الفيزياء الذرية

المرحلة الثالثة

المصادر:

1- مبادئ الفيزياء النووية (ميرهوف).
2- مقدمة في الفيزياء النووية (أنكا).
3- مقدمة في الميكانيك الكمي (د.هاشم عبود و د.ضياء).
4- الميكانيك الكمي (د.عبد السلام و د.جاسم الحسيني).
5- الكتاب المقرر: الفيزياء الذرية (د.طالب ناهي الخفاجي).
6- Physics of the atom by Rechardy .
7- Introduction to the molecular structure by J.J.Charts .

الفصل الأول

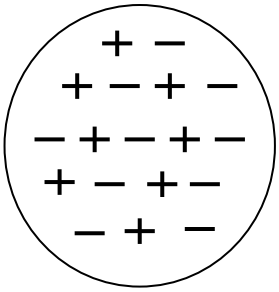
الذرات والالكترونات

مقدمة:

لقد كان القرن التاسع عشر حافلا بالنشاط العلمي في مضمار الفيزياء الكلاسيكية والتقدم في معرفة فيزياء الكون, حيث أقترح العالم البريطاني دالتون (Dalton) في عام 1803 نظرية ذرية جديدة والتي تفترض أن:

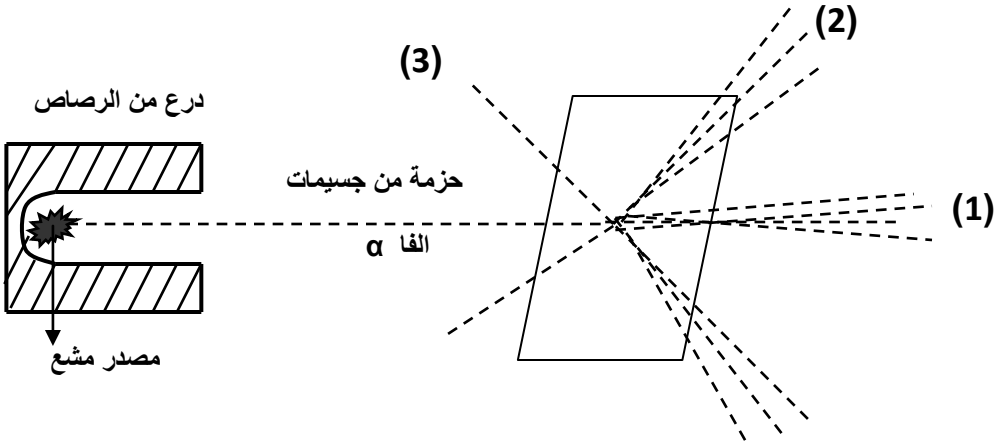
1- جميع العناصر الكيميائية تتكون من جسيمات صغيرة غير قابلة للتجزئة تسمى الذرات.
2- جميع هذه الذرات في العنصر الواحد متشابهة وتختلف عن ذرات العناصر الاخرى.
3- الجزيئات هي اتحاد عدد من الذرات للعنصر الواحد مع ذرات عنصر اخر بارتباط كيمياوي.

في عام 1900 أكتشف العالم ثومسن الالكترون وبعد اكتشاف ظاهرة النشاط الاشعاعي (أي امكانية انبعاث جسيمات سالبة واخرى موجبة من بعض ذرات العناصر), أقترح ثومسن نظريته الاولى للذرة حيث اعتبر الذرة مزيج من شحنات ثقيلة موجبة وعدد مساو من شحنات خفيفة سالبة لكي تبقى الذرة متعادلة كهربائيا.



ذرة ثومسن

لقد فشل هذا النموذج في تفسير نتائج تجارب تشتت جسيمات الفا عن نوى الرقائق المعدنية المختلفة هذه التجارب التي كان كايكر ومارسدن قد اجرياها عام 1909 والتي تتلخص كما يأتي:



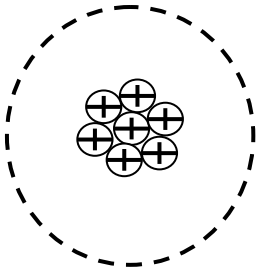
1- معظم جسيمات الفا نفذت بزاوية صغيرة.

2- قسم قليل من جسيمات الفا نفذت بزاوية كبيرة.

3- عدد قليل جدا من جسيمات الفا ارتد إلى نفس جهة سقوطه.

فنظرية ثومسن لا يمكنها تفسير ارتداد جسيمات الفا أو انحرافها بزاوية كبيرة وذلك لأنه للشحنات الموجبة نفس التأثير للشحنات السالبة على جسيمات الفا تقريبا فالمفروض أن تعاني جسيمات الفا نفس المعاناة.

ذرة راذرفورد Rutherford Atom



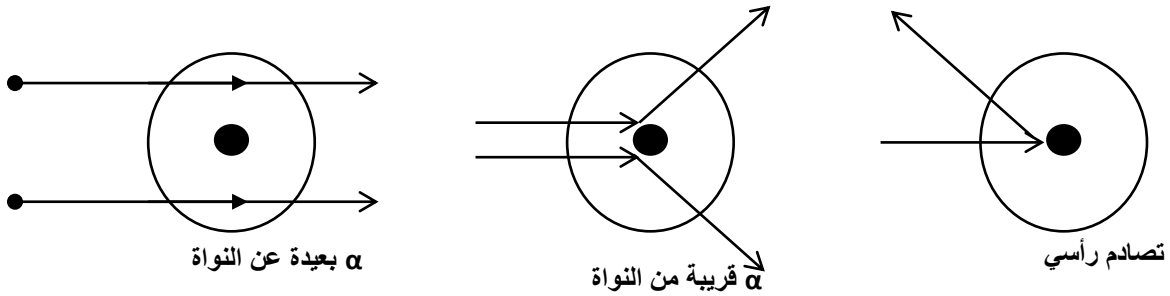
ذرة راذرفورد

لتفسير نتائج تجارب تشتت جسيمات الفا اقترح راذرفورد عام 1911 نظريته حول الذرة وصورها مكونة من جزء مركزي ثقيل أسماه النواة محاط بسحابة بعيدة من جسيمات خفيفة وذات شحنه سالبة (الالكترونات) ولكي تبقى الذرة متعادلة كهربائيا فيجب أن يتساوى عدد الشحنات السالبة مع عدد الشحنات

الموجبة, فأن مرت جسيمة الفا بعيدة عن النواة فأنها ستتحرك بنفس اتجاهها بينما سيزداد انحرافها كلما اقتربت من النواة نتيجة للتنافر الكولومي بينهما:

$$F = K\frac{q_1 q_2}{r^2}$$

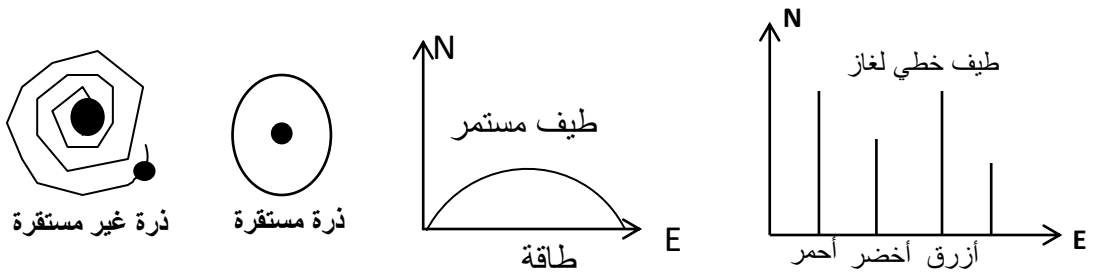
وقد ترتد جسيمة الفا لنفس الجهة التي سقطت منها في حالة التصادم الرأسي.



رغم نجاح نظرية راذرفورد في تفسير نتائج تجارب تشتت جسيمات الفا إلا أنها تفشل في تفسير 1) خطية الأطياف الذرية. 2) استقرار الذرة.

فوفقا للنظرية الكهرومغناطيسية لماكسويل فأن كل جسيمة مشحونة q ومعجلة a تشع طاقة (أشعة تباطؤ) بمعد R وذلك نتيجة تباطؤها بفعل المجالات الكهربائية لذرات المادة المارة خلالها, فعليه المفروض أن يفقد الإلكترون طاقته تدريجيا مما يسبب اقترابه نحو النواة لحين اصطدامه بها وهذا يعني أن الذرة غير مستقرة.

ومن ناحية أخرى إن كان فقدان الإلكترون لطاقته تدريجيا وبمقادير مختلفة فمن المتوقع أن يكون الطيف الطاقي له مستمرا أي يجب أن تكون الأطياف الذرية أطياف مستمرة في الوقت الذي نلاحظ أنها أطياف خطية.



ذرة بور Bohr Atom

لتفسير استقرارية الذرة وخطية الأطياف الذرية اقترح بور عام 1913 نظرية جديدة, فأفترض ثلاث فرضيات الأولى منها تتفق مع الميكانيك الكلاسيكي بينما الفرضية الثانية والثالثة تخالفانه وهذه الفرضيات هي:

1- القوة المركزية ذات أصل كهربائي: القوة المركزية المؤثرة على الإلكترون والتي تسبب دورانه حول النواة هي ذات أصل كهربائي أي أنها تعزى للتجاذب الكهربائي بين الإلكترون السالب والنواة الموجبة.

$$F_c = m\frac{v^2}{r} = k\frac{e^2}{r^2}$$

2- الزخم الزاوي المداري للإلكترون l_n مكمم وكذا طاقته E_n أي أن لكل منهما قيم محددة ولا يمكن أن يأخذ أية قيمة كانت ووفقا للمعادلتين:

$$l_n = pr = mvr = n\hbar = n\frac{h}{2\pi} \ , \ \ h = 6.62\times10^{-34}\, J.\sec$$

ثابت بلانك

$$\hbar = 1.054\times10^{-34}\, J.\sec$$

3- لا يشع الإلكترون طاقة مادام متحركا بنفس المدار إنما يحدث إشعاعه للطاقة عند انتقاله من مستوى عالي إلى مستوى واطئ بينما امتصاصه للطاقة بكميات معينه يسبب انتقاله من مستوى واطئ إلى مستوى عالي, وطاقة الفوتون المشع أو الممتص $E = hf$ فيجب أن تساوي الفرق بين طاقتي المستويين $E_i - E_f$ أي أن: $\Delta E = hf \Rightarrow E_2 - E_1 = hf$

إن النواة تتكون من بروتونات تحمل شحنه موجبة وعدد البروتونات يساوي عدد النيوترونات $P^+ = N$. كتلة البروتون = 1836 أو 1840 أكبر من كتلة الإلكترون أما النيوترونات فتكون متعادلة الشحنة $m_p \approx m_N$. عدد الالكترونات المتحركة حول النواة تساوي عدد البروتونات داخل النواة لهذا فأن الذرة منظومة متعادلة كهربائيا.

$$e = 1.6\times10^{-19}\, C \ , \ m_e = 9.1\times10^{-31}\, kg \ , \ m_p = 1.67\times10^{-27}\, kg$$

$Z_e =$ شحنة النواة, $Z =$ العدد الذري

السرعة المماسية للإلكترون

$$F = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{qq'}{r^2} = G\frac{MM'}{r^2} = ma = m_e\frac{v^2}{r}$$

$\varepsilon_0 = 8.85\times10^{-12}\ C^2/(J.m)$ السماحية الكهربائية

$$F = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{e^2}{r_n^2} = m_e\frac{v^2}{r_n} \quad \Rightarrow \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{e^2}{r_n} = m_e v^2$$

$$v^2 = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{e^2}{m_e r_n} \text{.....(1)}$$

$$l = pr = mvr = n\hbar \quad , \quad v = \omega r \quad , \quad m_e\omega_n r_n^2 = n\hbar \text{.....(2)}$$

$$\omega_n = \frac{n\hbar}{m_e r_n^2} \quad , \quad r_n^2 = \frac{n\hbar}{m_e\omega_n}$$

$$F = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{e^2}{r_n^2} = m_e\omega_n^2 r_n \text{.....(3)}$$

بربط (2) مع (3) نحصل على:

$$\frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{e^2}{r_n^2} = m_e\frac{n^2\hbar^2}{m_e^2 r_n^4}r_n \quad \Rightarrow \quad \frac{e^2}{4\pi\varepsilon_0} = \frac{n^2\hbar^2}{m_e r_n}$$

$$r_n = \frac{4\pi\varepsilon_0 n^2\hbar^2}{m_e e^2} \text{.....(4)}$$ نصف قطر المدار

$$r_n^2 = \frac{16\pi^2\varepsilon_0^2 n^4\hbar^4}{m_e^2 e^4} \quad \Rightarrow \quad \frac{n\hbar}{m_e\omega_n} = \frac{16\pi^2\varepsilon_0^2 n^4\hbar^4}{m_e^2 e^4}$$

$$\omega_n = \frac{m_e e^4}{16\pi^2\varepsilon_0^2 n^3\hbar^3} \text{.....(5)}$$ السرعة الزاوية للمدار الذي يدور فيه الإلكترون

(طاقة الإلكترون)

$$E = T + V \quad , \quad V = -\frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{e^2}{r}$$

نعوض عن (r) من معادلة 4 نحصل على: $$V = -\frac{m_e e^4}{16\pi^2\varepsilon_0^2\hbar^2}\frac{1}{n^2} \quad \text{.....(6)}$$

$$T = \frac{1}{2}m_e v^2 = \frac{1}{2}m_e\omega^2 r^2 \quad , \quad \Rightarrow T = \frac{m_e e^4}{32\pi^2\varepsilon_0^2\hbar^2}\frac{1}{n^2} \quad \text{.....(7)}$$

$$E = T + V = -\frac{m_e e^4}{32\pi^2\varepsilon_0^2\hbar^2}\frac{1}{n^2} \quad \text{.....(8)}$$

في ذرة الهيدروجين Z=1 $$E_1 = -13.6\ e.V$$

(طاقة الربط Binding Energy)

هي الطاقة اللازمة لانتقال الإلكترون من حالة معينه إلى المالانهاية.

e.V: كمية الطاقة التي تساوي التغير في الطاقة الحركية لشحنة الكترونية واحدة عندما تتحرك ضمن فرق في الجهد مقداره 1 فولت ويمكن تحويل وحدة الطاقة بالجول إلى e.V وذلك بالقسمة على شحنة الإلكترون.

$$E_{(e.V)} = \frac{E_{(J)}}{e} \Rightarrow 1\,k.e.V = 10^3\,e.V \ , \ \ 1\,M.e.V = 10^6\,e.V$$

$$E_{(e.V)} = \frac{hf}{e},\ f = \frac{c}{\lambda} \Rightarrow E_{(e.V)} = \frac{hc}{e\lambda} = \frac{6.62\times10^{-34}\,J.\sec * 3\times10^8\ m/\sec * 1e.V}{1.6\times10^{-19}\,J * \lambda(m)}$$

$$E_{(e.V)} = \frac{1.24\times10^{-6}(m.eV)}{\lambda(m)} \quad , \quad 1m = 10^{10}\,A^0$$

$$E = \frac{1.24\times10^4\,eV.A^0}{\lambda(A^0)}$$

*عند تسمية E بطاقة الإلكترون نكون غير دقيقي التعبير حيث فرضنا أن الإلكترون يقوم بكل الحركة بينما تبقى النواة ساكنة.ولما كانت كتلة البروتون تساوي 1836 مرة بقدر كتلة الإلكترون فان الإلكترون في هذه الحالة يمتلك معظم الطاقة الحركية للنظام الذري لأنه اخف وزنا, إن معاملة تفصيلية تلزمنا الأخذ بنظر الاعتبار حركة جميع الجسيمات حول مركز الكتلة المشترك. توجد نظرية في الميكانيك تفيد بأنه في مسألة تفاعل جسيمين مثل هذه الحالة فأن حركة جسم واحد يمكن أن تهمل إذا أخذت كتلة الجسم الآخر على أنها كتلة مختزلة التي هي حاصل ضربهما على مجموع كتلتيهما.

$$\mu = \frac{Mm_e}{M + m_e} = \left(\frac{m_e}{1 + \frac{m_e}{M}} \right)$$ الكتلة المختزلة

فإذا عوضنا عن الكتلة المختزلة في معادلة (8) بدلا من كتلة الإلكترون فستكون معادلاتنا صحيحة وقد مثلت النظام الذري بأكمله.

الفقدان أو الخسارة في الطاقة

عندما ينتقل الإلكترون من حالة متميزة تساوي n_1 إلى حالة متميزة تساوي n_2 فان خسارة الطاقة تعطى بالمعادلة:

$$\Delta E_{12} = \frac{m_e e^4}{32\pi^2 \varepsilon_0^2 \hbar^2} \left(\frac{1}{n_1^2} - \frac{1}{n_2^2} \right) \text{.....(9)}$$

وتبعا لفرضية بور الثانية فأن تردد الإشعاع المطابق لانتقال الإلكترون من المدار n_1 إلى المدار n_2 يعطى بالمعادلة:

$$\Delta E = hf \,, \Rightarrow f = \frac{\Delta E}{h} = \frac{m_e e^4}{8\varepsilon_0^2 h^3} \left(\frac{1}{n_1^2} - \frac{1}{n_2^2} \right) \text{.....(10)}$$

وإذا عرفنا العدد الموجي f' والذي يعرف بعدد التموجات بالمتر الواحد.

(*Wave number*) $$f' = \frac{f}{c} = \frac{m_e e^4}{8\varepsilon_0^2 ch^3}\left(\frac{1}{n_1^2} - \frac{1}{n_2^2}\right)$$

$$f' = R_\infty\left(\frac{1}{n_1^2} - \frac{1}{n_2^2}\right) \quad \text{.....(11)}$$ R_∞ ثابت رذبرك

إذا أخذنا بنظر الاعتبار حركة النواة فيجب أن نعوض عن m_e بالكتلة المختزلة.

$$R = \frac{\mu e^4}{8\varepsilon_0^2 ch^3} = \frac{m_e e^4}{\left(1+\frac{m_e}{M}\right)8\varepsilon_0^2 ch^3} = \frac{R_\infty}{\left(1+\frac{m_e}{M}\right)}, R_\infty = 1.097\times 10^7 m^{-1}$$

لقد وجد العالم بالمر أثناء دراسته للجزء المرئي من طيف الهيدروجين أن هناك ترتيب في خطوط الطيف حيث توصل إلى سلسلة بالمر وقد مدد هذا العمل إلى سلاسل أخرى من قبل باحثين آخرين وقد اكتشفت سلاسل أخرى في الجزء غير المرئي في الطيف وهي:

1- سلسلة ليمان في فوق البنفسجي: $f' = R_\infty\left(\frac{1}{n_1^2} - \frac{1}{n_2^2}\right)$, $n_1 = 1$, $n_2 = 2,3,4.....$

$$f' = R_\infty\left(\frac{1}{1^2} - \frac{1}{n_2^2}\right)$$

2- سلسلة بالمر في الجزء المرئي للطيف:

$$f' = R_\infty\left(\frac{1}{2^2} - \frac{1}{n_2^2}\right) \text{ , } where \;\; n_1 = 2, \quad n_2 = 3,4,5.....$$

3- سلسلة باشن في تحت الحمراء:

$$f' = R_\infty\left(\frac{1}{3^2} - \frac{1}{n_2^2}\right) \text{ , } where \;\; n_1 = 3, \quad n_2 = 4,5,6.....$$

4- سلسلة براكيت في تحت الحمراء البعيدة:

$$f' = R_\infty \left(\frac{1}{4^2} - \frac{1}{n_2^2} \right) \text{ , where } n_1 = 4, \quad n_2 = 5,6,7.....$$

5- سلسلة بفوند في نهاية تحت الحمراء:

$$f' = R_\infty \left(\frac{1}{5^2} - \frac{1}{n_2^2} \right) \text{ , where } n_1 = 5, \quad n_2 = 6,7,8.....$$

مثال: أوطأ حالتين مهيجتين في ذرة الهيدروجين هما 10.2 و 12.0 إلكترون فولت فوق الحالة الأرضية. أحسب الطول الموجي للإشعاع الممكن توليده بالانتقال أ) بين كل من هاتين الحالتين والحالة الأرضية. ب) بين الحالتين المتهيجتين نفسيهما؟

الحل:

أ) الطاقة المنبعثة من الانتقال في الحالة الأولى المهيجة إلى الحالة الأرضية: $E_1 = 10.2\, e.V$

$$E_1 = hf = \frac{hc}{\lambda_1} = 10.2\ e.V \Rightarrow \lambda_1 = \frac{hc}{10.2}$$

$$\lambda_1 = \frac{6.62 \times 10^{-34}\ J.\sec * 3 \times 10^8\ m/\sec}{10.2 * 1.6 \times 10^{-19}\ J} = 12.14 \times 10^{-8}\, m = 1214 A^0$$

الطول الموجي للإشعاع الناتج عن الانتقال من الحالة المهيجة الثانية إلى الحالة الأرضية يحسب بنفس الطريقة:

$$\lambda_2 = \frac{hc}{12.0} 1.035 \times 10^{-7}\, m = 1035 A^0$$

ب) أما الطول الموجي المتولد من الانتقال بين الحالتين المهيجتين فهو:

$$\Delta E = E_2 - E_1 = 12.0 - 10.2 = 1.8\, e.V = hf = \frac{hc}{\lambda_3} \Rightarrow \lambda_3 = \frac{hc}{1.8} = 6.9 \times 10^{-7}\, m = 6900 A^0$$

جهود التأين Ionization Potentials

من الملاحظ أنه في حالة الذرة المعقدة هناك مجموعة من جهود التأين لإزاحة الإلكترون الأول والثاني والثالث وهكذا من تأثير نواة الذرة. الجهد اللازم لإزاحة الكترونات التكافؤ الخارجية والتي هي أقل ارتباطا من غيرها بالنواة يسمى بجهد التأين الأول. وعند إزاحة الإلكترون الأول تبقى بقية الكترونات الذرة أكثر ترابطا بالنواة لذلك فان إزاحة إلكترون آخر سيحتاج إلى جهد أعلى وعليه فان جهد التأين الثاني يكون أعلى من جهد التأين الأول وجهد التأين الثالث اكبر من جهد التأين الثاني وهكذا, فإذا كان جهد التأين الأول والثاني والثالث هو V_1 و V_2 و V_3 على التوالي فان:

$$V_1 \langle \ V_2 \ \langle \ V_3$$

مثال: أحسب جهد التأين لذرة الهيدروجين؟

الحل:

تردد الفوتون المتولد في انتقال إلكترون بين مستووين للطاقة في ذرة الهيدروجين هو:

$$f = \frac{me^4}{8\varepsilon_0^2 h^3}\left(\frac{1}{n_1^2} - \frac{1}{n_2^2}\right)$$

$n_1 = 1 \ , \ n_2 = \infty$

الطاقة اللازمة للتأين تساوي:

$$E = hf = \frac{me^4}{8\varepsilon_0^2 h^2}(J)$$

$$eV = \frac{me^4}{8\varepsilon_0^2 h^2} \quad \Rightarrow \quad V = \frac{me^3}{8\varepsilon_0^2 h^2}$$

وبتعويض القيم المعروفة نحصل على: $V = 13.57 \ Volts.$

عيوب نظرية بور

لقد تمكنت نظرية بور أن تحسب ترددات خطوط طيف ذرة الهيدروجين لكن كانت هناك نواقص عندما جرت محاولة تطبيقها على الذرات الأكثر تعقيدا والتي تحتوي على أكثر من إلكترون في مداراتها ونلخص العيوب بالآتي:

1- إنها لا تستطيع أن تفسر وجود اختلاف في شدة الخطوط في الطيف أي أنها لا توضح لماذا تكون بعض الانتقالات أكثر احتمالا للحدوث من غيرها.

2- إنها لا تستطيع أن تفسر الملاحظة في أن كثيرا من خطوط الطيف تتكون من بضعة خطوط منفصلة أطوالها الموجية فيها اختلافات طفيفة ولذلك ظهرت الحاجة لوجود أعداد كمية إضافية.

نموذج سمرفيلد النسبي للذرة

هنالك نموذج آخر للذرة وهو نموذج سمر فيلد وديبرولي لتفسير الإشعاع من الذرات المعقدة.

لقد طور سمر فيلد النظرية عام 1916 باقتراح مدارات أهليجية للالكترونات وقد أوضح بان الجسم الذي يتحرك تحت تأثير قوى التناسب العكسي قد يولد بضعة مدارات أهليجية تحت ظروف معينة لها طاقة تختلف جزئيا عن بعضها لكل عدد كمي. وهذه المدارات التي تكون النواة في إحدى بؤرتيها تتفق مع المدارات الدائرية من الناحية الميكانيكية. وعندما يدور الجسم في مدار أهليجي فان سرعته تختلف باختلاف بعده عن النواة فتزداد وتقل بشكل متناوب مما يؤدي إلى تغير نسبي في كتلة الإلكترون المتحرك. وهذا أدى إلى اقتراح عدد كمي آخر.

النموذج الكمي المتجه للذرة

هناك بعض الأرقام الكمية التي تعطينا المعلومات الكاملة لكل إلكترون بالذرة وهي أرقام تستعمل لتعيين حالة الالكترونات حول النواة بدلالة مواقعها بالنسبة للنواة والطاقة المصاحبة لها. كل إلكترون يشخص بأربعة أرقام كمية تدعى:

أ- العدد الكمي الرئيسي أو الكلي.

ب- العدد الكمي الدائري أو السمتي.

ت- العدد الكمي المغناطيسي المداري.

ث- العدد الكمي المغزلي المغناطيسي (البرمي المغناطيسي).

أما معناها فإنها تحدد الحجم والشكل والاتجاه كالمدارات في الفضاء والبرم وغيرها حول النواة.

أ- **العدد الكمي الرئيسي أو الكلي(n):** وهو يعود للمستوى الرئيسي للطاقة أو طاقة المدار وهذه الطاقات لها قيم n=1,2,3,4,... عندما تنتقل من النواة إلى الخارج وأيضا تسمى بالمدارات K,L,M...

ب- **العدد الكمي المداري أو السمتي** (l) **:** والذي يأخذ القيم $l = 0,1,2,3,.....(n-1)$ وهو يقسم المدار الرئيسي إلى عدد (n) من المدارات الثانوية بسبب التغيير النسبي لكتلة الإلكترون وبذلك يصبح عدد المدارات الثانوية في المدار يعطى بعدده الكمي الرئيسي, فمثلا المدار K الذي عدده الكمي الرئيسي (n=1) له مدار ثانوي واحد يرمز له بالمدار الثانوي S وفي هذه الحالة تكون قيمة l صفرا أي أن الإلكترون ليس له زخم زاوي. أما المدار الرئيسي الثاني L فله مداران ثانويان فيهما $l = 0$ و $l = 1$ ويرمز لهما بالمدار الثانوي S والمدار الثانوي P. والمدار الرئيسي M له ثلاث مدارات ثانوية قيم l فيها هي صفر, 1, 2 ويرمز لها بالرموز S, P, d على الترتيب.

ت- **العدد الكمي المداري المغناطيسي** $M_l = 0,\pm1,\pm2,.....,\pm l$ **:**

يعين هذا الرقم موقع مستوى المدار الالكتروني في الفضاء ولكنه لا يؤثر في مستويات الطاقة عند غياب المجال الخارجي. وهناك $(2l+1)$ من القيم الممكنة لـ m_l.

أما قيم m_l فتتراوح كما يلي:

قيمة واحدة $l = 0 \ , \ m_l = 0$

ثلاث قيم $l = 1 \ , \ m_l = -1,0,+1$

خمس قيم $l = 2 \ , \ m_l = -2,-1,0,+1,+2$

ث-**العدد الكمي المغناطيسي البرمي (المغزلي)** $m_s = \pm\frac{1}{2}$ **.**

انه يحدد اتجاه محور برم الإلكترون. الزخم الزاوي هنا يمكن أن يحتل موقعين فقط بالنسبة للمجال المغناطيسي فأما أن يكون باتجاه عقرب الساعة أو ضدها.

هناك عدد كمي إضافي يرمز له بالرمز (j) وانه يمثل الزخم الزاوي الكلي للإلكترون الذي هو الزخم الزاوي المداري مضافا إليه الزخم الزاوي البرمي (المغزلي) أي أنه $j = l + s$ مع العلم بأن (j) موجب فقط. هنا الزخم الزاوي البرمي يكون $\left(\pm \frac{1}{2}\right)$.

القيم المختلفة الممكنة للأعداد j , l , n هي كما يأتي:

أ) $l = 0 \ , \ n = 1 \ \Rightarrow \ j = l + s = 0 + \frac{1}{2} = \frac{1}{2}$

لا يمكن أن نأخذ $j = 0 - \frac{1}{2} = -\frac{1}{2}$ لأن قيمة j لايمكن أن تكون سالبة. وفي هذه الحالة فأن هناك حالة واحدة لـ (j, l, n) ممكنة وهي $\left(\frac{1}{2}, 0, 1\right)$.

ب) $n = 2 \ , \ l = 0,1 \qquad j = 0 + \frac{1}{2} = \frac{1}{2}$

$$j = 1 + \frac{1}{2} = \frac{3}{2}$$

$$j = 1 - \frac{1}{2} = \frac{1}{2}$$

وهنا لدينا ثلاث مجموعات لـ (j, l, n) هي: $\left(\frac{3}{2}, 1, 2\right), \left(\frac{1}{2}, 1, 2\right), \left(\frac{1}{2}, 0, 2\right)$

ج) H.W. $n = 3 \ , \ l = 0,1,2$

ومن هنا فأن ميكانيك الكم هو أفضل من نموذج بور المبني على المفاهيم الفيزيائية للذرات ذات الالكترونات المتعددة. والمبدأ الأساسي الذي يحكم التوزيع الالكتروني في الذرات التي تحتوي على أكثر من إلكترون هو مبدأ الاستثناء الذي اكتشفه العلامه باولي عام 1925. وينص هذا المبدأ على انه (لا يمكن لإلكترونين في ذرة واحدة معزولة أن يمتلكا نفس الأعداد الكمية الأربعة).

Chapter Two

النظرية الذرية للكهربائية

علم قذائف الجسيمات المشحونة:

في دراستنا للذرات نحتاج حساب نسبة $\left(\frac{e}{m}\right)$ وقبل أن نبدأ في دراستها نراجع بعض المعلومات في مرور جسيم مشحون في مجال كهربائي أو مغناطيسي. إذا مر جسيم مشحون بشحنة موجبة q^+ في مجال كهربائي شدته $\vec{E}$ فانه يتأثر بقوة باتجاه المجال مقدار هذه القوة هي $\vec{F} = q\vec{E}$ فإذا كانت جميع القوى المؤثرة على الجسيم ضئيلة فتهمل مقارنة بهذه القوة وعليه حسب قانون نيوتن الثاني في الحركة $\vec{F} = ma$.

$$qE = ma$$

وعندما يتحرك جسم مشحون في مجال مغناطيسي منتظم $\vec{B}$ وسرعة الجسيم هي $\vec{v}$ فان القوة المؤثرة عليه ستكون عمودية على المستوى الذي يحوي شدة المجال المغناطيسي والسرعة v . أي أن: $F = q(\vec{V} \times \vec{B})$

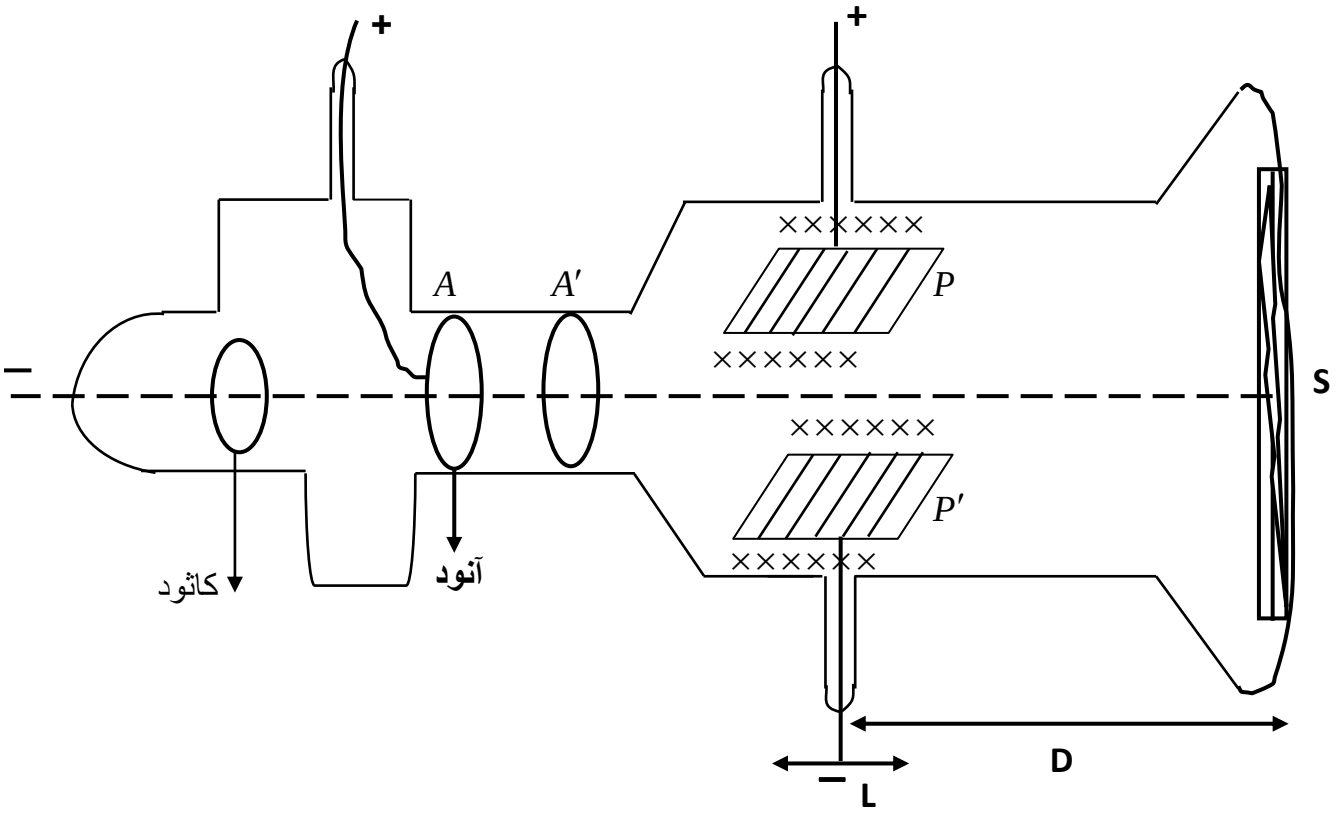
وبما أن الحركة لا تغير السرعة (السرعة المنتظمة) وتغير الاتجاه فقط إذا الحركة دائرية والتعجيل مركزي $a = \frac{v^2}{r}$

$$ma = F = qvB \;\Rightarrow\; m\frac{v^2}{r} = qvB \;\Rightarrow\; mv = qrB$$

أول من حاول أن يحسب $\frac{e}{m}$ هو العالم ثومس و سمى ثومس $\frac{e}{m}$ بالدقائق الكاثودية.

يتكون جهازه كما مبين في الشكل (1) من أنبوبة زجاجية مفرغة تفريغا عاليا وتحتوي على أقطاب معدنية متعددة. القطب C هو الكاثود الذي تنطلق منه الأشعة أما A فهو الانود الذي يبقى في جهد موجب عالي.

بحيث أن انطلاق أشعة الكاثود يتجه إليه وتصطدم معظم الأشعة به ولكنه يحتوي على ثقب صغير يعبر منه قسم من الأشعة وهذه الأشعة تحدد أكثر بآنود ثاني A' الذي يحتوي على ثقب أيضا وبذلك تتولد حزمة ضيقة من الأشعة وتمر بين الصفيحتين P', P وبعدها تتجه نحو نهاية الأنبوب المطلي بمادة متفلورة في المنطقة S والتي ستتوهج عند ارتطام الأشعة بها.



شكل (1)

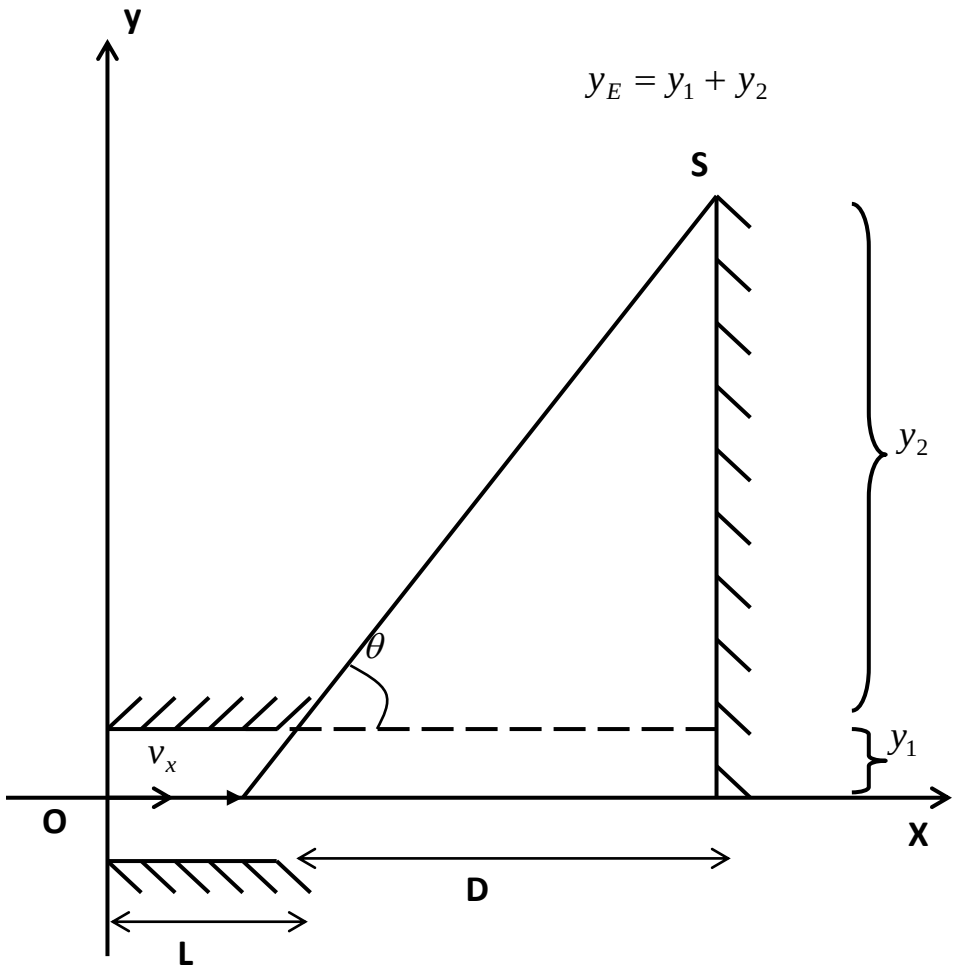
الصفيحتان الحارفتان متباعدتان بمقدار معلوم بحيث إذا كان فرق الجهد بينها معروفا أمكن حساب المجال الكهربائي بينهما E على أننا سنعتبر المجال الكهربائي بين الصفيحتين منتظم بالمسافة L وصفرا في الخارج. فعند شحن الصفيحة العليا P بشحنة موجبة تنحرف أشعة الكاثود السالبة نحو الأعلى وذلك لتأثير المجال الكهربائي.

شكل (2) يمثل الانحراف الكهروستاتيكي لأشعة الكاثود حيث افترضنا أن أشعة الكاثود تدخل المنطقتين في نقطة الأصل o بسرعة v_x ولعدم وجود مركبة القوة باتجاه x فان v_x تبقى ثابتة وعليه فان المعادلة العامة للإزاحة للحركة المعجلة المنتظمة لقانون نيوتن في الحركة:

$$S = S_0 + v_0 t + \frac{1}{2} a t^2$$

بالتطبيق على الاتجاه الأفقي

$$X = v_x t \ldots\ldots\ldots (1)$$



شكل (2)

وتعاني الأشعة بين الصفيحتين بتعجيل إلى الأعلى ومقداره يساوي الفرق في الجهد بين الصفيحتين الحارفتين على المسافة بينهما $E = V/d$ وعليه فان المعادلة العامة في الاتجاه الرأسي تصبح:

$$x = v_x t \Rightarrow t = \frac{x}{v_x} \quad , \quad y = \frac{1}{2}at^2 = \frac{qEt^2}{2m} \text{.....(2)}$$

$$y = \frac{qEx^2}{2mv_x^2} \text{.....(3)}$$

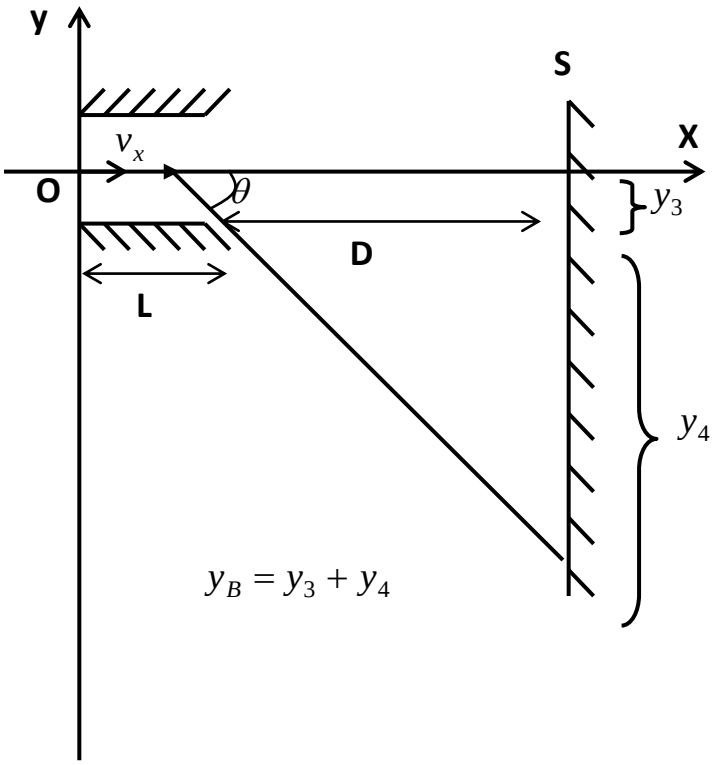
معادلة قطع مكافئ لمسار الشحنات

For $x = L \Rightarrow y = y_1$ $\therefore y_1 = \frac{qEL^2}{2mv_x^2}$ .....(4) , $y_2 = D\tan\theta$

$$\tan\theta = \left(\frac{dy}{dx}\right)^{L=x} \quad , \quad y_2 = \frac{DqEL}{mv_x^2} \text{.....(5)} \quad , \quad \tan\theta = \left(\frac{qEx}{mv_x^2}\right)^{x=L} = \frac{qEL}{mv_x^2}$$

$$y_E = y_1 + y_2 = \frac{qEL}{mv_x^2}\left(\frac{L}{2} + D\right) \text{.....(6)}$$

إذا سلط مجال مغناطيسي:



بنفس الطريقة السابقة

$$y_B = y_3 + y_4$$

$$y_B = -\frac{qBL}{mv_x}\left(\frac{L}{2} + D\right) \text{.....(7)}$$

في معادلة (6) يمكن أن نجد قيمة $\frac{e}{m}$ إذا كانت السرعة البدائية v_x للإلكترون معروفة أي توجد معادلة واحدة لمجهولين ولحل مثل هذه نحتاج معادلة أخرى

شكل (3)

وعليه فان ثومسن وجد معادلة مشابهه لهذا وذلك بتسليط مجال مغناطيسي عمودي على مسار الإلكترون والمجال الكهربائي, كما في الشكل (3).

المعادلة y_B مشابهة لحد كبير معادلة y_E حيث تحتوي كل منها على المتغيرات $\frac{q}{m}$ و v_x وهي كميات يمكن قياسها بحيث يمكن حذف v_x واستخراج $\frac{q}{m}$ ويكون من المفيد بعد ذلك تتبع طريقة ثومسن لتعيين v_x معتبرين التطبيق الآني للمجالين الكهربائي والمغناطيسي فإذا نظمت هذه بحيث لا يوجد أي انحراف على الشاشة فان القوة F_1 التي يؤثر بها المجال الكهربائي على الجسيم المشحون ستتعادل مع تلك التي يؤثر بها المجال المغناطيسي على الجسيم نفسه:

$$F_2 = qBv_x = qE = F_1 \quad \Rightarrow v_x = \frac{E}{B} \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (8)$$

ومن المعادلة (8) نستنتج بان الجسيم المشحون فانه يسير بخطوط مستقيمة خلال المجالين فالجسيم لا ينحرف أي أن y=0 آما القيمة المقبولة لـ $\frac{e}{m}$ فهي $1.76\times10^{11}\ C/Kg$ وبهذا منح الفضل الكبير لثومسن في اكتشاف أول جسيم في المادة وهو الإلكترون و كتلته الخفيفة.

س/ لماذا للإلكترون في تجربة ثومسن سرعة متساوية أو واحدة ؟

ج/ إن الالكترونات التي درسها تأتي من الكاثود وتكون معجلة نحو الانود وذلك بنفس فرق الجهد V وبما أن الطاقة اللازمة لخلع الإلكترون بين الانود والكاثود تكاد تكون قليلة يمكن إهمالها فان الشغل المنجز بواسطة المجال الكهربائي إلى الشحنات يتحول إلى طاقة حركية فان تغير الطاقة الحركية + الجهد الكهربائي للشحنة المنتقلة من نقطة (1) إلى نقطة (2) يجب أن يساوي صفر وعليه فان:

V_1^* V_2^*

$$\frac{1}{2}m\left(v_2^2 - v_1^2\right) + q(V_2 - V_1) = 0 \quad \because v_1^2 = 0$$

بما أن

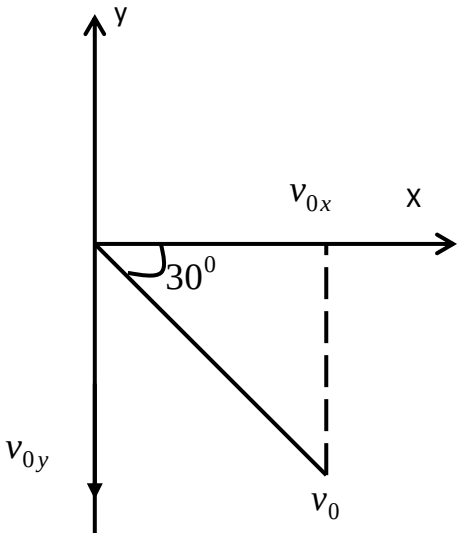
$$\Rightarrow \frac{q}{m}=\frac{v_x^2}{2V} \therefore \frac{1}{2}mv_2^2+q(V_2-V_1)=0 \quad , \quad \Rightarrow \therefore \frac{1}{2}mv^2=qV.....(9)$$

هذه معادلة أخرى لحساب $\frac{e}{m}$ و v_x ويمكن أن تستعمل مع y_E أو y_B لإيجاد $\frac{e}{m}$ هذا على شرط أن نعرف قيمة V المعجل للالكترونات والذي استطاع ثومسن حسابه.

مثال: أ) جد سرعة الإلكترون المكتسبة عند تعجيله من السكون خلال فرق جهد مقداره $565Volt$, ومجال كهربائي منتظم مقداره $35V/cm$؟

ب) جد إحداثيات الإلكترون بعد $(5\times10^{-8}\ \sec)$ من مروره بسلك بزاوية 30^0 تحت الأفق كما في الشكل أدناه؟

ج) اتجاه السرعة في هذا الوقت؟



الحل:

$$v_0=0\ ,\ v_x=?\ ,\ E=35\,V/cm\ \ ,\ \ V=565\,Volt$$

أ)

$$qV=\frac{1}{2}mv^2\ ,\ \Rightarrow v^2=\frac{2qV}{m}\ ,\ v=\sqrt{\frac{2qV}{m}},\quad \frac{q}{m}=1.76\times10^{11}\ C/kg$$

$$v=\sqrt{2\times1.76\times10^{11}\ C/kg\times565Volt}\ ,\ Volt=J/C\ ,\ J=N.m\Rightarrow N=kg.m/\sec^2$$

$$Volt=N.m/C=\frac{kg.m^2}{\sec^2.C}$$

$$v=\sqrt{1.99\times10^{14}\ C/kg\times kg.m^2/\sec^2.C}=1.41\times10^7\ m/\sec$$

ب)

$$v = \frac{x}{t},\ x = v_0 \cos\theta\, t = 1.41\times10^{7}\ m/\sec \times \cos 30 \times 5\times10^{-8}\ \sec = 0.61m$$

$$y = -v_0 \sin\theta\, t + \frac{1}{2}at^2$$

$$= -1.41\times10^{7}\ m/\sec \times \sin 30 \times 5\times10^{-8}\ \sec + \frac{1}{2}\times a \times (5\times10^{-8})^2\ \sec^2$$

$$F = ma \Rightarrow a = \frac{F}{m} = \frac{qE}{m_e} = 1.76\times10^{11}\ C/kg \times 35V/cm$$

$$a = 1.76\times10^{11}\times35\times10^{2}\ C/kg \times kg.m^2/\sec^2 .C.m = 6.16\times10^{14}\ m/\sec^2$$

$$y = -0.352m + 6.16\times10^{14}\ m/\sec^2 \times 12.5\times10^{-16}\ \sec^2 = 0.42m$$

ج)

$$\phi = ?\ \Rightarrow\ \tan\phi = \frac{v_x}{v_y} \quad ,\quad v_x = \frac{dx}{dt},\ v_y = \frac{dy}{dt}$$

$$v_x = v_0 \cos\theta = 1.41\times10^{7}\ m/\sec \times 0.866 = 1.22\times10^{7}\ m/\sec$$

$$v_y = -v_0 \sin\theta + at = -1.41\times10^{7}\ m/\sec \times 0.5 + 6.16\times10^{14}\ m/\sec^2 \times 5\times10^{-8}\ \sec$$

$$v_y = 2.37\times10^{7}\ m/\sec$$

$$\tan\phi = \frac{v_y}{v_x} = \frac{2.37\times10^{7}\ m/\sec}{1.22\times10^{7}\ m/\sec} = \frac{2.37}{1.22} = 1.942$$

$$\phi = \tan^{-1}(1.942) = 62.25^{0}$$

النظائر Isotopes

إن أروع ما أظهرته تجربة ثومسن للقطوع المكافئة هو أن لبعض الغازات أكثر من $\frac{q}{m}$ وأوضح الحالات كانت لعنصر النيون.

أستون Aston: قام استون بتجربة لإثبات بأنه هناك نوعين من الكتلة لنفس الغاز وبتجربته استخدم النيون وقد ظهر بعد ذلك أن الكثير من العناصر الأخرى موجودة بأشكال متماثلة كيميائيا ولكنها مختلفة في خصائصها الفيزيائية ومثل هذه الأشكال المختلفة للعنصر الواحد تدعى النظائر.

النظائر: هي ذرات مختلفة لعنصر ما يتساوى فيها العدد الذري وتختلف عن بعضها البعض بالعدد الكتلي (عدد النيوترونات). مثل $^{15}_{8}O_7, ^{16}_{8}O_8, ^{17}_{8}O_9, ^{18}_{8}O_{10}$

العدد الذري Z: هو الذي يمثل عدد البروتونات داخل النواة والذي يساوي الالكترونات خارجها أما العدد الكتلي A فيساوي مجموع العدد الذري والعدد النيوتروني N. $A = Z + N$

ويمكن تمثيل العنصر بالشكل: $^{A}_{Z}(X)_N \; or \; {}_{Z}(X)^{A}_{N}$

فمثلا لذرة الهيدروجين:

1) $^{1}_{1}H_0$ (هيدروجين خفيف) , 2) $^{2}_{1}H_1$ (الديتريوم), 3) $^{3}_{1}H_2$ (التريتيوم)

أسئلة محلولة

س1: ما هي النسبة بين القوة الكهربائية المؤثرة على جسيم مشحون موضوع في مجال كهربائي شدته 20 فولت لكل سم, والقوة الجاذبية على الجسيم إذا كان هذا الجسيم أ) إلكترونا. ب) بروتونا. ج) هل يمكن إهمال الوزن مقارنة بالقوة الكهربائية؟

الحل: أ)

$$E = 20\frac{V}{cm} = 20\frac{V}{10^{-2}\,m} = 2\times10^{3}\,V/m$$

$$\left(\frac{F_E}{F_g}\right)_e = \frac{qE}{mg} = \frac{1.76\times10^{11}\,C/kg \times 2\times10^{3}\,V/m}{9.8\,m/\sec^2} = 3.58\times10^{13}$$

ب)

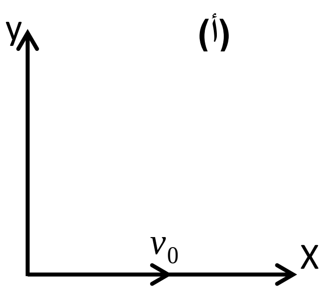
$$\left(\frac{F_E}{F_g}\right)_p = \left(\frac{qE}{mg}\right)_p = \frac{1.6\times10^{-19}\,C\times2\times10^{3}\,V/m}{1.67\times10^{-27}\,kg\times9.8\,m/\sec^2} = 1.95\times10^{10}$$

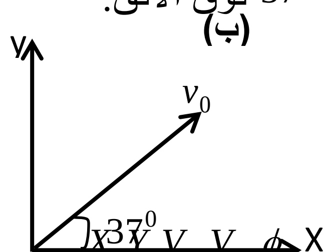
ج) نعم يمكن إهمال الوزن (mg) بالنسبة للقوة الكهربائية لأن ناتج قسمة البسط على المقام كان كبيرا وذلك أن البسط اكبر من المقام وبذلك يمكن أن نهمل المقام.

؟؟

س2: يتحرك إلكترون في مستوى شاقولي بانطلاق 5.0×10^{7} متر/ الثانية، دخل منطقة مجال كهربائي منتظم شدته 20 فولت لكل سم متجها نحو الأعلى. اوجد إحداثيات الإلكترون بالنسبة إلى نقطة دخوله، واتجاه حركته بعد مرور 4×10^{-8} ثانية من دخوله المجال إذا كان دخوله:

أ) أفقيا. ب) بزاوية 37° فوق الأفق.





الحل: المطلوب حساب X, Y, V_x, V_y, ϕ

أ)

$$v_{0x} = v_0 \cos\theta = v_0 = 5\times10^7 ml\sec \quad , \quad \theta = 0$$

$$v_{0y} = v_0 \sin\theta = 0$$

$$y = v_{0y} + 1/2 a_y t^2 \quad , \quad a_y = ? \; x = v_{0x} t + 1/2 a_x t^2 \quad , \quad a_x = 0 \quad ,$$

$$F = ma \Rightarrow a_y = F/m = \frac{qE}{m}, \quad E = 20V/cm = 2\times10^3 V/m$$

$$a_y = -(1.76\times10^{11} C/kg \times 2\times10^3 V/m = -3.5\times10^{14} m/\sec^2$$

$$\therefore x = 5\times10^7 \; m/\sec \times 4\times10^{-8}\sec \Rightarrow x = 2m$$

$$y = 0 + 1/2(-3.5\times10^{14} m/\sec^2)\times(4\times10^{-8}\sec)^2 = 0.28m$$

$$\tan\phi = \frac{v_y}{v_x} \Rightarrow v_y = v_{0y} + a_y t, v_x = v_{0x} + a_x t$$

$$-1.4\times10^7 m/\sec \; v_x = 5\times10^7 m/\sec, v_y = 0 + (-3.5\times10^{14} m/\sec^2)\times4\times10^{-8} =$$

$$\tan\phi = \frac{v_y}{v_x} = -\frac{1.4\times10^7 m/\sec}{5\times10^7 m/\sec} = 0.28 \Rightarrow \phi = \tan^{-1}(-0.82) = -15.64^0$$

ب)

$$\theta = 37, \cos 37 = 0.79, \sin 37 = 0.6$$

$$v_{0x} = v_0 \cos\theta = 5\times10^7 m/\sec\times 0.79 = 3.95\times10^7 m/\sec$$

$$v_{0y} = v_0 \sin\theta = 5\times10^7 m/\sec\times 0.6 = 3\times10^7 m/\sec$$

$$x = 3.9\times10^7 m/\sec\times 4\times10^{-8}\sec + 1/2\times0 = 1.56m$$

$$y = 3\times10^7 m/\sec\times 4\times10^{-8}\sec + 1/2(-3.5\times10^{14} m/\sec^2)(4\times10^{-8})^2 \sec^2$$

$y = 0.92m$

$$v_x = 3.9\times10^7 m/\sec + 0 = 3.9\times10^7 m/\sec$$

$$v_y = 3\times10^7 m/\sec + (-3.5\times10^{14} m/\sec^2 \times 4\times10^{-8}\sec) = 1.6\times10^7 m/\sec$$

$$\tan\phi = \left(\frac{v_y}{v_x}\right)_{\theta=37} = \frac{1.6\times10^7 m/\sec}{3.9\times10^7 m/\sec} = 0.41 \Rightarrow \therefore \phi = 22.29^0$$

؟؟

س3: إذا ابتدأت الالكترونات في أنبوبة أشعة الكاثود النموذجية بحركتها من السكون عند الكاثود، فماذا تكون سرعتها v_x في نقطة الأصل (O) لفولتية معجلة مقدارها 1136فولت بين الكاثود الانود؟

الحل: بما أن حركة الالكترونات من السكون فهذا يعني أن $v_0 = zero$

من قانون حفظ الطاقة

$$\frac{1}{2}m(v_x^2 - v_0^2) = q(v_2 - v_1)$$

$$v_x^2 = \frac{2q}{m}(V_2 - V_1)$$

$$v_x = \sqrt{2q/m(V_2 - V_1)} = \sqrt{2\times1.76\times10^{11} c/kg \times 1136\ V} = 1.99\times10^7 m/\sec$$

؟؟

س4: إذا كانت أبعاد بعض أجزاء أنبوبة أشعة الكاثود النموذجية في السؤال السابق هي (طول الصفيحتين الحارفتين P و P' : L=1.6cm , والبعد بينهما هو d=0.5cm ، وفرق الجهد بينهما هو V=50 Volt، والبعد بين الصفيحتين والشاشة هو D=15cm). أ) اوجد الاحداثي الصادي واتجاه حركة الالكترونات عندما تكون X=L.

ب) ما مقدار الانحراف الكلي على الشاشة S .ج) لو سلطنا مجال مغناطيسي بحيث يكون الانحراف الكلي صفر ما قيمة هذا المجال؟

الحل: أ)

$$y_1 = \frac{qEL^2}{2m_e v_x^2} \ , \ v_x = 2\times10^7 \, m/\sec \qquad , \qquad E = \frac{V}{d} = \frac{50\,Volt}{0.5\times10^{-2}\,m} = 10^4 \, V/m$$

$$y_1 = \frac{1.76\times10^{11}\, C/kg \times 10^4 \, V/m \times \left(1.6\times10^{-2}\right)^2}{2\times\left(2\times10^7 \, m/\sec\right)^2} = 0.56\times10^{-3} m$$

$$\tan\theta = \frac{v_y}{v_x} = \left(\frac{dy}{dx}\right) = \frac{qEL}{mv_x^2} = \frac{1.76\times10^{11}\, C/kg \times 10^4 \, V/m \times 1.6\times10^{-2} m}{\left(2\times10^7 \, m/\sec\right)^2} = 0.07$$

$$\theta = \tan^{-1}(0.07) = 4^0$$

ب)

$$y_E = y_1 + y_2 = \frac{qEL}{mv_x^2}\left(L/2 + D\right)$$

$$y_E = \frac{1.76\times10^{11}\times10^4\times1.6\times10^{-2}}{\left(2\times10^7\right)^2}\left(\frac{1.6\times10^{-2}}{2} + 0.15\right) = 1.1\times10^{-2} m$$

ج)

$$\left(y_1 = y_3\right)_{X=L} \Rightarrow \frac{qEX^2}{2mv_x^2} = -\frac{qBX^2}{2mv_x} \quad , \quad v_x = \frac{E}{B} \Rightarrow B = \frac{E}{v_x} = \frac{10^4 V}{2\times10^7 \, m/sev} = 5\times10^{-4} Tesla$$

الفصل الثالث

النظرة الذرية للإشعاع

1) **العالم نيوتن:** فرض بان الضوء عبارة عن سيل من الجسيمات المرنة وسريعة الحركة ذات كتلة صغيرة جدا. وقد فسر هذه النظرية بان زاوية السقوط تساوي زاوية الانعكاس.

2) **العالم هايكنز:** فرض بان الضوء يتكون من موجات وأقوى دليل على ذلك هو من الممكن أن تتلاقى حزمتين من الضوء وتتجاوز كل منهما الأخرى من دون تصادم. وفسر الانعكاس والانكسار وتفسيره للانكسار هو عندما تخترق الموجة بزاوية ما في وسط كثيف فان الموجة تتحرك ببطء وبتباطؤ الموجة يجعل اتجاه تقدم الموجة يتغير نحو العمود.

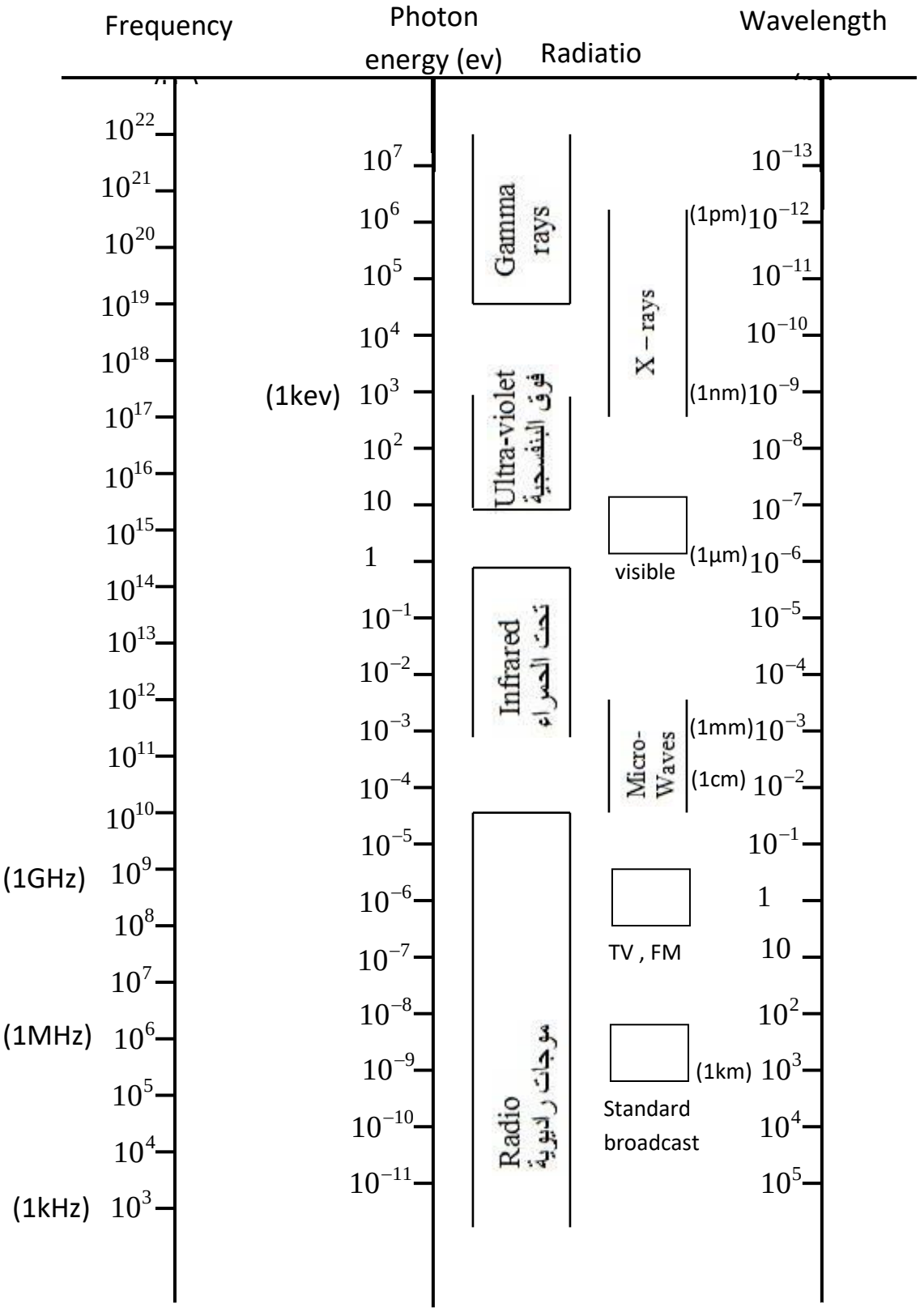
3) **العالم يونك:** الضوء يتكون من موجات.

4) **العالم ماكسويل:** السماحية الكهربائية $\varepsilon_0 = 8.8 \times 10^{-12}$ النفوذية المغناطيسية $\mu_0 = 12.5 \times 10^{-7}$

$$C = \frac{1}{\sqrt{\mu_0 \varepsilon_0}} = 3 \times 10^8 \, m/\sec$$

5) **العالم هيرتز 1887:** استطاع إحداث أمواج كهرومغناطيسية بواسطة تيار متذبذب واثبت صحة نظرية ماكسويل وان التلكس والرادار جميعها نتائج عملية هيرتز وماكسويل.

6) **العالم اينشتاين 1905:** اثبت أن الأمواج الضوئية هي عبارة عن ذبذبات كهرومغناطيسية تتألف من تغيرات تحصل في شدتي المجالين الكهربائي والمغناطيسي.



The spectrum of electromagnetic radiation

الإشعاع الحراري Thermal Radiation :

إذا كان الجسم ساخن إلى درجة البياض وجسم ساخن آخر إلى درجة الاحمرار فأي منهم يكون أعلى؟ إن الجسم الأبيض يكون أكثر تسخين لأنه هناك علاقة وطيدة بين الإشعاع ودرجة الحرارة.

الانبعاثية W_λ**:** هي كمية الطاقة المنبعثة خلال وحدة الزمن من كل وحدة مساحة من الجسم الباعث في مدل الطول الموجي d_λ.

الامتصاصية (a): النسبة بين كمية الضوء الممتص إلى كمية الضوء الساقط.

الانعكاسية (r): عند سقوط الإشعاع فانه ينقسم إلى قسمين جزء يمتص وجزء ينعكس وعند جمعهما يجب أن يساوي واحد.

$$a_1 + r_1 = 1 \quad , \quad a_2 + r_2 = 1 \quad \Rightarrow \quad a_1 + r_1 = a_2 + r_2 = a_3 + r_3 \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots(1)$$

المساحة = A ، الانبعاثية = W ، شدة الشعاع الساقط = I ، الامتصاصية = a ، الزمن = t

$$W_1 \Delta A_1 \Delta t = a_1 I \Delta A_1 \Delta t \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots(2)$$
$$W_2 \Delta A_2 \Delta t = a_2 I \Delta A_2 \Delta t \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots(3)$$

بقسمة معادلة (2) على(3) ينتج:

$$\left(\frac{W_1}{a_1}\right) = \left(\frac{W_2}{a_2}\right) = cons\tan t \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots(4)$$

a=1 for black body

نستنتج من معادلة (4) بان الجسم الباعث الجيد للحرارة يجب أن يكون ماص جيد للحرارة والعكس هو الصحيح.

$$\frac{W_1}{a_1} = \frac{W_2}{a_2} = \frac{W_b}{1} \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots(5) \qquad for\ black\ body$$

$$\left(\frac{W}{a}\right)_T = (W_b)_T$$

يطلق على هذه المعادلة بقانون كيرشوف للإشعاع أي عندما يكونان بنفس درجة الحرارة.

قانون كيرشوف: ينص على أن النسبة بين انبعاثية السطح وبين امتصاصيته هي نفسها لجميع السطوح في درجة حرارة معينة وتساوي انبعاثية الجسم الأسود في نفس الدرجة.

- ولاحظوا رياضيا بان الطاقة المشعة في وحدة الزمن لوحدة المساحة من الجسم المشع تتناسب مع المساحة تحت المنحني واستطاع العالم ستيفان أن يحسب هذه المساحة تحت المنحني تجريبيا وشاهدها بأنها تتناسب طرديا مع القوة الرابعة لدرجة الحرارة.

$$\left[W_\lambda \propto T^4\right]_{black\ body} \Rightarrow W_b = \sigma T^4 \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots(6)$$ حالة خاصة للجسم الأسود

$$\sigma = 5.67 \times 10^{-8}\ {}^{w}\!/_{m^2 k^4}$$

$$\frac{W_1}{a_1} = W_b \Rightarrow \frac{W_1}{a_1} = \sigma T^4$$

$$\therefore W_1 = a_1 \sigma T^4 \ldots\ldots\ldots\ldots(7)$$ بثبوت درجة الحرارة

ويطلق على قانون ستيفان قانون القوة الرابعة.

العالم فين:

وجد عند تغير درجة الحرارة لأي جسم اسود فان المنحني يحتفظ بشكله العام ولكن نهايته العظمى تزاح مع ازدياد درجة الحرارة بحيث تتناسب طول موجة الإشعاع ذو الشدة العظمى عكسيا مع درجة الحرارة المطلقة.

$$\lambda_{\max} \propto \frac{1}{T} \Rightarrow \lambda_{\max} = \frac{b}{T} \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots(8)$$

$\lambda_{\max}$ حالة خاصة عند

$$b = 2.9 \times 10^{-3}\ m.k$$

وحصل على معادلة أخرى تربط الطول الموجي ودرجة الحرارة لدرجات حرارة مختلفة:

$$\lambda_1 T_1 = \lambda_2 T_2 \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots(9)$$

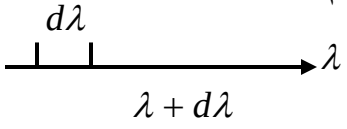
مثال: ما هو أعظم طول موجي لمنحني إشعاع الجسم الأسود عند درجة الحرارة تساوي $27C^{\circ}$

الحل:

$$\lambda_{\max} = \frac{b}{T} = \frac{2.9\times10^{-3} k.m}{(27+273)k} = 9660 \ \ nm$$

المعادلة (8) هي حالة خاصة من قانون فين للإزاحة ونص القانون هو (عند الأطوال الموجية المقابلة لدرجات الحرارة تكون كثافة طاقة الإشعاع (ψ_λ) الأحادية اللون لـ λ معينة في تجويف الجسم الأسود متناسبة طرديا مع القوة الخامسة لدرجة الحرارة $(\Psi_\lambda \propto T^5)$.

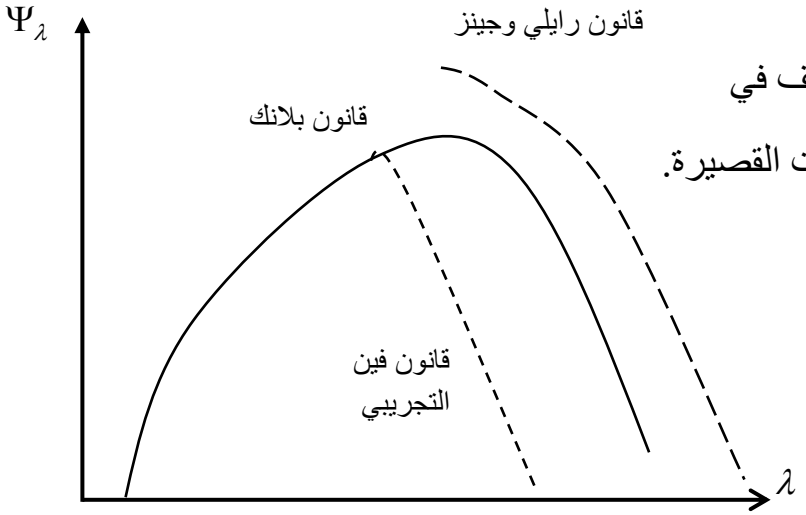
لقد تمكن العالم فين من الحصول على علاقة تجريبية لقانون الإشعاع لأي جسم وهذه العلاقة تربط كثافة الطاقة أحادية الموجة Ψ_λ والصادرة من فجوة جسم اسود محفوظ بدرجة حرارة T وهذه الدرجة ثابتة وبعدد طول موجي λ و $\lambda + d\lambda$.



$$\Psi_\lambda d\lambda = \frac{C_1\lambda^{-5}}{e^{C_2/\lambda T}} d\lambda \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots(10)$$

حيث أن C_2 و C_1 ثوابت.

الشكل أدناه يمثل منحنيات قوانين الإشعاع حيث نلاحظ من الشكل بان قانون فين أعطى تفسير جيد في الأطوال الموجية القصيرة أي في



الترددات العالية $\lambda = \frac{c}{f}$ ولكنه مخالف في الأطوال الموجية الطويلة أي الترددات القصيرة.

العالم رايلي:

استطاع أن يشتق معادلات الإشعاع على أسس الميكانيك الإحصائي التقليدي وحصل على نتائج جيدة في الأطوال الموجية الطويلة كما في الشكل أعلاه لكن عند الموجات القصيرة لم يعطي نتائج جيدة.

$$dn_\lambda = \frac{8\pi}{\lambda^4} d\lambda \quad \text{.....(11)}$$

معادلة رايلي لنمط واحد

dn_λ عدد أنماط التذبذب, n نمط التذبذب.

$$\Psi_\lambda d_\lambda = \frac{8\pi kT}{\lambda^4} d\lambda \quad \text{.....(12)}$$

معادلة رايلي وجينز

معادلة (12) تنتج من حاصل ضرب طاقة كل نمط تذبذب وهي KT في عدد الأنماط لوحدة الحجم ضمن مدى طول موجي d_λ نحصل على معادلة رايلي جينز.

تعتبر أفضل من معادلة فين وذلك لأنها لا تحتوي على ثوابت صعب إيجادها والسبب الثاني هو أن العالمين أثبتوا أن الخطأ في النظرية الكلاسيكية وليس بالقانون ومما حدى بالعالم بلانك أن يضع نظريته للإشعاع.

فرضية ماكس بلانك 1900:

استطاع العالم بلانك اشتقاق قانون الإشعاع بحيث قام بخطوة تجريبية من انه لو وضع (-1) إلى مقام المعادلة (10) (معادلة فين للإزاحة) وتم تضبيط الثوابت C_1 و C_2 لحصل على منحني مطابق لمنحني الإشعاع التجريبي في كل مناطقه وهذا ما نلاحظه في الشكل السابق. وضع العالم بلانك فرضيته بأنه (أي مهتز بتردد طبيعي f لايستطيع أن يبعث أو يمتص طاقة إلا إذا كانت هذه الطاقة مركزه بشكل دفعات مقدار كل منها يساوي: $E = hf$ .....(13)

بعدها استطاع أن يضع قانون بلانك لإشعاع الجسم الأسود حيث أخذ مجموع حاصل ضرب عدد المتذبذبات في كل حالة طاقة ضربها في طاقة تلك الحالة وقسم المجموع على العدد الكلي للمتذبذبات في جميع الحالات ومنها حصل على المعادلة النهائية للجسم الأسود.

$$\Psi_\lambda d\lambda = \frac{8\pi hc\lambda^{-5}}{e^{hc/\lambda kT} - 1} d\lambda \quad \text{.....(14)}$$

إن هذه المعادلة تتفق مع النتائج التجريبية والثابت h هو ثابت بلانك $h = 6.62 \times 10^{-34} J.\sec$ ووحداته وحدات الزخم الزاوي.

- لقد ادخل بلانك مبدأ الكم وهذه النتيجة تقود إلى الاستنتاج القائل بأن الإشعاع لا ينبعث على شكل كميات مستمرة من الطاقة وإنما على شكل كمات أو حزم محددة من الطاقة كل واحد منها يساوي $E = hf$ وان هذه الحزم من الطاقة نطلق عليها الفوتونات وكانت بداية للنظرية الذرية للإشعاع والتي تطورت وأصبحت النظرية الكمية.
- صيغة بلانك يمكن أن نوجدها بدلالة التردد:

$$\Psi_f df = \frac{8\pi hf^3}{c^3} \frac{1}{e^{hf/kT} - 1} df \quad \text{.....(15)} \qquad \textit{prove}$$

مثال: إذا كان الطول الموجي لكمية من الإشعاع هو $5000A^0$ فما هي طاقة هذا الإشعاع؟

الحل:

$$E = hf = h\frac{c}{\lambda} = 6.63 \times 10^{-34} J.\sec \times \frac{3 \times 10^8 m/\sec}{5000 \times 10^{-10} m} = 3.98 \times 10^{-19} J$$

$$= \frac{3.98 \times 10^{-19} J}{1.6 \times 10^{-19}} = 2.487 e.V$$

تفاعل الإشعاع مع المادة

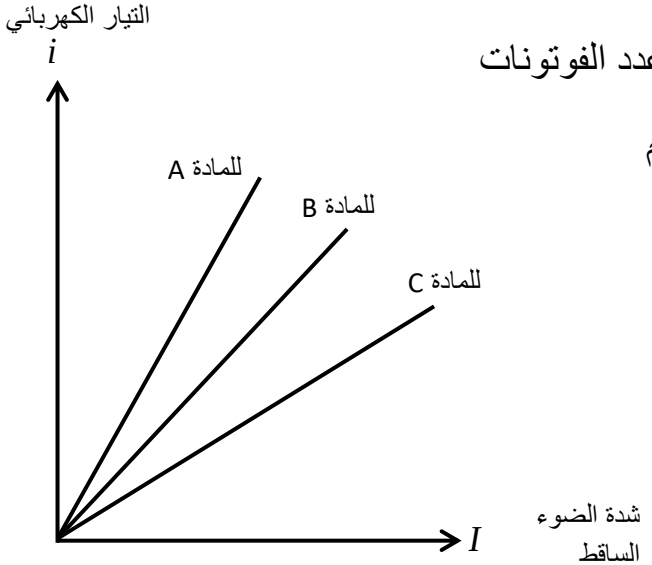
التأثير الكهروضوئي Photoelectric effect: أول عالم لاحظ ظاهرة التأثير الكهروضوئي هو العالم هيرتز عام 1887 حيث اكتشف بالتجربة إن الشحنات السالبة (الالكترونات) تنبعث من سطوح بعض الفلزات عند سقوط الضوء عليها, أطلق على هذه الالكترونات اسم

الالكترونات الضوئية, بعده جاء العالم لينارد عام 1899 وبرهن أن هذه الالكترونات تنطلق من المعادن وتسمى هذه الظاهرة بالظاهرة الكهروضوئية.

تجربة رقم (1):

1) لتردد وفرق جهد ثابتين (f,V) constant يكون معدل الانبعاث الالكتروني (التيار) متناسب مع شدة الضوء الساقط والعلاقة خطية.

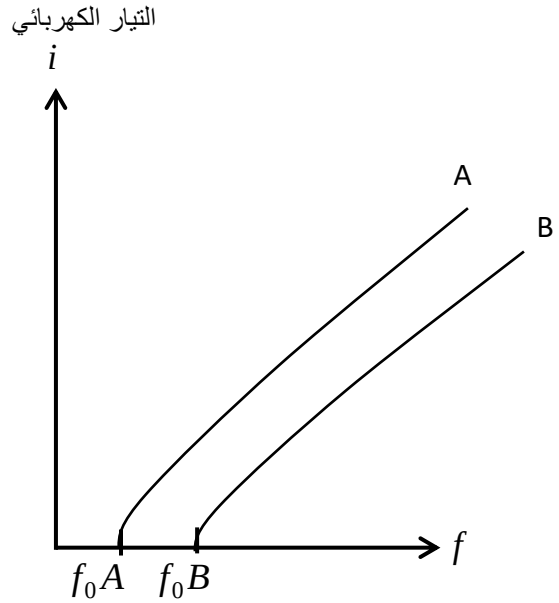
ملاحظة: (زيادة شدة الضوء الساقط تعني زيادة عدد الفوتونات على القطب الباعث مما يزيد من احتمالية التصادم مع الكترونات المادة وتؤدي الى زيادة التيار), (ومما يؤثر على طاقة الالكترون هو التردد أي أن الشدة ليس لها علاقة بالطاقة).



شكل يمثل التيار الكهربائي كدالة لشدة الضوء الساقط مع ثبوت V,f

تجربة رقم (2):

2) بثبات شدة الضوء الساقط وتغيير التردد نلاحظ أن الالكترونات الضوئية التي تنطلق من E لا تنبعث من سطح الكاثود وعند تشعيعه بضوء تردده أقل من حد معين (f_0 تردد العتبة



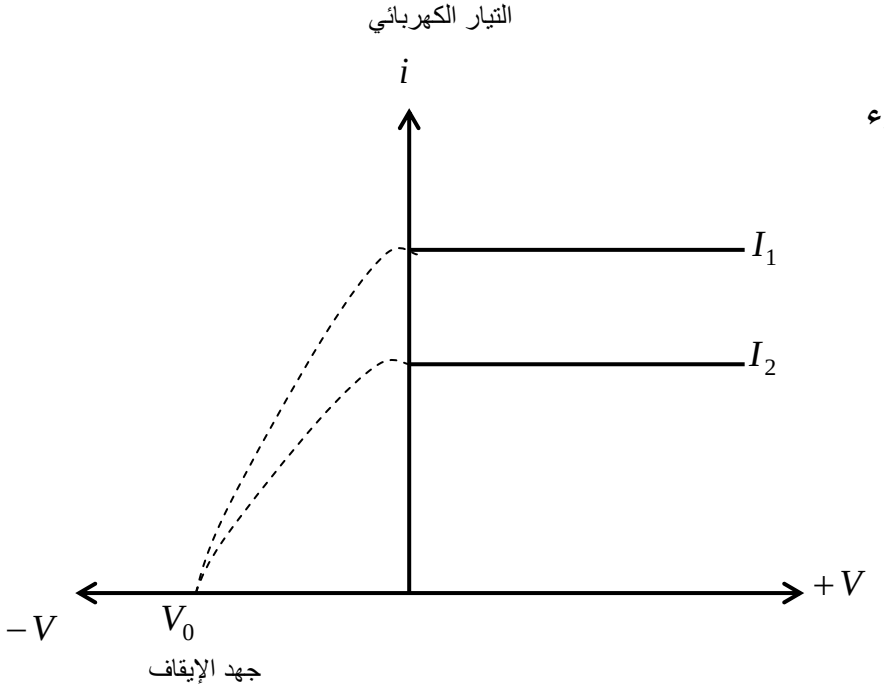
شكل يمثل التيار الكهربائي كدالة لتردد الضوء الساقط بثبوت الشدة والفولتية

.(Threshold frequency

ملاحظة: يزداد التيار الكهروضوئي بزيادة تردد الضوء

الساقط وذلك لأن زيادة التردد f تعني زيادة تردد الفوتون

الساقط (E=hf) وهذا يعني زيادة الطاقة التي يمتلكها الالكترون الذي ينطلق من الكاثود وبزيادة الطاقة تؤدي الى زيادة عدد الالكترونات المنبعثة التي تصل الى الانود.

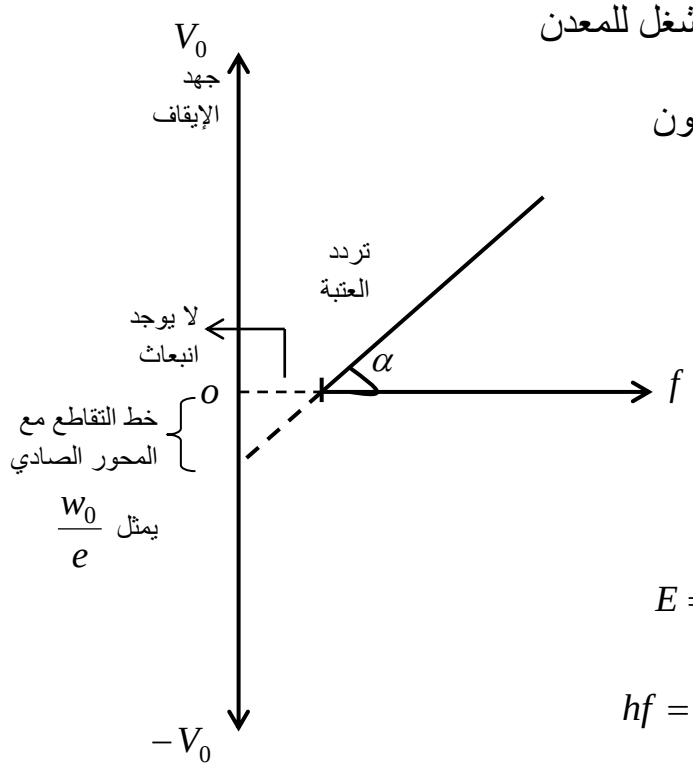


تجربة رقم (3): اذا ثبتنا شدة الضوء والتردد وغيرنا فرق الجهد حسب الشكل المجاور لشدتين مختلفتين على فرض أن $I_1 \rangle I_2$ نلاحظ التيار يزداد بازدياد الشدة, ورسمنا التيار الكهروضوئي كدالة لفرق الجهد المعجل, عند تغير فرق الجهد (أي بين الآنود والكاثود) بين قطبي الخلية مبتدئين بـ 10 فولت إلى أن نصل إلى الصفر نلاحظ بأن التيار يكون تقريبا خط مستقيم ويسمى بتيار الإشباع saturation current أي أن جميع الالكترونات المنبعثة تسير خلال الخلية الكهروضوئية (أي إلى الآنود).

نلاحظ أن جهد الإيقاف لا يتأثر بالشدة مما يدل على أن الالكترونات المحررة فقط هي التي تتأثر بالشدة أما سرع هذه الالكترونات فليس لها علاقة بالشدة وإنما لها علاقة بطاقة الفوتون الساقط فأعظم طاقة حركية يمكن أن يمتلكها الإلكترون عندما يكون جهد الإيقاف $V_0 =$, $v = v_{\max}$.

$$at\ V = V_0 \ \Rightarrow\ v = v_{\max} \quad , \quad qV_0 = \frac{1}{2} m v_{\max}^2$$

تجربة رقم (4): نلاحظ بأن العلاقة بين تردد الضوء الساقط وجهد الإيقاف علاقة خطية. من الشكل نلاحظ بأن الضوء ذي تردد ما بين الصفر وتردد العتبة لا تنبعث الكترونات ضوئية ما دامت f_0 طاقة الفوتون الساقط اقل من دالة الشغل للمعدن



$w_0 = hf_0$ وهي أقل طاقة لازمة لتحرر إلكترون ضوئي من ذلك المعدن.

$$w = eV \Rightarrow w_0 = eV_0 \Rightarrow V_0 = \frac{w_0}{e}$$

ولضوء ذو تردد أعلى من f_0 ستنبعث الكترونات ضوئية وحسب فرضية بلانك

$$E = hf$$

$$hf = w + \frac{1}{2}mv^2 \Rightarrow hf - w = \frac{1}{2}mv^2$$

عندما تكون أعظم طاقة حركية فأن w صغيرة جدا.

عندما w_0 يجب $v_{\max}$

$$hf = w_0 + \frac{1}{2}mv_{\max}^2$$

$$E(eV) = \frac{1.24\times10^4 (eV.A^0)}{\lambda(A^0)}$$

س: أثبت أن لثابت بلانك نفس وحدات الزخم الزاوي؟

الحل:

$$h = J.s = N.m.\sec = \frac{kg.m}{s^2}.m.s = \frac{kg.m^2}{s}$$

$$p = mv = mrw\ ,\ \ l = pr = mr^2 w = mr^2 2\pi f = \frac{kg.m^2}{s}$$

س: برهن أن كثافة الطاقة الإشعاع الجسم الأسود بدلالة التردد هو

$$\Psi_f = \frac{8\pi h f^3}{c^3(e^{hf/kT}-1)}df$$

الحل:

$$\Psi_\lambda d\lambda = \frac{8\pi hc}{\lambda^5 e^{hc/\lambda kT}-1}d\lambda \text{.....(1)}$$

$$f = \frac{c}{\lambda} \Rightarrow \lambda = \frac{c}{f} \text{.....(2)} \ , \quad d\lambda = -cf^{-2}df = -\frac{c}{f^2}df \text{.....(3)}$$

نعوض (3) و (2) في (1) نحصل

$$-\Psi_f = -\frac{8\pi hc^2 f^5 df}{f^2 c^5(e^{hf/kT}-1)} \ , \quad \therefore \Psi_f = \frac{8\pi h f^3}{c^3(e^{hf/kT}-1)}df$$

أسئلة محلولة

س1: الإزاحة X في زمن t لكتلة m تتحرك بحركة توافقية بسيطة بسعة مقدارها A وتردد f تعطى بالمعادلة $X = A\cos 2\pi ft$. برهن على أن الطاقة الحركية T هي $2\pi^2 f^2 A^2 m\sin^2 2\pi ft$.

الحل:

$$X = A\cos 2\pi ft \quad , \quad v = \frac{dx}{dt} = A2\pi f \ \sin 2\pi ft$$

$$T = \frac{1}{2}mv^2 = \frac{1}{2}mA^2 4\pi^2 f^2 \sin^2 2\pi ft \quad \Rightarrow \quad T = 2\pi^2 mA^2 f^2 \ \sin^2 2\pi ft$$

س2: برهن على أن كثافة الطاقة الكلية في أشعاع الجسم الأسود لكل الترددات من صفر إلى ما لانهاية يكون مشابها في الشكل لقانون ستيفان – بولتزمان للإشعاع الكلي. يمكن استخدام $\int_0^\infty \frac{x^3 dx}{e^x - 1} = \frac{\pi^4}{15}$.

الحل:

$$A = \int_0^\infty \psi_\lambda d\lambda = \int_0^\infty \frac{8\pi hcd\lambda}{\lambda^5 e^{hc/\lambda kT} - 1} \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (1)$$

$$Let \quad x = \frac{hc}{\lambda kT} \quad \Rightarrow \quad \lambda = \frac{hc}{xkT} \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (2)$$

$$d\lambda = -\frac{hc}{x^2 kT} dx \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (3)$$

نعوض (2) و (3) في (1) نحصل:

$$A = \int_0^\infty \psi_\lambda d\lambda = \int_0^\infty \frac{-8\pi h^2 c^2 x^5 k^5 T^5}{x^2 kTh^5 c^5 \left[e^x - 1\right]} dx \ = \ \frac{8\pi k^4 T^4}{c^3 h^3} \int_0^\infty \frac{x^3}{e^x - 1} dx$$

$$A = \frac{8\pi^5 k^4}{15c^3h^3}T^4 \qquad , \qquad A \propto T^4$$

.

س3: بأي طول موجي تحدث الشدة العظمى للإشعاع من الجسم الأسود في درجة حرارة 300 درجة مطلقة , 1000 درجة مطلقة , 6000 درجة مطلقة؟

الحل:

$$T = 300\ k \quad \Rightarrow \quad \lambda_{\max} = ? \quad , \quad \lambda_{\max} = \frac{b}{T} = \frac{2.9\times10^{-3}\ m.k \times 10^{10}\ A^0}{300\ \ k} = 9.6\times10^4\ A^0$$

س4: عرض سطح لضوء أحادي الموجة ذو طول موجي متغير فعند استخدام طول موجي اكبر من 5000 أنكستروم لا تنبعث الكترونات ضوئية من السطح وعند استخدام طول موجي غير معلوم يكون مقدار جهد الإيقاف 3 فولت ضروريا لإزالة التيار الكهروضوئي, فما الطول الموجي المجهول؟

الحل:

$$hf = eV_0 + w_0$$

$$W_0 = \frac{1.24\times10^4\ e.V.A^0}{5\times10^3\ A^0} = 2.5\ e.V \ , \ \lambda_x = ? \ , \ 3V = eV_0 = 3e.V$$

طاقة الإلكترون الساقط

$$hf = 3\ e.V + 2.5\ e.V = 5.5\ e.V$$

$$5.5\ \ e.V = E = \frac{1.24\times10^4\ e.V.A^0}{\lambda_x A^0} \quad \Rightarrow \quad \lambda_x = \frac{1.24\times10^4}{5.5} = 2250\ \ A^0$$

س5: الطول الموجي للعتبة للانبعاث الكهروضوئي من معدن معين يساوي 6525 أنكستروم أوجد جهد الإيقاف عندما يتعرض المعدن إلى ضوء ذو طول موجي 4000 أنكستروم؟

الحل:

$$f_0 = \frac{c}{\lambda_0} \ , \ \lambda_0 = 6525\ A^0$$

$$hf = e.V_0 + w_0 \quad \Rightarrow \quad \frac{1.24\times10^4\, e.V.A^0}{4000A^0} = e.V_0 + \frac{1.24\times10^4\, e.V.A^0}{6525A^0}$$

$$e.V_0 = 3.1\, e.V - 1.9\, e.V = 1.2 e.V \qquad \Rightarrow \qquad V_0 = 1.2 volt.$$

الفصل الرابع

الجسيمات غير المرئية ذات السرع المتوسطة والعالية

الميكانيك الكلاسيكي: يهتم بحركة الأجسام عند السرع القليلة أو (ميكانيك نيوتن).

النظرية الحديثة: تصف حركة الجسيمات الصغيرة التي تمتلك سرع متوسطة أو مقاربة لسرعة الضوء.

*فشل الميكانيك الكلاسيكي في وصف حركة الجسيمات غير المرئية والتي تمتلك سرع عالية.

*اكتشف العالم ماكسويل العلاقة بين المجال المغناطيسي والمجال الكهربائي واستطاع وضع أربع معادلات تفاضلية لوصف هذه العلاقة وقال أن هناك موجات كهروضوئية (كهرومغناطيسية) تسير بسرعة الضوء التي هي أعلى سرعة في الوجود وان هذه الموجات هي موجات مستعرضة.

العالم انشتاين: وضع نظريتين وهما:

(1) النظرية النسبية الخاصة Special theory of relativity

(2) النظرية النسبية العامة General theory of relativity

قوانين نيوتن:

القانون الأول: (قانون الاستمرارية أو القصور الذاتي) الجسم الساكن يبقى ساكنا والمتحرك يبقى متحركا مالم تؤثر به قوة خارجية تغير اتجاهه أو حالته الحركية.

القانون الثاني: $F = ma$

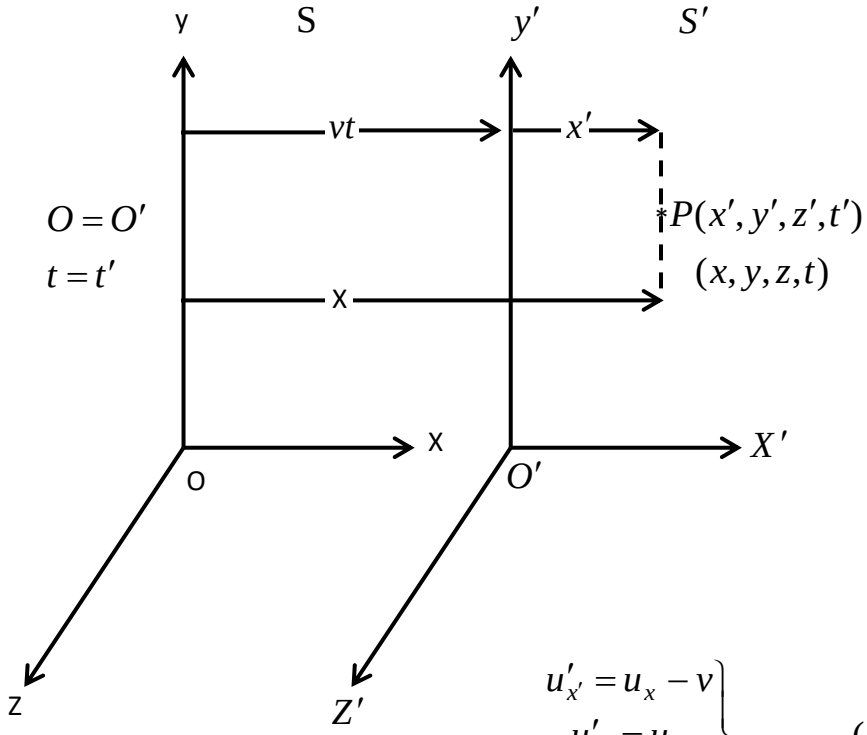
القانون الثالث: لكل فعل رد فعل مساوي له بالمقدار ومعاكس له في الاتجاه. $\vec{F}_{AB} = -\vec{F}_{BA}$

تحويلات غاليلو: Galilean Transformation

عندما نرغب في وصف حدث فيزياوي كان قد حدث في مكان معين وصفا كاملا لابد لنا أن نأخذ بنظر الاعتبار أربع إحداثيات

ثلاث منها مكانية هي x,y,z

والرابعة للزمن t.



تحويلات غاليلو للمسافة:

$$\left.\begin{aligned} x' &= x - vt \\ y' &= y \\ z' &= z \\ t' &= t \end{aligned}\right\} \quad \text{.....(1)}$$

$$\frac{d}{dt'} = \frac{d}{dt} \Rightarrow \frac{dx'}{dt} = \frac{dx}{dt} - v$$

تحويلات غاليلو للسرع:

$$\left.\begin{aligned} u'_{x'} &= u_x - v \\ u'_{y'} &= u_y \\ u'_{z'} &= u_z \end{aligned}\right\} \quad \text{.....(2)}$$

تحويلات غاليلو للتعجيل:

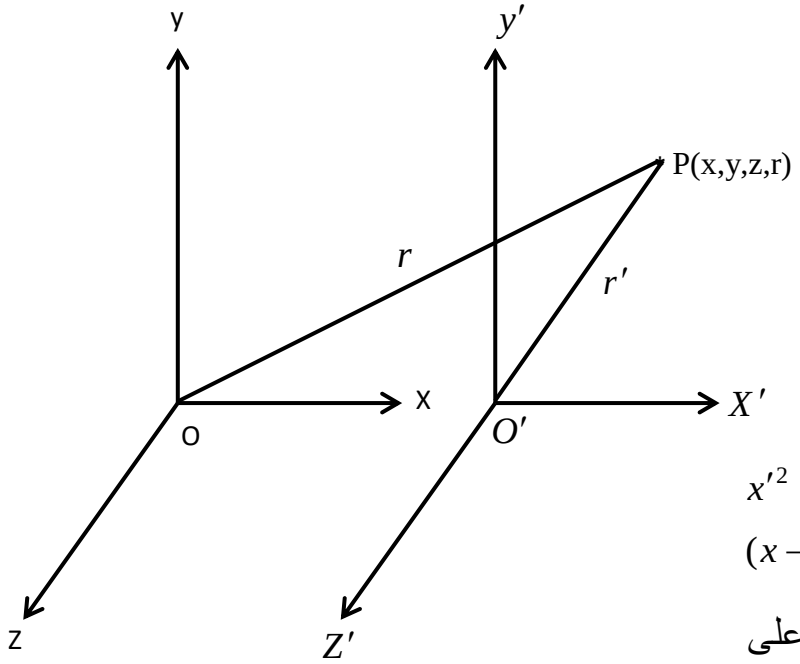
$$\left.\begin{aligned} a'_{x'} &= a_x \\ a'_{y'} &= a_y \\ a'_{z'} &= a_z \end{aligned}\right\} \quad \text{.....(3)}$$

1- في حالة السرع المنتظمة فأن قانون القصور الذاتي أي قانون نيوتن الأول لا يتغير وفق هذه التحويلات واستنادا إلى المعادلة (2).

2- قانون نيوتن الثاني: $F_x = ma_x, \quad F'_{x'} = ma'_{x'}, \quad \therefore F_x = F'_{x'}$

3- قانون نيوتن الثالث: $F_{AB} = -F_{BA}\ ,\ F'_{AB} = -F'_{BA}, \quad \therefore F = F'$

أما بشأن العلاقات الكهرومغناطيسية:



$$r^2 = c^2t^2$$

$$x^2 + y^2 + z^2 = c^2t^2 .....(A)$$

$$r'^2 = c^2t'^2 = c^2t^2$$

حسب تحويلات غاليلو حيث اعتبر

أن الزمن ثابت خلال المحورين

$$x'^2 + y'^2 + z'^2 = c^2t^2 \Rightarrow$$
$$(x - vt)^2 + y^2 + z^2 = c^2t^2 .....(A')$$

إذن القوانين الكهرومغناطيسية لا تحافظ على حركتها في كلا المحورين.

إذن تحويلات غاليلو لا تصلح لوصف الموجات الكهرومغناطيسية.

النظرية النسبية الخاصة Special theory of relativity :

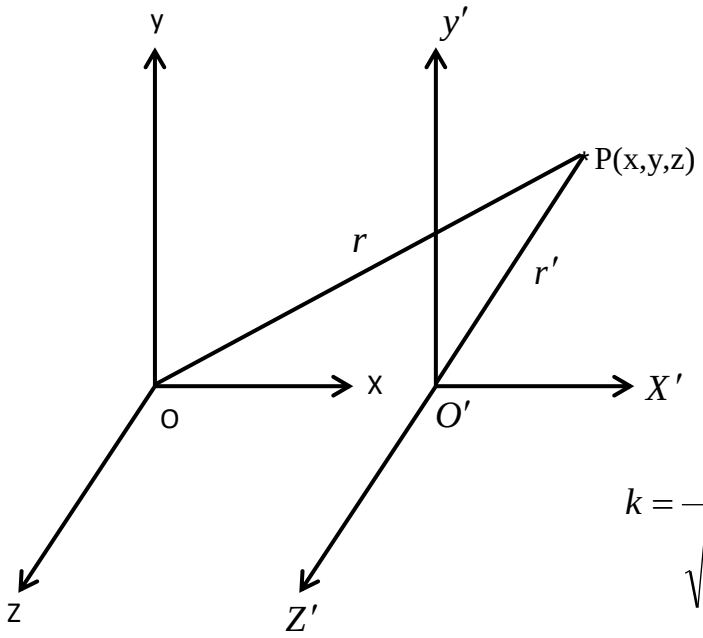
النسبية تأتي من تحليل الظواهر الفيزيائية المتأتية من انعدام وجود مرجع كوني متميز. إن مفاهيم انشتاين في نظريته النسبية قد تمت صياغتها كامتداد وتوسيع للميكانيك التقليدي الكلاسيكي ونظرية المجال الكهرومغناطيسي وان ارتباطها بالميكانيك الكمي والنظرية الحديثة. تمثل فرضيتا انشتاين قلب نظريته النسبية الخاصة وهاتان الفرضيتان هما:

الفرضية الأولى:

إن القوانين الفيزياوية تبقى ثابتة لا تتغير بالنسبة لجميع المحاور المرجعية أو التي تتحرك بسرعة منتظمة بالنسبة لبعضها البعض أي (إن جميع المحاور غير متميزة وبذلك تنفي وجود الأثير).

الفرضية الثانية:

إن سرعة الضوء تبقى دائما ثابتة في الفراغ ولا تعتمد على حركة مصدر الضوء أو حركة المراقب أو كليهما معا ولا يمكن لأي جسم أن ينتقل بسرعة اكبر أو مساوية لسرعة الضوء.



$$r^2 = c^2t^2$$

$$x^2 + y^2 + z^2 = c^2t^2 \text{.....(1)}$$

$$r'^2 = c^2t'^2$$

$$x'^2 + y'^2 + z'^2 = c^2t'^2 \text{.....(2)}$$

$$x' = k(x - vt),\ y' = y,\ z' = z \text{.....(3)}$$

$$k = \frac{1}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}, \qquad t' = k(t - \frac{v}{c^2}x) \text{.....(4)}$$

$$v = c \Rightarrow k = \infty \Rightarrow x' = \infty, \quad v \rangle c \Rightarrow k = \text{Im}\,aginary \Rightarrow x' = \text{Im}\,aginary, \quad v \langle c$$

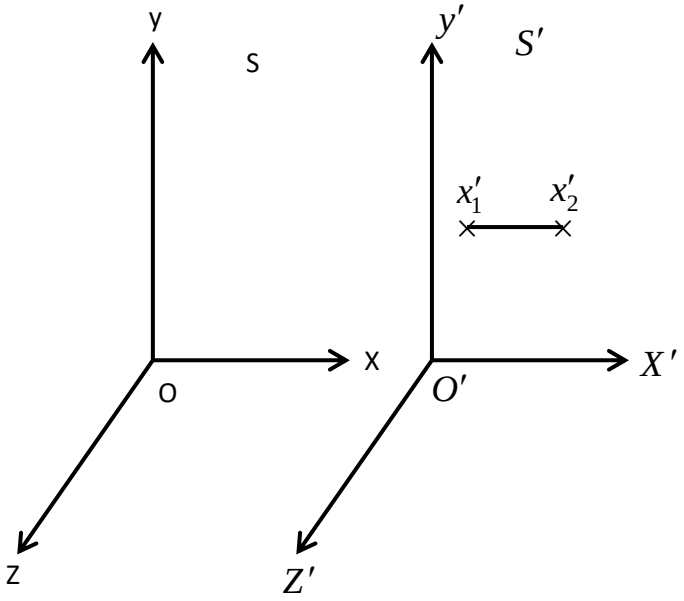
هذه التحويلات تسمى تحويلات انشتاين لورنز Lorentz transformation. عندما تكون السرعة واطئة ونطبقها في القوانين نلاحظ أننا نرجع إلى قوانين غاليلو وبذلك عرفنا بأن الأساس هو انشتاين حيث أنه يستخدم في السرع الواطئة والمتوسطة والعالية أما غاليلو فأنه يستخدم فقط للسرع الواطئة.

نسبية الطول:

إن الطول الذي يراه المراقب في S' هو $L_0 = x'_2 - x'_1$

كما أن المراقب في S يقيس نفس الطول

على أنه $L = x_2 - x_1$.



$$x' = k(x - vt) \Rightarrow$$

$$L_0 = k(x_2 - vt_2) - k(x_1 - vt_1)$$

$$L_0 = k(x_2 - x_1) - kv(t_2 - t_1)$$

إذا كان القياس آنيا أي أن $t_1 = t_2$:

$$L_0 = k(x_2 - x_1) = kL$$

$$\therefore L = \frac{L_0}{k} = L_0\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}$$

ظاهرة تقلص الطول: أي أن طول المتحرك بسرعة منتظمة v بالنسبة لمراقب ساكن يظهر (أقصر) من طوله وهو ساكن بالنسبة للمراقب.

مثال: صاروخ طوله على الأرض 20m وأثناء الطيران ينقص طوله بمقدار 0.4m بالنسبة الى مراقب على الأرض جد سرعته؟

الحل:

$$L = 20 - 0.4 = 19.6m,\ \ L_0 = 20m,\ \ v = ?$$

$$L = L_0\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}} \Rightarrow\ L = L_0(1 - \frac{v^2}{c^2})^{1/2} \Rightarrow\ \frac{L}{L_0} = (1 - \frac{v^2}{c^2})^{1/2} = \frac{19.6}{20} = 0.98$$

$$(1 - \frac{v^2}{c^2}) = 0.96 \Rightarrow -\frac{v^2}{c^2} = 0.96 - 1 \Rightarrow \frac{v^2}{c^2} = 1 - 0.96 = 0.04 \Rightarrow v^2 = 0.04c^2$$

$$v = 0.2\,c$$

نسبية الزمن: نفرض x_0 في المنظومة S تحركت من الزمن t_1 واستمرت إلى t_2. المراقب في S سوف يقيس $T_0 = t_2 - t_1$. الفترة الزمنية بالنسبة إلى المراقب في S' هي T' حيث $T' = t'_2 - t'_1$, من معادلة (4):

$$T' = k(t_2 - \frac{v}{c^2}x_2) - k(t_1 - \frac{v}{c^2}x_1) = k(t_2 - t_1) - \frac{v}{c^2}k(x_2 - x_1)$$

القياس تم في موقع واحد أي $x_1 = x_2$:

$$\therefore T' = k(t_2 - t_1) = kT_0 \quad \Rightarrow \quad T' = \frac{T_0}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$$

الفترة الزمنية لحادثة في المنظومة S التي يقيسها مراقب متحرك بسرعة منتظمة تظهر أطول من الفترة الزمنية التي يقيسها مراقب ساكن.

مثال: وقعت حادثة على الأرض واستمرت نحو 40sec بالنسبة لمراقب على الأرض. ما هي الفترة اللازمة التي تستغرقها الحادثة بالنسبة لمراقب متحرك بسرعة منتظمة مقدارها $v = 0.6\,c$ بالنسبة للأرض؟

الحل:

$$T_0 = 40\sec \quad , \quad v = 0.6\ c$$

$$T' = \frac{T_0}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} = \frac{40}{\sqrt{1 - (0.6\,c)^2}} = \frac{40}{\sqrt{1 - 0.36}} = \frac{40}{0.8} = 50\sec$$

نسبوية السرعة:

$$dx' = k(dx - vdt).....(1)$$

$$dy' = dy.....(2) \quad , \quad dz' = dz.....(3) \quad , \quad dt' = k(dt - \frac{v}{c^2}dx).....(4)$$

بقسمة (1) على (4) نحصل:

$$\frac{dx'}{dt'}=\frac{dx-vdt}{dt-\frac{v}{c^2}dx} \quad , \quad \frac{dy'}{dt'}=\frac{dy}{k(dt-\frac{v}{c^2}dx)} \quad , \quad \frac{dz'}{dt'}=\frac{dz}{k(dt-\frac{v}{c^2}dx)}$$

$$\frac{dx}{dt}=u_x \ , \ \frac{dy}{dt}=u_y \ , \ \frac{dz}{dt}=u_z$$

تقسم على dt نحصل:

$$u'_{x'}=\frac{u_x-v}{1-\frac{vu_x}{c^2}} \quad , \quad u'_{y'}=\frac{u_y}{k(1-\frac{vu_x}{c^2})} \quad , \quad u'_{z'}=\frac{u_z}{k(1-\frac{vu_x}{c^2})}$$

مثال: قاس احد المراقبين في حالة السكون سرعة الضوء ووجدها مساوية إلى (c) فما هي السرعة التي يقيسها المراقب الذي يسير بسرعة مساوية إلى v باستعمال تحويلات لورنز؟

الحل:

$$u'_{x'}=\frac{u_x-v}{1-\frac{vu_x}{c^2}}=\frac{c-v}{1-\frac{cv}{c^2}}=\frac{c-v}{\frac{c^2-cv}{c^2}}=\frac{c-v}{\frac{c(c-v)}{c^2}}=c$$

الكتلة النسبوية:

$$m=\frac{m_0}{\sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}}}$$

الزخم النسبوي:

$$p=mv=\frac{m_0v}{\sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}}}$$

القوة النسبوية:

$$F=\frac{dp}{dt}=\frac{d(mv)}{dt}=m\frac{dv}{dt}+v\frac{dm}{dt}$$

الطاقة النسبوية:

$$E=mc^2=\frac{m_0c^2}{\sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}}} \quad \Rightarrow \quad m^2c^4=\frac{m_0^2c^4}{1-\frac{v^2}{c^2}} \quad \Rightarrow \quad m^2c^4=\frac{m_0^2c^6}{c^2-v^2}$$

$$m^2c^6-m^2c^4v^2=m_0^2c^6 \quad \Rightarrow \quad c^2(m^2c^4)-c^4(m^2v^2)=c^2(m_0^2c^4)$$

$$E^2 = m_0^2c^4 + p^2c^2 \qquad \Rightarrow \qquad E = \sqrt{m_0^2c^4 + p^2c^2}$$

النظرية النسبية العامة ومبدأ التكافؤ:

فسرت النظرية النسبية الخاصة حالات معينة محدودة لفرضية انشتاين التي تنص على(أن القوانين الفيزياوية ثابتة لا تتغير بالنسبة لجميع المحاور المرجعية التي تتحرك بسرعة منتظمة بالنسبة لبعضها البعض).

النظرية العامة عام 1915: حاول انشتاين صياغة قوانين الفيزياء وبضمنها قانون الجاذبية بحيث تتحقق في جميع المنظومات ومثال على ذلك مبدأ التكافؤ الذي ينص على أنه (لا يمكن لأي مراقب وفي أي موضع أن يميز بين تأثيرات الحركة المعجلة وتأثيرات مجال الجاذبية), أي وجد تكافؤ الكتلتان القصورية والتثاقلية.

الفصل الخامس

الأشعة السينية X – Ray

صفاتها عن طريق العالم رونتكن Rontgen :

1- ذات نفاذية عالية فتستطيع اختراق حاجز من الخشب سمكه من 3 cm – 2 ويتم توهينها بواسطة حاجز من الألمنيوم سمكه 15 mm وكذلك تقوم بخرق الجسم ويعتبر جسم الانسان شفاف بالنسبة لها.

2- تتوهج مواد كثيرة عند سقوط هذه الأشعة عليها مثل سيانيد البلاتين والباريوم ومركبات الكالسيوم وزجاج اليورانيوم والملح الصخري.

3- يتأثر لوح التصوير بالأشعة السينية وبهذا يمكن اعتباره كطريقة من الطرق المهمة لدراسة هذه الأشعة.

4- لا تتأثر الأشعة السينية بالمجالين الكهربائي والمغناطيسي وهي ليست جسيمات مشحونة وتنتقل بخطوط مستقيمة.

5- تستطيع تأين الغازات عند مرورها خلالها كذلك تستطيع تفريغ شحنة في الأجسام المشحونة كهربائيا (لطاقتها العالية).

6- تتولد الأشعة السينية عند اصطدام الالكترونات (الأشعة الكاثودية) بالأهداف الصلبة كالبلاتين والنحاس والألمنيوم وتعتبر العناصر الثقيلة أكثر كفاءة من العناصر الخفيفة.

7- حاول رونتكن تطبيق تجارب الانعكاس والانكسار على الأشعة السينية لكنه لم ينجح.

توليد الأشعة السينية:

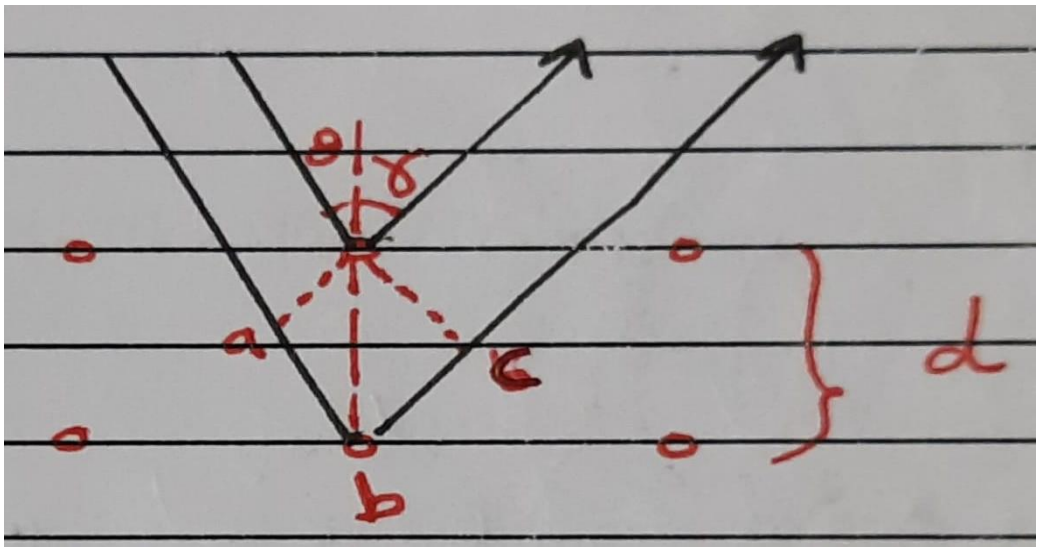
1- الانبوب المملوء بالغاز Gas tube.

2- أنابيب كولج Coolige tubes.

3- البيتاترون – كرست (100 Mev).

طبيعة الأشعة السينية Nature and Diffraction.

- الأشعة السينية هي أشعة كهرومغناطيسية وأن طولها الموجي صغير جدا لا يتجاوز المسافة بين مستويات البلورة الاحادية.
- أن التركيب البلوري هو تركيب منتظم يعيد نفسه بالاتجاهات الثلاثة.



$$\overline{ab} + \overline{bc} = n\lambda \quad \Rightarrow \quad d\sin\theta + d\sin\alpha = n\lambda \quad at \quad \alpha = \theta \quad \Rightarrow$$

$2d\sin\theta = n\lambda$ Bragg law قانون براك

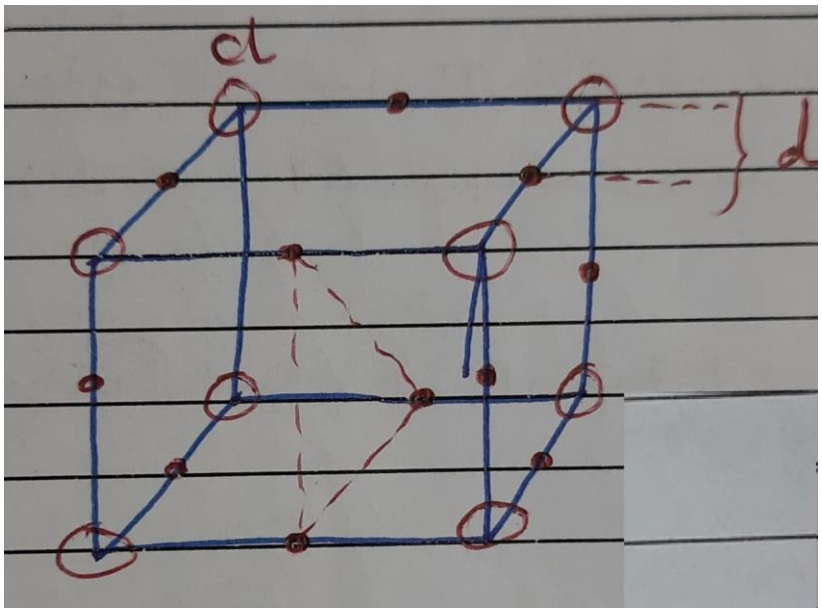
عندما $\theta = \alpha$ فأن الانعكاس منتظم (كما هو معروف في الضوء) ولهذا السبب يطلق على استطارة براك عادة أسم الانعكاس المنتظم (انعكاس براك), وتسمى المستويات الذرية في البلورة التي حدثت عندها الانعكاسات بمستويات براك. هناك شرطان لتحقيق شروط التداخل البناء للأشعة السينية:

1- تساوي الزاويتان, زاوية السقوط وزاوية الاستطارة.

2- التقاء الأشعة المنعكسة من مستويات براك بنفس الطور Phase أي يجب تحقيق معادلة براك $2d\sin\theta = n\lambda$.

- عند معرفة فاصل المحزز (d) (المسافة العمودية بين المستويات) فيمكننا معرفة λ أو الطول الموجي للأشعة السينية وعند معرفة λ نستطيع التعرف على (d).

كيفية حساب d للبلورة: KCL



عندما يكون الشكل البلوري معروف مثلا المكعب البسيط, فيجب :

- معرفة الوزن الجزيئي M
- عدد أفكادرو N_A
- الكثافة ρ,
- $V = volume = \frac{M}{\rho}$

وحيث أن عندنا أيونات فأن عدد الايونات في مول واحد يساوي $2N_A$. حجم الايون الواحد $V_1 = \frac{V}{2N_A}$

$$d = \sqrt[3]{V_1} = \left[\frac{M}{2\rho N_A}\right]^{1/3} \quad , \quad V_1 = \frac{M}{2\rho N_A}$$

س: جد d لبلورة kcl التي كثافتها $1.98 gm/cm^3$ علما أن الوزن الجزيئي إلى cl هو $35.45 gm/mole$ ولـ k هو $39.1 gm/mole$.

الحل:

Kcl=35.45 + 39.1=74.55 gm/mole

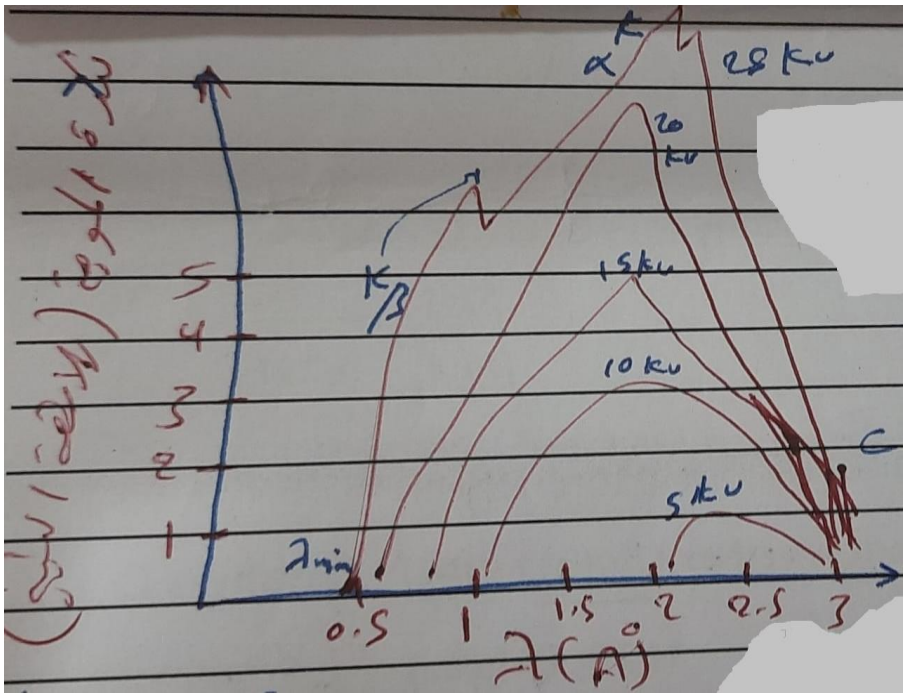
$$d = \left[\frac{M}{2\rho N_A}\right]^{1/3} = \left[\frac{74.55}{2 \times 1.98 \times 6.02 \times 10^{23}}\right]^{1/3} = 3.1 \times 10^{-8} cm = 3.1\ A^0$$

ميكانيكية توليد الأشعة السينية Mechanism of X-Ray production

أكد العالم رونتكن بأن الأشعة السينية تتولد عندما تصطدم سيل من الالكترونات (الأشعة الكاثودية) مع بعض أنواع المواد الصلبة حيث تنتج الأشعة السينية من خلال اصطدام الالكترونات ذات السرع العالية بجسيمات الهدف حيث تفقد هذه الالكترونات طاقتها الحركية على شكل إشعاع مستمر.

من المعروف فيزياويا أن الإشعاع ينبعث عندما يتم تعجيل أو تباطؤ أي جسم مشحون ويسمى هذا الإشعاع البريمشتراهلنك Bremsstrhlug أو تسمى أشعة التوقف Preaking radiation. ويسمى الطيف الناتج بالطيف المستمر Continues spectrum كذلك تنتج الأشعة السينية عندما يسبب اصطدام الالكترونات بالهدف إزاحة كاملة أو إعادة لترتيب الالكترونات المدارية لذرات الهدف في مستويات الطاقة المختلفة حيث ينتج عنه تحرر احد هذه الالكترونات من الذرة نتيجة اصطدام الالكترونات المعجلة, ولما كانت قيمة طاقة المستويات الذرية محددة فان انتقال الالكترونات المدارية من مستوى طاقة عالي إلى مستوى طاقة واطئ يؤدي إلى إشعاع فوتون ذو طاقة محددة تساوي فرق الطاقة بين المستويين وبذلك يكون طول الموجة محدد ويظهر على شكل خط حاد في الطيف. ولما كانت طاقة المستويات الذرية هي من ميزات ذرات الهدف لذلك فأن الطيف الخطي يعتبر من ميزات مادة الهدف أيضا ويسمى بالطيف الخطي Line spectrum.

طيف الأشعة السينية:



يعتبر الطيف المستمر للأشعة السينية مؤيدا لفرضية كون الإشعاع الكهرومغناطيسي ينبعث على شكل فوتونات طاقتها hf فعند سقوط الكترونات ذات طاقة عالية على هدف ينبعث

الطيف المستمر العريض للأشعة السينية بالإضافة إلى بعض الخطوط الحادة المتميزة.

ومن مميزات هذا الشكل: هناك نهاية صغرى للطول الموجي لكل فرق جهد حيث وجد العالمان (دوين وهنت) بأن النهاية الصغرى $\lambda_{\min}$ للطيف المستمر يتناسب عكسيا مع فرق الجهد من العلاقة التي أوجدها بلانك وأنشتاين.

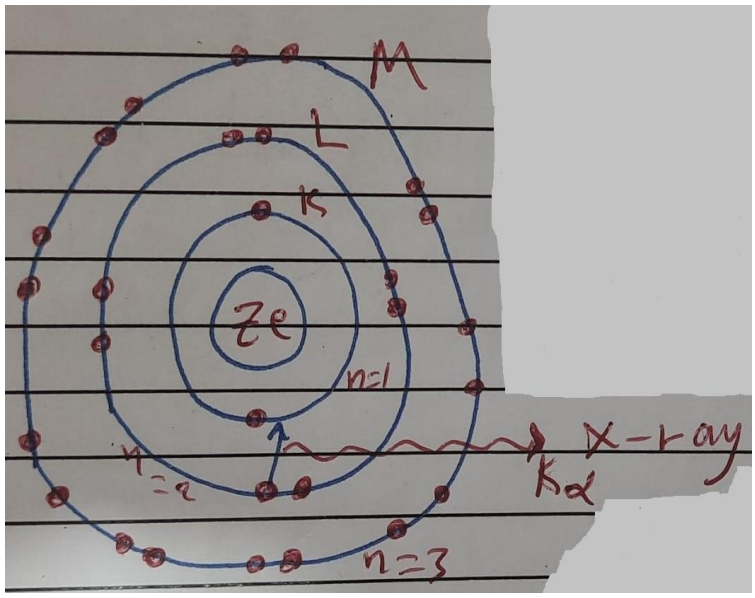
الطاقة الحركية للإلكترونات العظمى = الطاقة التي تنطلق على شكل أشعة

$$E_{\max} = eV \Rightarrow hf_{\max} = eV \Rightarrow \frac{hc}{\lambda_{\min}} = eV \quad \Rightarrow \quad \lambda_{\min} = \frac{12400}{V}$$

قانون دوين وهنت

حيث اعتبرت هذه العلاقة أولى الطرق الموثوقة لتعيين ثابت بلانك من قبل دوين وتلاميذه.
لاحظ أن هذه الظاهرة هي ظاهرة معاكسة للظاهرة الكهروضوئية لأن طاقة الإلكترون الحركية عندما يصطدم بالهدف تتحول كلها إلى إشعاع كهروضوئي بينما طاقة الفوتون في الظاهرة الكهروضوئية تمتص كلها من قبل الالكترونات لكي تتحول إلى طاقة حركية (عندما يكون جهد العتبة w_0 مهمل مقارنة بـ hf) ولهذا لم تستطيع النظرية الكلاسيكية أن تفسر وجود $\lambda_{\min}$ ولكن الميكانيك الكمي قدم تفسير إلى $\lambda_{\min}$ (النهاية الصغرى) للطول الموجي للطيف المستمر.

س: كيف تتولد الأشعة السينية؟



ج: تتولد نتيجة اصطدام الالكترونات السريعة بهدف ويكون الهدف صلب.

- ضمن نظرية بور فان الخط k_α ينبعث عندما ينتقل الإلكترون من الغلاف L (عدده الكمي 2) إلى الغلاف k (عدده 1) حيث ينبعث فرق الطاقة على شكل أشعة سينية تسمى الأشعة أو الطيف الخطي (Line spectrum) أي أن خلال عمل أنبوب الأشعة السينية يقتلع جسيم من الأشعة الكاثودية الساقطة على احد الكتروني الغلاف

k ونتيجة لهذه العملية ينتقل إلكترون من الغلاف L إلى الغلاف k فينبعث فوتون الأشعة السينية بتردد يساوي k_α. أما عند انتقال إلكترون من الغلاف M (العدد الكمي =3) إلى الغلاف L ينبعث فوتون تردده مساوي لتردد الخط L_α.

مستويات الطاقة للأشعة السينية:

الغلاف k يكون العدد الكمي فيه n=1 والغلاف L يكون n=2 والغلاف M يكون n=3 والغلاف N يكون n=4. وعدد الالكترونات إلى الأول 2 والثاني 8 والثالث 18 والرابع 32 حسب القانون التالي عدد الالكترونات = $2n^2$.

E_k = كمية الطاقة التي تملكها الذرة عندما فقدت احد الكترونات الغلاف k, وهكذا بالنسبة إلى E_L, E_M, E_N.

$E_k \rangle E_L \rangle E_M \rangle E_N$

نفرض أن ذرة معينة قد فقدت أحد الكتروني الغلاف k (إنها حالة الطاقة E_k) فعند انتقال إلكترون من الغلاف L إلى الغلاف k تصبح الذرة في مستوى طاقة E_L ويصاحب هذا الانتقال بانبعاث خط الطيف k_α ذات التردد التالي:

$$\Delta E = hf \quad \Rightarrow \quad f_{k\alpha} = \frac{E_k - E_L}{h}$$

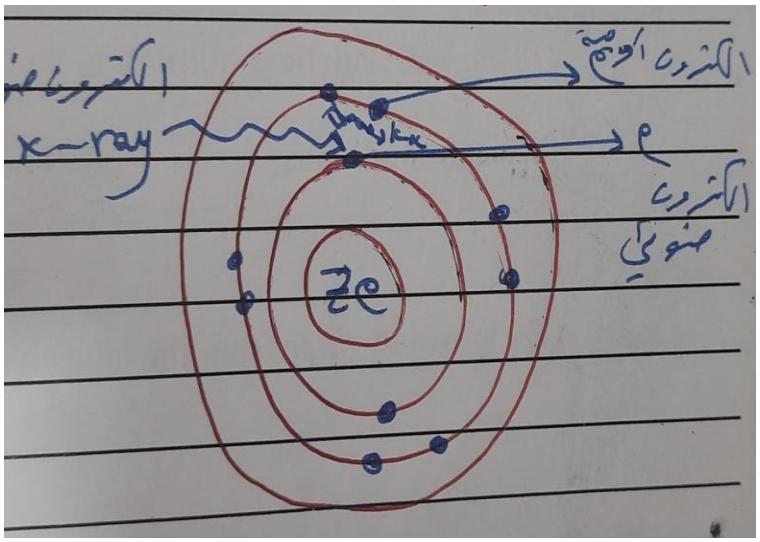
أما إذا انتقل الإلكترون من الغلاف M إلى الغلاف k مباشرة تاركا الذرة في حالة الطاقة E_M فان الخط المنبعث هو خط الطيف k_β ذات التردد: $f_{k\beta} = \frac{E_k - E_M}{h}$

أو قد ينتقل إلكترون مباشرة من الغلاف N إلى الغلاف k باعثا خط الطيف k_γ بتردد مقداره:

$$f_{k\gamma} = \frac{E_k - E_N}{h}$$

أما إذا انتقل الإلكترون من M إلى L فان الخط المنبعث سيكون ذات تردد: $f_{L\alpha} = \frac{E_L - E_M}{h}$

- عند تسليط أشعة سينية على ذرة وعندما يبعد احد الكترونات الغلاف k فأن احتمال انتقال إلكترون من الغلاف L إلى k باعثا فوتون الأشعة السينية من نوع k_α ويسمى الإلكترون المبعوث بالإلكترون الضوئي.



- لاحظ العالم أوجيه عام 1925 في أن إلكترون آخر ذات طاقة اقل ولكن له نفس المسار ينبعث بالإضافة إلى الإلكترون الضوئي حيث أطلق عليه إلكترون أوجيه, حيث فسر أوجيه هذه الظاهرة على أنها ناتجة من انتقال غير مشع حيث تستغل طاقة الإلكترون الأول الذي انتقل من L إلى k لا من اجل بعثها وإنما تستغل لإبعاد إلكترون آخر من الغلاف L لذلك تصبح الذرة ثنائية التأين. (عندما يسقط فوتون أشعة سينية على ذرة معينة ويبعد احد الكتروني الغلاف k وينتقل الإلكترون من الغلاف L إلى الغلاف k فينبعث فوتون الأشعة السينية من النوع k_α وهذا الفوتون يقوم بأبعاد إلكترون آخر من الغلاف L تاركا الذرة ثنائية التأين في المستوي L).

توليد الأطياف المتميزة للأشعة السينية:

يمكننا توليد الأطياف المتميزة للأشعة السينية لعنصر ما بأي طريقة تؤدي إلى إبعاد احد الالكترونات من المستويات الداخلية لذرات ذلك العنصر أما أهم الطرق فهي:

1) إسقاط الأشعة الكاثودية أو الالكترونات السريعة الحركة على ذرات مادة الهدف.
2) بواسطة إسقاط فوتونات ذات طاقة كافية على ذرات العناصر كما في ظاهرة التأثير الكهروضوئي للأشعة السينية, والذي يتبعه عادة إعادة ترتيب لإلكترونات الأغلفة الذرية فتؤدي إلى الانبعاث المميز للأشعة السينية وتسمى هذه الطريقة أطياف الفلورة للأشعة السينية وتعتبر من أفضل الطرق للكشف عن طبيعة العنصر في عينة مجهولة.

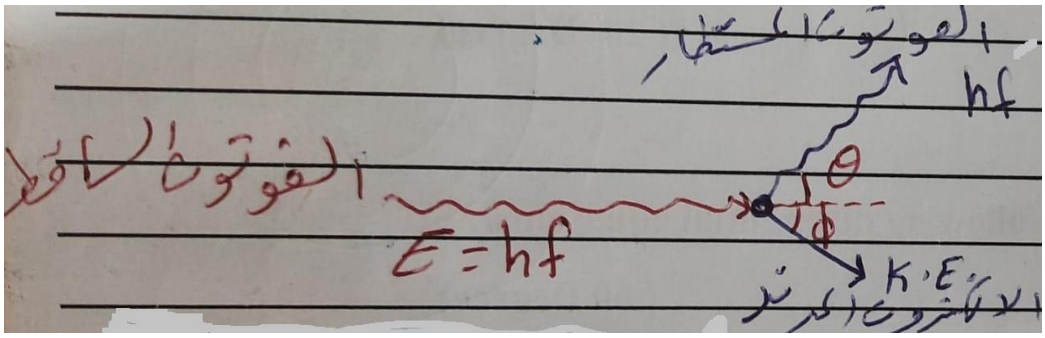
3) بإسقاط ايونات موجبة كالبروتونات أو جسيمات ألفا ذات الطاقة العالية.

4) تأسير الإلكترون من قبل النواة: حيث يتم أسر احد الالكترونات من الغلاف k القريب من النواة فينتقل احد الالكترونات من L أو M ليحل محله باعثا فوتون الأشعة السينية من نوع k_α أو k_β.

5) بانبعاث أشعة كاما: عند انتقال نواة متهيجة من مستوى عالي إلى أوطأ أو إلى المستوى الأرضي للنواة فيحدث أن يقلع هذا الفوتون (فوتون كاما) إلكترون من الأغلفة الداخلية مما يؤدي إلى انتقال إلكترون آخر من غلاف خارجي إلى الغلاف الداخلي فتنبعث الأشعة السينية وبذلك ينتج الطيف المميز للأشعة السينية.

6) طريقة التحويل الداخلي: تنتقل بعض الانوية من الحالة المتهيجة إلى الحالة الساكنة بواسطة إعادة ترتيب جسيماتها الداخلية فيكتسب احد الالكترونات في الغلاف k فرق الطاقة فينطلق تاركا الغلاف k حيث ينزل احد الكترونات الغلاف L أو M باعثا أشعة سينية من نوع k_α أو k_β وبذلك ينتج الطيف المميز للأشعة السينية.

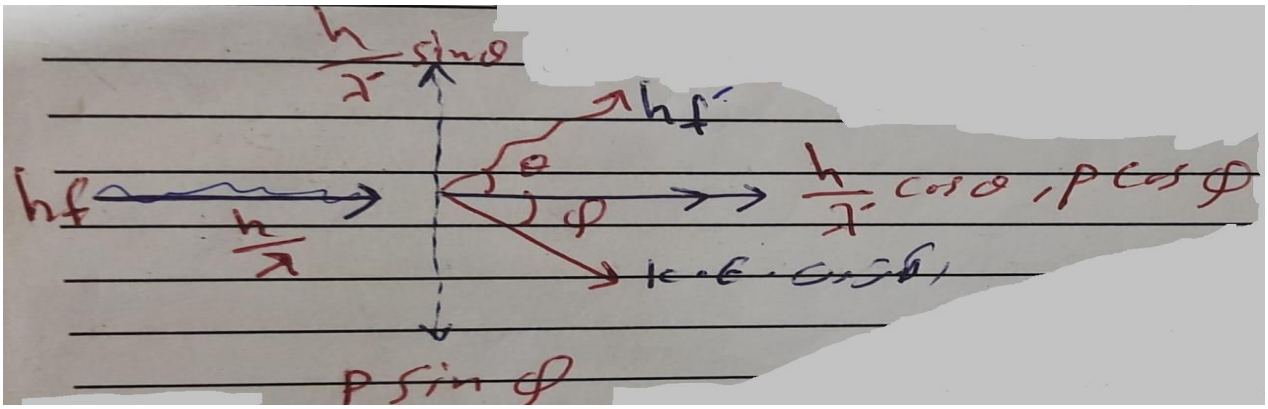
استطارة أو تأثير كومبتن Compton scattering or Compton effects



نشر العالم كومبتن سنة 1923 نتائج دقيقة حول استطارة الأشعة السينية ملخصها انه عند سقوط أشعة سينية ذات طول موجي أحادي على ذرات الكاربون مثلا فأن الحزمة المستطارة تحتوي على ترددين احدهما نفس تردد الحزمة الساقطة والآخر أقل منه بقليل حيث تم اشتقاق معادلته المشهورة التي أكدت الطبيعة الجسيمية للإشعاع الكهرومغناطيسي حيث استعمل طول موجي مقداره $0.707A^0$ وقام بقياس الأشعة المستطارة بمطياف براك ذو

البلورة الأحادية وبزاوية معينة حيث وجد قيمتين لـ λ الأولى $0.707A^0$ والثانية اقل منها بقليل وفق المعادلة:

$$\Delta\lambda = \lambda' - \lambda = \frac{h}{m_0 c}(1-\cos\theta)$$



على اعتبار أن التصادم مرن بين فوتون الأشعة السينية والإلكترون ويخضع لقانون حفظ الزخم والطاقة.

الطاقة الحركية للإلكترون + طاقة الفوتون المستطار = طاقة الفوتون الساقط

$$hf = hf' + (m-m_0)c^2 \Rightarrow \frac{hc}{\lambda} = \frac{hc}{\lambda'} + (m-m_0)c^2 \text{.....(1)}$$

وعندما نحلل الزخم لكل من الفوتون والإلكترون إلى $x-axis$ و $y-axis$ نحصل:

$$\frac{h}{\lambda} = \frac{h}{\lambda'}\cos\theta + p\cos\phi \text{.....(2)}$$

$$0 = \frac{h}{\lambda'}\sin\theta - p\sin\phi \text{.....(3)}$$

بعد عمليات رياضية بين هذه المعادلات نحصل على المعادلة النهائية التالية:

$$\lambda' - \lambda = \frac{h}{m_0 c}(1-\cos\theta)$$

في حالة اصطدام الفوتون مع الإلكترون فأن

$$\frac{h}{m_0 c} = 0.02426 A^0$$

$$\Delta\lambda = \lambda' - \lambda = 0.02426(1 - \cos\theta)$$

طرق تفاعل الأشعة السينية مع المواد أو طرق امتصاص الأشعة السينية من قبل المواد

هنالك ثلاث طرق رئيسية يمكن لذرات المادة أن تمتص فيها الأشعة السينية المارة خلالها وأهمها ما يلي:

1- **الامتصاص بالتأثير الكهروضوئي:** عندما تكون طاقة الأشعة السينية قليلة فإنها يمكن أن تمتص عن طريق الالكترونات المتواجدة في الأغلفة المختلفة للذرة حيث تتحرر الالكترونات من ذرات المادة كنتيجة لذلك وهذا ما يحدث في الظاهرة الكهروضوئية.

2- **الامتصاص بواسطة الاستطارة:** أ) استطارة رايلي توماس: تحدث عندما تكون طاقة الأشعة السينية الساقطة متوسطة القيمة ولكن أطوال موجاتها طويلة حيث تمتص من قبل الالكترونات وينجم عن ذلك اهتزازات اضطرارية للإلكترونات حيث تقوم الالكترونات بإعادة بعث الأشعة إلى جميع الاتجاهات.

ب) استطارة كومبتن: تحدث عندما تكون الأشعة السينية الساقطة متوسطة الطاقة ولكن طول موجتها قصير فعندئذ تعاني الفوتونات من استطارة كومبتن, التي تصبح أهميتها كبيرة في هذا المدى من الطاقة.

3- امتصاص الأشعة السينية بواسطة توليد زوج إلكترون e^- بوزترون e^+ :

عندما تكون طاقة فوتون الأشعة السينية الساقطة $1.02\ MeV$ أو أكثر حيث يتم فناء فوتون الأشعة السينية وتحويله إلى إلكترون وبوزترون حيث تمثل هذه الحالة تحول الطاقة إلى مادة والتي تنبأ بها اينشتاين في معادلته المشهورة $E = mc^2$. حيث أن البوزترون عبارة عن جسم كتلته مساوية إلى كتلة الإلكترون وشحنته مساوية إلى e لكنها معاكسة لها بالإشارة.