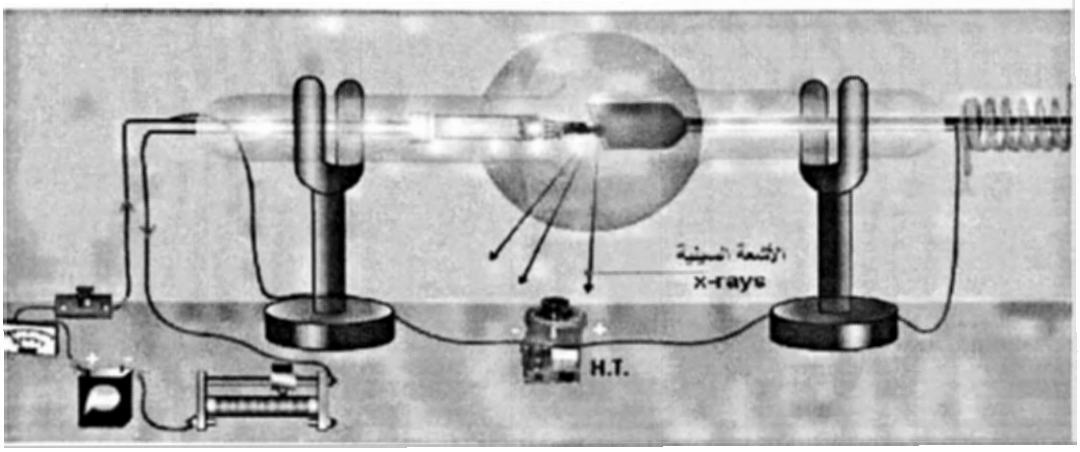
الثانوية السعادة
ALSAADE SCHOOL

«الإلكترونيات»

للصف الثالث الثانوي العلمي



توزع مجاناً على طلاب ثانوية السعادة – يمنع بيعها وتصويرها –

www.saadeschool.com

دمشق ا قنوات ◘ هاتف 2219877 (11) 963+/ 44680200 (11) 963+ ◘ فاكس 44680203 (11) 963+ ◘ info@saadeschool.com

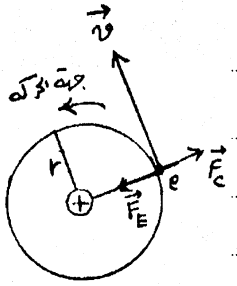
«النماذج الذرية والطيوف»

التكميم في ذرة الهيدروجين:

ينتقل الإلكترون من سوية طاقية إلى سوية طاقية أخرى دون المرور بالقيم التي بينهما وهذا يعني أن قيم الطاقة التي يأخذها الإلكترون بجوار النواة هي قيم محددة ومتقطعة وهذا ما يُعبَّر عنه بتكميم الطاقة.

الطاقة الميكانيكية لإلكترون حول النواة:

باعتبار أن حركة الإلكترون حول النواة دائرية منتظمة ومن المعلوم أنه يملك طاقة ميكانيكية هي مجموع طاقتيه الحركية والكامنة.



1) الطاقة الحركية للإلكترون: يخضع الإلكترون لقوتين

$F_E = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0} \times \frac{q_1 q_2}{d^2}$ إحدى البروتون $q_1 = q_2 = |e| = 1$

- القوة الكهربائية الناجمة عن جذب البروتون في النواة للـ e $F_E = K \frac{e^2}{r^2}$

$K = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}$

- - قوة العطالة النابذة الناتجة عن دوران الـ e حول النواة $F_c = m_e a_c = m_e \frac{v^2}{r}$

حركة الإلكترون حول النواة دائرية منتظمة $F_c = F_E$

$m_e \frac{v^2}{r} = K \frac{e^2}{r^2} \Rightarrow m_e v^2 = K \frac{e^2}{r} \Rightarrow E_K = \frac{1}{2} m_e v^2$

$\left(E_K = \frac{1}{2} K \frac{e^2}{r}\right)$

$v^2 = K \frac{e^2}{m_e r}$ [I]

2) الطاقة الكامنة الكهربائية للإلكترون حول النواة: تقبل بدون برهان

$\left(E_p = -K \frac{e^2}{r}\right)$

3) الطاقة الميكانيكية لإلكترون ذرة الهيدروجين في مداره: $E = E_p + E_K$

$E = -K \frac{e^2}{r} + \frac{1}{2} K \frac{e^2}{r}$

[II] $E = -\frac{1}{2} K \frac{e^2}{r}$ الطاقة الكلية الميكانيكية لإلكترون ذرة الهيدروجين في مداره

فرضيات بور:

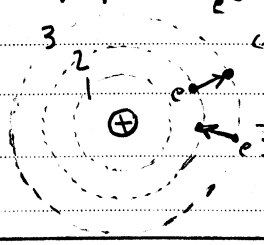
1) الفرض الأول: حركة الإلكترون حول النواة دائرية منتظمة تأثير قوتين متساويتين شدة $(F_E = F_c)$

القوة الكهربائية $\vec{F}_E$ الناتجة عن جذب البروتون للـ e، $\vec{F}_c$ قوة العطالة النابذة الناتجة عن دوران e حول النواة

2) الفرض الثاني: توجد مدارات محددة ذات أنصاف أقطار مختلفة يمكن للإلكترون (e) أن يدور فيها حول النواة، والعزم الحركي للـ (e) في أي منها وهو عزم كمية حركته من الضاعفات الصحيحة (n) للمقدار $\left(\frac{h}{2\pi}\right)$

$L = r.p = r m_e v = n \frac{h}{2\pi} \Rightarrow v^2 = \frac{n^2 h^2}{4\pi^2 r^2 m_e^2}$ [III]

$n = 1, 2, 3, \ldots$ رقم المدار (h) ثابت بلانك



3) الفرض الثالث: لا يصدر الإلكترون طاقة طالما يتحرك في أحد مداراته حول النواة يمتص طاقة محددة $|\Delta E|$ عند انتقاله لمدار أبعد عن النواة ويصدر طاقة إذا انتقل من مداره لمدار أقرب للنواة $(\Delta E = hf)$

سويات الطاقة في ذرة الهيدروجين:

$$r_n^2 = K\frac{e^2}{m_e v} \quad [I] \qquad \bar{E} = -\frac{1}{2}K\frac{e^2}{r} \quad [II] \qquad r_n^2 = \frac{n^2 h^2}{4\pi^2 v^2 m_e^2} \quad [III]$$

من [I] و [III]

$$K\frac{e^2}{m_e r} = \frac{n^2 h^2}{4\pi^2 r^2 m_e^2} \Rightarrow r = \frac{n^2 h^2}{4\pi^2 m_e e^2 K}$$

نعوض في [II]

$$\bar{E}_n = -\frac{1}{2}K\frac{e^2}{\frac{n^2 h^2}{4\pi^2 m_e e^2 K}}$$

$$\bar{E}_n = -\frac{2\pi^2 m_e e^4 K^2}{h^2} \times \frac{1}{n^2} \Rightarrow \bar{E}_n = \bar{E}_0 \times \frac{1}{n^2}$$

$$n=1 \Rightarrow \bar{E}_0 = -\frac{2\pi^2 e^4 K^2 m_e}{h^2} = -13.6(e.V) \Rightarrow \bar{E}_n = \frac{\bar{E}_0}{n^2} \Rightarrow \bar{E}_n = -\frac{13.6}{n^2}$$

e.V ← (n) رتبة المدار

طاقة التأين لذرة الهيدروجين:

لكي تتأين ذرة الهيدروجين يجب إعطاؤها طاقة تكفي لنقل الإلكترون من حالة ارتباط في سويته الأساسية التي كان عليها إلى حالة عدم الارتباط أي تصبح طاقته معدومة ويلزم إعطاؤه طاقة تساوي **(13.6eV)**.

الطيوف الذرية: **(انظر للأشكال في كتابك المقرر ص٢٠٣ و ٢٠٤ و ٢٠٥)**

1) منشأ الطيوف الذرية:

- عندما يتواجد إلكترون في سوية طاقة مُثارة في ذرة الهيدروجين (وعدد هذه السويات كبير) وعندما ينتقل إلى سوية طاقية أدنى يؤدي إلى إصدار طاقة تساوي فرق الطاقة بين السويتين.
- بما أن عدد الانتقالات المختلفة بين سويات الطاقة كبير فإننا نحصل على إصدارات بتواترات مختلفة فنجد أن الطيف مكون من عدد من الخطوط الطيفية يمثل كل خط انتقال الإلكترون بين سويتين طاقيتين محددتين في ذرة الهيدروجين.

2) تجربة تسجيل الطيف:

للحصول على طيف مصباح نقوم بتمرير الحزمة الضوئية الصادرة عنه على موشور وتلقي الحزمة المنحرفة بالموشور على حاجز فإذا كان ضوء المصباح أبيض نحصل على حزمة ضوئية مؤلفة من الطيوف (أحمر / برتقالي / أصفر / أخضر / أزرق / نيلي / بنفسجي).

3) أنواع الطيوف:

A) الطيوف المستمرة: مثل طيف مصباح كهربائي حيث تتصل الطيوف ببعضها دون انقطاع (عصابات متصلة) مثل طيوف إصدار الأجسام الصلبة الساخنة.

B) الطيوف المتقطعة: مثل طيف إصدار ذرات الهيدروجين حيث يتألف من خطوط طيفية أو عصابات طيفية منفصلة مثل طيوف بخار الزئبق والمصابيح الغازية.

4) الطيوف الذريّة:

الطيف الذرّي لعنصر هو سلسلة التواترات الضوئيّة الصادرة عن ذرّات هذا العنصر والتواترات الأكثر كثافة تسيطر على لون السلسلة مثل الطيف الذرّي لبخار الصوديوم الذي يحتوي على تواترين كثافتهما عالية يميل لونهما للبرتقالي.

5) طيوف ذرّات الهيدروجين:

يحتوي الطيف الخطّي للهيدروجين على ثلاثة سلاسل:

١. سلسلة ليمان: نحصل عليها عند عودة إلكترون ذرّة الهيدروجين من السويّات العليا **(n=2,3,4,5,6,...)** إلى السويّة الأولى **(n=1)** أهم ميّزاتها أنّها أمواج غير مرئيّة بسبب تواترها الكبير وأطوال موجاتها الأقصر من أطوال الأمواج الضوئيّة فهي السلسلة الأكبر طاقة.

٢. سلسلة بالمر: نحصل عليها عند عودة إلكترون ذرّة الهيدروجين من السويّات العليا **(n=3,4,5,6,...)** إلى السويّة المثارة الأولى **(n=1)** أهم ميّزاتها أنّها أمواج ضوئيّة يمكن مشاهدتها بالعين وقياسها في المختبر.

٣. سلسلة باشن: نحصل عليها عند عودة إلكترون ذرّة الهيدروجين من السويّات العليا **(n=4,5,6,...)** إلى السويّة المثارة الثانية والثالثة. أهم ميّزاتها أنّها أمواج غير مرئيّة بسبب تواترها المنخفض.

حيث (ترى العين الأمواج الضوئيّة المحصورة بين الضوئين الأحمر والبنفسجي) أي ترى شريحة معيّنة من التواترات.

انتزاع الإلكترونات وتسريعها

طاقة إلكترون ذرة الهيدروجين في مداره:

❖ الطاقة الكلية للإلكترون في مداره في الجملة (إلكترون ، نواة) ذرة الهيدروجين تتألف من طاقتين:

E_k الطاقة الحركية: ناتجة عن دوران الإلكترون حول النواة الموجبة وهي العامل الموجب من الطاقة

$$E_K = \frac{1}{2} m_e v^2 = \frac{1}{2} K \frac{e^2}{r}$$

E_p الطاقة الكامنة الكهربائية: ناتجة عن تأثر الإلكترون بالحقل الكهربائي الناتج عن النواة الموجبة وهي العامل السالب من الطاقة

$$E_p = -K \frac{e^2}{r}$$

تعطى عبارة الطاقة الكلية للإلكترون على مداره مقدرة بالإلكترون فولط

$$E_n = E_p + E_K \Rightarrow E_n = -\frac{1}{2} K \frac{e^2}{r} \qquad E_n = -\frac{13.6}{n^2} \text{ e.V}$$

تزداد طاقة الإلكترون بازدياد رتبة المدار (n) $|E_n|$ تتناسب عكساً مع n^2 مربع رتبة المدار

القيمة المطلقة لطاقة الإلكترون تتناسب عكساً مع مربع (n) رتبة المدار الذي يدور فيه الإلكترون

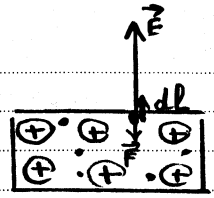
متى تزداد طاقة الإلكترون ومتى تنعدم: تزداد E_n كلما ابتعد الإلكترون عن النواة أي بازدياد (n) وتنعدم إذا أصبح الإلكترون بالنسبة للنواة: (فقد بعيته للنواة)

طاقة انتزاع الإلكترون الحر من سطح معدنه:

❖ إلكترونات الطبقة السطحية في ذرات المعادن تسمى إلكترونات التكافؤ وهي إلكترونات حرة تقريباً تسبح في فتحات الشبكة المتصالبة للشوارد الموجبة.

❖ يتحرك الإلكترون داخل المعدن بسرعة وسطية تتعلق بدرجة حرارة المعدن. يخضع الإلكترون الحر لقوة جذب كهربائية تتجه نحو الداخل بفعل الأيونات الموجبة.

❖ لانتزاع الإلكترون الحر من سطح معدنه ونقله مسافة صغيرة جداً (dl) خارج المعدن يجب تقديم طاقة أكبر من عمل القوة الكهربائية التي تشد الإلكترون نحو الداخل.



❖ W_s طاقة انتزاع أصغر طاقة يجب لنزع الإلكترون الحر من سطح معدنه وهي قيمة خاصة لكل معدن تتعلق بـ العدد الذري Z لنواة المعدن، الرابط بين لكل معدن W_s خاصة به W_s لها فرق لكون انتزاع يتم سطح المعدن والوسط الخارجي E شدة الحقل الكهربائي المتولد عن شوارد المعدن الموجبة

$$dW_s = F \cdot dl = eE dl = e dU$$

$$(W_s = E_s = eU_s)$$

❖ إيجاد العلاقة بين الواحدتين (الإلكترون – فولط) والجول

$$W_s = eU_s \Rightarrow 1 e.V = 1 \times 1.6 \times 10^{-19} C \times 1V$$

$$1 (e.V) = 1.6 \times 10^{-19} (J)$$

E لطاقة عتبة الحقل

$E < E_s$ يبقى الإلكترون ضمن المعدن

$E = E_s$ يغادر الإلكترون سطح المعدن بسرعة ابتدائية معدومة

$E > E_s$ يغادر الإلكترون سطح المعدن بسرعة ابتدائية

$$E_K = \frac{1}{2} m_e v_0^2 = E - E_s$$

$$v_0 = \sqrt{\frac{2(E - E_s)}{m_e}}$$

طرائق انتزاع الإلكترون الحر:

انتزاع أحد الإلكترونات الحرة من سطح معدن يتطلب إعطاءه الطاقة اللازمة لإخراجه من سطح المعدن أي إعطاءه طاقة: $E > E_d$ $E \geq W_s$

ويتم بإحدى الطرائق الثلاث الآتية:

[1] الفعل الكهرضوئي: الطاقة المقدمة للإلكترون الحر ضوئية تأتي بشكل فوتونات الفوتون تحمل الطاقة المنقلة $E_\gamma = hf$ طاقة الفوتون، h ثابت بلانك، f تواتر الموجة الضوئية، يسقط الضوء على سطح المعدن

$E_\gamma \geq W_s$ إذا كانت طاقة الفوتون وغادر سطح المعدن

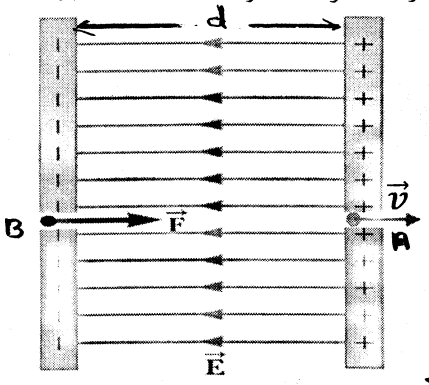
$E_\gamma < W_s$ يبقى الإلكترون حبيساً بالمعدن

[2] الفعل الكهرحراري: الطاقة المقدمة للإلكترون الحر حرارية، يسخن المعدن تكتسب بعض إلكتروناته السطحية قدراً هاماً من الطاقة تزيد سرعتها وطاقتها الحركية وعشوائية حركتها حتى إذا صارت طاقة الإلكترون الحر $E \geq W_s$ يتحرر خارجاً من المعدن

[3] توليد الأشعة المهبطية (مفعول الحث): قذف سطح المعدن بحزمة من الجسيمات ذات طاقة حركية يصدم بعض إلكترونات الذرة التي تكتسب جزءاً من الطاقة، إذا كانت الطاقة التي يكتسبها الإلكترون الحر كافية يتحرر الإلكترون الحر من سطح معدنه $E \geq W_s$

تسريع الإلكترونات بحقل كهربائي

يمكن تسريع الإلكترون بواسطة حقل كهربائي منتظم $\vec{E}$ بين لبوسي مكثفة مستوية مشحونة عازلها الخلاء فرق الكمون بين لبوسيها V_{AB} البعد بينهما d حيث يخضع الإلكترون لقوة كهربائية $\vec{F}$.



تأثير حقل كهربائي منتظم في إلكترون ساكن:

مكثفة مستوية لبوساها شاقوليان عازلها الخلاء فرق الكمون بين لبوسيها $U_{AB}=V$

يتولد بين لبوسيها حقل كهربائي منتظم $\vec{E}$ ندخل إلكتروناً ساكناً في فتحة صغيرة (B) باللبوس السالب فيخضع الإلكترون لقوة كهربائية $\vec{F}$ (بإهمال ثقل الإلكترون) بالنسبة لجملة مقارنة خارجية

يخضع الالكترون $\vec{F}=q\vec{E} \Rightarrow \vec{F}=e\vec{E}$

نطبق على الإلكترون العلاقة الأساسية بالتحريك

$$\Sigma\vec{F}=m\vec{a} \Rightarrow \vec{F}=e\vec{E}=m_e\vec{a}=\overrightarrow{comst}$$

طبيعة حركة الإلكترون: $\vec{v}_0=\vec{v}_B=\vec{0} \Rightarrow \vec{F}=\overrightarrow{comst} \Rightarrow \vec{a}=\overrightarrow{comst}$

الحركة مستقيمة متسارعة بانتظام

التسارع الثابت لحركة الإلكترون: $a=\frac{F}{m_e}=\frac{eE}{m_e}=\frac{eU}{m_e d}=comst$

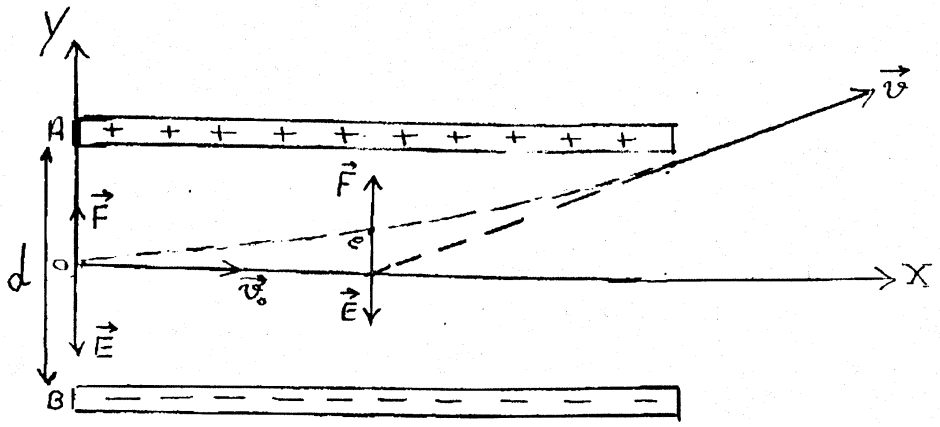
قيمة سرعة الإلكترون لحظة وصوله اللبوس الموجب (A): $v^2-v_0^2=2ad \Rightarrow v_A^2-0=2\times\frac{eU}{m_e d}\times d \Rightarrow v_A=\sqrt{\frac{2eU}{m_e}}$

v_A تتناسب طردياً مع الجذر التربيعي لـ U مرق تكون بين اللبوسين $U=V_{AB}$

إن هذا الدستور لا يصلح إلا من أجل السرعات الصغيرة (ق) بالنسبة لسرعة الضوء حتى يمكن اعتبار كتلة الالكترون ثابتة.

تأثير حقل كهربائي منتظم في إلكترون يدخل الحقل بسرعة ابتدائية عمودية على خطوط الحقل:

يدخل إلكترون بسرعة ابتدائية $\vec{V}_0$ منطقة يسودها حقل كهربائي منتظم $\vec{E}$ بين لبوسي مكثفة مستوية مشحونة عازلها الخلاء بحيث تكون خطوط الحقل الكهربائي عمودية على شعاع السرعة الابتدائية.



بالنسبة لجملة مقارنة خارجية:

$\Sigma\vec{F}=m_e\vec{a}$

يخضع الإلكترون للقوة الكهربائية $\vec{F}=e\vec{E}=m\vec{a}$ وذلك بإهمال ثقل الإلكترون.

ندرس الحركة بمسقطيها على المحورين:

$\overrightarrow{ox}$ أفقي محمول على شعاع السرعة الابتدائية موجه بجهتها.

$\overrightarrow{oy}$ شاقولي محمول على شعاع الحقل الكهربائي ويعاكسه بالجهة.

نعتبر مبدأ الأزمنة لحظة دخول الإلكترون الحقل ومبدأ الفواصل (o) موضع دخول الإلكترون للحقل. $\left.\begin{matrix}x_0=0\\ \bar{y}_0=0\end{matrix}\right\}$

حركة المسقط على $\vec{ox}$

حركة المسقط على $\vec{ox}$ حركة مستقيمة منتظمة

$v_x = v_0 = const$

$\bar{x} = \bar{v}_x t + \bar{x}_0$

$\bar{v}_{0x} = v_0$

$\bar{F}_x = 0 \Rightarrow \bar{a}_x = 0 \Rightarrow \bar{v}_x = \overline{const}$

$\bar{x} = v_0 t$ [1]

حركة المسقط على $\vec{oy}$

حركة المسقط على $\vec{oy}$ مستقيمة متسارعة بانتظام

$\bar{y} = \frac{1}{2}\bar{a}_y t^2 + \bar{v}_{0y} t + \bar{y}_0$

$\bar{y} = \frac{eU}{2m_e d} t^2$ [2]

$\bar{v}_{0y} = 0$

$\bar{F}_y = F \Rightarrow m_e a_y = eE = e\frac{U}{d}$

$\bar{a}_y = \frac{eU}{2m_e d} = const$

معادلة حامل المسار :

[1] من : $t = \frac{\bar{x}}{v_0} \Rightarrow$

[2] بتعويض في $\bar{y} = \frac{eU}{2m_e d} \times \frac{x^2}{v_0^2}$

$\bar{y} = \frac{eU}{2m_e d v_0^2} x^2$

$\bar{y} = const\ x^2$

حامل المسار في منطقة الحقل الكهربائي قطع مكافئ. ذروته (o) ومحوره $\vec{oy}$

ملاحظة : عندما يغادر الإلكترون الحقل الكهربائي يتحرك على مستقيم هو المماس للمسار في نقطة الخروج من الحقل حيث تصبح حركة الإلكترون مستقيمة منتظمة.

الأشعة المهبطية

الانفراغ الكهربائي في الغازات :

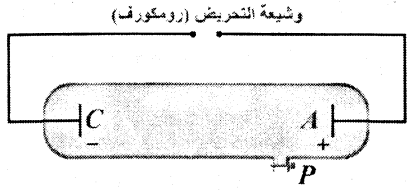
أنبوب الانفراغ: أنبوب زجاجي اسطواني متين مغلق طوله **(30-50)Cm** قطر مقطعه **(4cm)** يحوي غاز معين مثل: الآرغون أو النيون، فيه مسريان متقابلان المهبط **C** والمصعد **A**، فيه فتحة توصل لمخلية هواء **P** نتحكم بواسطتها بضغط الغاز داخل الأنبوب.

نصل قطبي الأنبوب المصعد والمهبط بتوتر متواصل وعالٍ وحسب ضغط الغاز داخل الأنبوب نلاحظ:

- **P = 100mmHg** تتشكل شرارات بين المسريين (انفراغ كهربائي).
- **P = 10mmHg** نشاهد ضوءاً متجانساً يمتد من المهبط للمصعد يتعلق بنوع الغاز.

الضوء أحمر برتقالي إذا كان الغاز الذي يملأ الأنبوب (النيون).

الضوء أزرق مخضر إذا كان بخار الزئبق يملأ الأنبوب.



تستخدم أنابيب الانفراغ في الإعلانات وتسمى أنابيب باردة.

- **$P = 10^{-2}$mmHg** يختفي الضوء المتجانس وتصدر عن المهبط أشعة غير مرئية تسمى الأشعة المهبطية، يضيء مقابل المهبط بلون أخضر مهما كان نوع الغاز الخامل.

أوراق عمل في بحث الإلكترونيات

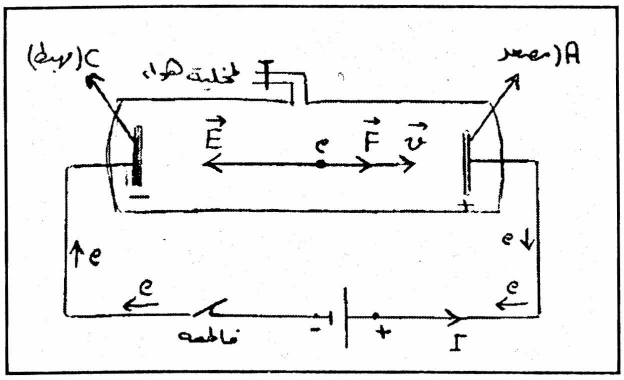
طبيعة الأشعة المهبطية وشرطا توليدها:

حزمة من الإلكترونات تتحرك بسرعات كبيرة على مسارات مستقيمة ناظمية على المهبط تتولد في أنبوب الانفراغ إذا تحقق الشرطان:

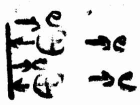
1) تحقيق فراغ كبير في انبوب الانفراغ بواسطة تخلية الغاز بحيث يتراوح الضغط فيه
$P\ (0.01 \to 0.001)\ mm\ Hg$ ميلي متر زئبق

2) تطبيق توتر (فرق كمون) كبير نسبياً وثابتاً بين قطبي الانبوب يولد حقلاً كهربائياً شديداً بجوار المهبط يقوم بتسريع الالكترونات داخل الانبوب

آلية توليدها:



عند تطبيق فرق الكمون الكبير والثابت تتأين ذرات الغاز: تتجه الإلكترونات نحو المصعد وتتجه الأيونات الموجبة نحو المهبط فتصطدم به وتحرر إلكترونات من سطحه حيث تتنافر هذه الإلكترونات وتبتعد عن المهبط بسرعة كبيرة نظراً لشحنتها السالبة. الأيونات الموجبة تشطر بطريقها ذرات الغاز الإلكترونات الصادرة عن المهبط تصطدم بالذرات فتشرد عدداً منها.



نستنتج أن إلكترونات الأشعة المهبطية من مصدرين:

1) الالكترونات المنتزعة من مادة المهبط

2) الالكترونات الناتجة عن تأين الذرات الغازية بجوار المهبط

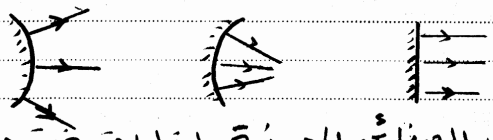
يُسرع هذه الالكترونات الحقل الكهربائي الشديد $\vec{E}$ الناتج عن التوتر المطبق بين قطبي الانبوب

خواص الأشعة المهبطية:

1) تسبب تألق بعض الأجسام: تهيج ذرات بعض المواد التي تسقط عليها : إذا سقطت الأشعة على الزجاج العادي يتألق بالاخضر، إذا سقطت على كبريتات الكالسيوم تألقت بالاصفر البرتقالي وهذه الخاصية تفيد بالكشف عن وجود الاشعة المهبطية لأن هذه الاشعة غير مرئية

2) تنتشر وفق خطوط مستقيمة ناظمية على سطح المهبط: يختلف شكل الحزمة الالكترونية بحسب شكل المهبط

الحزمة متوازية إذا كان المهبط مستوياً
الحزمة متقاربة إذا كان المهبط مقعراً
الحزمة متباعدة إذا كان المهبط محدباً



3) ضعيفة النفوذ: كونها جسيمات (الكترونات) لا تنفذ من الصفائح المعدنية إذا اعترضت مسارها صفيحة معدنية تكون للصفيحة ظل على الزجاج المتألق بالاخضر فلفلة

4) تتأثر بالحقل الكهربائي: $\vec{E}$ بقوة كهربائية $\vec{F} = e\vec{E}$ تنحرف نحو اللبوس الموجب لمكثفة مستوية مشحونة مما يؤكد شحنتها السالبة فهي الكترونات

5) تتأثر بالحقل المغناطيسي: $\vec{B}$ بقوة لورنز المغناطيسية $\vec{F} = e\vec{v} \wedge \vec{B}$ تكسب مساراً دائرياً نصف قطره $r = \frac{m_e v}{eB}$
بشرط $\vec{v} \perp \vec{B}$ و $\vec{B}$ حقل منتظم

6) تحمل طاقة حركية: كون سرعتها هائلة فهي تستطيع تدوير دولاب خفيفاً يعترض مسارها $E_K = \frac{1}{2} m_e v^2$
وإذا سقطت على أجسام معينة تحولت طاقتها الحركية لأشكال اخرى من الطاقة
طاقة: (حرارية – اشعاعية – كيميائية)

7) تنتج أشعة سينية عند اصطدامها بمواد صلبة ذات أعداد ذرية كبيرة. مثل صفيحة معدنية من معدن ثقيل

8) تؤين الغازات التي تمر فيها. تنزع (e) من الذرة الغازية وتصبح الذرة ايوناً موجباً (يتوهج الغاز)

9) تؤثر في أفلام التصوير. تعمل عمل الاشعة الضوئية في تأثرها بالواح التصوير الضوئي الحساسة للضوء

أوراق عمل في بحث الإلكترونيات

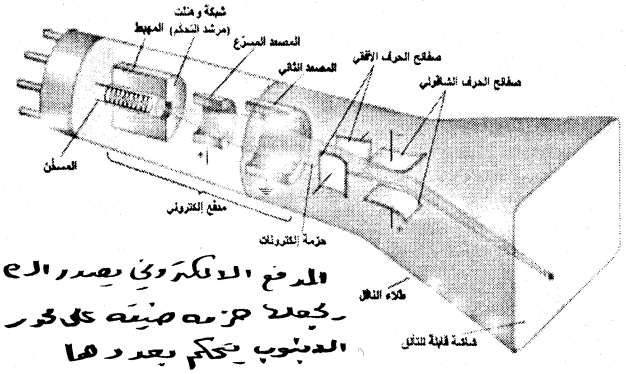
راسم الاهتزاز الإلكتروني:

يتألف راسم الاهتزاز الإلكتروني من أنبوب زجاجي مخروطي الشكل مفرغ من الهواء تقريباً. الدنبوب متين اسطواني ضيق في بدايته متسع بنهايته

يتألف من ثلاثة أقسام: A. المدفع الإلكتروني.

B. الجملة الحارفة (منظومة الانحراف).

C. الشاشة المتألقة.



المدفع الالكتروني يصدر الـ e ويحدد حزمه ضيقه على محور الدنبوب يتحكم بعددها

A) المدفع الإلكتروني يتألف من:

[1] المهبط الحراري: وهو موصول بتوتر سالب يصدر إلكترونات بالفعل الكهرحراري عن طريق تسخينه تسخيناً غير مباشر بواسطة سلك تسخين مصنوع من التنغستين. يمر في السلك تيار متواصل

[2] شبكة وهنلت (G): لضبط الحزمة الإلكترونية لها دور مزدوج. اسطوانه تحيط بالمهبط بقاعدته ثقب توصل بتوتر سالب قابل للتغير

1) تجميع الالكترونات الصادره عن المهبط في نقطه تقع على محور الدنبوب

2) التحكم بعدد الالكترونات النافذه من ثقبها بتغيير توترها السالب مما يغير اضاءة الشاشه

[3] المصعدان: الأول: يطبق عليه توتر عالٍ موجب قابل للتغيير. مهمتها تسريع الالكترونات (تسريع الحزمه الالكترونيه)

الثاني: يطبق عليه توتر عالٍ موجب ثابت.

يقوم المصعدان بتسريع الإلكترونات المنتزعة من مادة المهبط الحراري.

B) الجملة الحارفة: تتألف من مكثفتين مستويتين:

الأولى: لبوساها شاقوليان الحقل الكهربائي بينهما أفقي تحرف الحزمة الإلكترونية أفقياً.

الثانية: لبوساها أفقيان الحقل الكهربائي بينهما شاقولي تحرف الحزمة الإلكترونية شاقولياً.

C) الشاشة المتألقة: تتألف من طبقة سميكة من الزجاج تليها طبقة ناقلة من الغرافيت تليها طبقة من مادة متألقة مثل كبريت الزنك وتغطى الشاشة من الداخل بطبقة رقيقة من الألمنيوم لا يتجاوز ثخنها بضع ميكرونات.

تسمح وريقة الألمنيوم للإلكترونات المسرعة بالعبور فتصطدم بالمادة القابلة للتألق وينعكس التألق على وريقة الألمنيوم التي تعكسه بدورها خارج الأنبوب.

وتعمل مادة الغرافيت دور الواقي للحزمة الإلكترونية من الحقول الكهربائية الخارجية كما أنها تعيد الإلكترونات التي سببت التألق إلى المصعد وتغلق الدارة.

استخدام الراسم: يستخدم الراسم في دراسة الحركات وخاصةً الحركات الدورية لإظهار تحولات مقدار بدلالة الزمن على شكل منحني بياني له تواتر الحركة المدروسة ويمكن أن يقيس بعض المقادير الفيزيائية كفرق الكمون المستمر والمتناوب بواسطة الشاشة المقسمة إلى تدريجات مناسبة.

أما كيفية عمل الراسم:

المكثفه الشاقوليه c_1 يطبق على المكثفه ذات الحرف الشاقولي توتر متناوب يهز الحزمه الالكترونيه بين لبوسي المكثفه الشاقوليه يظهر على الشاشه خط مضيء شاقولي

المكثفه الافقيه c_2 يطبق على المكثفه ذات الحرف الشاقولي توتر متغير لا يمثل المقدار الدوري المدروس بعد تحويله لتوتر يهز الحزمه الالكترونيه شاقولياً بين لبوسي المكثفه الافقيه يظهر على الشاشه خط مضيء شاقولي

المكتفات (c_1+c_2) معاً: يظهر على شاشة الراسم بياني دوري يمثل المقدار الدوري المدروس

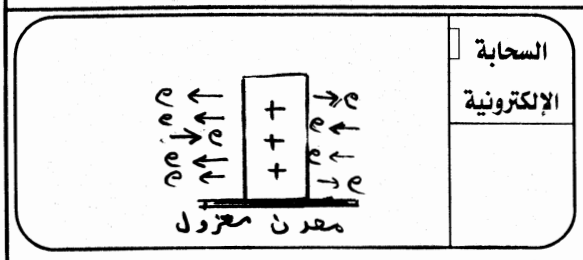
الفعل الكهرحراري:

تعريف: هو انتزاع الإلكترونات الحرة من سطح معدن بتسخينه إلى درجة حرارة مناسبة.

❖ يزداد عدد الإلكترونات المنتزعة في الثانية الواحدة من سطح المعدن:

كلما قل الضغط المحيط بسطح المعدن / كلما ارتفعت درجة حرارة المعدن

❖ عند تسخين المعدن إلى درجة حرارة معينة تكتسب بعض الإلكترونات الحرة قدراً كافياً من الطاقة تزيد من سرعتها وحركتها العشوائية فتكتسب طاقة إذا كانت أكبر من طاقة انتزاع الإلكترون من سطح المعدن انبعثت هذه الإلكترونات من سطح المعدن فيكتسب المعدن شحنة موجبة ويقوم بجذب عددٍ من الإلكترونات المنتزعة وتتشكل حول سطح المعدن سحابة إلكترونية كثافتها ثابتة عندما يتساوى عدد الإلكترونات المنتزعة من سطح المعدن في كل لحظة مع عدد الإلكترونات العائدة إليه.



❖ اكتشف توماس أديسون هذه الظاهرة خلال تجاربه حيث لاحظ تحول الهواء المحيط بسلك متوهج إلى وسطٍ ناقل.

الفعل الكهرضوئي

فرضية بلانك:

الضوء والمادة يمكنهما تبادل الطاقة من خلال آليات منفصلة من الطاقة تسمى كمّة الطاقة

طاقة الكمّة $E = hf = h\frac{c}{\lambda}$

h (J.s) ثابت بلانك

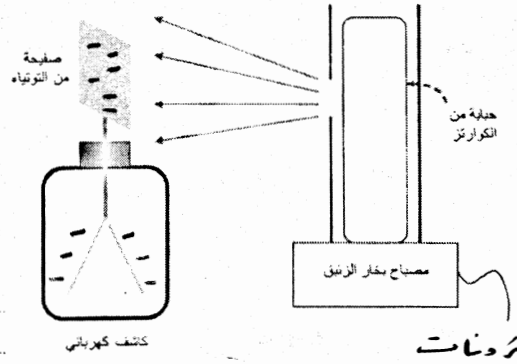
فرضية آينشتاين:

الضوء أمواج كهرطيسية تتألف من فوتونات : الفوتون كمّة من الطاقة المنفصلة

$E = hf = h\frac{c}{\lambda}$ طاقة الفوتون

يحصل تبادل للطاقة بين المادة من خلال امتصاص وإصدار فوتونات

تجربة هرتز:



نثبت صفيحة نظيفة من التوتياء فوق قرص كاشف كهربائي ونعرضها للأشعة الصادرة عن مصباح مصنوع من الكوارتز يحوي بخار الزئبق:

A) نقوم بشحن صفيحة التوتياء بشحنة سالبة فتنفرج وريقتا الكاشف، ثم نسلط ضوء المصباح عليها فتتقارب الوريقتان حتى تنطبقا.

التعليل: تنتزع من بعض الالكترونات الحرة من صفيحة Z_n بالفعل الكهرضوئي : تنفر صفيحة (Z_n) لهذه الالكترونات تتناقص شحنة الصفيحة السالبة باستمرار حيث تفقد الالكترونات فيتناقص انفراج الوريقتين بتناقص شحنة حتى انطباق بزوال شحنة السالبة تم الفعل الكهرضوئي $E > W_{s(Zn)}$ ضوء

B) نعيد التجربة السابقة بعد أن نضع بين المصباح والصفيحة لوحاً زجاجياً نلاحظ بقاء انفراج وريقتي الكاشف على حاله بالرغم من وصول ضوء المصباح إلى الصفيحة.

التعليل: الزجاج يمتص الأشعة فوق البنفسجية ويمرر أشعة الضوء المرئي والأشعة تحت الحمراء لا يتغير انفراج وريقتي الكاشف نستنتج أن الأشعة فوق البنفسجية ذات الطاقة العالية هي صاحبة الفعل : بسبب الزجاج يتم الفعل الكهرضوئي بفعل الأشعة فوق البنفسجية للصفيحة

C) نعيد شحن الصفيحة بشحنة موجبة ثم نعرضها لضوء مصباح الزئبق فنلاحظ أن انفراج الوريقتين لا يتغير.

التعليل: لا تتأثر وريقتا الكاشف ولا يتغير انفراجهما لأن الصفيحة الموجبة تقوم بجذب الالكترونات الصادرة عن (e) كما صدر عادت الصفيحة لـ

نستنتج:

❖ عندما يتلقى الإلكترون طاقة قدرها W_S فإنه يفك ارتباطه بالمعدن ويغادر سطح المعدن بطاقة حركية معدومة. $E = W_S \mid (E_K = E - W_S = 0)$

❖ عندما يتلقى الإلكترون طاقة E أكبر من طاقة الانتزاع W_S فإنه يغادر سطح المعدن وله طاقة حركية E_K: $E > W_S \mid (E_K = E - W_S)$

❖ **نتيجة:** الفعل الكهرضوئي هو انتزاع الإلكترونات الحرة من مادة معدنية عند تعرضها لإشعاعات كهرطيسية مناسبة.

أوراق عمل في بحث الإلكترونيات

فرضية اينشتاين:

❖ قدم اينشتاين النموذج الآتي لتفسير الفعل الكهرضوئي حيث اقترح أن الحزمة الضوئية يمكن اعتبارها حزمة من الجسيمات غير المرئية تسمى فوتونات.

❖ تعطى طاقة الفوتون بالعلاقة:

$$E_{ف} = hf = h\frac{c}{\lambda}$$

$E_{ف}$ (J) طاقة الفوتون
h (J.s) ثابت بلانك
f (Hz) تواتر الموجة
λ (m) طول الموجة

خصائص الفوتون:

❖ الفوتون هو (حبيبة من الطاقة المنفصلة) يرافق موجة كهرطيسية تواترها f
❖ كتلته الكهربائية معدومة لتتأثر بالحقلين الكهربائي $\vec{E}$ والمغناطيسي $\vec{B}$
❖ يتحرك بسرعة الضوء $c = \lambda f = 3\times10^{8}\ (m.s^{-1})$ في الخلاء
❖ طاقة الفوتون $E_{ف} = hf = h\frac{c}{\lambda}$ ثابت بلانك $h = 6.63\times10^{-34}\ (J.s)$
❖ كمية حركة الفوتون:

$$p = m.c = \frac{E}{c^2}\times c = \frac{E}{c}$$

$E = mc^2$ | $m = \frac{E}{c^2}$ | $\vec{p} = m\vec{v}$

$$p = \frac{hf}{\lambda f} \Rightarrow p = \frac{h}{\lambda} \qquad p\ (Kg\ m\ s^{-1})$$

❖ تعطى استطاعة موجة كهرطيسية تسقط على سطح: $P = \frac{E}{t} = \frac{NE_{ف}}{1s} \Rightarrow P = Nhf$ استطاعة الضوئية
وحدتها Watt
N عدد الفوتونات الساقطة على سطح الصفيحة في واحدة الزمن

تعليل الفعل الكهرضوئي بالاستناد إلى فرضية أينشتاين:

❖ عندما يسقط فوتون على سطح معدن فإن صادف إلكتروناً حراً يقدم له كامل طاقته، فيمتص الإلكترون الحر طاقة الفوتون:

❖ نعرّف تواتر وطول موجة عتبة الإصدار:

W_s طاقة الانتزاع أصغر طاقة لنزع إلكترون حر من سطح معدنه
λ_s طول موجة عتبة الإصدار: أكبر طول موجة في لنزع إلكترون حر من سطح معدنه
f_s تواتر " " : أصغر تواتر لموجة " " " " "

$$E_s = W_s = E_{ف} = hf_s = h\frac{c}{\lambda_s}$$

نميز وجود ثلاثة احتمالات:

A) إذا كانت طاقة الفوتون أصغر من طاقة الانتزاع: $E_{ف} < W_s \Rightarrow \lambda > \lambda_s \Rightarrow f < f_s$
يكتسب إلكترون طاقة تزيد طاقته الحركية لكن يبقى حبيساً بالشبكة البلورية للمعدن لا يتم الفعل الكهرضوئي

B) إذا كانت طاقة الفوتون مساوية لطاقة الانتزاع: $E_{ف} = W_s \Rightarrow f = f_s \Rightarrow \lambda = \lambda_s$
ينتزع إلكترون من سطح المعدن ولكن بطاقة حركية معدومة $E_K = E_{ف} - W_s = h(f - f_s) = 0$
وبذلك خالف اينشتاين النظرية الموجية التي تعتبر أن الفعل الكهرضوئي لا يتعلق بـ f ولكن بشدة الضوء الوارد

C) إذا كانت طاقة الفوتون أكبر من طاقة الانتزاع: $E_{ف} > W_s \Rightarrow f > f_s$
يكتسب إلكترون طاقة الفوتون يستخدم منها مقدار E_s لمغادرة سطح المعدن ويحمل الباقي على شكل طاقة حركية

$$E_K = E_{ف} - E_s = h(f - f_s)$$

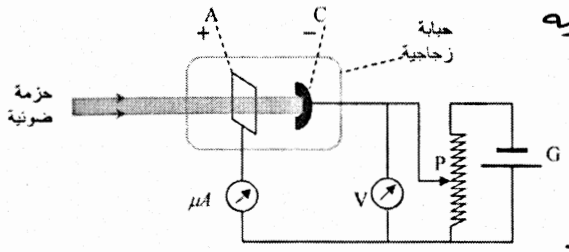
$$E_K = hc\left[\frac{1}{\lambda} - \frac{1}{\lambda_s}\right]$$

أطوال الموجة والتواترات وطاقات الانتزاع التي يتحقق من أجلها الفعل الكهرضوئي

$E < W_s$ — W_s — $E > W_s$ → E
$f < f_s$ — f_s — $f > f_s$ → f
$\lambda > \lambda_s$ — λ_s — $\lambda < \lambda_s$ → λ
الفعل الكهرضوئي غير محقق — الفعل الكهرضوئي محقق

الفوتون الواحد لا يحمل طاقة كافية لانتزاع إلكترون حر لذا E_K لا يتعلق بشدة الضوء
الفعل الكهرضوئي آني أي لا يحتاج الفعل لزمن
لا تتنبأ النظرية الموجية بوجود عتبة الإصدار
لا تتنبأ النظرية الموجية بوجود تواتر عتبة الإصدار

الحجيرة الكهرضوئية وشرط عملها: ١ الخلية الكهرضوئية حبابة زجاجية من الكوارتز



❖ حبابة مخلاة نسبياً ضغط الغاز فيها منخفض تحوي على مسريين:

A) **المهبط الضوئي C:** مسرى معدني يُغطى سطحه بطبقة من معدن قلوي طاقة انتزاع الإلكترون الحر منها صغيرة.

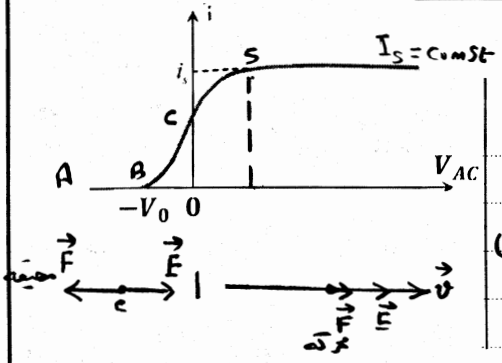
يسقط على المهبط ضوء مناسب وحيد اللون $f \geq f_s \Leftarrow E_\gamma \geq W_s$ يصدر عن المهبط إلكترونات تشكل تيار الحجيرة

B) **المصعد A:** حلقة أو شبكة معدنية.

يجذبها كمون مناسب فتجمع الإلكترونات الصادرة عن المهبط وتمر تيار الحجيرة وتغلق دارة المقوده صمم بين المهبط الضوئي والمصعد

❖ يُطبق بين المهبط والمصعد توتر كهربائي ثابت يقدمه المولد G يمكن تغيير قيمته بواسطة زالق المعدلة P .

❖ نُعرِّض المهبط لحزمة ضوئية وحيدة اللون ونقوم بتغيير موضع مزلق المعدلة P ونقيس عند كل تغيير التوتر المطبق بمقياس الفولط وشدة التيار بمقياس الميكرو أمبير ونرسم الخط البياني الممثل لتغير شدة التيار بدلالة التوتر مع الحفاظ على تواتر الضوء الساقط.



❖ عند تعرض المهبط للحزمة الضوئية تنتزع بعض الإلكترونات من الصفيحة وتملك هذه الإلكترونات طاقة حركية ابتدائية أي سرعة ابتدائية عند مغادرة المهبط الضوئي:

A) إذا كان $\overline{V}_{AC} < V_0$ (حيث V_0 توتر الإيقاف) $U_0 = -V_0$ (A→B) توتر مستمر أو متناوب يمنع الـ e الحرة من الوصول للمصعد السالب : $\vec{F}$ معيقة تعاكس جهة حركة الإلكترون ليصل أي (e) للمصعد السالب تدور تيار الحجيرة (الخلية) الدارة مفتوحة

B) إذا كان $0 \geq \overline{V}_{AC} > V_0$:

❖ $\overline{V}_{AC} < 0$ عندئذ يبقى الإلكترونات طاقة حركية كبيرة توصلها للمصعد السالب متغلبة على المعيقة كلما (U_{AC}) السالب زاد عدد الإلكترونات الواصلة للمصعد فتزداد شدة (i) (B→C)

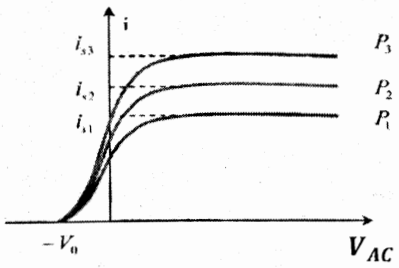
❖ $\overline{V}_{AC} > 0$: $\vec{F} = e\vec{E}$ تتجه $\vec{F}$ نحو المصعد الموجب فتسرع الإلكترونات وكلما زاد $U_{AC} = V_{AC}$ الموجب زاد عدد الإلكترونات الواصلة للمصعد وتزداد شدة تيار الحجيرة C→S

❖ من أجل قيمة معينة لـ $\overline{V}_{AC} > 0$ من أجل U_s تصل جميع الإلكترونات الصادرة عن المهبط إلى المصعد تثبت شدة تيار الخلية وتسمى شدة تيار الاشباع وهي شدة وعظمى

$U_{AC} \geq U_s \Rightarrow I_s = comst$

تأثير الاستطاعة الضوئية على تيار الحجيرة الكهرضوئية:

❖ نغيِّر من قيمة استطاعة الحزمة الضوئية مع الحفاظ على تواتر هذه الحزمة ونرسم الخط البياني الممثل لتغيِّر شدة تيار الحجيرة بتغير قيمة التوتر المطبق على مسريها من أجل كل استطاعة فنلاحظ خطوطاً بيانية متشابهة ونلاحظ أن توتر الإيقاف نفسه:



$E_K - E_K = eU$

$E_K - E_K = eU_0$ $\quad E_K = h(f - f_s) = comst$

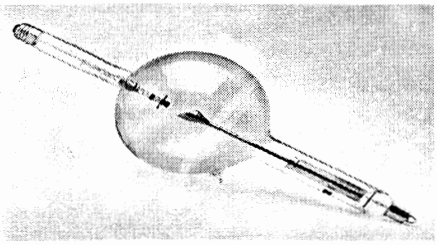
❖ تزداد شدة تيار الإشباع كلما زادت الاستطاعة الضوئية لأن عدد الإلكترونات الحرة المتحررة من المهبط يزداد بازدياد هذه الاستطاعة مما يستدعي زيادة التوتر المطبق للوصول لتيار الإشباع. $P_1 < P_2 < P_3 \Leftarrow i_{S1} < i_{S2} < i_{S3}$

$P = Nhf$ يزداد N عدد الفوتونات الساقطة على المهبط ← يزداد عدد الإلكترونات الصادرة عن المهبط. خلال واحدة الزمن

الأشعة السينية: (X – Rays)

اكتشاف الأشعة السينية: اكتشف العالم رونتجن الأشعة السينية مصادفةً أثناء دراسته للأشعة المهبطية في أنبوب كروكس، فقد لاحظ تولد أشعة قوية ذات قدرة على النفاذ من بعض المواد وتؤثر في لوحات التصوير وتسبب تألقاً لبعض العناصر المعدنية التي تسقط عليها، لكن رونتجن لم يعرف طبيعتها فسماها **(X – Rays)**.

طبيعة الأشعة السينية: أمواج كهرطيسية أطوال موجاتها أقصر بكثير من أطوال الأمواج الضوئية حيث تتراوح بين nm(0.001 / 13.6) وهي تنتشر بسرعة انتشار الضوء فهي تكون ذات طاقة عالية.



«أنبوب كوليدج»

آلية توليد الأشعة السينية: يُستخدم لتوليدها أنبوب كوليدج وهو أنبوب زجاجي مخلى من الهواء تخلية شديدة فالضغط داخله من مرتبة $(10^{-6}mmHg)$ فيه مسريان:

المهبط: سلك يسخن لدرجة التوهج بواسطة تيار كهربائي يحيط به مهبط معدني مقعر يعمل على عكس حزمة الإلكترونات المنبعثة من السلك وتجميعها على الهدف.

المصعد (مقابل المهبط)(الهدف): يُصنع من معدن ثقيل درجة حرارة انصهاره مرتفعة جداً مثل المولبيدين، يوضع بحيث يميل بزاوية (45^0) على محور الأنبوب ويُثبت على اسطوانة نحاسية حجمها كبير متصلة بمبرّد.

- عند تسخين سلك التنغستين تنبعث منه إلكترونات يتم تسريعها بتطبيق توتر عالٍ متواصل U من مرتبة $(10^4 , 10^5)V$ بين المصعد والمهبط.
- تصطدم الإلكترونات المسرعة بذرات الهدف حيث أن جزءاً منها يؤدي إلى انتزاع إلكترونات من الطبقات الداخلية في ذرات الهدف ويبقى مكانه شاغراً، ينتقل أحد إلكترونات الطبقات الأعلى لذرات مادة الهدف بسرعة ليحل في المكان الشاغر ويرافق ذلك إصدار فوتونات ذات طاقة عالية هي الأشعة السينية وتتحول الطاقة الحركية للجزء الآخر من الإلكترونات المسرعة نتيجة اصطدامها بذرات الهدف إلى طاقة حرارية كبيرة في مادة الهدف ترفع حرارته مما يستدعي تبريده.

ملاحظة: لكي تكون X طيفاً مستمراً لابد أن تكون الأشعة السينية الصادرة عن اصطدام الإلكترونات المسرعة بصفيحة الهدف الثاني إذا لم تتوفر لها طاقة كافية لانتزاع إلكترون من الطبقات الداخلية في ذرات الهدف.

استنتاج العلاقة المحددة لأقصر طول موجة لفوتونات الأشعة السينية الصادرة:

عندما تتحول كل الطاقة الحركية للإلكترون إلى أشعة X تكون طاقة الفوتون الصادر

$$E_{max} = E_K \Rightarrow h f_{max} = h \frac{c}{\lambda_{min}} = e U_{AC}$$

(e) شحنة الإلكترون (مقدار ثابت)

التواتر الأعظمي للأشعة السينية الصادرة $f_{max} = \frac{e U_{AC}}{h}$

طول الموجة الأصغري $\lambda_{min} = \frac{hc}{e U_{AC}}$

λ_{min} و f_{max} يتعلقان بـ U_{AC} فرق الكمون الكهربائي المطبق على طرفي الأنبوب

خواص الأشعة السينية:

1) تصدر عن ذرات العناصر الثقيلة ذات العدد الذري الكبير نسبياً بعد إثارتها بطريقة مناسبة.

تنتج بطريقة مناسبة (إسقاط إلكترونات عليها) أو سحب الإلكترونات المرتبطة بها بالحدي

2) تشبه الضوء المرئي:

(تستقطب)

هي مثل الضوء المرئي تنتشر على خطوط مستقيمة، تنكسر، تتداخل، تنعرج، تنتشر سرعة الضوء في الخلاء هي أمواج كهرطيسية تواتج مؤثرة عليها طاقة لها أطوال موجاتها أقصر بكثير من أطوال موجات الضوء المرئي هي ذات طاقة عالية جداً، ولها طبيعة مزدوجة الضوء ولها خاصية $\lambda_{ضوئي} \gg \lambda_{أشعة X}$

3) لا تمتلك شحنة كهربائية:

كونها أمواج كهرطيسية تواكب فوتونات هي لا تتأثر بالحقلين الكهربائي $\vec{E}$ والمغناطيسي $\vec{B}$

$\vec{E}$ يؤثر بالشحنات الكهربائية الساكنة والمتحركة $\vec{F}=q\vec{E}$

$\vec{B}$ يؤثر بالشحنات الكهربائية المتحركة فقط $\vec{F}=q\vec{v}\wedge\vec{B}$ | لأشعة X $q=0$

4) تسبب تألق بعض المواد عندما تسقط عليها: لذرتها مقدرة على إثارة ذرات هذه المواد

تؤثر في أفلام التصوير.

إثارة الذرات تنقل الإلكترونات في الذرات من سويات طاقية أدنى لسويات طاقية أعلى عند العودة يصدر هذه الذرات ضوء $E_2-E_1=hf$

5) تتوقف قابلية امتصاصها ونفوذها على ثلاثة عوامل:

A) ثخن المادة: تزداد شبة الأشعة الممتصة وتقل شبة الأشعة الصادرة كلما ازداد ثخن المادة

B) كثافة المادة: تزداد شبة الأشعة الممتصة بازدياد كثافة المادة (رصاص، ذهب، عظم)

تعتمد شبة الأشعة الممتصة بتقصان كثافة المادة (خشب، لحم، بلاستيك) يستخدم هذا في تشخيص الكسور

C) طاقة الأشعة: $E=h\frac{c}{\lambda}=hf=eU_{AC}$ طاقة تتعلق بـ U_{AC} المطبق على أنبوب توليدها

* الأشعة السينية $1nm<\lambda<13.6\,nm$ $1n=10^{-9}(m)$ نانومتر

λ كبيرة نسبياً: طاقة الأشعة منخفضة نسبياً، ممتصة كبير، نفوذها ضعيف

* الأشعة الغاما: $10^{-3}nm<\lambda<1nm$

λ صغيرة: طاقة هائلة (عالية)، ممتصة قليل، نفوذها كبير

6) تؤثر في الأنسجة الحية: تخرب الأنسجة الحية عند التعرض المستمر لهذه الأشعة تخرج وتقتل الخلايا الحية وتحدث تغيرات وتشوهات للذرية التي يرثها الأبناء في تركيب النوع من آثارها إصابة الأطفال

7) تؤين الغازات: كون (λ) الأشعة السينية قصيرة جداً فإن طاقة فوتوناتها كبيرة تكفي لتأيين غاز بكثرة التأيين تحويل ذرات الغاز لأيونات موجبة والإلكترونات

استخدام الأشعة السينية:

تستخدم في مجالات مختلفة منها:

1) **المجال الطبي:** في الكشف عن كسور العظام وتشوهاتها والأجسام الغريبة في الجسم وأمراض الرئة ومعالجة الأورام السرطانية وتعقيم المعدات الطبية.

2) **المجال الصناعي:** في الكشف عن العيوب في المواد المصنعة كوجود فجوات وشوائب.

3) **المجال الزراعي:** في مكافحة بعض الحشرات الوبائية بتعريضها لجرعات مناسبة تسبب عقم ذكورها.

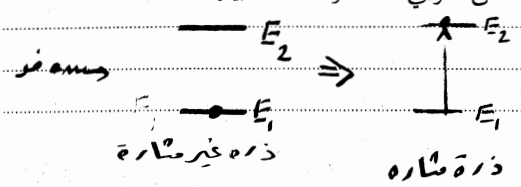
4) **المجال العلمي:** دراسة البنية البلورية لتحديد أبعادها وترتيب ذراتها وفي دراسة الجزيئات والمركبات.

5) **المجال الأمني:** في الكشف عن الأسلحة والمجوهرات والمواد المتفجرة داخل حقائب المسافرين.

«أشعة الليزر»

امتصاص الضوء:

❖ تمتص الذرات الضوء عندما ترد عليها حزمة ضوئية بشرط أن تحتوي كل ذرة من ذرات المادة على سويتي طاقة فرق الطاقة بينهما:



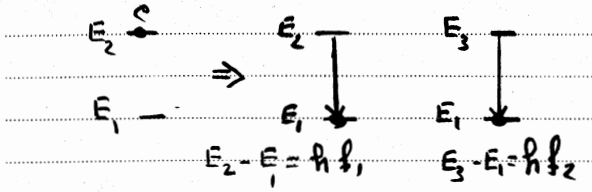
عندما الذرة فوتون فيمتص (ج) سويه طاقيه أدنى لسويه طاقيه أعلى (مه E_2 إلى E_1) طاقة الفوتون المحتص فرق الطاقة بين السويتين $\Delta E = E_2 - E_1 = hf = E_{ف}$

العمليّات التلقائية والمستحثّة:

الإصدار التلقائي:

❖ في الذرة المثارة يمكن أن ينتقل إلكترون الذرة من سوية الطاقة الأعلى إلى سوية طاقة أدنى مما يؤدي إلى إصدار فوتون نسمي هذا الإصدار تلقائياً

❖ كل ذرة من ذرات الوسط تصدر فوتوناً بشكل مستقل عن الذرات الأخرى فيكون اتجاه الإصدار التلقائي عشوائياً كما أن فرق الطور بين الموجتين الكهرطيسيتين الموافقتين لفوتونين غير ثابت أي أن الفوتونات غير مترابطة .



$f \neq const$ $\varphi \neq const$ فرق الطور بين الموجتين الكهرطيسيتين الصادرة غير ثابت

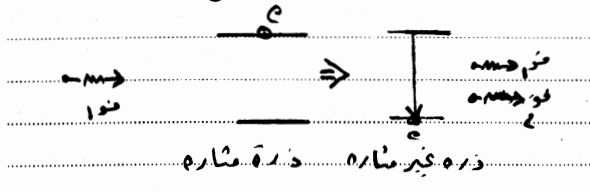
$\Delta E = hf_1 \text{ أو } hf_2 \text{ أو } hf_3 \ldots$

الإصدار المحثوث:

❖ يحدث الإصدار المحثوث عند تعرض الذرة المثارة لحزمة ضوئية يحقق تواترها f العلاقة $E_2 - E_1 = \Delta E = hf$ فرق الطاقة بين السوية المستقرة والسوية المثارة

f_1 تواتر الفوتون الوارد

❖ وفي هذه الحالة يؤدي مرور فوتون الحزمة الضوئية بجوار الذرة المثارة إلى انتقال إلكترون إلى السوية الأساسية فيصدر فوتون يتمتع بالخواص الآتية:

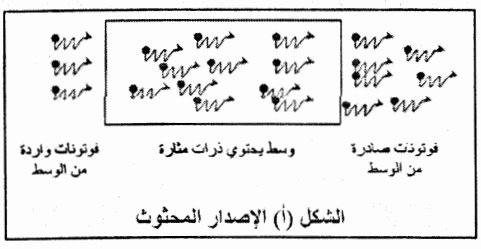


* $f_2 = f_1$ تواتر الفوتون الصادر يساوي تواتر الفوتون الوارد
* $\varphi_2 = \varphi_1$ الفوتونات متفقان بالطور
* الفوتونان الوارد والصادر لهما جهة الحركة نفسها
* الفوتونان متماسكان زمانياً $E_2 - E_1 = hf = hf_1 = hf_2$ مكانياً $\varphi_1 = \varphi_2$

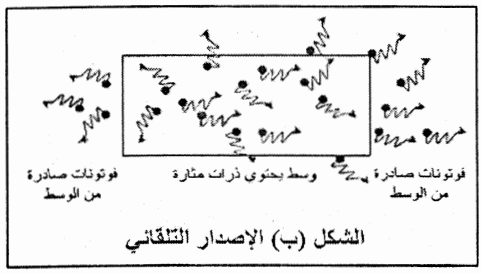
❖ يستند عمل الليزر إلى ظاهرة الإصدار المحثوث.

الفرق بين الإصدار المحثوث والإصدار التلقائي:

الإصدار التلقائي	الإصدار المحثوث
• يحدث بوجود حزمة ضوئية على الذرات المثارة أو بعدم وجودها ويحدث لكل الجهات • الفوتونات الصادرة غير مترابطة أي (...) تختلف بالتواتر وبالتالي بالطاقة $\Delta E = hf \neq const$ تختلف بالطور وبالتالي للفوتونات مسارات وجهات تختلف الشكل (ب)	• يحدث فقط عند تعرض الذرات المثارة لحزمة ضوئية تواترها يحقق $\Delta E = E_2 - E_1 = hf$ فرق الطاقة بين السوية المستقرة والمثارة الفوتونات الواردة الصادرة متماسكة لها التواتر نفسه (الطاقة نفسها) لها الطور نفسه لها جهة الحركة نفسها الشكل (أ)



الشكل (أ) الإصدار المحثوث



الشكل (ب) الإصدار التلقائي

مكونات جهاز الليزر:

1) الوسط المضخم: المادة الفعالة المصدرة لأشعة الليزر

❖ تكون للذرة سوية أساسية وسوية مثارة فرق الطاقة بينهما $\Delta E = hf$ تكون بعض هذه الذرات في السوية الأساسية وعددها N وعدد الذرات في السويات المثارة N^* .

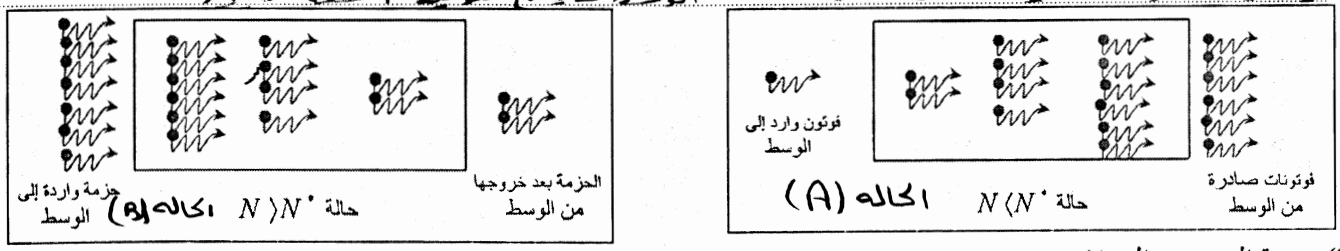
❖ إذا عبرت حزمة ضوئية تتمتع بتواتر f فإن امتصاص الفوتونات يتناسب طرداً مع N بينما إصدار الفوتونات بالإصدار المحثوث يتناسب طرداً مع N^*

❖ إذا كان: $N^* > N$: الحالة (A)

عدد الفوتونات الصادرة عن الإصدار المحثوث أكبر من عدد الفوتونات التي تم امتصاصها : تزداد شدة الحزمة الضوئية عند عبورها الوسط : الوسط مضخم يصلح لتوليد أشعة الليزر

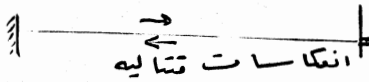
❖ إذا كان: $N^* < N$ الحالة (B)

الوسط ماص : تنقص شدة الحزمة الضوئية عند عبورها الوسط يصلح لتوليد أشعة الليزر



2) حجرة التضخيم (المرنان):

تتألف من مرآتين إحداهما كاملة العاكسية والأخرى جزئية العاكسية بحيث نضع الوسط المضخم الذي يقوم بالإصدار بين المرآتين فتحدث عدة انعكاسات بين المرآتين حيث تمر الحزمة في الوسط المضخم مرات عديدة وفق المنحى نفسه فتحدث إصدارات محثوثة جديدة فنحصل على حزمة ضوئية كثيفة فوتوناتها متفقة بالتواتر والطور الابتدائي فتكون طاقة الحزمة طاقة كبيرة. أشعة الليزر هي



3) جملة الضخ:

❖ إن الإصدار المحثوث يعيد الذرات إلى السوية الأساسية فلضمان تحقق الشرط $N^* > N$ أي لبقاء الوسط مضخماً لابد من مؤثر خارجي يقوم بتقديم الطاقة إلى الوسط المضخم أي إثارة الذرات وتعويض انتقال الذرات إلى الطاقة الأساسية.

❖ توجد عدة طرائق للضخ منها:

A) الانفراغ الكهربائي: وذلك في أنبوب انفراغ. الليزرات الغازية وليزر هليوم نيون

B) الضخ الضوئي: باستخدام منبع ضوئي مثل لمبة الكزينون أو ليزر آخر. الليزر الياقوتي

ضخ كيميائي تفاعل كيميائي بين مكونات الوسط

خواص حزمة أشعة الليزر:

1) حزمة ضوئية وحيدة اللون لفوتوناتها التواتر نفسه وبالتالي الطاقة نفسها $f = const \Rightarrow E = hf = const$

2) ترابطها بالطور : الفوتونات الصادرة لها نفس طور الفوتونات الواردة (الحاثة) مما يجعل الفوتونات متماسكة $\varphi = const$

3) انفراج حزمة الليزر صغير : لدينا وسع مقطع الحزمة كثيراً عند الابتعاد عن منبع الليزر تعني حزمة ضوئية لمسافات طويلة تستخدم بدقة القياس وتطبيقات الشوارع وخطوط نقل الماء والنفط

أشعة الليزر : أشعة كهرطيسية موجات كهرطيسية فوتوناتها عالية الطاقة متساوية بالتواتر متفقة بالطور والاتجاه هي حزمة ضوئية متماسكة جداً طاقتها عالية جداً تشابه فوتوناتها لها نفس حزمة ضوئية جداً

أنواع أجهزة الليزر:

1) الليزرات الغازية: يكون الوسط المضخم غازياً مثل: ليزر هليوم نيون.

يستخدم بالمخابر طول موجة أشعته $\lambda = 0.6328 (\mu m)$ يستخدم في الاستقراء الكهربائي لدراسة الذرات

2) الليزرات الصلبة:

الوسط المضخم مادة نصف ناقلة يستخدم بالاتصالات

3) الليزرات الكيميائية السائلة

الوسط الفعال كلوريد الألمنيوم $(AlCl_3)$ المذاب في الكحول البروبيلي

4) الليزر الياقوتي:

المادة الفعالة (الوسط الفعال) مادة الياقوت

استخدامات الليزر: استخدامات صناعية وطبية وبيئية وعسكرية.

«المسائل»

نعتبر في كامل مسائل الإلكترونيات:

القيمة المطلقة لشحنة الإلكترون: $e = 1.6\times10^{-19}\ C$ / كتلة الإلكترون: $m_e = 9\times10^{-31}kg$ / سرعة الضوء في الخلاء: $C = 3\times10^{8}ms^{-1}$

(ثابت بلانك $h = 6.63\times10^{-34}Js$) **نهمل قوة ثقل الإلكترون باعتبارها صغيرة جداً أمام القوة الكهربائية التي يخضع لها**

المسألة الأولى: مكثفة مستوية عازلها الخلاء لبوساها شاقوليان البعد بينهما **(2cm)** فرق الكمون الثابت المطبق عليهما **(180V)** ندخل إلكتروناً ساكناً من نافذة في اللبوس السالب فيخرج من نافذة مقابلة باللبوس الموجب.

[1] احسب شدة شعاع الحقل الكهربائي المتولد بين لبوسي المكثفة، بماذا يوصف هذا الشعاع ؟

[2] احسب شدة شعاع القوة الكهربائية التي يخضع لها الإلكترون أثناء حركته بين اللبوسين. ما صفة هذا الشعاع ؟

[3] ادرس حركة الإلكترون واستنتج العلاقة المحددة لقيمة تسارع الإلكترون داخل الحقل.

[4] استنتج العلاقة المحددة لسرعة الإلكترون عندما يغادر الحقل بين اللبوسين واحسب هذه السرعة.

[5] استنتج العلاقة المحددة لسرعة الإلكترون عندما يغادر الحقل بين اللبوسين باستخدام نظرية الطاقة الحركية.

المسألة الثانية: يبدأ إلكترون حركته بسرعة مهملة من فتحة في اللبوس السالب لمكثّفة مستوية عازلها الخلاء البعد بين لبوسيها **(d=1Cm)** وفرق الكمون الثابت المطبّق على لبوسيها **(U=720V)** احسب سرعة الإلكترون لحظة خروجه من فتحة مقابلة باللبوس الموجب واحسب تسارعه داخل الحقل بين اللبوسين ما اسم هذا الحقل وما صفته ؟

المسألة الثالثة: يقذف سطح معدن بحزمة من الجسيمات ذات طاقة كافية فيغادر الإلكترون سطح المعدن بطاقة حركيّة **($E_K=10^{-18}J$)** فإذا علمت أنّ طاقة الانتزاع للإلكترون من سطح المعدن **($W_S=3ev$)** احسب طاقة الجسيم الساقط على سطح المعدن وإذا كانت شدّة التيّار داخل أنبوب الانفراغ الذي يحوي سطح المعدن **($I=4.8\times10^{-10}A$)** أوجد عدد الإلكترونات في أنبوب الانفراغ في واحدة الزمن.

المسألة الرابعة: نولّد حزمة من الإلكترونات أفقية نعدها متجانسة سرعتها **($4\times10^{7}ms^{-1}$)** في الخلاء، ونجعلها تدخل بين لبوسي مكثفة مستوية أفقية يبعدان عن بعضهما **(2cm)** وطول كل منهما **(10cm)** وفرق الكمون بينهما **(900V)**.

[1] احسب شدة الحقل الكهربائي المنتظم بين لبوسي المكثفة.

[2] احسب شدة القوة الكهربائية التي يخضع لها إلكترون من الحزمة.

[3] ادرس حركة إلكترون من الحزمة بين لبوسي المكثفة واستنتج بالرموز العلاقة المحددة لمعادلة حامل مساره ثم أوجد معادلة حامل المسار بمعطيات المسألة.

[4] احسب زمن تواجد الإلكترون داخل منطقة الحقل الكهربائي واحسب تسارع الإلكترون أثناء تواجده ضمن هذه المنطقة.

[5] احسب شدة الحقل المغناطيسي المعامد للحقل الكهربائي المتولد بين لبوسي المكثفة الذي يجعل الإلكترون يتحرك بحركة مستقيمة منتظمة.

المسألة الخامسة: تبلغ شدة التيار في أنبوب توليد الأشعة المهبطية **($8\times10^{-3}A$)** عندما يكون فرق الكمون الثابت بين المهبط والمصعد **(180V)** :

[1] بيّن طبيعة الأشعة المهبطية واذكر شرطي توليدها وبيّن مصدر الإلكترونات فيها.

[2] احسب عدد الإلكترونات الواصلة للمصعد في كل ثانية.

[3] استنتج العلاقة المحددة لقيمة سرعة أحد هذه الإلكترونات لحظة وصوله المصعد باعتبار أنه قد ترك المهبط بدون سرعة ابتدائية واحسب قيمة هذه السرعة واحسب الطاقة الحركية للإلكترون لحظة وصوله المصعد.

[4] احسب الطاقة الحرارية الناتجة عن تحول كامل الطاقة الحركية للإلكترونات التي تصدم المصعد خلال دقيقة.

المسألة السادسة: بفرض نصف قطر الإلكترون على مداره في ذرّة الهيدروجين $(r=0.53\times10^{-10}m)$.

[1] احسب قوّة التجاذب الكهربائي بين البروتون والإلكترون وعلّل إهمال قوّة التجاذب الكتلي بينهما أمام هذه القوّة.

[2] احسب سرعة دوران الإلكترون الخطيّة على مداره واحسب تواتر حركة الإلكترون.

المسألة السابعة: احسب الطاقة المتحرّرة وتواتر الإشعاع الصادر وطول موجته عندما يهبط الإلكترون من السويّة الثالثة ذات الطاقة $(E_3 = -1.51ev)$ إلى السويّة الثانية ذات الطاقة $(E_2 = -3.4ev)$.

المسألة الثامنة: تبلغ الطاقة الحركيّة لحزمة الإلكترونات المنتزعة من معدن $(9.6\times10^{-14}j)$ وهي تكافئ تيّاراً متواصلاً شدّته $(16\times10^{-6}A)$.

[1] احسب سرعة أحد الإلكترونات في هذه الحزمة.

[2] تصطدم هذه الحزمة بصفيحة معدنيّة، احسب عدد الإلكترونات التي تصل الصفيحة في الثانية الواحدة.

[3] احسب الطاقة الحراريّة المنتشرة خلال دقيقة واحدة عند تحوّل كل الطاقة الحركيّة للإلكترونات إلى طاقة حراريّة عند صدمها الصفيحة.

المسألة التاسعة: حجيرة كهرضوئية طاقة انتزاع الإلكترون الحر من طبقتها الحساسة $(E_d = 32\times10^{-20}J)$ وعند إسقاط ضوء وحيد اللون على هذه الطبقة تكون الطاقة الحركية العظمى للإلكترون لحظة مغادرته الطبقة الحساسة $(34\times10^{-20}J)$.

[1] احسب طاقة الفوتون للأشعة الضوئية الساقطة واحسب تواتر هذا الإشعاع واحسب طول موجته.

[2] استنتج العلاقة المحددة لشدة شعاع كمية حركة الفوتون. واحسب هذه الشدة.

[3] احسب قيمة كمون الانتزاع واستنتج واحسب قيمة كمون الإيقاف (توتر الإيقاف).

المسألة العاشرة: حجيرة كهرضوئية طاقة انتزاع الإلكترون الحر من مهبطها الضوئي $(E_d = 33\times10^{-20}J)$.

[1] Ⓐ احسب تواتر عتبة الإصدار وطول موجة عتبة الإصدار وقدّر طاقة الانتزاع بوحدة (eV).

Ⓑ احسب سرعة الإلكترون لحظة وصوله للمصعد في هذه الحالة وباعتبار فرق الكمون المطبّق على مسربي الحجيرة (45V) واحسب في هذه الحالة عدد الإلكترونات الواصلة للمصعد خلال (5s) بفرض شدة تيار الإشباع $(1.6\times10^{-6}A)$.

[2] يضيء منبع وحيد اللون طول موجته $(0.5\times10^{-6}m)$ مهبط هذه الحجيرة

Ⓐ احسب الطاقة الحركية العظمى للإلكترون لحظة انتزاعه من المهبط.

Ⓑ احسب الطاقة الحركية للإلكترون لحظة وصوله إلى المصعد بفرض فرق الكمون بين مسربي الحجيرة (5V).

المسألة الحادية عشرة: إذا كانت طاقة الانتزاع لمعدن الألمنيوم (3.4eV):

[1] إذا كان المعدن نفسه يُشكل مهبطاً لحجيرة كهرضوئية، ما هو الشرط الذي يجب أن يحققه طول موجة الضوء وحيد اللون لكي تعمل الحجيرة ؟

[2] تسقط حزمة ضوئية تواترها $(10^{15}Hz)$ على المهبط احسب الطاقة الحركية التي يغادر بها الإلكترون المنتزع من سطح المعدن واحسب سرعة هذا الإلكترون حينئذٍ.

[3] احسب عدد الإلكترونات الصادرة عن مهبط الحجيرة في ثانية واحدة إذا كانت شدة تيار الإشباع في الحجيرة $(8\times10^{-8}A)$.

المسألة الثانية عشرة: في إحدى تجارب الفعل الكهرضوئي كانت الطاقة الحركية العظمى للإلكترون المنتزع $(3\times10^{-20}J)$ عند استخدام ضوء طول موجته $(0.6\times10^{-6}m)$ وعند استبداله بضوء آخر طول موجته $(0.5\times10^{-6}m)$ في التجربة نفسها كانت الطاقة الحركية العظمى للإلكترون المنتزع $(9.6\times10^{-20}J)$.

[1] استنتج قيمة ثابت بلانك في الإشعاع.

[2] احسب طاقة انتزاع الإلكترون من الطبقة الحساسة.

المسألة الثالثة عشرة:

[1] إذا كان أكبر طول موجة يلزم لانتزاع الإلكترون من سطح معدن في حجيرة كهرضوئية يساوي **($6600A^{o}$)**.

Ⓐ احسب الطاقة اللازمة لانتزاع الإلكترون من سطح المعدن وقدّر هذه الطاقة بواحدة **(eV)**.

Ⓑ نطبق على المسريين فرقاً بالكمون ثابتاً قيمته **(90V)** استنتج العلاقة المحددة لقيمة سرعة الإلكترون لحظة وصوله المصعد واحسب هذه القيمة.

[2] يُضاء سطح المعدن بضوء وحيد اللون طول موجته **($4400A^{o}$)**:

Ⓐ احسب الطاقة الحركية العظمى للإلكترون لحظة مغادرته مهبط الحجيرة.

Ⓑ استنتج العلاقة المحددة لشدة شعاع كمية حركة الفوتون الوارد واحسب هذه الشدة.

Ⓒ استنتج العلاقة المحددة لقيمة كمون الإيقاف واحسب هذه القيمة.

المسألة الرابعة عشرة: يعمل أنبوب لتوليد الأشعة السينية بفرق كمون **($U=8\times10^{4}V$)**:

[1] استنتج بالرموز ثم احسب قيمة الطاقة الحركية لأحد الإلكترونات لحظة وصوله لمقابل المهبط واحسب سرعته حينئذٍ.

[2] استنتج بالرموز قيمة التواتر الأعظمي وقيمة طول الموجة الأصغري الموافق للأشعة السينية الصادرة واحسب هاتين القيمتين واحسب طاقة فوتون هذه الأشعة.

المسألة الخامسة عشرة: أشعة سينية تواترها الأعظمي **($3\times10^{18}Hz$)** تصدر عن أنبوب توليد الأشعة السينية بإهمال سرعة الإلكترون لحظة مغادرته المهبط.

[1] بيّن طبيعة الأشعة السينية وعلل عدم تأثرها بكلٍ من الحقلين الكهربائي والمغناطيسي وهل ينطبق هذا التأثير على الأشعة المهبطية.

[2] احسب طول الموجة الأصغري للأشعة السينية الصادرة.

[3] استنتج بالرموز العلاقة المحددة لقيمة فرق الكمون بين المصعد والمهبط واحسب هذه القيمة.

[4] احسب سرعة الإلكترون لحظة اصطدامه بمقابل المهبط (الهدف).

المسألة السادسة عشرة: تتألف ذرة الهيدروجين من بروتون وإلكترون.

[1] احسب قوة الجذب الكتلي للبروتون المؤثرة في الإلكترون وقوة الجذب الكهربائي التي تجذب بها النواة الإلكترون علماً أن المسافة بين الإلكترون والبروتون **($a = 5.9\times10^{-11}m$)** ماذا تستنتج من هذا الحساب ؟

[2] ما قيمة طاقة الإلكترون في السوية الأساسية **(n = 1)** ؟ وما قيمة طاقة الإلكترون في سوية الطاقة المثارة الأولى **(n = 2)** ؟

[3] ارسم مخططاً لطاقة السويات الأربع الأولى وما قيمة طاقة الإلكترون عندما يصبح باللانهاية بالنسبة للنواة ؟

[4] احسب طاقة الفوتون الصادر عندما يهبط الإلكترون من سوية الطاقة المثارة الأولى إلى السوية الأساسية.

[5] يتواجد الإلكترون في سوية الطاقة الأساسية وتمتص الذرة فوتوناً تواتر الموجه الكهرطيسية المواكبة له **($2.91\times10^{15}Hz$)**

احسب الرقم **(n)** للسوية التي يتواجد فيها الإلكترون في الذرة بعد الامتصاص.

(ثابت الجذب الكهربائي **$k = 9\times10^{9}Nm^{2}.C^{-2}$** أو **$(k = 9\times10^{9}m.F^{-1})$**

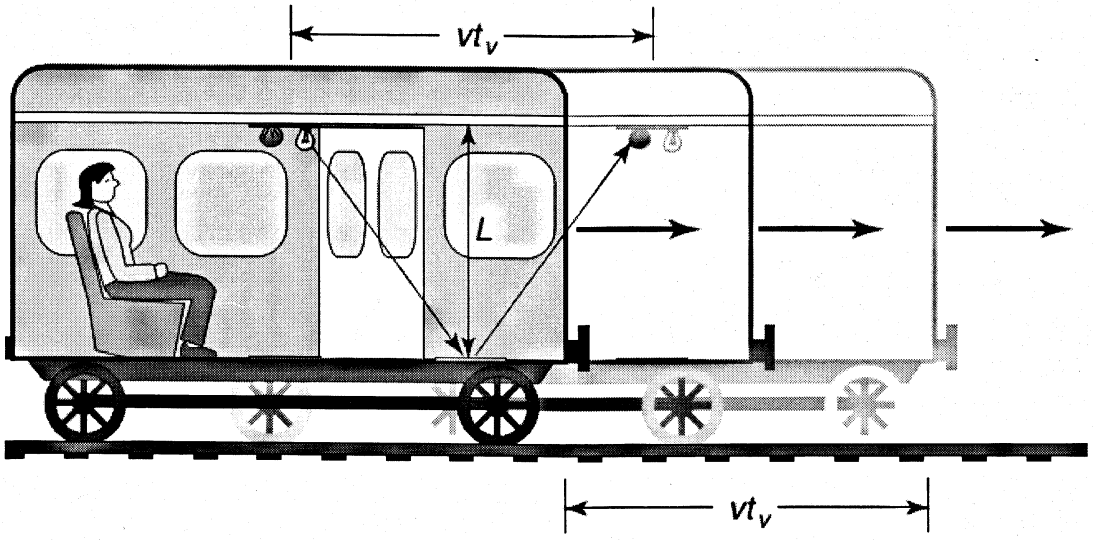
(ثابت الجاذبية العام **$G = 6.67\times10^{-11}m^{3}.kg^{-1}.s^{-2}$**)

(كتلة البروتون **$m_P = 1.67\times10^{-27}kg$**)

ثانوية عادة
ALSAADE SCHOOL

«أوراق عمل في النسبية»

للصف الثالث الثانوي العلمي



توزع مجاناً على طلاب ثانوية السعادة – يمنع بيعها وتصويرها –

www.saadeschool.com

دمشق ا قنوات ◘ هاتف 2219877 (11) 963+/ 44680200 (11) 963+ ◘ فاكس 44680203 (11) 963+ ◘ info@saadeschool.com

أوراق عمل في النسبيّة الخاصة

مقدّمة

- الكثير من المقادير الفيزيائيّة مقادير نسبيّة تختلف قيمها باختلاف جملة المقارنة وهذا ينطبق على الطول والكتلة حيث يختلفان باختلاف الزمن.
- السرعة مفهوم نسبي يختلف باختلاف جملة المقارنة:

يُطلق شخص متحرك سماً بجهة مركبة سرعه $\vec{v_1}$ هي سرعه بالنسبه له وشخص متحرك بسرعه $\vec{v_2}$ أما بالنسبة لشخص ثالث واقف على الطريق فالسرعه بالنسبه له هي $(\vec{v_1}+\vec{v_2})$ فالراكب في جسم متحرك والآخر على الأرض

- سرعة انتشار الضوء ثابتة في الوسط نفسه مهما اختلفت سرعة المنبع الضوئي أو سرعة المراقب.

$c = 3\times10^8 (m.s^{-1})$ سرعة انتشار الضوء بالخلاء ثابته لا علاقة لا بسرعة المنبع الضوئي ولا علاقة لا بسرعة المراقب

فرضيّتا آينشتاين في النسبيّة الخاصة

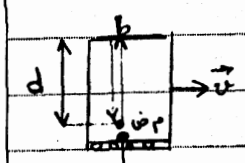
الفرضيّة الأولى: سرعة انتشار الضوء في الخلاء $c=3\times10^8 (m.s^{-1})$ ثابتة في جميع جمل المقارنة.

الفرضيّة الثانية: القوانين الفيزيائيه تبقى نفسها في جميع جمل المقارنة المطلقية

تمدّد الزمن

يسير قطار بسرعة أفقيّة ثابتة $(\vec{v})$ مثبّت على سقف إحدى عرباته مرآة مستوية أفقيّة ترتفع عن منبع ضوئي مسافة (d)

المراقب الساكن داخل العربة يسجّل الزمن (t_0) زمن إرسال وعودة الومضة الضوئيّة إلى المنبع حيث يقطع الفوتون المواكب للموجة الضوئيّة المسافة (d) ذهاباً وإياباً.



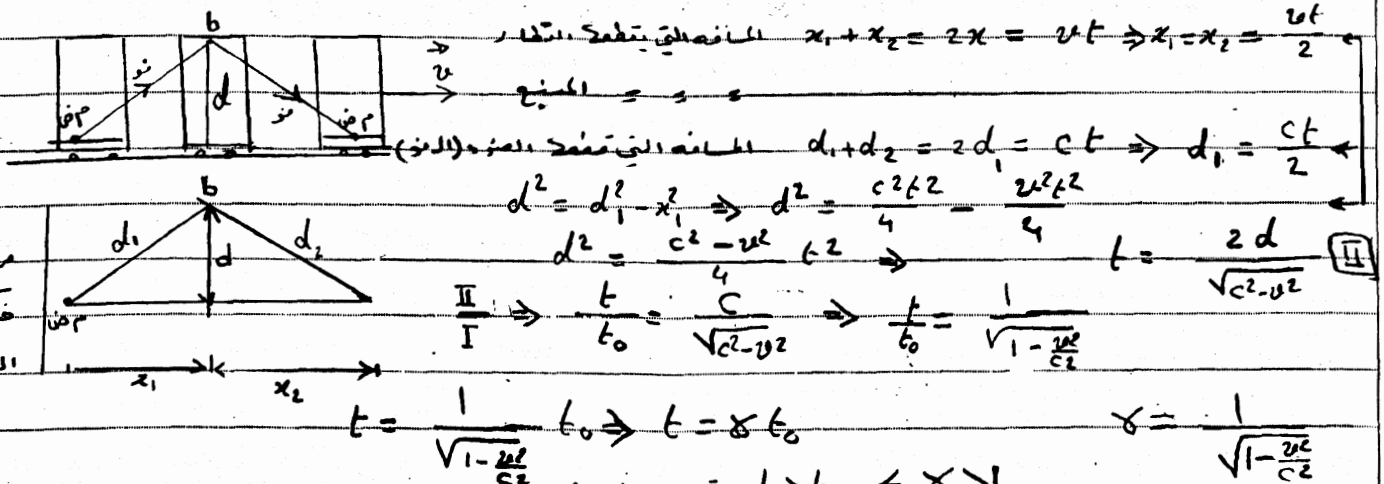
t_0 الزمن الفاصل بين لحظة ارسال الومضة ولحظة عودتها للمنبع

$d+d = c\times t_0 \Rightarrow 2d = ct_0$

$t_0 = \frac{2d}{c}$ (I)

c سرعة الضوء في الخلاء

المراقب الساكن خارج القطار يقطع الفوتون المواكب للموجة الضوئيّة المسافة (d_1+d_2) خلال الزمن (t)



$x_1+x_2 = 2x = vt \Rightarrow x_1 = x_2 = \frac{vt}{2}$ المسافة التي يقطعها القطار

$d_1+d_2 = 2d_1 = ct \Rightarrow d_1 = \frac{ct}{2}$ المسافة التي يقطعها الضوء (الومضة)

$d^2 = d_1^2 - x_1^2 \Rightarrow d^2 = \frac{c^2t^2}{4} - \frac{v^2t^2}{4}$

$d^2 = \frac{c^2-v^2}{4}t^2 \Rightarrow t = \frac{2d}{\sqrt{c^2-v^2}}$ (II)

$\frac{II}{I} \Rightarrow \frac{t}{t_0} = \frac{c}{\sqrt{c^2-v^2}} \Rightarrow \frac{t}{t_0} = \frac{1}{\sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}}}$

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

$t = \frac{1}{\sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}}}t_0 \Rightarrow t = \gamma t_0$

$\gamma > 1 \Leftarrow t > t_0$ يتمدد الزمن

تطبيق مفارقة التوأمان

الأول يبقى على الأرض والثاني يطير بسرعة $v = \sqrt{\frac{899}{30}}c$ وهو مراقب داخلي زمن رحلته سنة $(t_0 = 1 year)$ $t_0 = 1$

الثاني التوأم الثاني مراقب خارجي يبقى على الأرض يسجل زمنه (t) عند ذهابه وعودته

$t = \gamma t_0$

$\gamma = \frac{1}{\sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}}} = \frac{1}{\sqrt{1-\frac{899}{900}}} = \frac{1}{\sqrt{\frac{900}{900}-\frac{899}{900}}} = \frac{1}{\sqrt{\frac{1}{900}}} = 30$

$t = 1\times t_0 = 30 year$

$t_0 = 1$ سنة $\quad t = 30$ سنة

انتظر (30) عام حتى تستعيد أخيك التي استغرقت الرحلة عام واحد

أوراق عمل في النسبيّة الخاصة

تقلّص الطول

مركبة فضائية متحركة بسرعة ثابتة $\vec{v}$ تتحرك بالنسبة لراصد على الأرض فتقطع المركبة بين الأرض والشمس مسافة L_0 خلال الزمن t $(L_0 = vt)$ t زمن الرحلة الذي سجله الراصد الأرضي

أما بالنسبة لراصد داخل المركبة يكون زمن الرحلة t_0 والمسافة التي تقطعها المركبة $(L = vt_0)$

$$\frac{L}{L_0} = \frac{vt_0}{vt} = \frac{t_0}{t} = \frac{1}{\gamma} \Rightarrow L = \frac{L_0}{\gamma} \qquad L_0 > L \Leftarrow \gamma > 1 \Leftarrow t > t_0$$

L طول المركبة أثناء قطعها المسافة بينما يقيس راصد على الأرض (t) أقصر من المسافات L_0 التي يقيسها الراصد الأرضي (t_0)

المسافات تتناسب مع الأطوال بالنسبة للراصد الأرضي

تطبيق السارية والحجرة

روبوتاً رياضياً يحمل سارية افقية طولها $(L_0 = 10\,m)$ يتحرك بسرعة ثابتة $(v = 0.6c\ m/s)$ هل يستطيع العبور بحجرة عرضها $(Z = 9\,m)$ وهو متحرك بهذه السرعة وفق حالة السارية؟

يتحكم الراصد الأرضي بفتح وغلق بابها الامامي والخلفي آنياً

$$\gamma = \frac{1}{\sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}}} = \frac{1}{\sqrt{1-\frac{0.36c^2}{c^2}}} = \frac{1}{\sqrt{0.64}} = \frac{1}{0.8}$$

طول المركبة أثناء حركته $L < Z$ يستطيع العبور بأمان

$$L = \frac{L_0}{\gamma} = \frac{10}{\frac{1}{0.8}} \Rightarrow L = 8\,(m) \qquad L_0 = 10\,(m)$$

تكافؤ الكتلة والطاقة

(m_0) الكتلة السكونيّة وهي الكتلة الثابتة للميكانيك الكلاسيكي. مهما ازداد $\vec{v}$ بالنسبة لـ $\vec{c}$

(m) الكتلة بالميكانيك النسبي. تزداد مهما ازدادت سرعات كبيرة $\vec{v}$ بالنسبة لـ $\vec{c}$ [في البداية: مهما]

العلاقة بين الكتلتين $(m = \gamma m_0)$

m الكتلة عند الحركة — m تزداد

m_0 الكتلة عند السكون

$$m = \frac{m_0}{\sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}}} \Leftarrow \text{مهما تزداد}$$

$$\Delta m = m - m_0 = \gamma m_0 - m_0$$

$$\Delta m = m_0[\gamma - 1]$$

دستور التقريب: $\varepsilon \ll 1$ ، $(1+\varepsilon)^n \approx 1 + n\varepsilon$

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

$$\gamma = \left(1-\frac{v^2}{c^2}\right)^{-\frac{1}{2}}$$

$$\gamma = 1 + \frac{v^2}{2c^2}$$

$$\Delta m = m_0\left[1 + \frac{v^2}{2c^2} - 1\right] = m_0\frac{v^2}{2c^2}$$

$$\Delta m = \frac{\frac{1}{2}m_0v^2}{c^2} = \frac{E_K}{c^2}$$

Δm تكافئ $\frac{E_K}{c^2}$ ؛ الكتلة تكافئ الطاقة

$E = mc^2$ الطاقة الكلية في الميكانيك النسبي

$E_0 = m_0c^2$ الطاقة السكونية (الجسم ساكن)

$E_K = E - E_0$ الطاقة الحركية للجسم

$$mc^2 = m_0c^2 + E_K$$

$$E = E_0 + E_K$$

$$\Delta mc^2 = E_K$$

$$(m - m_0)c^2 = E_K$$

الميكانيك الكلاسيكي عند آينشتاين يعتبر حالة خاصة من الميكانيك النسبي

A: استنتاج العلاقة المحدّدة للطاقة الحركية في الميكانيك الكلاسيكي من علاقة الطاقة الحركيّة في الميكانيك النسبي.

دستور التقريب: $(1+\varepsilon)^n \approx 1 + n\varepsilon$

ε صغيرة $\varepsilon = \frac{v}{c}$

حالة خاصة $\gamma = \frac{1}{\sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}}} = \left(1-\frac{v^2}{c^2}\right)^{-\frac{1}{2}}$

$\gamma \approx 1 + \frac{v^2}{2c^2}$

$$E_K = E - E_0 = mc^2 - m_0c^2 = (m - m_0)c^2 = (\gamma m_0 - m_0)c^2$$

$$E_K = m_0(\gamma - 1)c^2$$

$$E_K = m_0\left[1 + \frac{v^2}{2c^2} - 1\right]c^2$$

$$E_K = \frac{1}{2}m_0v^2$$

(بشرط $v \ll c$)

وهي علاقة الميكانيك الكلاسيكي:

الطاقة الحركية بالميكانيك الكلاسيكي حالة خاصة من الطاقة الحركية بالنسبي

ملاحظة: أسرع وسائل نقل الإنسان حالياً هي مكوك الفضاء الذي يبلغ سرعته ($v = 27870\ Km\,h^{-1}$) وهي سرعة صغيرة جداً بالنسبة لسرعة الضوء ($c = 3\times10^8\ m\,s^{-1}$) لذا فإن أثر النظرية النسبية الخاصة يكاد يكون منعدماً في السرعات الصغيرة بالنسبة لسرعة الضوء $\vec{c}$ وتعود المعادلات إلى النظام الكلاسيكي

B: استنتاج العلاقة المحدّدة لكميّة الحركة في الميكانيك الكلاسيكي من الميكانيك النسبي.

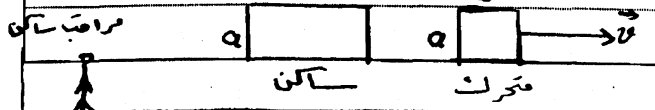
$$m = \gamma m_0 \Rightarrow m = \left[\frac{1}{\sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}}}\right] m_0$$

v صغيرة جداً أمام c

$$\gamma = 1 \Rightarrow p = \gamma m_0 v \Rightarrow p = m_0 v \Rightarrow \vec{p} = m_0 \vec{v}$$

لا تتغير الكتلة بين الحركة والسكون في السرعات الصغيرة بالنسبة لسرعة الضوء $v \ll c$

المسألة الثانية ص 66: جسم مستطيل طوله وهو ساكن b_0 يسري موازياً لمحوره بسرعة $\vec{v}$ بالنسبة لمراقب ساكن بحيث يكون طوله موازياً لمحوره بالنسبة لهذا المراقب المتابعة لحركته أصبح فيه v سرعة الجسم يتقلص الطول فقط على حامل $\vec{v}$



طول الجسم وهو ساكن $b_0 = 2a$

طول الجسم وهو متحرك $b = a$

المعرض لا يتقلص

$$\gamma = \frac{b_0}{b} \quad b_0 = \gamma b \Rightarrow 2a = \gamma \times a \Rightarrow \gamma = 2$$

$$\gamma = \frac{1}{\sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}}} = 2 \Rightarrow \frac{1}{1-\frac{v^2}{c^2}} = 4 \Rightarrow 4 - \frac{4v^2}{c^2} = 1 \Rightarrow \frac{4v^2}{c^2} = 3$$

$$v^2 = \frac{3}{4}c^2 \Rightarrow v = \frac{\sqrt{3}}{2}c \Rightarrow v = \frac{\sqrt{3}}{2}\times 3\times10^8\ (m\,s^{-1})$$

المسألة الثالثة ص 66: يتحرك الكترون بسرعة $v = \frac{2\sqrt{2}}{3}c$

المطلوب: احسب كمية حركة الالكترون وفق قوانين الميكانيك الكلاسيكي ثم وفق الميكانيك النسبي أيهما أصح برأيك

الميكانيك الكلاسيكي

$$p = m_e v$$

$$p = 9\times10^{-31} \times \frac{2\sqrt{2}}{3} \times 3\times10^8 \Rightarrow p = 18\sqrt{2}\times10^{-23}\ Kg\,m\,s^{-1}$$

الميكانيك النسبي

$$\gamma = \frac{1}{\sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}}} = \frac{1}{\sqrt{1-\frac{8c^2}{9c^2}}} \quad \gamma = 3$$

$$p = \gamma m_e v = 3\times18\sqrt{2}\times10^{-23} = 54\sqrt{2}\times10^{-23}\ Kg\,m\,s^{-1}$$

النسبي: ج لذون لا تبقى صغيرة أمام c

المسألة الرابعة ص 66: تبلغ الكتلة السكونية للبروتون $m_p = 1.67\times10^{-27}\ Kg$ وطاقته الكلية تساوي ثلاثة أمثال طاقته السكونية: احسب الطاقة السكونية والطاقة الحركية في الميكانيك النسبي واحسب كتلة البروتون في الميكانيك النسبي

$$E_0 = m_0c^2 = m_pc^2 \Rightarrow E_0 = 1.67\times10^{-27}\times9\times10^{+16} \Rightarrow E_0 = 15.03\times10^{-11}\ (J)$$

$$E_K = E - E_0 = 2E_0 \Rightarrow E_K = 2\times15.03\times10^{-11}$$

$$E_K = 30.06\times10^{-11}\ (J)$$

$$E = \gamma m_0c^2 = \gamma E_0 = 3E_0$$

$$m = \gamma m_0 = 3\times1.67\times10^{-27}$$

$$m = 5.01\times10^{-27}\ (Kg)$$

أجوبة الاختبار

1) a) [c] سرعة انتشار الضوء ثابتة في الوسط نفسه لا تتغير c عند حركة المنبع الضوئي أو حركة الراصد

b) الزمن أكبر تمدد الزمن عند الحركة

3) a

المسألة [I] ص 65 ميونات جسيمات أولية تتولد في أعلى الغلاف الجوي الأرضي وتتحول لجسيمات أخف مثل الإلكترونات

1) بالميكانيك الكلاسيكي

$t = 2.2\times10^{-6}$ زمن رحلة الميونات

$v = 0.995c = 2.985\times10^{8}\ m.s^{-1}$ سرعة الميونات

$d = vt = 2.985\times10^{8}\times2.2\times10^{-6}$

$d = 656.7\ m$

رغم غير صحيح بالنسبة لراصد أرضي فليس صحيحاً أن نطبق على الميونات السرعة مبدأ الميكانيك الكلاسيكي (لأن قريبة من c)

2) بالميكانيك النسبي $t_0 = 2.2\times10^{-6}\ (s)$ وهي المدة بالنسبة للراصد الأرضي

بما أن الميونات في حركة $t = \gamma t_0$

$$\gamma = \sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}} = \sqrt{1-\frac{(0.995)^2c^2}{c^2}} \Rightarrow \gamma \approx 10$$

$$t = \gamma t_0 = 10\times2.2\times10^{-6} = 22\times10^{-5}\ (s)$$

$d' = vt = 6567\ (m)$ أعلى ارتفاع تحللت فيه

3) الراصد المتحرك مع الميونات هي المدة بالنسبة له $t_0 = 2.2\times10^{-6}\ (s)$

المسافة بالنسبة له $d = \frac{d_0}{\gamma} = \frac{6567}{10} = 656.7\ (m)$

ثانياً ص 65 [I] لما تزداد m كتلة الجسم حتى الذرية فيتطلب الجسم لقوة لدفعه للوصول لسرعة الضوء $m = \gamma m_0$

2) $E = E_0 + E_K \Rightarrow E = E_0 = m_0c^2$ عند المستوى المرجعي $E_p = mgh = 0$ $E_K = 0$ $h = 0$

التفكير الناقد ص 66

بالميكانيك الكلاسيكي $m_0 = cte \Rightarrow p = m_0v \Rightarrow 2p = 2m_0v' \Rightarrow v' = 2v$

الميكانيك النسبي $\gamma = \sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}}$

$p = \gamma m_0 v = mv$ $E_K' = \frac{1}{2}m_0v'^2 = \frac{1}{2}m_0\times4v^2 = 4E_K$

$E_K = \frac{1}{2}mv^2 = \frac{1}{2}\gamma m_0v^2$

v متغير و m تتغير $\Leftarrow$ كتلة الجسم

m متغير v تتغير $\Leftarrow$ غير محقق

9 عامة ص 272

1. $m_0 = m_p = 1.67 \times 10^{-27} Kg$

$E_0 = m_0 c^2 = 1.67 \times 10^{-27} \times 9 \times 10^{16}$

$E_0 = 15.03 \times 10^{-11} (J)$

$1 eV$ لـ $1.6 \times 10^{-19} J$

$E_0 = \frac{15.03 \times 10^{-11}}{1.6 \times 10^{-19}} \Rightarrow E_0 = 9.39 \times 10^{8} (eV)$

2. $E = 3E_0 \Rightarrow \gamma m_0 c^2 = 3 m_0 c^2$

$\gamma = 3$

$\gamma = \frac{1}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} = 3 \Rightarrow v = \frac{2\sqrt{2}}{3} c$

$v = 2\sqrt{2} \times 10^{8} (m s^{-1})$

3. $E_K = E - E_0 = 2E_0$

$E_K = 30.06 \times 10^{-11} (J)$

4. $P = mv = m_0 \gamma v = 3 \times 1.67 \times 10^{-27} \times 2\sqrt{2} \times 10^{8}$

$P = 10.02 \times 10^{-19} \; Kg\, m s^{-1}$

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

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

$m^2 c^4 = \frac{m_0^2 c^4}{1 - \frac{v^2}{c^2}}$

$m^2 c^4 - m^2 c^4 \times \frac{v^2}{c^2} = m_0^2 c^4$

$m^2 c^4 - m^2 v^2 c^2 = m_0^2 c^4$

$E^2 - p^2 c^2 = E_0^2$

$E = E_0^2 + p^2 c^2$

8 عامة ص 272

الراقب داخل المركبة الفضائية $d = 25 m$

$L_0 = 100 m$

$x = 4C$ سنة ضوئية

$t_0 = \frac{8}{\sqrt{3}}$ سنة

$v = \frac{x}{t_0} = \frac{4C}{\frac{8}{\sqrt{3}}}$ سنة

$v = \frac{\sqrt{3}}{2} C \; m s^{-1}$

الراقب ساكن على الأرض

$\frac{L_0}{L} = \gamma \Rightarrow L = \frac{L_0}{\gamma} = L_0 \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}$

$L = L_0 \times \sqrt{1 - \frac{3c^2}{4c^2}} = \frac{1}{2}$

$L = \frac{100}{2} = 50 m$

$\frac{t}{t_0} = \gamma \Rightarrow t = 2t_0 = \frac{16}{\sqrt{3}}$ سنة

$x' = 4 \times 2 C$ سنة ضوئية

الأسئلة الدورية ص 65

الميونات جسيمات أولية تتولد في أعلى الغلاف الجوي للأرض وتتحول إلى جسيمات أخف

1) بالنسبة للميونات الراقب ساكن

$d = v t_0 = 0.995 C \times t_0$

$d = 0.995 \times 3 \times 10^{8} \times 2.2 \times 10^{-6}$

$d = 656.7 (m)$

المسافة غير معقولة بالنسبة لارتفاع الغلاف الجوي للأرض

2) بالنسبة للنظرية النسبية الخاصة

$\gamma = \frac{1}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} = \frac{1}{\sqrt{1 - \frac{(0.995)^2 c^2}{c^2}}}$

$\gamma = \frac{1}{\sqrt{0.01}} = \frac{1}{\sqrt{\frac{1}{100}}} = 10$

$\gamma \approx 10$

$t = \gamma t_0 = 2.2 \times 10^{-6} \times 10$

$t = 2.2 \times 10^{-5} (S)$

$d' = vt = 6567 (m)$

والمسافة معقولة بالنسبة للمسافة الكلية

3) الراقب متحرك مع الميونات

الزمن بالنسبة له $t_0 = 2.2 \times 10^{-6} (s)$

الزمن بالنسبة له

$d = \frac{d_0}{\gamma} = \frac{6567}{10}$ $d = 656.7 m$