تعليق جسم به وزنه 3 N فأصبح طوله 0.59 m ؟

- 0.02 N/m
- 0.18 N/m
- 50N/m
- 62 N/m

(2)تم تعليق جسم وزنه 5 N في نابض قيمة الثابت له 62 N/m وطوله 0.37 m . كم سيكون طول النابض بعد تعليق الجسم به؟

- 0.45 m
- 0.03 m
- 837.83 m
- 8.588 m

(3)يمثل الشكل التالي استطالة نابض بسبب تعليق كتل مختلفة به . ادرس الشكل ثم أجب عن السؤالين الآتيين:



ما قيمة ثابت النابض؟

- 2 N/m
- 6 N/m
- 18 N/m
- 20 N/m

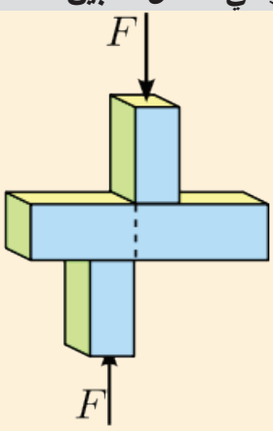
ما وزن الجسم الذي إن تم تعليقه في النابض فإنه يتغير بشكل دائم في الشكل والحجم؟

- 1 N
- 3 N
- 5 N
- 7 N

(4)توصف المادة التي تعود إلى وضعها الأصلي بسهولة بعد زوال التأثير بأنها..

- صلدة.
- مرنة.
- بلاستيكية.
- هشة.

(5)ما نوع الإجهاد الظاهر في الشكل المبين؟



- إجهاد شد.
- إجهاد قصي.
- إجهاد ضغط.
- لا يوجد إجابة صحيحة.

(6)ما مقدار إجهاد الشد المؤثر على سلك مساحة مقطعه $3.2 \times 10^{-8}\ m^2$ تؤثر عليه قوة مقدارها 150 N ؟

- $2.13 \times 10^{-10} N.m^{-2}$
- $4.8 \times 10^{-6} N.m^{-2}$
- $4.68 \times 10^{9} N.m^{-2}$
- $1.5 \times 10^{2} N.m^{-2}$

(7)ما مقدار القوة التي تؤدي لكسر سلك قطره 0.2 cm وأكبر قيمة لإجهاد الشد له $500 \times 10^{6} N.m^{-2}$ ؟

- أكبر من 1570N .
- أقل من 1570N .
- تساوي 1570N .
- لا يوجد إجابة صحيحة.

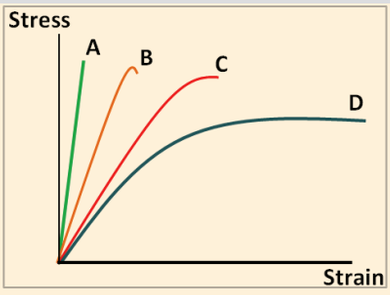
(8)ما قيمة انفعال سلك طوله 3.00m تم شده بقوة حتى بلغ طوله 3.002m ؟

- 1500
- 1
- 9.006
- 6.6×10^{-4}

(9)ما قيمة معامل يونج لفلز إذا أبدى انفعال قدره 0.0004 عندما تعرض لإجهاد قدره 10^8Pa ؟

- 4×10^{-12}Pa
- 4×10^{4}Pa
- 2.5×10^{11}Pa
- 9.9×10^{7}Pa

(10) الشكل التالي يمثل العلاقة بين الإجهاد والانفعال لمواد مختلفة . ادرس الشكل ثم أجب عن الأسئلة التالية:



أي المنحنيات يمثل أفضل مادة يمكن سحبها لعمل أسلاك؟

- A
- B
- C
- D

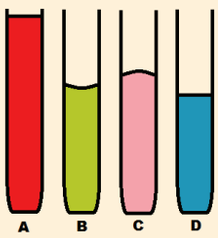
أي المنحنيات يمثل مادة لها أكبر معامل يونج؟

- A
- B
- C
- D

أي المنحنيات يمثل مادة تحتاج لأكبر شغل حتى تنكسر؟

- A
- B
- C
- D

(11) الأنابيب الموضحة تحتوي على مواد مختلفة .أي المواد لها أكبر قوة تماسك؟



- A
- B
- C
- D

(12) في الصورة السابقة ، أي المواد لها القدرة على الارتفاع في الأنابيب الضيقة؟

- A
- B
- C
- D

(13) أي العبارات التالي تصف بدقة تأثير برنولي؟

- تنشا مناطق ذات ضغط منخفض عند ارتفاع الحرارة في منطقة ما.
- عند مرور مائع بسرعة كبيرة خلال منطقة ما تنشأ منطقة ضغط منخفض.
- عند زيادة حجم غاز ينخفض الضغط الناشئ عنه.
- تؤثر الحرارة والحجم وسرعة جزيئات المائع في الضغط الناشئ عنه.

(14) يعتبر قانون شارل من القوانين التي تحدد العلاقة بين ...

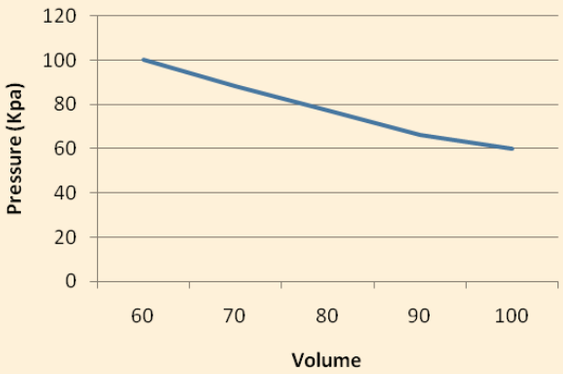
- ضغط الغاز وحجمه عند ثبوت درجة الحرارة.
- حجم الغاز ودرجة الحرارة عند ثبوت الضغط.
- درجة الحرارة والضغط عند ثبوت الحجم.
- ضغط الغاز ودرجة الحرارة والضغط.

(15) عن أي قانون من قوانين الغازات تعبر العلاقة التالية؟

$$\frac{V}{T}=\text{constant}$$

- قانون شارل.
- قانون بويل
- قانون الضغط.
- قانون أوم.

(16) عن أي قانون من قوانين الغازات يعبر الرسم البياني التالي؟



- قانون شارل.
- قانون بويل
- قانون الضغط.
- قانون أوم.

(17) ما هو حجم المول من أي غاز في الظروف القياسية من الضغط ودرجة الحرارة؟ (بفرض أن الغاز يسلك سلوك الغاز المثالي)

- 273L
- 4.314L
- 22.4L
- 1.013×10^5L

(18) بالون كروي منتظم الشكل مملوء بغاز الهيليوم نصف قطره 18 cm، في درجة حرارة الغرفة (20° C) كان ضغط غاز الهيليوم 1.05 atm . كم عدد مولات الهيليوم داخل البالون؟

- 0.94 mol
- 4.26 mol
- 0.0244 mol
- 1.066 mol

(19) تم تسجيل ضغط الهواء داخل إطار سيارة بمقياس الضغط فكان يساوي 200 kPa عند درجة حرارة 10° C ، بعد القيادة لمسافة 100km ارتفعت درجة حرارة الإطار إلى 40° C ، كم يسجل الجهاز لضغط الهواء داخل الإطار بعد قطع تلك المسافة؟

- 232 kPa
- 221 kPa
- 272 kPa
- 333 kPa

(20) غاز في الظروف القياسية حجمه $3m^3$ ، تم وضعه تحت ضغط $3.2\ atm$ وتم رفع درجة الحرارة إلى $38°\ C$. ما حجم الغاز تحت الظروف الجديدة؟

- $3.4m^3$
- $1.07m^3$
- $3m^3$
- $22.4m^3$

(21) حجم معين من غاز الأكسجين قدره $61.5L$ عند درجة حرارة $18.0°\ C$ وتحت ضغط مطلق قدره $2.45\ atm$ تم ضغطه إلى $48.8L$ وتم رفع درجة حرارته إلى $50.0°\ C$. ما قيمة الضغط المطلق للغاز في الوضع الجديد؟

- $1.01\ atm$
- $4.45\ atm$
- $8.6\ atm$
- $3.43\ atm$

(22) إذا كانت متوسط طاقة الحركة للذرات في غاز ما هي $5 \times 10^{-21}\ J$ ، فما هي درجة حرارة الغاز ؟

- $241.5\ K$
- $-31.5\ ℃$
- $240.5\ ℃$
- $155.3\ K$

(23) كم قيمة متوسط طاقة الحركة الانتقالية لذرات غاز مثالي عند $27℃$ ؟

- $1.3 \times 10^{-21}\ J$
- $6.5 \times 10^{21}\ J$
- $3.8 \times 10^{-18}\ J$
- $6.2 \times 10^{-21}\ J$

اختبر نفسك

ثانياً : أسئلة متنوعة

(1) استطال نابض بمقدار (4 mm) عندما أثرت عليه قوة مقدارها (2.0 N).
أ- ما مقدار ثابت القوة لهذا النابض؟
ب- إذا علق جسم كتلته (150 g) ما مقدار الاستطالة في النابض؟

(2) طول حبل أرجوحة طفل (3 m). تمدد الحبل بمقدار (30 mm) عندما جلس طفل على الأرجوحة. ما مقدار انفعال حبل الأرجوحة؟

(3) انظر إلى الجدول المقابل وبين أي المواد أعلى مرونة؟

المادة	معامل يونج (N/m^2)
الفولاذ	2.0×10^7
الألمنيوم	0.7×10^7
التنغستن	3.6×10^7

(4) سلك طوله (1 m) ومساحة مقطعه ($0.00005\ m^2$) عُلق فيه ثقل مقداره (98 N) فاستطال بمقدار (0.001 m)، أوجد:
أ) الانفعال
ب) الإجهاد
ج) معامل يونج.

(5) مصعد مدعم بسلك صلب قطره (2.5 cm) وطوله (36 m). معامل يونج للصلب هو ($2.1 \times 10^{11}\ Nm^{-2}$). ما مقدار التمدد الذي يحدث في السلك عندما يكون داخل المصعد ستة أشخاص، مجموع كتلهم (420 kg).

(6) جسم كتلته (0.2 kg) علق في سلك من الألمنيوم قطره (0.8 mm) وطوله (2.0 m) وتمدد بمقدار (110 µm).
أ) ما مقدار معامل يونج للألمنيوم؟
ب) ما مقدار الاستطالة التي قد تحدث لسلك طوله ضعف السلك الأول ومساحة مقطعة نصف مساحة مقطع السلك الأول.

(7) نابض طوله (15 cm) أثرت عليه قوة شد فأصبح طوله (20 cm) ما مقدار تلك القوة إذا كان ثابت الصلابة (1 N/m).

(8)يوضح الجدول قيم الأوزان والاستطالة الحادثة في سلك عندما تعلق كتل في سلك طوله (1.5 m) وقطره (0.30 mm).

الوزن (N)	0.0	2.0	4.0	6.0	8.0	10.0	11.0	11.2
الاستطالة (mm)	0.0	1.0	2.1	3.1	4.2	5.4	7.3	9.0

أ) ارسم رسم بياني يوضح العلاقة الوزن- الاستطالة.
ب) حدد على الرسم المنطقة التي تتبع قانون هوك.
ج) من الرسم البياني احسب ثابت النابض.

(9)الجدول التالي يوضح القراءات المدونة في تجربة استطالة نابض.

الثقل (N)	0	1	2	3	4	5	6
طول السلك (m)	40	49	58	67	76	88	110
الاستطالة (mm)							

أ) ما هو الطول الأصلي للسلك؟
ب) أكمل الجدول بإيجاد مقدار الاستطالة.
ت) ارسم العلاقة بين الاستطالة والقوة.
ث) حدد على الرسم حد المرونة.
ج) حدد على الرسم المنطقة التي فيها الاستطالة تتناسب طردياً مع القوة.
ح) ما هي القوة التي تعمل على استطالة السلك بمقدار (35 mm).
خ) ما هي القوة التي تعمل على استطالة السلك إلى الطول (65 mm).

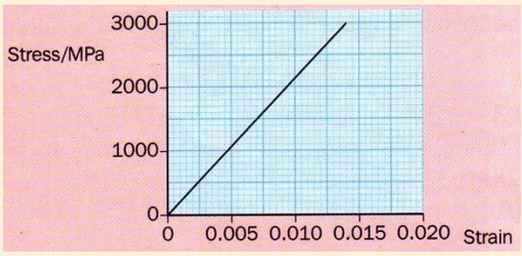
(10) طالب كتلته (70 kg) قدر مساحة مقطع عظام رجله هو ($20\ cm^2$). ما مقدار الإجهاد الواقع على عظام رجليه؟

(11) سلك قطره (0.5 mm)، وطوله (4.0 m) ازداد طوله بمقدار (3.0 mm) عندما أثرت عليه بقوة (75 N). ما مقدار معامل يونج لهذا السلك؟

(12) نابض طوله (25 cm) أثرت عليه قوة مقدارها (0.009 N) فأصبح طوله (28 cm)، وعندما أزيلت هذه القوة عاد الزنبرك لطوله الأصلي. وعندما أثرت عليه قوة (0.09 N) وصل حد المرونة. احسب:
أ) ثابت الصلابة لهذا الزنبرك.
ب) أكبر طول يصله الزنبرك دون أن يفقد مرونته.

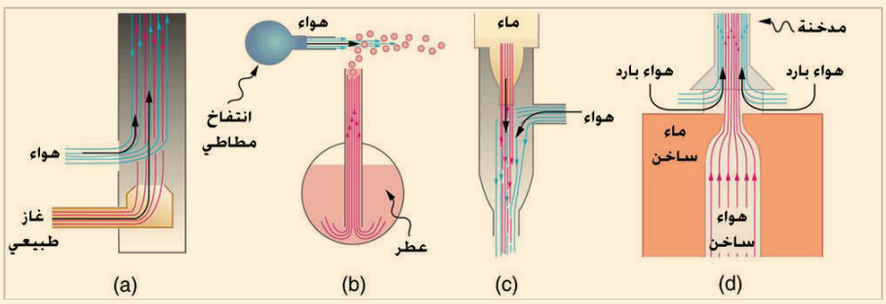
اختبر نفسك

(13) الرسم البياني يوضح العلاقة بين الإجهاد والانفعال لمادة الصلب حتى نقطة الكسر.



من الرسم البياني احسب قيمة معامل يونج وأقصى إجهاد يتحمله الصلب.

(14) فسر الأشكال التالية في ضوء تأثير برنولي:



(15) سخن غاز تحت ضغط ثابت من (300 K) إلى (400 K) فزاد حجمه بمقدار ($200\ cm^3$)، احسب الحجم الأصلي للغاز.

(16) عينة من غاز النيتروجين حجمها (0.5 L) وضغطها (2 atm)، كم يكون ضغطها إذا تمددت وأصبح حجمها (1.5 L) عند نفس درجة الحرارة؟

(17) يبلغ حجم كمية معينة من غاز (2.24 L) عند ضغط يساوي (1 atm) ودرجة حرارة (0 °C)، ما حجم نفس الكمية عند نفس الضغط عند درجة حرارة (25 °C)؟

(18) وضعت كمية من غاز الأكسجين في وعاء مغلق حجمه (2 L)، فكان ضغط الغاز ($1.5\ atm$)، ودرجة الحرارة (27 °C)، كم مولاً من غاز الأكسجين يوجد في الوعاء؟

(19) إطار سيارة مملوء بالهواء عند درجة حرارة 15 °C فإذا تم قياس ضغطه بجهاز القياس فكان 220kPa . إذا ارتفعت درجة حرارة الإطار إلى 38 °C ما هي نسبة الزيادة في ضغط الهواء داخل الإطار؟

اختبر نفسك

(20) ما حجم (32 g) من الأكسجين (O_2) إذا كان الضغط (1 atm) ودرجة الحرارة (0 °C).

(21) ما عدد الجزئيات الموجودة في (44.8 L) من غاز ما في الظروف القياسية؟

(22) مكبس حجم الغاز داخله عند (1 atm) يساوي (10 mL). ما هو الضغط اللازم لخفض الحجم إلى (2 mL)؟

(23) عينة من الغاز حجمها (36.6 L)، عند ضغط (1.50 atm)، ودرجة حرارة صفر مئوي، ما هو ضغط الغاز إذا أصبح حجمه (24.4 L)، عند درجة حرارة صفر مئوي؟

(24) عينة من الغاز حجمها (8 L) عند ضغط (150 kPa) ، احسب الحجم الجديد للعينة عندما يصبح ضغط الغاز (125 kPa).

(25) القراءات في الجدول التالي لكمية من الغاز عند درجة حارة ثابتة.

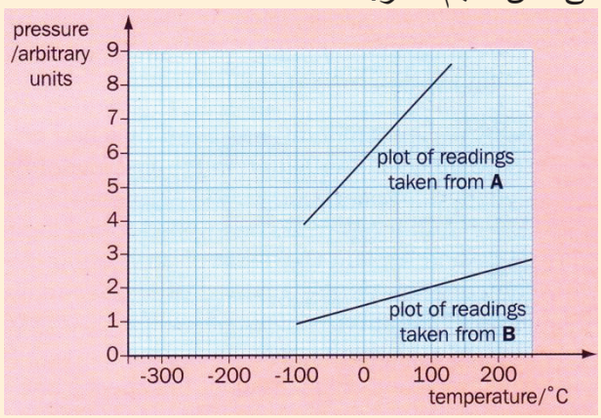
الضغط (atm)	5.0	4.0	2.0	1.0	0.5	0.4
الحجم (cm^3)	4	5	10	20	40	50

أ) كيف تثبت من الرسم أن الغاز يتبع قانون بويل؟

ب) احسب قيمة ($\frac{1}{V}$).

ج) ارسم العلاقة بين الضغط و($\frac{1}{V}$)، ثم صف المنحنى.

(26) الرسم البياني يوضح العلاقة بين الضغط ودرجة الحرارة لثرمومترين (A) و(B)، غازيين، ذي حجم ثابت، علماً أن الاثنين يحتويان على نفس حجم الغاز.



أ) بين من الرسم أن المنحنيان سيتقاطعان مع محور درجة الحرارة في نفس النقطة، ثم حدد قيمة هذه النقطة.
ب) الثرمومتر (A) يحتوى على (40 mol) من الغاز. حدد عدد المولات التي يحتويها الغاز (B).

(27) احسب كتلة الأرجون الذي يملأ مصباح كهربائي حجمه ($8.2 \times 10^{-5}\ m^3$)، إذا كان الضغط داخل المصباح (90 kPa)، ودرجة الحرارة (340 K). علماً بأن الكتلة المولية للأرجون 0.04 kg/mol.

(28) 2.4 mol من غاز ما تم وضعها في درجة حرارة 97°C داخل وعاء حجمه 45L . ما هو ضغط الغاز داخل الوعاء؟

(29) النايلون له أقصى إجهاد شدي مقداره $7.5 \times 10^7\ Pa$ استخدم خالد حبلاً من النايلون مساحة مقطعه $3 \times 10^{-5}\ m^2$ ، لتسلق الجبال فإذا كان وزن خالد 600N . هل سيتحمله الحبل ؟

(30) بين أنه إذا تضاعفت قيمة متوسط سرعة الجزيئات في غاز مثالي فإن درجة الحرارة المطلقة للغاز تزداد. ثم اوجد معامل الزيادة.

(31) عند تغير حجم كتلة ثابتة من الغاز إلى ضعف حجمها الأصلي عند ثبوت درجة الحرارة ، كيف تتغير الكميات التالية :

- ضغط الغاز؟
- متوسط طاقة الحركة الانتقالية لجزيئات الغاز؟

(32) يتألف الهواء من جزيئات الأكسجين (وزنه الجزيئي 32 g/mol) ونيتروجين (28 g/mol) . احسب طاقة الحركة الانتقالية لهذه الجزيئات في الهواء عند 20°C . استخدم إجابتك لتقييم السرعة الخاصة لكل جزئ.

ثوابت وقيم فيزيائية هامة

البادئات في النظام الدولي		
البادئة	الرمز	القيمة العلمية
peta-	P	10^{15}
tera-	T	10^{12}
giga-	G	10^{9}
mega-	M	10^{6}
kilo-	k	10^{3}
hecto-	h	10^{2}
deka-	da	10^{1}
deci-	d	10^{-1}
centi-	c	10^{-2}
milli-	m	10^{-3}
micro-	μ	10^{-6}
nano-	n	10^{-9}
pico-	p	10^{-12}
femto-	f	10^{-15}

الكميات المشتقة والوحدات			
الكمية	الرمز	الوحدة	الوحدة المكافئة
Area	A	m^2	--
Volume	V	m^3	--
Speed / velocity	v	$\mathrm{m/s}$	--
Acceleration	a	$\mathrm{m/s}^2$	--
Frequency	f	Hz	s^{-1}
Force	F	N	$\mathrm{kg.m/s}^2$
Momentum	p	$\mathrm{kg.m/s}$	--
Impulse	J	$\mathrm{N.s}$	$\mathrm{kg.m/s}$
Energy, Work	E, W	J	$\mathrm{kg.m}^2/\mathrm{s}^2$
Power	P	W	$\mathrm{kg.m}^2/\mathrm{s}^3$
Electric charge	q	C	A.s
Electric potential	V	V	$\mathrm{kg.m}^2/\mathrm{s}^3.\mathrm{A}$
Electric resistance	R	Ω	$\mathrm{kg.m}^2/\mathrm{s}^3.\mathrm{A}^2$
Activity	A	Bq	s^{-1}

الثوابت		
القيمة	الرمز	الاسم
1.60×10^{-19} C	e	Unit of charge
6.67×10^{-11} N.m^2/kg^2	G	Gravitational constant
8.99×10^{9} N.m^2/C^2	k	Coulomb's constant
1.66×10^{-27} kg	u	Atomic mass unit
9.11×10^{-31} kg	m_e	Rest mass of electron
1.67×10^{-27} kg	m_p	Rest mass of proton
1.67×10^{-27} kg	m_n	Rest mass of neutron
3.00×10^{8} m/s	c	Speed of light
6.63×10^{-34} J.s	h	Planck's constant
8.854×10^{-12} F/m	$\varepsilon_\circ$	Permittivity of free space
8.314 JK^{-1}mol^{-1}	R	Molar gas constant

قيم هامة	
القيمة	الاسم
6.378×10^{6} m	Mean radius of Earth
5.974×10^{24} kg	Mass of the Earth
9.81 N/kg	Gravitational field strength (Earth)
1.013×10^{5} Pa	Atmospheric pressure
7.35×10^{22} kg	Mass of the Moon
6.96×10^{8} m	Mean radius of the Sun
1.99×10^{30} kg	Mass of the Sun
1.00×10^{3} kg/m^3	Density of water
4.190×10^{3} J.kg^{-1}.K^{-1}	Specific heat capacity of water
3.313×10^{2} m/s	Speed of sound in air
1.5	Refractive index of glass

ملاحظات على كتاب الطالب للصف ..... الفصل الدراسي 2017/2016		
رقم الصفحة	الملاحظة	التوصيات

رقم الإيداع بدار الكتب القطرية : ٢٠١٦/٢٠٣

Ali Bin Ali
PRINTING PRESS
Tel: +974 4401 5000 Fax: +974 4443 2045
sap@alibinali.com
www.abaprintingpress.com