نظرية الكم

أسس ميكانيك الكم:

أذكر الأسس التي يقوم عليها ميكانيك الكم.

- **فرضية بلانك:** المادة والضوء يمكنهما تبادل الطاقة من خلال كميات منفصلة من الطاقة سميت (كمّات الطاقة)

تحدد طاقة كل كمّة بـ : $$E = hf = \frac{hc}{\lambda}$$

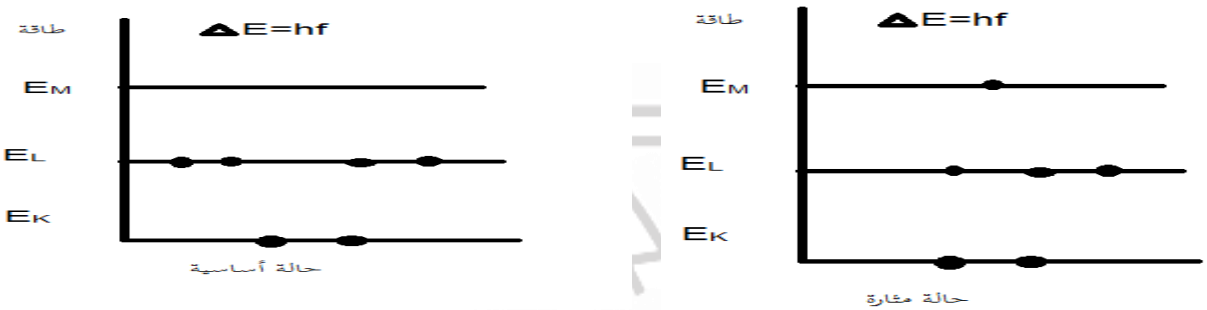
- **فرضية أينشتاين:** عام **1905** استعان أينشتاين بنظرية بلانك لشرح الفعل الكهرضوئي وجد أن :

الحزمة الضوئية مكونة من فوتونات (كمّات الطاقة) يحمل كل منها طاقة $E = hf$ ويحصل تبادل الطاقة مع المادة من خلال امتصاص أو إصدار فوتون.

- **نموذج بور و تبادل الطاقة على المستوى الذري:** وفق المبادئ التي وضعها بور :
  - تغير طاقة الذرة مكمم
  - لا يمكن للذرة أن تتواجد إلا في حالات طاقية محددة كل منها تتميز بسوية طاقية محددة.
  - عندما ينتقل الالكترون في ذرة مثارة من سوية طاقية E_2 إلى سوية طاقية E_1 فإن الذرة تصدر فوتوناً طاقته تساوي

فرق الطاقة بين السويتين $$\Delta E = E_2 - E_1 = hf$$

ارسم مخطط مستويات الطاقة في ذرة الكربون



عندما تصبح ذرة الكربون مثارة (غير مستقرة) تصدر فوتون طاقته تساوي الفرق بين طاقة السوية العليا والسوية الدنيا

- ✓ من السوية الدنيا تحتاج إلى امتصاص فوتون للانتقال إلى السوية المثارة.
- ✓ لا يحصل امتصاص للفوتون إذا كانت طاقته لا توافق تماماً فرق الطاقة بين السويتين.

أجب عن الأسئلة الآتية :

هل توجد طرائق لإثارة الذرة غير تلك التي تحدث بورود فوتون إلى هذه الذرة؟ اذكر مثالاً على ذلك .

الجواب : يمكن إثارة الذرة بعدة طرق مثل تقديم طاقة حرارية (تسخين المواد) كما هو الحالة في التفاعلات الكيميائية

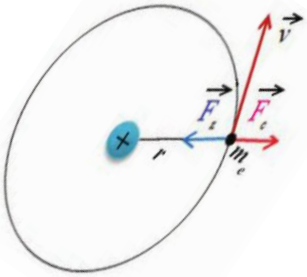
أتقوم الذرة بالإصدار مباشرة بعد امتصاصها فوتوناً أم أنها قد تبقى في الحالة المثارة لفترة قد تطول أو تقصر؟

الجواب : تبقى لفترة قصيرة جداً من الزمن لأنه عندما يمتص الإلكترون طاقة الفوتون فإنه ينتقل إلى أقرب سوية له ثم سرعان مايعود إلى سويته الأصلية

النماذج الذرية والطيوف

دراسة تكميم الطاقة في ذرة الهيدروجين:

يخضع الالكترون في ذرة الهدروجين في مساره إلى قوتين ما هما ،مع الشرح ؟



- $\overrightarrow{F_E}$: القوة الجاذبة الكهربائية وناجمة عن جذب النواة (بروتون) للإلكترون: $F_E = k\frac{e^2}{r^2}$

حيث : e : شحنة الإلكترون ، r: نصف قطر مسار الالكترون حول النواة ،

k: ثابت الجذب الكهربائي $k = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}$:ε_0 سماحية الخلاء الكهربائية

- $\overrightarrow{F_c}$: قوة العطالة النابذة وناجمة هن دوران الإلكترون: $F_c = m_e a_c = m_e\frac{v^2}{r}$

: m_e : كتلة الالكترون ، v: سرعة الإلكترون ، a_c : التسارع الناظمي

- تهمل قوة التجاذب الكتلي بين الالكترون والبروتون لصغرها والتي تعطى بالعلاقة $F = G\frac{m_e.m_p}{r^2}$.

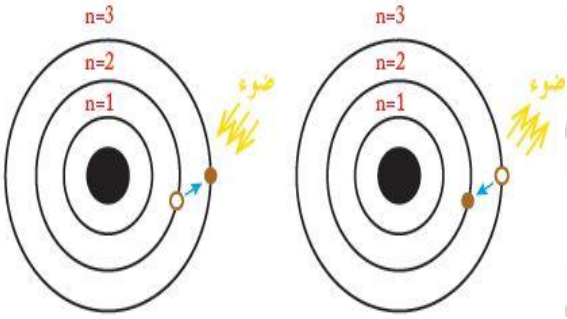
m_p: كتلة البروتون m_e : كتلة الإلكترون r: نصف قطر مسار الالكترون حول النواة G : ثابت الجاذبية العام

اذكر فرضيات نظرية بور

1- حركة الإلكترون في مساره حول النواة دائرية منتظمة حيث:
قوة العطالة النابذة $F_E = F_c$ قوة الجذب الكهربائي.

2- العزم الحركي للإلكترونات يساوي عدداً صحيحاً من $\frac{h}{2\pi}$

3- لا يصدر الإلكترون طاقة مادام في مداره ويمتص طاقة محددة عندما ينتقل من مداره إلى مدار أبعد ويصدر طاقة محددة عندما ينتقل من مداره إلى مدار أقرب إلى النواة.



استنتج من خلال فرضيات بور العلاقة المحددة لطاقة الالكترون الكلية ونصف قطر المدار بدلالة n رقم المدار ؟

من الفرض الأول : $F_E = F_c$

$$k\frac{e^2}{r^2} = m_e\frac{v^2}{r} \xrightarrow{\text{نعزل } v^2} v^2 = \frac{ke^2}{m_e r}$$

الطاقة الحركية للإلكترون (1) $E_k = \frac{1}{2}m_e v^2 = \frac{1}{2}m_e\frac{ke^2}{m_e r} = \frac{1}{2}k\frac{e^2}{r}$

الطاقة الكامنة للإلكترون : $E_p = -k\frac{e^2}{r}$

الطاقة الكلية :(2) $E = E_k + E_p = \frac{1}{2}k\frac{e^2}{r} - k\frac{e^2}{r} = -\frac{1}{2}k\frac{e^2}{r}$

من الفرض الثاني: $m_e v r = n\frac{h}{2\pi} \xrightarrow{\text{نعزل } v} v = \frac{nh}{2\pi m_e r}$

$$\xrightarrow{\text{نربعها ونعوضها في الطاقة الحركية}} v^2 = \frac{n^2h^2}{4\pi^2 m_e{}^2 r^2}$$

$$E_k = \frac{1}{2}m_e v^2 = \frac{1}{2}m_e\frac{n^2h^2}{4\pi^2 m_e{}^2 r^2} = \frac{n^2h^2}{8\pi^2 m_e r^2} \quad (3)$$

بالمساواة بين 3 ,1 نجد :

$$\frac{1}{2}k\frac{e^2}{r} = \frac{n^2h^2}{8\pi^2 m_e r^2} \xrightarrow{\text{نختصر ثم نعزل } r \text{ ونعوضه في الطاقة الكلية}}$$

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

- من أجل $n=1$: $r_0 = \frac{h^2}{4\pi^2 m_e k e^2}$ وهو نصف قطر بور

- من أجل مدار رتبته n $r_n = n^2 r_0$

نعوض في (2):

$$E = -\frac{1}{2}k\frac{e^2}{r} = -\frac{1}{2}k\frac{e^2}{\frac{n^2h^2}{4\pi^2 m_e k e^2}} = -\frac{4}{2}\frac{\pi^2 m_e k^2 e^4}{n^2h^2}$$

$$E_n = E = -\frac{1}{n^2}\frac{2\pi^2 m_e k^2 e^4}{h^2}$$

باعتبار طاقة الحالة الأساسية $n=1$:

$$E_0 = -\frac{2\pi^2 m_e k^2 e^4}{h^2} = -13.6\,eV$$

$$E = \frac{1}{n^2}E_0 = -\frac{13.6}{n^2}\ eV$$

إذاً لكي تتأين ذرة الهيدروجين يجب اعطاؤها طاقة تكفي لنقل الالكترون من حالة ارتباط إلى عدم ارتباط أي تصبح طاقته معدومة وهذه الطاقة تساوي **13.6 eV**

ملاحظة هامة: عندما ينتقل $\bar{e}$ من مدار إلى آخر

$$\Delta E = E_2 - E_1 = 13.6\left(\frac{1}{n_1^2} - \frac{1}{n_2^2}\right)eV = hf$$

الطيوف الذرية

كيف تتشكل الطيوف الذرية في ذرة الهيدروجين واذكر أنواع الطيوف ؟

عندما ينتقل $\bar{e}$ من سوية طاقية إلى سوية طاقية أخفض يؤدي ذلك إلى إصدار طاقة (إشعاع) تساوي فرق الطاقة بين السويتين $\Delta E = E_2 - E_1 = hf$ وعند حصول انتقالات مختلفة بين سويات الطاقة فسوف نحصل على اصدارات طاقة بتواترات مختلفة تعطى بالعلاقة : (فرق الطاقة بين السويتين $\Delta E = E_{نهائي} - E_{بدائي} = hf$)

وعند تحليل حزمة ضوئية صادرة عن غاز H_2 المثار بالانفراغ الكهربائي نجد أن الطيف مكون من عدد من الخطوط الطيفية الطبيعية وكل خط يمثل انتقال الكترون بين سويتين طاقيتين في ذرة H

أنواع الطيوف:

1- **طيوف مستمرة (المتصلة):** هي الطيوف التي تظهر فيها جميع ألوان الطيف على هيئة مناطق متجاورة من دون وجود فواصل بينها .

أمثلة : - ظهور قوس قُزح ذو الطيف المستمر عند تحلل ضوء الشمس في الهواء المشبع بالرطوبة

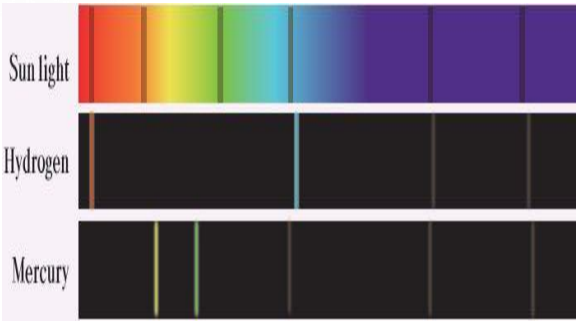
- طيف مصباح كهربائي ذو مقاومة التنغستين وبتحليل طيف هذا المصباح نجد أن طيف الاصدار متصل.

2- **طيوف متقطعة (المنفصلة):** هي الطيوف التي تظهر فيها خطوط طيفية أو عصابات طيفية منفصلة عن بعضها البعض.

أمثلة : - إصدارات ذرة الهدروجين – طيف مصباح بخار الزئبق .

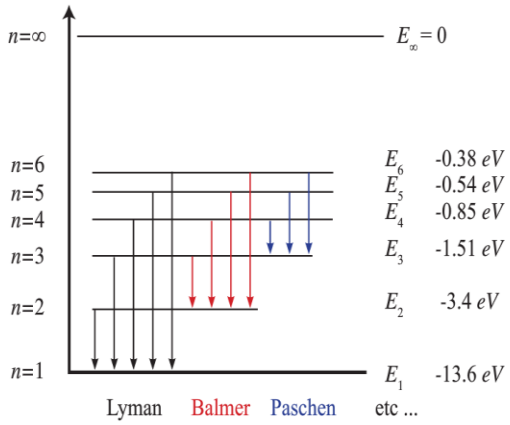
بشكل عام : طيوف المصابيح الغازية (منفصلة) وطيوف الاصدار للأجسام الصلبة الساخنة (متصلة).

للتوضيح : في الشكل الآتي لدينا ثلاثة طيوف : الأول مستمر وهو طيف الإصدار الشمسي والثاني متقطع إصدار ذرة الهدروجين والثالث متقطع وهو إصدار مصباح بخار الزئبق



Anas Ahmad

أرسم مخطط لسويات طاقة ذرة الهدروجين والانتقالات الممكنة اللانهائية ، والتي تؤلف مايسمى السلاسل الطيفية للهدروجين



يحتوي الطيف الخطي للهدروجين على عدة من السلاسل كما هي موضحة في الشكل أذكرها مع الشرح:

1- **سلسلة ليمان : أكبر سلاسل الطيف طاقة**

نحصل عليها : عند عودة الإلكترون من السويات العليا $(n = 2,3,4,5,6)$ إلى السوية الأولى $(n = 1)$.

ميزاتها : أمواج ضوئية غير مرئية بسبب طاقتها الكبيرة وتوترها الكبير أي أطوال موجاتها القصيرة والتي هي أقصر من الضوء المرئي

2- **سلسلة بالمر :**

نحصل عليها : عند عودة الإلكترون من السويات العليا $(n = 3,4,5,6)$ إلى السوية المثارة الأولى $(n = 2)$.

ميزاتها : أمواج ضوئية مرئية

3- **سلسلة باشن :**

نحصل عليها : عند عودة الإلكترون من السويات العليا $(n = 4,5,6)$ إلى السوية المثارة الثانية $(n = 3)$.

ميزاتها : أمواج ضوئية غير مرئية بسبب تواترها المنخفض وطول موجتها الكبير .

Anas Ahmad

انتزاع الالكترونات وتسريعها

عرف الطاقة الكلية للإلكترون في مداره واكتب عبارتها وكيف تتغير عند انتقال الالكترون إلى مدار أبعد ؟ (دورة 2006-2017 الأولى)

الطاقة الكلية في جملة (إلكترون – نواة) هي مجموع طاقتين : الطاقة الكلية $E_n = E_k + E_p$

1- طاقة كامنة كهربائية (طاقة تجاذب كهربائي) ناتجة عن تأثّر الالكترون بالحقل الكهربائي الناتج عن النواة وهي القسم السالب.

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

2- طاقة حركية ناتجة عن دوران الإلكترون حول النواة وهي القسم الموجب $E_k = \frac{1}{2}k\frac{e^2}{r}$

تعطى بالعلاقة (تقدّر بـ eV) $E_n = -\frac{13.6}{n^2}$

- ✓ سالبة لأنها طاقة ارتباط، وتمثّل طاقة التجاذب الكهربائي القسم الأكبر منها
- ✓ القيمة المطلقة لها تتناسب عكساً مع مربع رقم المدار n الذي يدور فيه الإلكترون
- ✓ تزداد طاقة الإلكترون بزيادة رتبة المدار n أي مع ابتعاد الإلكترون عن النواة

طاقة انتزاع الكترون حر من سطح معدن

استنتج مع الشرح طاقة انتزاع الكترون من سطح معدن؟ وناقش حالات الطاقة المقدمة للإلكترون ؟ (دورة 2016 الثانية)

يتحرك الإلكترون الحر داخل المعدن بسرعة وسطية تتعلق بدرجة الحرارة وتكون الإلكترونات هذه خاضعة لقوى جذب كهربائية محصلتها أكبر من الصفر وتتجه نحو داخل المعدن ولانتزاع الإلكترون الحر من سطح معدن ونقله مسافة صغيرة جداً dl خارج سطح المعدن يجب تقديم طاقة W_S أكبر أو تساوي عمل القوى الكهربائية التي تشد الالكترون نحو داخل المعدن.

$$W = Fdl \xrightarrow[\text{مسافة صغيرة ينتقلها } e \text{ خارج المعدن}]{\text{حيث } F \text{ القوة الكهربائية}} F = e.E$$

E: شدة الحقل الكهربائي المتولد عن الشوارد الموجبة على السطح

$$W = e.E.dl$$

$U_d = U_S$: فرق الكمون بين سطح المعدن والوسط الخارجي $U_S = E.dl$ (حقل كهربائي ضرب مسافة يعطي كمون)

قيمة العمل اللازم لانتزاع تساوي طاقة الانتزاع لإخراج $\bar{e}$ من سطح المعدن

$$\boxed{E_d = E_S = W_S = e.U_S}$$ طاقة الانتزاع :

المناقشة : بفرض E الطاقة التي يمتصها الإلكترون (الطاقة المقدمة للإلكترون)

E_S طاقة الانتزاع ونميّز الحالات الآتية بينهما:

1- إذا كانت $E < E_S$ لا ينتزع الإلكترون ويبقى منجذباً نحو داخل الكتلة المعدنية .

2- إذا كانت $E = E_S$ يتحرر الإلكترون من سطح المعدن بسرعة ابتدائية معدومة .

3- إذا كانت $E > E_S$ يتحرر الإلكترون من سطح المعدن ومعه سرعة ابتدائية تحسب من العلاقة

$$E = E_k + E_S \rightarrow E_k = E - E_S \xrightarrow{E_k=\frac{1}{2}m_e v^2} \frac{1}{2}m_e v^2 = E - E_S \xrightarrow{v \text{ نعزل}} \boxed{v = \sqrt{\frac{2(E-E_S)}{m_e}}}$$

لإنتزاع إلكترون حر من سطح معدن يجب إعطاءه طاقة أكبر من طاقة انتزاعه E_d ، ماهي الطرق التي يتم بها ذلك ؟

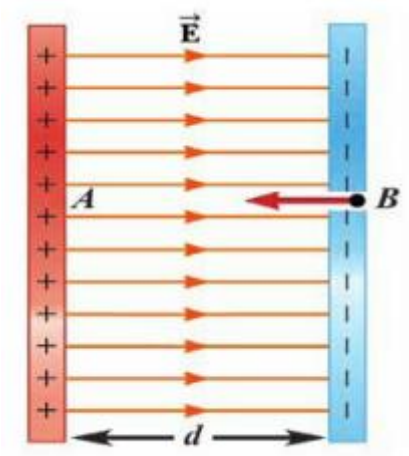
1- **الفعل الكهرضوئي**: طاقة الانتزاع على شكل طاقة ضوئية $E=hf$ تواترها كافٍ لتحرر عدد من الالكترونات الحرة.

2- **الفعل الكهرحراري**: تسخين المعدن إلى درجة حرارة مناسبة تكتسب بعض الإلكترونات الحرة طاقة تسمح لها بالانطلاق من الذرة لتتبعث خارج سطح المعدن.

3- **مفعول الحث** : قذف المعدن بحزم من الجسيمات طاقتها كافية لانتزاع الالكترونات الحرة من سطح المعدن الذي تصدم به.

Anas Abu Ayyash

تسريع الألكترونات بحقل كهربائي منتظم



استنتج علاقة السرعة لإلكترون ساكن شحنته e^- وكتلته m_e ساكناً في نقطة B من نقطة يسودها حقل كهربائي منتظم بين لبوسي مكثفة مستوية مشحونة ، بين لبوسيها فرق كمون V_{AB} . (دورة 2009)

طريقة أولى :

يخضع $\vec{e}$ إلى قوة كهربائية $\vec{F}$ ثابتة تقوم بنقله نحو اللبوس الموجب و لها حامل $\vec{E}$ وتعاكسه بالجهة فيكتسب تسارع $\vec{a}$ بتطبيق العلاقة الأساسية في التحريك الإنسحابي

$$\sum \vec{F} = m.\vec{a}$$

$$\vec{F}_{\text{القوة الكهربائية}} = m.\vec{a}$$

بالإسقاط على محور موجه بجهة حركة الإلكترون نجد : $F = m_e a = eE$

$$a = \frac{eE}{m_e} = const$$

التسارع ثابت فتكون حركة الالكترونات ضمن الحقل الكهربائي مستقيمة متسارعة بانتظام لحساب سرعة الالكترون لحظة وصوله إلى A بفرض v_0 عند B معدومة :

$$v^2 - v_0^2 = 2ad \xrightarrow{\text{نعوض } a=\frac{eE}{m_e}}$$

$$v^2 - 0 = \frac{2eE}{m_e}d$$

$$v = \sqrt{\frac{2eE}{m_e}d} \xrightarrow{U=Ed} \boxed{v = \sqrt{\frac{2eU}{m_e}}}$$

وهي أصغر من c سرعة الضوء

من أجل السرعات الصغيرة أصغر من سرعة الضوء يمكن عد كتلة الإلكترون ثابتة $m_e = const$ حيث أنها تزداد بالاقتراب من سرعة الضوء حسب النظرية النسبية لأينشتاين .

طريقة ثانية لإيجاد سرعة وصول الإلكترون للبوس المقابل وذلك باستخدام نظرية الطاقة الحركية

(يمكن استخدامها في حل المسائل)

نطبق نظرية الطاقة الحركية بين الوضعين: الأول: عند خروج الإلكترون من نافذة اللبوس السالب دون سرعة ابتدائية

الثاني: عند وصول الإلكترون إلى نافذة اللبوس الموجب بسرعة v

$$\overline{\Delta E_k} = \sum \overline{W}_{\vec{F}(1\to 2)}$$

$$E_k - E_{k_2} = \sum \overline{W}_{\vec{F}(1\to 2)}$$

$$E_k - 0 = F\ d = e\ Ed$$

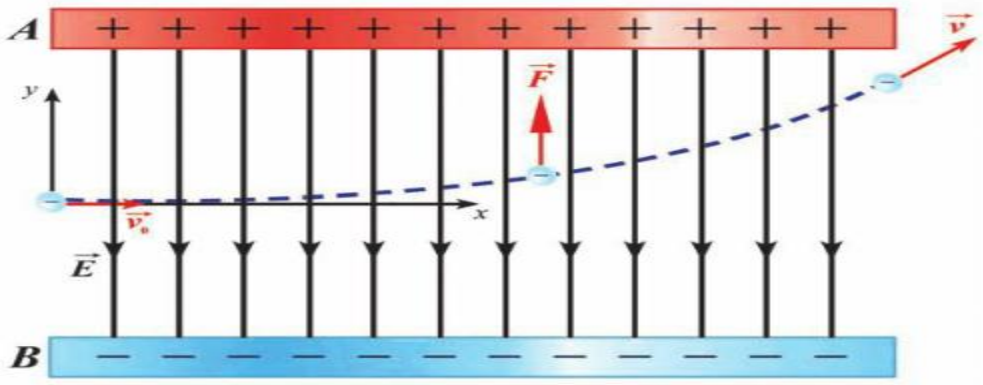
$$E_k = eU$$

$$\frac{1}{2}m_e v^2 = eU \xrightarrow{\text{نعزل } v}$$

سرعة وصول الإلكترون للبوس المقابل : $\boxed{v = \sqrt{\frac{2eU}{m_e}}}$

تأثير الحقل الكهربائي المنتظم في الكترون متحرك بسرعة تعامد الحقل الكهربائي $\vec{v_0} \perp \vec{E}$.

ادرس تأثير حقل كهربائي منتظم في إلكترون يتحرك بسرعة $\vec{v_0} \perp \vec{E}$ واستنتج معادلة حامل المسار؟



يخضع $\bar{e}$ لقوة كهربائية $\vec{F}$ لها حامل $\vec{E}$ وتعاكسه بالجهة ، وبتطبيق العلاقة الأساسية في التحريك الإنسحابي :

$$\sum \vec{F} = m.\vec{a}$$

$$\vec{F}_{\text{القوة الكهربائية}} = m.\vec{a}$$

- بالإسقاط على $\overrightarrow{ox}$ نجد : $F_x = 0 \Rightarrow a_x = 0 \Rightarrow v_{0x} = v_0 = const$

فالحركة على $\overrightarrow{ox}$ **مستقيمة منتظمة** تابعها : $\boxed{x = v_0\, t \ldots (1)}$

- بالإسقاط على $\overrightarrow{oy}$ نجد : $F_y = m_e a_y = eE$

$$m_e a_y = eE \Rightarrow a_y = \frac{eE}{m_e} = \text{const}$$

فالحركة على $\overrightarrow{oy}$ **مستقيمة متسارعة بانتظام** تابعها : $\boxed{y = \frac{1}{2} a_y t^2}$

باعتبار لحظة دخول $\bar{e}$ بين لبوسي المكثفة إلى الحقل الكهربائي في نقطة o هو مبدأ الفواصل $(y_0 = x_0 = 0)$

$$y = \frac{1}{2} a_y t^2 \xrightarrow{\text{نعوض } a_y} y = \frac{1}{2}\frac{eE}{m_e} t^2 \ldots (2)$$

لإيجاد **معادلة حامل مسار الإلكترون** نعزل الزمن من (1) ونعوّضه في (2) :

من (1) نجد $t = \frac{x}{v_0}$ نعوّض في (2) نجد :

$$y = \frac{1}{2}\frac{eE}{m_e}\left(\frac{x}{v_0}\right)^2 = \frac{1}{2}\frac{eE}{m_e v_0^2} x^2$$

ولكن : $E.d = V_{AB} \Rightarrow E = \frac{V_{AB}}{d} \xrightarrow{\text{نعوّض في المعادلة فنجد}}$

معادلة حامل المسار : $\boxed{y = \frac{1}{2}\left(\frac{e\,V_{AB}}{m_e d v_0^2}\right)\bar{x}^2}$ فحامل مسار الإلكترون هو جزء قطع مكافئ

سؤال : ماذا تتوقع أن تكون حركة الإلكترون بعد مغادرة منطقة الحقل الكهربائي ؟

الجواب : تصبح حركة $\bar{e}$ مستقيمة منتظمة بعد مغادرته الحقل الكهربائي، فإنه يتابع حركته على خط مستقيم بسرعة ثابتة هي السرعة نفسها لحظة خروجه من منطقة الحقل

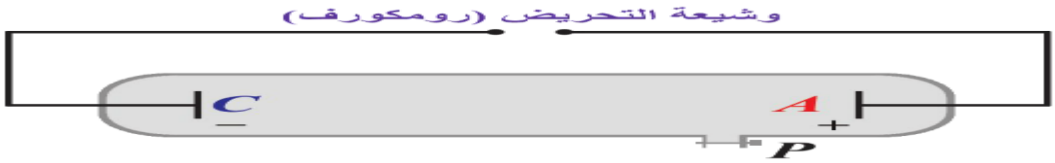
سؤال : هل يكفي الإلكترون الواقع على سطح المعدن ، امتلاكه لطاقة مساوية لطاقة الانتزاع لهذا المعدن كي يتحرر من سطح المعدن مبتعداً عنه؟ علل ذلك .

الجواب : لا يمكنه الابتعاد عن سطح المعدن لأنه لا يمتلك طاقة حركية ، وتعمل الأيونات الموجبة على جذبه نحو داخل المعدن

Anas Ahmad

الأشعة المهبطية

مما يتألف أنبوب التفريغ الكهربائي ؟



يتألف من أنبوبة زجاجية طولها **50cm** وقطرها **4cm** مغلقة تماماً فيها فتحة مخليّة للهواء للتحكم بضغط الأنبوبة ، وتحتوي على غاز معيّن مثل الأرغون **Ar** أو النيون **Ne** ،ونصل طرفيها إلى قطبين أحدهما المهبط **C(cathode)** والآخر المصعد **A(anode)** و يتصل القطبان إلى توتر متواصل كبير جداً من رتبة **50kv** .

في أنبوب توليد الأشعة المهبطية وبجعل التوتر المطبق على طرفي الأنبوب 1000v ماذا تلاحظ عند تغيير الضغط عبر مخليّة الهواء إلى القيم المقدر بال mmHg (110-100-10-0.01)

- الضغط **110 mmHg** لا نلاحظ انفراغاً كهربائياً في الأنبوب .
- الضغط **100 mmHg** يحدث **الانفراغ الكهربائي**: هو مرور شرارة كهربائية (طقطقات) عبر الغاز الفاصل بين القطبين الكهربائيين في أنبوب الانفراغ الكهربائي وذلك عند تطبيق توتر عال متواصل من أجل ضغط معين **100 mmHg** للغاز داخل الأنبوب.
- الضغط **10 mmHg** نشاهد **ضوءاً متجانساً** يملأ الأنبوب من المهبط إلى المصعد يختلف لونه حسب الغاز ويستخدم في أنابيب الإعلانات وهي نادرة نسبياً لأنها لا تنتج عند التسخين
- الضغط **0.01 mmHg** يختفي الضوء المتجانس تدريجياً من الأنبوب ويتألق جدار الأنبوب ببقع خضراء وهذه أشعة غير مرئية صادرة عن المهبط هي **الأشعة المهبطية**

ما هما شرطا توليد الأشعة المهبطية ؟

- فراغ كبير في الأنبوب يتراوح الضغط فيه **mmHg** (**0.001 – 0.01**)
- توتر كبير نسبياً بين قطبي الأنبوب يولد حقلاً كهربائي شديد بجوار المهبط.

اذكر مع الشرح خواص الأشعة المهبطية ؟

1- **تنتشر وفق خطوط مستقيمة ناظمية على سطح المهبط** فتكون متوازية إذا كان المهبط صفيحة مستوية ومتقاربة إذا كان المهبط مقعراً ومتباعدة إذا المهبط كان محدّباً
ولا يؤثر مكان المصعد في مسارها المستقيم لضعف الحقل الكهربائي عنده .

2- **تسبب تألق بعض الأجسام**: تهيّج ذرات بعض المواد التي تسقط عليها فيتألق الزجاج العادي بلون أخضر وكبريتات الكالسيوم بلون أصفر برتقالي. (ويستفاد من هذه الخاصية بالكشف عن الأشعة المهبطية)

3- **ضعيفة النفوذية**: لا تنفذ من خلال صفيحة من المعدن يمكن أن تنفذ عبر صفيحة رقيقة من **AL** ثخنها بعض مكرونات.

4- **تحمل طاقة حركية** لأن سرعتها تقترب من سرعة الضوء فيمكنها أن تدير دولاب خفيف ويمكن أن تتحول هذه الطاقة الحركية إلى طاقة كيميائية وحرارية و إشعاعية.

5- **تتأثر بالحقل الكهربائي**: تنحرف نحو اللبوس الموجب لمكثفة مشحونة مما يدل على أن شحنتها سالبة.

6- **تتأثر بالحقل المغناطيسي**: فتنحرف بتأثير قوة لورنز المغناطيسية عمودياً على خطوط الحقل المغناطيسي.

7- **تنتج أشعة سينية x-ray** عند اصطدامها بالمواد الصلبة ذات الأعداد الذرية الكبيرة.

8- **تؤين الغازات التي تمر فيها** : عندما تنتشر الأشعة المهبطية في غاز ما فإنها تقوم بتأينه أي تنزع الكتروناً من الذرة الغازية فتتحول إلى أيون مما يؤدي إلى توهج الغاز .

9- **تؤثر في أفلام التصوير.**

Anas Abo Ajaj

آلية توليد الأشعة المهبطية وطبيعتها

ماذا يحتوي أنبوب الأشعة المهبطية عند ضغط يقل عن (0.01) ؟ مادور التوتر الكهربائي الكبير المطبق بين قطبي الأنبوب ؟

- **يحتوي أنبوب الأشعة المهبطية** على كتلة غازية تتكون من ذرات غازية وأيونات موجبة ناتجة عن التصادم بين الذرات.
- **بتطبيق توتر كهربائي كبير في الأنبوب** تتجه الأيونات الموجبة نحو المهبط بسرعة كبيرة فتؤين ذرات الغاز في طريقها حتى تصل إلى المهبط فتصدمه فتُنتزع بعض الإلكترونات الحرة من سطح المهبط وتبتعد عنه نظراً لشحنته السالبة وهذه في طريقها نحو المصعد سوف تؤيّن ذرات غازية جديدة يتسبب تأيّنها بتشكل أيونات موجبة تتجه نحو المهبط لتوليد إلكترونات وهكذا .

مما تتكون الأشعة المهبطية (طبيعتها) المتولدة في الأنبوب ؟ وكيف تتحقق تجريبياً من تلك الطبيعة ؟

- **طبيعة الأشعة المهبطية** 1- إلكترونات منتزعة من مادة المهبط. 2- إلكترونات تأيّن الذرات الغازية بجوار المهبط والتي يسرعها الحقل الكهربائي المنتظم المتولد عن التوتر المطبق بين قطبي الأنبوب .
- **يتم التحقق من طبيعتها تجريبياً** : بإدخالها بين لبوسي مكثفة مشحونة فنلاحظ إنحرافها نحو اللبوس الموجب مما يدل على أنها مشحونة بكهرباء سالبة أي أنها إلكترونات .

ثانياً : حل المسألة الآتية : دورات (2007 – 2010 – 2011)

تبلغ شدة التيار في أنبوب للأشعة المهبطية (**16 mA**) ، **المطلوب**:

1. عدد الإلكترونات الصادرة عن المهبط في كل ثانية .
2. الطاقة الحركية لأحد الإلكترونات لحظة وصوله المصعد باعتبار أنه قد ترك المهبط دون سرعة ابتدائية ، وأن التوتر الكهربائي بين المصعد والمهبط (**180 V**) ، ثم احسب سرعته عندئذٍ .
3. الطاقة الحرارية الناتجة عن التحول الكامل للطاقة الحركية للإلكترونات التي تصدم المصعد خلال دقيقة واحدة .

$e=1.6\times10^{-19}C$ ، $m_e = 9\times10^{-31}\ kg$ (يهمل ثقل الإلكترون)

الفعل الكهرحراري

في تجربة تسخين سلك معدني إلى درجة حرارة معيّنة أجب عن الأسئلة الآتية :

1. ماذا يحدث لبعض الالكترونات الحرة للسلك عند بدء التسخين ؟

تزداد السرعة والحركة العشوائية لبعض الإلكترونات الحرة للسطح المعدني نتيجة الطاقة الحرارية التي اكتسبتها تلك الإلكترونات أثناء التسخين .

2. ماذا يحدث عند استمرار التسخين ؟

تكتسب بعض الإلكترونات الحرة طاقة كافية لتنطلق من ذرات السطح المعدني .

3. ما الشحنة الكهربائية التي يكتسبها السلك المعدني ؟

يكتسب سطح المعدن شحنة موجبة .

4. كيف تفسر تشكل سحابة إلكترونية حول السلك ؟

باستمرار تسخين المعدن سيزداد خروج الإلكترونات من ذرات سطح المعدن وتزداد شحنة المعدن الموجبة مما يزيد من قوة جذب المعدن للإلكترونات المنطلقة وفي لحظة ما يتساوى عدد الإلكترونات المنطلقة مع عدد الإلكترونات العائدة لسطح المعدن فتتشكل سحابة إلكترونية كثافتها ثابتة حول سطح المعدن .

5. ماذا تتوقع أن يحصل عندما نطبق حقل كهربائي على السحابة الإلكترونية ؟

عند تطبيق حقل كهربائي . فإن الإلكترونات الخارجة من سطح المعدن لا تعود إليه وإنما تتحرك في الحقل الكهربائي نحو المصعد ويساعد هذا على إصدار إلكترونات جديدة وتستمر العملية وبسرعة كبيرة جداً وتتسارع مكوّنة حزمة إلكترونية .

6. كيف يمكن زيادة عدد الإلكترونات المنتزعة من سطح المعدن؟

العوامل التي تحدد عدد الالكترونات المنتزعة من سطح المعدن بتسخينه
يزداد عدد الإلكترونات المنتزعة:

1- كلما قل الضغط المحيط بسطحه. 2- كلما ارتفعت درجة حرارته.

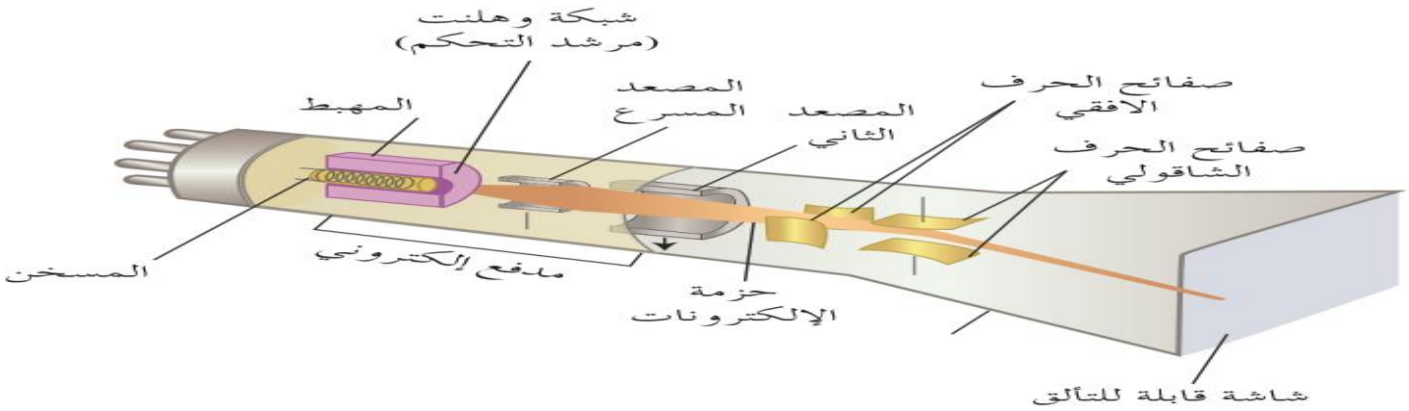
7. عرف الفعل الكهرحراري ؟

الفعل الكهرحراري: هو انتزاع الكترونات الحرة من سطح معدن بتسخينه إلى درجة حرارة مناسبة

راسم الاهتزاز الالكتروني :

اشرح اقسام راسم الاهتزاز الالكتروني ؟

- **المدفع الالكتروني:** مكوّن من (المهبط – شبكة وهنلت – مصعدان)
- **الجملة الحارفة :** مكوّنة من (مكثفتان مستويتان)
- **الشاشة المتألقة :** مكونة من طبقات من (الزجاج السميك – الغرافيت – مادة متألقة)



اشرح عمل راسم الاهتزاز الالكتروني ؟

- **المهبط :** صفيحة معدنية توصل بتوتر سالب يصدر الإلكترونات بالفعل الكهرحراري بتسخينه تسخين غير مباشر بواسطة سلك تنغستين
- **تسخين سلك التنغستين** تنتزع الإلكترونات الحرة وتشكل حزمة متباعدة تقوم **(دور)** شبكة **وهنلت** بـ:

1- تجميع $\bar{e}$ في نقطة تقع على الأنبوب

2- يتغير عدد $\bar{e}$ النافذة من ثقب الشبكة أي تتغير إضاءة الشاشة وذلك بتغير التوتر السالب المطبق على الشبكة.

- **تسرع $\bar{e}$ المنتزعة بين الشبكة والمصعدين و على مرحلتين :**

1- بين الشبكة والمصعد الأول بتوتر مرتفع موجب قابل للتغيير .

2- بين المصعد الأول والمصعد الثاني بتوتر مرتفع موجب ثابت .

- **حرف الحزمة الإلكترونية المسرّعة**

1- أفقياً نحو اللبوس الموجب للمكثفة لبوساها شاقوليان وحقلها أفقي وبقيمة تتناسب طرداً مع التوتر المطبق بين لبوسيها .

2- شاقولياً نحو اللبوس الموجب للمكثفة لبوساها أفقيان وحقلها شاقولي بقيمة تتناسب طرداً مع التوتر المطبق بين لبوسيها

- **تسمح وريقة الألمنيوم**

للإلكترونات بالعبور ،فتصطدم بالمادة المتألقة وينعكس التألق على وريقة **Al** التي تعكسه بدورها خارج الأنبوب.

- **دور الغرافيت:**
  - دور واقي للحزمة الإلكترونية من الحقول الكهربائية الخارجية.
  - تعيد الإلكترونات التي سببت التألق إلى المصعد وتغلق الدارة .

استخدام راسم الاهتزاز: لدراسة الحركات الدورية السريعة كالتيارات المتناوبة والاهتزازات الصوتية على منحني بياني له تواتر و قياس فرق الكمون المستمر والمتناوب .

مسائل داعمة : حل المسألتين الآتيتين :

المسألة رقم (1) : أنبوبة تلفزيون طولها ($0.35\ m$) ، ويبلغ متوسط عدد الإلكترونات فيها (3.5×10^{8} إلكترون/متر) في الحزمة الإلكترونية بين المهبط والمصعد الأول :

1. إذا كان متوسط سرعة حزمة الإلكترونات ($5\times10^{6}\ m.s^{-1}$) لحظة صدمها للشاشة **(المصعد)** ، فاحسب الطاقة الحركية للحزمة الإلكترونية عندئذٍ .
2. احسب فرق الكمون بين المهبط والمصعد الأول بفرض أن الإلكترون غادر المهبط دون سرعة ابتدائية .

المسألة رقم (2) : راسم إهتزاز إلكتروني يصدر مدفعه الإلكتروني حزمة متجانسة من الإلكترونات بدون سرعة ابتدائية عملياً . نطبق توتراً بين مصعده ومهبطه ، قدره ($1125\ V$) ، **والمطلوب :**

1. احسب الطاقة الحركية لأحد إلكترونات تلك الحزمة عندما يصل المصعد وسرعته حينئذ .
2. تدخل الحزمة الإلكترونية بين لبوسي مكثفة مستوية مشحونة البعد بينهما ($2\ cm$) يوازيان مسار الحزمة الإلكترونية في حالة عدم تطبيق فرق كمون بين اللبوسين .

A. احسب شدة الحقل الكهربائي بين الصفيحتين إذا كان فرق الكمون بينهما ($500\ V$) .

B. استنتج معادلة حامل مسار أحد إلكترونات الحزمة بالنسبة لمراقب خارجي .

$e=1.6\times10^{-19}\ C$ ، $m_e = 9\times10^{-31}\ kg$ ، (يهمل ثقل الإلكترون)

Anas Ahmad

الفعل الكهروضوئي

تجربة هرتز نثبت صفيحة من التوتياء (الزنك) فوق قرص كاشف كهربائي ، ونعرضها لأشعة صادرة عن مصباح بخار الزئبق ، نسقط الأشعة الصادرة عن مصباح بخار الزئبق على صفيحة Zn الموصولة بقرص كاشف كهربائي مشحون كهربائياً

ماذا تتوقع أن يحصل لوريقتا الكاشف في كل من الحالات الآتية مع التعليل ؟

إن هذا المصباح يصدر ثلاث أنواع من الأشعة هي الضوء المرئي والأشعة تحت الحمراء و (الأشعة فوق البنفسجية التي تحمل طاقة كافية قادرة على انتزاع الإلكترونات من صفيحة الزنك) .

1- **شحنة الصفيحة سالبة: تتقارب الورقتين حتى تنطبقا (التعليل)** عند تعريض صفيحة Zn لأشعة المصباح فإن الأشعة الفوق بنفسجية تنتزع بعض إلكتروناتها الحرة فيحدث تنافر بين شحنتها السالبة و الشحنة السالبة للإلكترونات المنتزعة منها فيؤدي ذلك إلى فقدانها تدريجياً لشحنتها السالبة فتتعادل وتتقارب الوريقتان حتى تنطبقا .

2- **شحنة الصفيحة سالبة ونضع في طريق الأشعة صفيحة زجاج فإن الانفراج لا يتغير (التعليل)** الزجاج لا يمرر الأشعة فوق البنفسجية الصادرة عن مصباح بخار الزئبق (المسؤولة عن انتزاع الإلكترونات من Zn) ويمرر فقط الأشعة المرئية والتحت حمراء واللتان لا تمتلكان طاقة كافية لانتزاع الالكترونات من الصفيحة فلا يتغيّر انفراج وريقتا الكاشف.

3- **شحنة الصفيحة موجبة: الانفراج لا يتغير (التعليل)** الأشعة فوق البنفسجية انتزعت الإلكترونات الحرة من الصفيحة ولكن الشحنة الموجبة تجذبها لها ولا يتغيّر الانفراج .

اذكر خواص الفوتون ؟ (دورة 2016 الأولى)

اعتبر أن الحزمة الضوئية تواترها f هي حزمة من الجسيمات غير المرئية تسمى **فوتونات**

1- الفوتون جسيم يواكب موجة كهرطيسية تواترها f. 2- شحنته الكهربائية معدومة (متعدد 2017 الأولى)

3- يتحرك بسرعة الضوء في الخلاء . 4- طاقته: $E = hf$

5- كمية حركته: $P = mc, E = mc^2 \rightarrow P = \frac{E}{c^2}c = \frac{E}{c} = \frac{hf}{\lambda f} = \frac{h}{\lambda}$

وتكون استطاعة الموجة الكهرطيسية التي تسقط على سطحه: $P = Nhf$

حيث N عدد الفوتونات التي يتلقاها السطح في واحدة الزمن.

شرح الفعل الكهروضوئي :

1. **عندما يسقط فوتون يحمل طاقة $E = hf$ على سطح المعدن فإنه يصادف إلكترون حر طاقة انتزاعه E_s ويعطيه كامل طاقته ناقش الاحتمالات الممكنة في هذه الحالة**
2. **عندما يكون ($E = E_s$ - $E > E_s$ - $E < E_s$)**
3. **(نفسه اشرح الفعل الكهرضوئي) ؟**
4. الفوتون يحمل طاقة $E = hf$ فإن الإلكترون يقوم بامتصاص كامل طاقة الفوتون ليتغلب على طاقة انتزاعه التي تعطى بالعلاقة $E_s = W_s = hf_s$
5. 1- فإذا كانت E تساوي طاقة الانتزاع E_s أي يخرج $\bar{e}$ من معدن بطاقة حركية معدومة وعندها: $E = E_s$
6. $\Rightarrow hf = hf_s \xrightarrow{\text{نختصر } h} f = f_s \xrightarrow{f=\frac{c}{\lambda}} \frac{c}{\lambda} = \frac{c}{\lambda_s} \xrightarrow{\text{نختصر الثوابت}} \lambda = \lambda_s$
7. (ينتزع الإلكترون فقط بدون طاقة حركية) $f = f_s \ , \lambda = \lambda_s$
8. 2- إذا كانت $E_s < E$ فإن الالكترون ينتزع بجزء من طاقة الفوتون E_s ويبقى الجزء الآخر على شكل طاقة حركية $E > E_s \Rightarrow hf >$

$$hf_s \xrightarrow{\text{نختصر } h} f > f_s \xrightarrow{f=\frac{c}{\lambda}} \frac{c}{\lambda} > \frac{c}{\lambda_s}$$

9. $\xrightarrow{\text{نختصر } c \text{ ونقلب}} \lambda < \lambda_s \Rightarrow E_k = hf - E_s$

شرط حدوث الفعل الكهرضوئي : (ينتزع الإلكترون ومعه طاقة حركية) $f > f_s \ , \lambda < \lambda_s$

10. 3- إذا كانت $E_s > E$ فإن الالكترون يكتسب طاقة حركية ويبقى مرتبطاً بالمعدن ولا ينتزع $\bar{e}$.

11. $E < E_s \Rightarrow hf < hf_s \xrightarrow{\text{نختصر } h} f < f_s \xrightarrow{f=\frac{c}{\lambda}} \frac{c}{\lambda} < \frac{c}{\lambda_s}$

12. $\xrightarrow{\text{نختصر } c \text{ ونقلب}} \lambda > \lambda_s$

13. (لا يتولّد فعل كهرضوئي أي لا ينتزع الإلكترون ولا يمر تيار) : $f < f_s \ , \lambda > \lambda_s$

الخلية الكهرضوئية: الحجيرة الكهرضوئية :

(شرط عملها : $E \geq E_s \Rightarrow hf \geq hf_s \xrightarrow{\text{نختصر } h} f \geq f_s \xrightarrow{f=\frac{c}{\lambda}} \frac{c}{\lambda} \geq \frac{c}{\lambda_s} \xrightarrow{\text{نختصر } c \text{ ونقلب}} \lambda \leq \lambda_s$

عندما يسقط فوتون على سطح المعدن فإنه يصادف إلكترون حر ويعطيه كامل طاقته فإذا كانت طاقة الفوتون الوارد أكبر من طاقة انتزاع الالكترون فإن الالكترون ينتزع ومعه طاقة حركية

استنتج معادلة اينشتاين في الفعل الكهرضوئي

قارن بين تفسير الفعل الكهرضوئي وفقه اينشتاين ووفقه النظرية الموجية الكلاسيكية من حيث : (تواتر الضوء – شدة الضوء – الطاقة الحركية للالكترون – زمن الانتزاع)

وجد اينشتاين أن الالكترون ينتزع بطاقة حركية عظمى عندما :

$$E > E_s \Rightarrow E_k = E - E_s$$

$$E_k = hf - hf_s = \frac{c}{\lambda} - \frac{c}{\lambda_s}$$

$$\boxed{E_k = hc\left(\frac{1}{\lambda} - \frac{1}{\lambda_s}\right)}$$

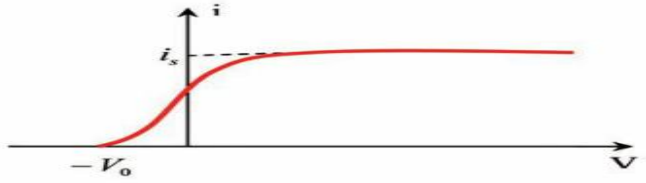
من حيث	الفعل الكهرضوئي وفقه اينشتاين	الفعل الكهرضوئي وفقه النظرية الموجية الكلاسيكية
تواتر الضوء	لا يحدث الفعل الكهرضوئي إذا كان تواتر الفوتون الوارد أقل من تواتر العتبة f_s الذي تتعلق قيمته بطبيعة المعدن	يحدث الفعل الكهرضوئي عند جميع التواترات بحسب شدة الضوء الوارد
شدة الضوء	لا تزداد الطاقة الحركية العظمى للإلكترون المنتزع بزيادة شدة الضوء لأن الالكترون لايمتص سوى فوتون واحد من الفوتونات الواردة	تزداد الطاقة الحركية العظمى للإلكترون المنتزع بزيادة شدة الضوء لأن لأن الضوء ذا الشدة العالية يحمل طاقة أكبر للمعدن
الطاقة الحركية للإلكترون	تزداد E_k بزيادة تواتر الضوء الوارد	لاعلاقة لطاقة الالكترون بتواتر الضوء الوارد
زمن الانتزاع	يحدث انتزاع الالكتروون آنياً	يحتاج الالكترون حتى ينتزع لزمن امتصاص الفوتون الوارد

صف الحجيرة الكهرضوئية وارسم دارتها الكهربائية ؟

حبابة مخلاة من أي غاز تحوي مسريين: المسرى الأول مهبط C يغطي سطحه طبقة من معدن قلوي تتلقى الضوء ، و المسرى الثاني: مصعد A على شكل شبكة معدنية أو حلقة ،

اشرح تأثير التوتر المطبق على الحجيرة وعلى تيار الحجيرة ثم ارسم المنحني للتيار وعلاقته بالتوتر.

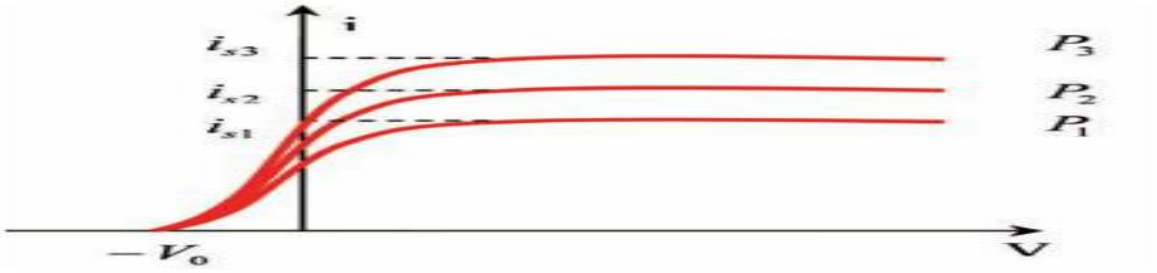
نسلط حزمة ضوئية ذات طول موجي وحيد اللون وتواترها مناسب مع تثبيت شدة الحزمة الضوئية ، ونبدأ بتغيير قيم التوتر المطبق ، فنلاحظ أن التيار يمر عندما كان التوتر المطبق بين المهبط والمصعد سالباً ابتداءاً من $U=-U_0$ حيث U_0: كمون الإيقاف .



- ✓ عندما يكون كمون المهبط (موجباً) أعلى من كمون المصعد تخضع $\bar{e}$ لقوة محركة كهربائية تعاكس جهة الحقل الكهربائي وتعمل هذه القوة على إعادة الالكترونات إلى المهبط ولا يمر تيار
- ✓ عندما يصل التوتر إلى $U = -U_0$ توتر إيقاف تبدأ بعض الإلكترونات بالوصول إلى المصعد فيمر تيار وكلما صغر التوتر بقيمة مطلقة ازداد عدد الالكترونات التي تصل إلى المصعد فتزداد شدة التيار.
- ✓ عندما يكون كمون المصعد أعلى من كمون المهبط تعمل القوة الكهربائية على تسريع الإلكترونات المتجهة نحو المصعد ويزداد بذلك عددها فتزداد بذلك شدة التيار عظمى. $i=i_s$ تيار الإشباع وتصل جميع الإلكترونات إلى المصعد .

اشرح تأثير الاستطاعة الضوئية على تيار الحجيرة ؟

تعطى الإستطاعة الكهربائية بالعلاقة : $P=Nhf$ حيث N عدد الفوتونات فكلما زاد احتمال تصادم الفوتونات مع الإلكترونات زاد ذلك من تيار الإشباع ، إذاً **تزداد شدة تيار الإشباع** بازدياد عدد الفوتونات المتصادمة مع الإلكترونات أي **بزيادة الإستطاعة .**



الأشعة السينية X-ray

مم يتألف أنبوب توليد الأشعة السينية (أنبوب كوليدج)؟

أنبوب زجاجي مخلى من الهواء بشدة $10^{-6}mmHg$ يحوي سلك تنغستين ، يسخن لدرجة التوهج بتيار كهربائي ، و يحيط بالسلك مهبط معدني مقعر الشكل يعمل على عكس حزمة الالكترونات المنبعثة من السلك وتجميعها على الهدف الموصول بالمصعد (مقابل المهبط) و الهدف هو معدن ثقيل درجة انصهاره مرتفعة ويثبت على اسطوانة نحاسية متصلة بمبرد .

اشرح آلية توليد الأشعة السينية ؟ عند تسخين سلك التنغستين تنبعث منه إلكترونات يتم تسريعها بتوتر متواصل كبير $10^4 \rightarrow 10^5$ فولط بين المهبط والمصعد تصطدم المسرّعة بذرات الهدف وجزءاً منها يؤدي إلى انتزاع إلكترون من إلكترونات الطبقات الداخلية في ذرات الهدف، ويبقى مكانه شاغراً فينتقل أحد الإلكترونات من طبقات أعلى لذرات المادة والهدف ليحل مكانه ويترافق ذلك بإصدار فوتونات ذات طاقة عالية هي الأشعة السينية وتتحول الطاقة الحركية للجزء الآخر من الإلكترونات المسرعة بعد اصطدامها إلى طاقة حرارية كبيرة في مادة الهدف لذلك يجب تبريده.

استنتج عبارة طول الموجة الأصغري للأشعة السينية؟

إن طاقة فوتونات الأشعة السينية تساوي الطاقة الحركية للإلكترونات المسرّعة التي هي سبب إصدارها :

$$E = E_k \Rightarrow hf_{max} = eU \Rightarrow h\frac{c}{\lambda_{min}} = eU$$

$\lambda_{min} = \frac{hc}{eU}$: أقصر طول موجة للأشعة السينية و يتوقف λ_{min} على فرق الكمون المطبق U.

ما هي طبيعة الأشعة السينية ؟ أمواج كهرطيسية أطوال موجاتها أقصر بكثير من أطوال أمواج الضوء المرئي: $0.001nm \rightarrow 13.6nm$ وتحمل طاقة عالية جداً وسرعتها بسرعة انتشار الضوء

اذكر مع الشرح خواص الأشعة السينية؟

1- تصدر عن ذرات العناصر الثقيلة (ذات العدد الذري Z الكبير نسبياً) بعد إثارتها .

2- ذات قدرة عالية على النفوذ بسبب قصر طول موجتها

3- تشبه الضوء المرئي من حيث الانتشار المستقيم والإنعكاس و الإنكسار والتداخل والإنعراج .

4- أمواج كهرطيسية غير مشحونة **دليل ذلك** أنها لا تتأثر بالحقلين الكهربائي والمغناطيسي .

5- تسبب التألق لبعض المواد بسبب قدرتها على اثارة ذرات هذه المواد .

6- **تؤين الغازات: (يأتي تعليل أو شرح دورة2005-2017 الثانية)** إذا سقطت حزمة من الأشعة السينية على كرة كاشف كهربائي مشحون فرغت شحنته **علل:** تحمل فوتونات الأشعة السينية طاقة كبيرة تكفي لتأيين الغاز الذي تخترقه فتؤين الهواء المحيط بها فتجذب كرة الكاشف الأيونات المخالفة لشحنتها مما يسبب باعتداله .

7- **تؤثر في الأنسجة الحية:** تتخرب الخلايا إذا استمر تعرضها للأشعة السينية لذا تستعمل الألبسة التي يدخل الرصاص بها للوقاية من حروق الأشعة السينية.

تتوقف قابلية امتصاصها ونفوذها على ثخن المادة وكثافتها وطاقة الأشعة المستخدمة اشرح ذلك؟: (دورة 2017 الثانية)

1) **ثخن المادة:** تزداد نسبة الأشعة الممتصة وتقل نسبة نفاذها بازدياد ثخن المادة .

2) **كثافة المادة:** تزداد نسبة الأشعة الممتصة بازدياد كثافة المادة وتنقص بنقصانها مثل الرصاص والذهب جيدة الامتصاص لكثافتها العالية أما الخشب والبلاستيك ضعيفة الامتصاص لقلة كثافتها .

3) **طاقة الأشعة المستخدمة :** يزداد امتصاصها بنقصان طاقتها ، ونميز نوعين منا من حيث الطاقة (**قد يأتي ماهو الفرق)**

- ✓ **الأشعة اللينة :** أطوال موجاتها $1nm < \lambda < 13.6nm$ طاقتها منخفضة وامتصاصها كبير ونفوذها قليل
- ✓ **الأشعة القاسية :** أطوال موجاتها $0.001nm < \lambda < 1nm$ طاقتها عالية وامتصاصها قليل ونفوذها كبير

Anas Abu Hamdan

الليزر
تضخيم الضوء بالإصدار المحثوث للأشعة

اشرح كل من الليزر و امتصاص الضوء و الاصدار التلقائي و الاصدار المحثوث ؟

- ✓ **الليزر :** عبارة عن إشعاع كهرطيسي (فوتونات عالية الطاقة ومتساوية في التواتر ومتفقة في الطور والاتجاه) يرسل كميّات متساوية من الضوء من حيث التواتر والطور . تندمج مع بعضها البعض لتصبح على هيئة حزمة ضوئية تتسم بالطاقة العالية وذات تماسك شديد .
- ✓ **امتصاص الضوء :** تستطيع المادة امتصاص فوتون فينتقل إلكترون من سوية $\mathbf{E_1}$ إلى سوية أعلى $\boldsymbol{E_2}$. بحيث يكون فرق الطاقة بين السويتين $(\Delta \mathbf{E} = \boldsymbol{E_2} - \mathbf{E_1})$ يساوي طاقة الفوتون الوارد من الحزمة الضوئية $\boldsymbol{hf}$
- ✓ **الإصدار التلقائي:** إذا كانت الذرة مثارة يمكن أن **ينتقل إلكترون عفوياً** من سوية طاقة مثارة إلى سوية طاقة أدنى يؤدي ذلك إلى إصدار فوتون طاقته تساوي فرق الطاقة بين السويتين $(\Delta \mathbf{E} = \boldsymbol{E_2} - \mathbf{E_1})$ والفوتونات الصادرة غير مترابطة وعشوائية .
- ✓ **الإصدار المحثوث:** تعرض الذرة المثارة لحزمة ضوئية يحقق تواترها $\mathbf{f}$ شرط الامتصاص $\boldsymbol{\Delta E = hf}$ حيث $\boldsymbol{\Delta E}$ هو فرق الطاقة بين السوية المثارة والسوية الأساسية فيؤدي مرور الفوتون بجوار الذرة المثارة إلى انتقال إلكترون إلى السوية الأساسية **فيصدر فوتون:**
  1) طاقته تساوي طاقة الفوتون الوارد ونفس تواتره
  2) جهته بجهة الفوتون الوارد
  3) بطور يطابق طور الفوتون الوارد

ما هو الفرق بين الإصدارين التلقائي والمحثوث ؟

- ✓ الإصدار التلقائي يحدث سواد أكان هناك حزمة ضوئية واردة على الذرات أم لا بينما في الإصدار المحثوث لا يحدث إلا بحزمة ضوئية واردة تواترها يحقق شرط الامتصاص $\boldsymbol{\Delta E = hf}$
- ✓ الإصدار التلقائي يحدث في جميع الإتجاهات وطور الفوتون الصادر يأخذ أي قيمة بينما في الإصدار المحثوث جهة وطور الفوتون الصادر محددة تطابق جهة وطور الفوتون الوارد .

اشرح آلية عمل الليزر ؟

الوسط المضخم: بفرض $\mathbf{N}$ عدد الذرات في السوية الأساسية و $\mathbf{N^*}$ عدد الذرات في الحالة المثارة فإذا عبرت حزمة ضوئية تواترها $\mathbf{f}$ بحيث $\boldsymbol{\Delta E = hf}$ فإن امتصاص الفوتونات يتناسب طرداً مع $\mathbf{N}$ و الإصدار المحثوث للفوتونات يتناسب طرداً مع $\mathbf{N^*}$ فإذا كان $\mathbf{N<N^*}$ فإن عدد الفوتونات الناتجة عن المحثوث أكبر من عدد الفوتونات التي جرى امتصاصها وتزداد شدة الحزمة الضوئية بعد عبورها الوسط ونقول عن الوسط أنه مضخم ويصلح لتوليد ليزر. **(شرط أن يكون الوسط مضخم $\mathbf{N<N^*}$)**

فإذا كان $\mathbf{N>N^*}$ فإن عدد الفوتونات الناتجة عن المحثوث أصغر من عدد الفوتونات التي جرى امتصاصها وتنقص شدة الحزمة الضوئية بعد عبورها الوسط ونقول عن الوسط أنه غير مضخم ولا يمكن للوسط أن يولّد ليزر.

حجرة التضخيم: وهي الوسط المضخم ومرآتين إحداهما عاكسة جزئياً والأخرى كلياً تقوم بإعادة تمرير الحزمة في الوسط المضخم فتسبب إصدارات محثوثة جديدة تتفق مع الحزمة بالاتجاه ومع الفوتونات بالتواتر والطور الإبتدائي مما يزيد من طاقة الحزمة أي يضخمها، وتسمح المرآة العاكسة جزئياً بتمرير جزء من الحزمة الضوئية إلى الوسط الخارجي .

الضخ: لما كان الإصدار المحثوث يُعيد الذرات إلى السوية الأساسية فإنه لضمان تحقق الشرط $N<N^*$ لابد من مؤثر خارجي على الوسط المضخم يقوم بتقديم الطاقة إلى الوسط المضخم مما يؤدي إلى إثارة الذرات ويعوّض عن انتقال الذرات إلى حالة الطاقة الأساسية. ويتم الضخ بطرق :

- ✓ **الضخ الكهربائي:** عن طريق التفريغ الكهربائي للغاز داخل الأنبوب كما في الليزرات الغازية والنصف الناقلة.
- ✓ **الضخ الضوئي:** منبع ضوئي مثل لمبة الكزينون أو ليزر آخر للحصول على ليزرات تعمل ضمن الطيف المرئي أو طيف تحت الحمراء القريب منه مثل الليزر الياقوتي .
- ✓ **الضخ الكيميائي :** يكون التفاعل الكيميائي بين مكونات الوسط الفعال أساس توليد الطاقة لتوليد الليزر ولاتحتاج لمصدر طاقة خارجية .

اشرح خواص حزمة الليزر

- ✓ **وحيدة اللون** أي تتمتع بالتواتر نفسه .
- ✓ **مترابطة بالطور :** إن الفوتونات الناتجة عن الإصدار المحثوث تتمتع بطور الفوتون الذي حثّها ،
- ✓ **انفراج حزمة الليزر صغير** أي لايتوسع مقطع الحزمة كثيراً عند الابتعاد عن منبع الليزر .

لدينا مادة ذات نظام ذرّي مستويين للطاقة والمطلوب :

1. **ماشروط توليد الليزر ؟**

تضخيم الضوء بالإصدار المحثوث للأشعة في وسط مضخم يصلح لتوليد ليزر ومضخة طاقة الليزر وحجرة تضخيم.
(المادة الفعالة – جملة التضخيم الضوئي – جملة الضخ الضوئي)

2. **ما الانتقالات التي تحصل عند امتصاص أو إصدار الضوء ؟**

عند امتصاص الضوء تنتقل الإلكترونات من سوية أدنى إلى سوية أعلى .

عند إصدار الضوء تنتقل الإلكترونات من سوية أعلى إلى سوية أدنى .

3. **ما الانتقالات التي تعمل على توليد الليزر وتحت أيّة شروط؟**

انتقال الإلكترونات من سوية أعلى إلى سوية أدنى نتيجة حثها بفوتونات واردة في وسط مضخم .

اشرح أنواع الليزر:

- ✓ **الليزرات الغازية:** يكون الوسط المضخم غازياً مثل : ليزر هيليوم نيون (**He-Ne**): يستخدم في المخابر طول موجته ($\lambda 0.638\ m$) ويستخدم هذا الليزر الانفراغ الكهربائي لنقل الذرات إلى الحالة المثارة
- ✓ **الليزر الياقوتي :** هو ليزر يكون فيه الوسط مادة الياقوت .
- ✓ **الليزرات الصلبة :** ليزر نصف ناقل: يكون فيه الوسط المضخم من مادة نصف ناقلة ويستخدم بكثرة في الاتصالات
- ✓ **الليزرات السائلة :** يستخدم فيه كلوريد الألمنيوم المذاب في الكحول الإتيلي كوسط فعال

ما هي أهم استخدامات الليزر ؟

- ✓ **صناعية:** لحام وقص معادن .
- ✓ **طبية:** طب العيون ، و بعض الأمراض الجلدية ، والجراحة ، وبعض أنواع السرطانات وإزالة الشعر والوشوم.
- ✓ **بيئية:** مراقبة تلوث الجو
- ✓ **عسكرية:** توجيه الصواريخ
- ✓ **في الاتصالات اللاسلكية** بين المحطات الأرضية وسفن الفضاء .وماسحات الباركود وإظهار الصور ثلاثية الأبعاد

Anas Ahmad

- **اختبر نفسك:**

أولاً: اختر الإجابة الصحيحة مما يأتي:

1. تتمتع حزمة الليزر بإحدى الخواص الآتية:
   a. مترابطة بالطور.
   b. انفراج حزمة الليزر يضيق عند الابتعاد عن منبع الليزر.
   c. لها اطوار مختلفة.
   d. طول موجتها أكبر من طول موجة الضوء الوارد.
2. الإصدار التلقائي:
   a. لا يحدث إلا بوجود حزمة ضوئية واردة.
   b. يحدث بوجود حزمة ضوئية واردة على الذرة المثارة أم لم يكن هناك حزمة.
   c. يحدث باتجاه محدد.
   d. فوتوناته تطبق فوتونات الأشعة الواردة على الذرة.
3. إذا عبرت حزمة ضوئية تتمتع بتواتر مناسب الوسط المضخم فإن امتصاص الفوتونات يتناسب طرداً مع:
   a. عدد الذرات في السوية غير المثارة.
   b. عدد الفوتونات.
   c. درجة الحرارة.
   d. عدد الذرات في السوية المثارة.
4. إذا عبرت حزمة ضوئية تتمتع بتواتر مناسب الوسط المضخم فإن إصدار الفوتونات بالإصدار المحثوث يتناسب طرداً مع:
   a. عدد الذرات في السوية غير المثارة.
   b. عدد الفوتونات.
   c. درجة الحرارة.
   d. عدد الذرات في السوية المثارة.

ثانياً: فسر ما يأتي :

1. لا يمكن الحصول على وسط مضخم من دون استخدام مؤثر خارجي؟

لأن الإصدار المحثوث يُعيد الذرات إلى السوية الأساسية وهذا يسبب عدم بقاء $N<N^*$ لذا لابد من مؤثر خارجي يقدم الطاقة إلى الوسط المضخم مما يؤدي إلى إثارة الذرات ويُعوّض عن انتقال الذرات إلى حالة الطاقة الأساسية .

2. لا تتحلل حزمة الليزر عند إمرارها عبر موشور زجاجي؟

لأن حزمة الليزر وحيدة اللون

ثالثاً: اكتب خواص حزمة الليزر.

- خواص أشعة الليزر:

1. وحيدة اللون، أي لها التواتر ذاته. 2. مترابطة بالطور. 3.انفراج حزمة الليزر صغير.

6 أسئلة نظرية تشرح الفيزياء الفلكية
تم شرح هذه الأسئلة بشكل بسيط مفهوم على قناة اليوتيوب

السؤال الأول :أنظر إلى السماء في ليلة غير غائمة في مكان لا يوجد فيه تلوث ضوئي ، فنرى أجرام ونقاط مضيئة في السماء والمطلوب :

1. أذكر ثلاثة فروق بين الكواكب والنجوم .
2. كواكب المجموعة الشمسية ثمانية أربعة منها صخرية والباقي غازية، حدد كل منها مع ترتيب الموقع بالنسبة للشمس .
3. مامصدر الطاقة التي تعطيها الشمس، مفسراً النقصان في كتلتها .
4. فسر العلماء والفلكيون أن النظام الشمسي نشأ وفق نظرية السديم، اشرح هذه النظرية .
5. كيف يتم تحديد كتلة وعمر النجم وتركيبه الكيميائي ؟

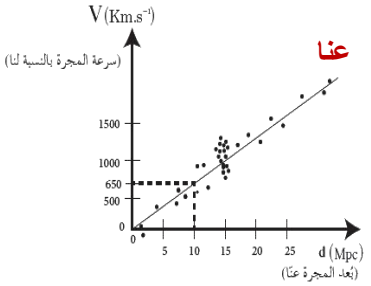
الحل :

1.

المقارنة من حيث :	النجوم	الكواكب
الإشعاع الصادر	تبث الضوء والحرارة من داخلها ويكون إشعاعها أقل ثباتاً من إشعاع الكواكب	تعكس ضوء وحرارة الشمس ويكون إشعاعها أكثر ثباتاً من إشعاع النجوم
الموضع والحركة	لا تتغير أوضاعها بشكل ملحوظ , أي مواقعها تبقى في تشكيلات ثابتة	تتحرك في مجال معيّن بالنسبة لمراقب على الأرض
درجة الحرارة	درجة حرارتها عالية ويسبح الملايين منها في الفضاء على امتداد القبة السماوية	باردة وتستمد حرارتها من الشمس

2. **تحيط بالشمس أربعة كواكب صخرية وترتيبها حسب الأقرب من الشمس (عطارد – الزهرة – الأرض – المريخ) ويليها أربعة كواكب غازية (المشتري – زحل – أورانيوس – نبتون)**
3. **مصدرها الاندماج النووي وهو اندماج الهدروجين لتكوين الهليوم ومع مرور الزمن تزداد كمية الهليوم وتقل كمية الهدروجين . وتنطلق كمية كبيرة جداً من الطاقة ناتج عن نقص في كتلة الشمس وتحول هذا النقص إلى طاقة وفق علاقة أينشتاين في النسبية الخاصة $\Delta E = \Delta m.c^2$**
4. **نظرية السديم : تنص على أنه يبدأ التفاعل النووي داخل النجم عندما تنهار سحابة مكونة من الغاز و الجسيمات (وهي السديم) تحت تأثير الضغط الناتج عن جاذبيتها فيولد هذا الانهيار كرة كبيرة من الضوء ويبدأ الاندماج بين الذرات تحت تأثير الضغط والحرارة المرتفعين، فيندمج الهدروجين الذي يشكل النسبة الاكبر من النجم ليتحول إلى هيليوم، وتصدر الطاقة نتيجة النقص في الكتلة وفق علاقة آينشتاين .**
5. **يمكن تحديد كتلة النجم، وعمره، وتركيبه الكيميائي، وعدة خصائص أخرى بملاحظة ودراسة طيفه وشدة إضاءته وحركته.**

السؤال الثاني : يعبر التمثيل البياني المجاور عن سرعة المجرات بدلالة بعدها عنا وفق العالم هابل، المطلوب :



1. أيهما أكبر سرعة ابتعاد المجرات القريبة أم البعيدة عنا ؟
2. هل وجد هابل انزياحاً لطيف المجرات نحو اللون الأزرق أم نحو الأحمر وماذا يعني ذلك؟
3. أرمز لثابت التناسب (الميل) التقريبي بـ H_0 و اوجد العلاقة بين d،H_0،v

الحل :

1. **وجد هابل كلما كانت المجرة أبعد كانت سرعتها أكبر .**
2. **طيف المجرات ينزاح نحو اللون الأحمر لأن المجرات تبتعد ويزداد الطول الموجي مع ابتعادها**
   وفق المعادلة: $\lambda' = \left(1+\frac{v'}{v}\right)\lambda$ λ' أكبر من λ
3. **$v = H_0.d$ حيث : v سرعة المجرة بالنسبة لنا، H_0 ثابت هابل، d بعد المجرة عنا.**

Anas Ahmad

السؤال الثالث : عندما يكون المنبع الموجي ساكناً بالنسبة للمراقب فإن $\lambda = \frac{v}{f}$، وعندما يتحرك المنبع الموجي بالنسبة للمراقب بسرعة v' تشغل الموجة المسافة λ'، أوجد العلاقة بين λ' و λ ، لكل من الحالتين وماذا تسمى هذه الظاهرة في الطيف المرئي في كلتا الحالتين

a. عندما يبتعد المنبع الموجي عن المراقب
b. عندما يقترب المنبع الموجي من المراقب

Anas Ahmad

- صيغة أخرى للسؤال فسر:

a. عندما يبتعد المنبع الضوئي عن المراقب ينزاح الطيف الموجي نحو الأحمر واستنتج العلاقة بين λ' و λ
b. عندما يقترب المنبع الضوئي عن المراقب ينزاح الطيف الموجي نحو الأزرق واستنتج العلاقة بين λ' و λ

الحل :

1. عندما يبتعد منبع موجي عن مراقب فإن الطول الموجي يزداد، وبما أن الضوء ذا الطول الموجي الأكبر هو الاحمر، فعندما يبتعد المنبع الضوئي عن المراقب ينزاح الطيف الموجي نحو الاحمر.

عندما يكون المنبع ساكناً بالنسبة للمراقب تشغل الموجة مسافة λ : $\lambda = \frac{v}{f}$

عندما يتحرك المنبع مبتعداً عن المراقب بسرعة v'، تشغل الموجة مسافة λ' ويكون الزيادة في طول الموجة: $\Delta\lambda = \frac{v'}{f}$

$$\lambda' = \lambda + \Delta\lambda \Rightarrow \lambda' = \frac{v}{f} + \frac{v'}{f} \Rightarrow$$

$$\lambda' = \frac{v+v'}{f} \overset{\lambda=\frac{v}{f}}{\Longrightarrow} \lambda' = \frac{v+v'}{\frac{v}{\lambda}} \Rightarrow \lambda' = \left(\frac{v+v'}{v}\right)\lambda$$

$$\boxed{\lambda' = \left(1 + \frac{v'}{v}\right)\lambda}$$

λ' أكبر من λ أي ظاهرة انزياح نحو اللون الأحمر

2. عندما يقترب منبع موجي من مراقب فإن الطول الموجي ينقص، وبما أن الضوء ذا الطول الموجي الأقصر هو الأزرق، فعندما يقترب المنبع الضوئي من المراقب ينزاح الطيف الموجي نحو الأزرق.

عندما يكون المنبع ساكناً بالنسبة للمراقب تشغل الموجة مسافة λ : $\lambda = \frac{v}{f}$

عندما يتحرك المنبع مقترباً من المراقب بسرعة v'، تشغل الموجة مسافة λ' ويكون النقصان في طول الموجة: $\Delta\lambda = \frac{v'}{f}$

$$\lambda' = \lambda - \Delta\lambda \Rightarrow \lambda' = \frac{v}{f} - \frac{v'}{f} \Rightarrow$$

$$\lambda' = \frac{v-v'}{f} \overset{\lambda=\frac{v}{f}}{\Longrightarrow} \lambda' = \frac{v-v'}{\frac{v}{\lambda}} \Rightarrow \lambda' = \left(\frac{v-v'}{v}\right)\lambda$$

$$\boxed{\lambda' = \left(1 - \frac{v'}{v}\right)\lambda}$$

λ' أصغر من λ أي ظاهرة انزياح نحو اللون الأزرق

السؤال الرابع : في الفيزياء الفلكية إن من أكثر النظريات قبولاً حول نشأة الكون نظرية الانفجار الأعظم والمطلوب :

Anas Ahmad

1. اشرح ماذا تقول نظرية الانفجار العظيم
2. اشرح الأسس الفيزيائية التي تقوم عليها هذه النظرية

الحل :

1. إن الكون نشأ قبل حوالي 13.8 مليار سنة. في تلك اللحظة، كان الكون عبارة عن نقطة منفردة صغيرة جداً، ذات كثافة عالية جداً من المادة والحرارة التي تفوق الخيال. ثم حدث الانفجار العظيم. وبدأت المادة تأخذ أشكالها، فتشكلت في البداية الجسيمات الأولية، ثم الذرات والجزيئات و الغبار الكوني، فالنجوم والمجرات، و استمر توسع الكون إلى يومنا هذا.
2. - الانزياح نحو الأحمر لطيف المجرات.

- وجود تشويش ضعيف لموجات راديوية قادمة بشكل منتظم تماماً من جميع اتجاهات الكون، و بالشدة نفسها المتوقعة في وقتنا الحاضر لإشعاع الانفجار الأعظم.
- وجود كميات هائلة من الهيدروجين والهليوم في النجوم، فمثلاً تبين أن كمية الهليوم التي تحويها شمسنا أكبر بثلاث أضعاف من الكمية التي يمكن أن تتولد نتيجة اندماج الهيدروجين في قلب الشمس، وهذا يستدعي وجود مصدر هائل آخر درجة حرارته أعلى بكثير من درجة حرارة الشمس، إنها الدقائق الأولى من بدء الانفجار الأعظم.

السؤال الخامس :

في الفيزياء الفلكية أفترض أني على سطح الأرض، وأريد إلقاء جسم للأعلى حتى يفلت من جذب الأرض وينطلق في الفضاء والمطلوب :

1. عرف السرعة الكونية الأولى واستنتج العلاقة المعبر عنها
2. عرف السرعة الكونية الثانية (سرعة الإفلات) واستنتج العلاقة المعبرة عنها
3. استنتج العلاقة بين السرعة الكونية الأولى والسرعة الكونية الثانية .

Anas Ahmad

الحل :

1. السرعة الكونية الأولى هي السرعة المدارية (مماسية للمسار الدائري حول الأرض) التي تجعل قوة العطالة النابذة للجسم تساوي قوة جذب الأرض له.

قوة جذب الأرض $F_c = F_g$ القوة الجاذبة المركزية

$$m.a_c = G\frac{mM}{r^2}$$

$$m\frac{v^2}{r} = G\frac{mM}{r^2} \Rightarrow v_1^2 = \frac{GM}{r}$$

السرعة الكونية الأولى : $\boxed{v_1 = \sqrt{\frac{GM}{r}}}$

2. السرعة الكونية الثانية هي السرعة التي تجعل الطاقة الحركية للجسم المبتعد عن الأرض تساوي طاقة الجذب الكامنة

الطاقة الحركية للجسم المبتعد $E_k = E_p$ طاقة الجذب الكامنة (عمل قوة التجاذب)

$$\frac{1}{2}mv^2 = F_g.r$$

$$\frac{1}{2}mv^2 = G\frac{mM}{r^2}r$$

السرعة الكونية الثانية (سرعة الإفلات) : $\boxed{v_2 = \sqrt{\frac{2GM}{r}}}$

حيث:

- v: سرعة الإفلات من الأرض (السرعة الكونية الثانية).
- G: ثابت التجاذب العالمي.
- M: كتلة الأرض (الجسم الجاذب).
- r: نصف قطر الأرض.

3. السرعة الكونية الأولى : $\boxed{v_1 = \sqrt{\frac{GM}{r}}}$, السرعة الكونية الثانية (سرعة الإفلات) : $\boxed{v_2 = \sqrt{\frac{2GM}{r}}}$

$$\frac{v_2}{v_1} = \frac{\sqrt{\frac{2GM}{r}}}{\sqrt{\frac{GM}{r}}} = \sqrt{2} \xrightarrow{\text{العلاقة بين السرعتين}} \boxed{v_2 = \sqrt{2}.v_1}$$

السؤال السادس :الثقب الأسود هو حيّز ذو كثافة هائلة لا يمكن لشيء الهروب من جاذبيته يعطى نصف قطره بالعلاقة : $r = \frac{2GM}{c^2}$ المطلوب :

1. أكتب دلالات الرموز في العلاقة السابقة
2. ماهي الطرق الممكنة لرصد الثقوب السوداء على الرغم من أنه لا يمكن رؤيتها فهي تبتلع الضوء ؟
3. كيف يمكن للثقب الأسود أن يجذب الضوء؟ هل للضوء كتلة؟
4. لو ضُغِط كوكب ليصبح ثقب أسود ،استنتج نصف قطر الكوكب عندئذٍ .

Anas Ahmad

الحل :

1. c: سرعة الضوء G: ثابت التجاذب العالمي. M: كتلة الجسم الأسود (الجسم الجاذب). r: نصف قطر الجسم الأسود .
2. - سلوك الأجسام المجاورة للثقوب السوداء من خلال دراسة الحركات غير المتوقعة للنجوم أو الغبار أو الغازات المحيطة بالأماكن غير المرئية.
   - الانبعاث الإشعاعي: الناتج عن حرارة وسرعة الأجسام التي تدور حول الثقب الأسود والتي تبعث بأشعة سينية يتم استقبالها على الأرض

- تأثير عدسة الجاذبية: وفق النظرية النسبية العامة تحدث الجاذبية انحناء في الفضاء، فضوء النجوم أو المجرات الذي يمر بجوار ثقب أسود ينحني فتبدو تلك النجوم أو المجرات في غير أماكنها بالنسبة للتلسكوبات لأرضية، تعرف هذه الظاهرة باسم عدسة الجاذبية

3. ليس للضوء كتلة سكونية لكن له طاقة تكافئ كتلة تعطى بالعلاقة: $E = m.c^2$ يعمل الثقب الأسود على جذبها .
4. نستنتج أولاً السرعة الكونية الثانية :

الطاقة الحركية للجسم المبتعد $E_k = E_p$ طاقة الجذب الكامنة (عمل قوة التجاذب)

$$\frac{1}{2}mv^2 = F_g.r \Rightarrow \frac{1}{2}mv^2 = G\frac{mM}{r^2}r$$

السرعة الكونية الثانية (سرعة الإفلات) $v = \sqrt{\frac{2GM}{r}}$:

وبما أنه لا يمكن لأي جسم أن تتجاوز سرعته سرعة الضوء في الخلاء فيكون : $v = c \Rightarrow c = \sqrt{\frac{2GM}{r}}$

فيكفي الجسم الجاذب ليكون جسم أسود أن يكون نصف قطره يعطى بالعلاقة: $\boxed{r = \frac{2GM}{c^2}}$

أرجو منكم دعوة صالحة

محبكم : أنس أحمد

Anas Ahmad