اسم عضو هيئة التدريس	**د. علية الدبسي**
المادة	**فيزياء نووية**
الشعبة	**الفرقة الثالثة - شعبة الفيزياء – كلية التربية**

تم تدريس 6 محاضرات ومتبقي 4 محاضرات

وقد تم التواصل مع الطلبة من خلال تطبيق الواتساب

الباب الأول
الـــذرة

1.1 تركيب الذرة:

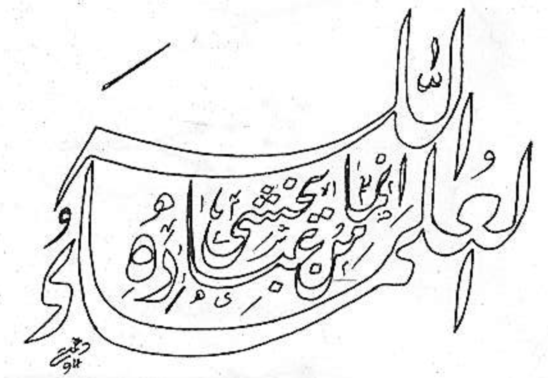
بذلت عدة محاولات لدراسة تركيب الذرة والنواة. وقد استغرق ذلك الفترة الزمنية فيما بين العام 1900 وحتى العام 1930. ولقد تبين خلال هذه المسيرة أن الميكانيكا الكلاسيكية التي بنيت على قوانين نيوتن للحركة قد فشلت في وصف حركة وسلوك الجسميات الذرية والنووية. كما وقد فشلت النظرية الكهرومغناطيسية الكلاسيكية التي بنيت على معادلات ماكسويل في دراسة هذه الجسميات .

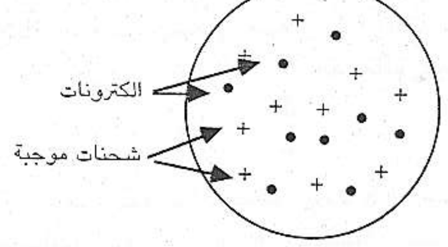
(P-e) 1

في العام 1910. اقترح طومسون نظاماً للذرة باعتبارها كرة من الشحنات الموجبة تنتظم ـ تتوزع ـ داخلها الالكترونات وذلك كما نبينه في الشكل (1 . 1 أ). ولكن هذا النموذج لم يكتب له البقاء طويلا. فقد بينت تجارب جايجر ومرسدن في العام 1909 أنه لا بد أن تحتوي الذرة على جسيم مركزي هائل الكتلة، وبالتالي اقترح رذرفورد عام 1911 نظاماً أخر للذرة (الشكل 1 . 1 ب) يتركب من جسيم مركزي هو النواة تتركز فيها الشحنة الموجبة والكتلة أيضاً بينما تتوزع الالكترونات على مسافات بعيدة من النواة ..

2 N-P

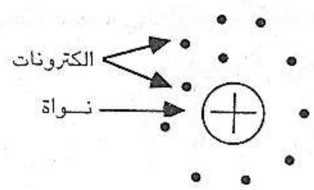
ولكن هذا النموذج قد فشل هو الآخر كسابقه، إذ أن النظرية الكهرومغناطيسية في ذلك الوقت كانت تقتضي أن يفقد الالكترون طاقته ويبدأ في الإشعاع باستمرار مما ينتج عنه تحركه في مسار حلزوني مقترباً من النواة حتى ينتهي به الأمر داخلها، ومن ثم تتعادل الشحنة الكهربيه السالبة مع شحنة النواة الموجبة وينتهي الأمر بالمادة إلى الفناء .. ؟! وهذا خلاف المألوف والمعروف إذ تظل المادة على حالها. وهكذا اثبت هذا النموذج فشله هو الأخر مثله في ذلك مثل النظرية الكهرومغناطيسية الكلاسيكية. وطواه هو الأخر النسيان ..





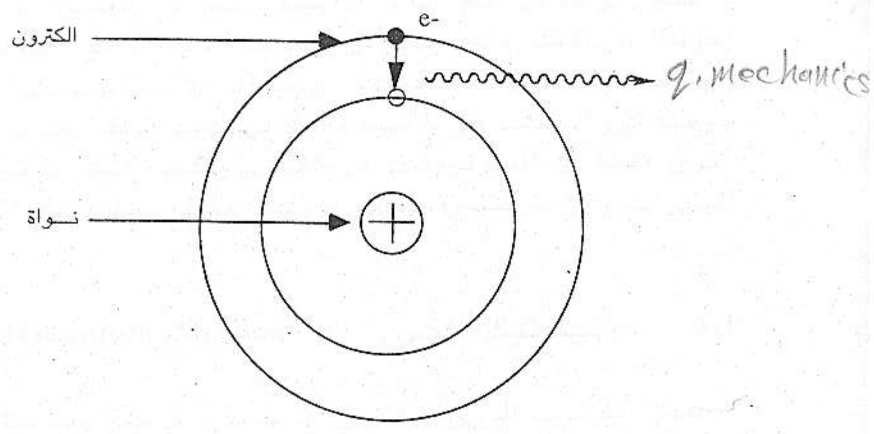
كعكة زبيب

أ ـ نموذج طومسون



عالمستويات مدارات ثابتة

ب ـ نموذج رذرفورد



جـ ـ نموذج بوهر

الشكل (1.1) تركيب الذرة

في العام 1901 اقترح بلانك أن الاشعاع الكهرومغناطيسي يمكن أن ينطلق على شكل جسيمات أو "كمات" Quanta أطلق عليها أسم الفوتونات. حيث يحمل الفوتون كماً محدداً من الطاقة (E) يعطى بالعلاقة التي تعرف بمعادلة بلانك:

$$E = \hbar \upsilon \qquad (1 . 1)$$

حيث :

h مقدار ثابت يعرف بثابت بلانك ويساوي $6.6255\ 10^{-34}$ Js

υ تردد الموجة

وحيث أن سرعة الضوء C فإن :

$$C = \lambda \upsilon$$

حيث λ طول الموجة، وينتج أن :

$$E = \hbar \frac{c}{\lambda} \qquad (2 . 1)$$

3 وفي عام 1905 اقترح آينشتاين أنه يمكن للاشعاع أن يمتص على شكل كمات بطاقة تساوي $h \upsilon$.

وفي ضوء ما سبق اقترح بوهر عام 1915 نظاماً أخر للذرة (انظر الشكل 1 . 1 جـ) حيث أعتبر أنها عبارة عن نواة مركزية بينما تدور الالكترونات في مدارات حولها كما هو مبين بالشكل. كما ويمكن أن يفقد او يكتسب الالكترون طاقة معينة ومن ثم يهبط أو يقفز إلى أو من مدار إلى أخر، وبالتالي لا يستمر في اطلاق الطاقة بالاشعاع كما تفترض النظرية الكهرومغناطيسية الكلاسيكية .

ولقد لاقى هذا النموذج نجاحات كثيرة حيث استطاع أن يفسر الكثير من الظواهر الفيزيائية، كما وتم اجراء اضافات أو تعديلات عديدة عليه بينما ظل نموذجا أساسيا لنماذج أخرى مشابهة.

2.1 الخاصة الإزدواجية :

بين كمبتون عام 1923 أن أشعة x يمكنها التشتت عن الالكترونات فيما يعرف بتفاعل كمبتون. وهذا يعني أن الكمات أو الفوتونات ذات طبيعة "جسيمية" وبالتالي فإن هذه "الجسيمات" أو الكمات تمتلك كمية حركة (زخم) يعطى بالعلاقة:

$$p = \frac{h}{\lambda} \qquad (3.1)$$

حيث P زخم «الجسيم» و λ طول الموجه «المرافقه» له

وبالمثل، وحسب مبدأ التماثل Symmetry في الطبيعة فإن دي بروجلي افترض فرضاً ثورياً عام 1924 وهو أن الجسيمات هي الأخرى تمتلك خواصاً "موجية". وبالتالي فإن أي جسم يتحرك بزخم (P) سوف ترافقه موجة طولها الموجي (λ) حيث :

$$\lambda = \frac{h}{p} \qquad (3'.1)$$

وكان لا بد لهذا الفرض من دليل عملي يعضده. وجاء ذلك على يدي داڤيسون وجيرمر عام 1927، اذ بينا بالتجربة العملية أن شعاعاً (حزمة) من الالكترونات يمكن أن يتشتت Scattered عند سقوطه على بلورات من النيكل. وبالتالي فإن جسيمات الالكترونات ذات خاصية موجية لأن التشتت هو خاصية ذاتية للموجات. ولقد بينت تجارب أخرى لاحقة أن النيوترونات هي الأخرى يمكنها التشتت عن بعض البلورات، ومن ثم أصبح فرض دي بروجلي حقيقة مسلماً بها .

3.1 ميكانيكا الكم :(Quantum Mechanics)

لفهم التركيب الذري والنووي لا بد من دراسة ميكانيكا الكم ومعادلات شرودنجر التي حلت محل الميكانيكا الكلاسيكية للحركة. وقد بنيت أساسيات ميكانيكا الكم أو ميكانيكا الموجات على فرض دي بروجلي السابق.

لنفترض أن لدينا جسيما كتلته m يتحرك في حيز جهد V (r , t) فإن الطاقة الكلية له (E) تعطى بالعلاقة:

$$E = \frac{p^2}{2m} + V(r,t) \qquad (4.1)$$

هذه العلاقة هي العلاقة الكلاسيكية.

يمكن الآن تمثيل الطاقة والزخم لجسيم بدلالة مؤثر تفاضلي Differential Operator يؤثر على موجة ψ (ترافق الجسيم) وذلك وفق التعريفات التالية :

$$\varepsilon \rightarrow i\hbar \frac{\partial}{\partial t} \;,\; p \rightarrow -i\hbar\nabla \qquad (5.1)$$

حيث :

∇ التفاضل بالنسبة للموضع ، $\hbar = \frac{h}{2\pi}$

بالتعويض في المعادلة (1 . 4) ينتج أن :

$$i\hbar \frac{\partial \psi}{\partial t} = -\frac{\hbar^2}{2m}\nabla^2\psi + V(r,t)\psi \qquad (6.1)$$

تعرف هذه المعادلة بمعادلة شرودنجر في صورتها المبسطة.

وحيث أن ψ بصورة عامة هي دالة في الزمان والمكان فإنه يمكن كتابتها على الصورة:

$$\psi(r,t) = u(r)\,f(t) \qquad (7.1)$$

وبالتعويض في معادلة (1 . 6) ينتج أن:

$$u\, i\hbar \frac{df}{dt} = -f\frac{\hbar^2}{2m}\nabla^2 u + Vuf \qquad (8.1)$$

وبالقسمة على uf وإعادة ترتيب الحدود ينتج أن:

$$i\frac{\hbar}{f}\frac{df}{dt} = \frac{1}{u}\left(-\frac{\hbar^2}{2m}\nabla^2 u + Vu\right) \qquad (8'.1)$$

وحيث أن الطرف الأيمن يعتمد على [illegible]

[illegible]

الطرف الأيسر على الزمن فقط، فإن كلاً منها ينبغي له أن يساوي نفس ثابت الفصل (E)، وينتج أن:

$$i\frac{\hbar}{f}\frac{df}{dt} = E \qquad (9 . 1)$$

وأن:

$$-\frac{\hbar^2}{2m}\nabla^2 u + V u = E u \qquad (10 . 1)$$

ويمكن ايجاد حل للمعادلة (1 . 9) حيث:

$$f = A e^{-iEt/\hbar} \qquad (11 . 1)$$

حيث A ثابت يمكن تعينه حسب الشروط الابتدائية
وتعرف E أحيانا بالقيم الذاتية Eigenvalue .
أما المعادلة (1 . 10) فتعرف بالمعادلة المستقلة عن الزمن Time Independent ويمكن حلها إذا عرفت قيمة دالة الجهد (V).

ومن المناسب تبسيط الأمور أحياناً بحل هذه المعادلة في بعد واحد وليكن الاتجاه (x) وذلك حسب الشروط التالية:

1 . عندما تكون x أقل من صفر فان $V(x) = 0$

2 . عندما تكون x أكبر من صفر فان $V(x) = V_0$

وينتج أن :

$$-\frac{\hbar^2}{2m}\frac{d^2 u}{dx^2} + V(x)\,u = E\,u \qquad (12 . 1)$$

ومن ثم يمكن ايجاد حلول هذه المعادلة كما يلي:

1 . في الحالة الأولى وعندما $x < 0$ و $V(x) = 0$ فان :

$$u(x) = B\sin\alpha x + C\cos\alpha x \qquad (13 . 1)$$

حيث :

$$\alpha = \frac{\sqrt{2mE}}{\hbar}$$

C , B ثوابت.

2 . في الحالة الثانية وعندما $x > 0$ و $V(x) = V_0$ وبحيث يكون $0 \le E \le V_0$ فان:

$$u(x) = D e^{-\beta x} + G e^{\beta x} \qquad (14 . 1)$$

حيث :

$$\beta = \frac{\sqrt{2m(V_0 - E)}}{\hbar}$$

G , D مقادير ثابتة .

مما سبق يمكن استنتاج أن معادلة (1 . 7) يمكن كتابتها على الصورة:

$$\psi(r, t) = u(r)\, e^{-iEt/\hbar} \qquad (7' . 1)$$

تطبيع الدالة ψ (Normalization)

حيث أن ψ هي دالة الموجة للجسيم، وهي دالة متصلة عند جميع نقاط الفضاء الذي يمكن أي يوجد به الجسيم، فإن احتمال وجود الجسيم في مكان ما من الفضاء يجب أن يساوي الوحدة، أي أن:

$$\int_{-\infty}^{\infty} \psi^* \psi \, dr = 1 \qquad (15 . 1)$$

حيث :

ψ^* . مرافق الدالة ψ وتنتج عند استبدال (i) بالقيمة (-i).

dr يرمز الى عنصر الحجم في الأبعاد الثلاثة (dx dy dz).

ويطلق على الدالة التي تحقق العلاقة السابقة : الدالة الطبيعية. فإذا تمتعت الدالة بالخواص السابقة، فإننا نستطيع أن نوجد قيمة أية كمية ديناميكية للجسيم كالطاقة أو الزخم أو الموضع .. ألخ. حيث تعرف هذه الكميات بالقيم المتوقعة (Expectation Values) أو القيم

المتوسطة (average values) وتعطى العلاقة المتوسطة بالعلاقة

$$\text{Average Value} = \int_{-\infty}^{\infty} \psi^{*} \cdot \text{operator } \psi \, dr \qquad (16 . 1)$$

لاحظ هنا أن المؤثر (Operator) هو ذلك المؤثر الخاص بالكمية المعنية التي يراد ايجاد قيمتها. فإذا كنا نود معرفة القيمة المتوسطة للطاقة (E) فإن المؤثر يجب أن يكون ذلك الخاص بالطاقة (E). وهكذا بالنسبة لباقي الكميات .

ومن الجدير بالذكر أنه يرمز للقيمة المتوقعة بالرمز ⟨ ⟩، وبالتالي فإن القيمة المتوقعة للطاقة (E) تكتب على الصورة ⟨E⟩. والقيمة المتوقعة للزخم ⟨p⟩ وتعطى بالعلاقة :

$$\langle p \rangle = \int_{-\infty}^{\infty} \psi^{*} \, (-i\hbar\nabla) . \, \psi \, dr \qquad (16'. 1)$$

4.I مبدأ عدم التحديد (Uncertainty Principle):

أُدخل هذا المبدأ بواسطة هايزنبرج عام 1927، الذي يؤكد أنه من المستحيل عملياً أن نقيس بدقة متناهية، وفي نفس اللحظة قيمتي كميتين فيزيائيتن معينتين. وبصورة أكثر تحديداً فإن:

$$\Delta p . \Delta x \geq \hbar \qquad (17 . 1)$$
$$\Delta E . \Delta t \geq \hbar \qquad (18 . 1)$$

حيث :

Δp الخطأ في قياس الزخم الخطي للجسيم.

Δx الخطأ في قياس موضع الجسيم.

ΔE الخطأ في قياس طاقة الجسيم.

Δt الخطأ في قياس الزمن .

ومن الجدير بالذكر هنا هو أن معادلتي (1 . 17) , (1 . 18) ليس لهما
علاقة بدقة التجربة ولكنه هذا مبدأ أساسي في الفيزياء
تفرضه طبيعة

الأشياء. فمثلاً لو تمكنا من قياس الخطأ أو عدم التحديد في زخم الجسيم بدقة متناهية فإن ذلك سيكون على حساب خطأ ما في موضعه، وهكذا بالنسبة لباقي الكميات الطبيعية في المعادلتين السابقتين

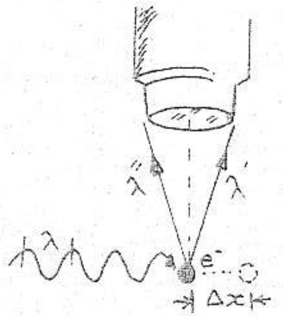
فعلى سبيل المثال، دعنا نفترض أننا نريد قياس موضع وزخم الكترون موجود في مكان ما، كما في الشكل (1 - 2) ولنفترض أننا تمكنا من بناء ذلك الميكروسكوب النموذجي الذي يمكننا من "رؤية" الالكترون، وحيث أننا سنستعمل الضوء بطول موجة (λ) فإنه كي نرى الالكترون فلا بد أن ينعكس عنه الضوء (يتشتت) وبالتالي سوف يتغير الزخم بقيمة قدرها Δp حيث :

$$\Delta p = \frac{\hbar}{\lambda}$$

أما التغير في موضوع الالكترون (Δx) فسوف يقع في حدود الطول الموجي للضوء (λ) المستخدم. وينتج مما سبق أن :

$$\Delta p . \Delta x \approx \frac{\hbar}{\lambda} \times \lambda \geq \hbar$$

وهذا يتفق مع معادلة (1 . 17).



الشكل (1 . 2) مبدأ عدم التحديد

5.1 التماثل أو الانعكاسية (Parity):

التماثل خاصه ذاتية لدالة موجة الجسيم ويبين التماثل مدى التغير الناتج على الدالة عند استبدال متجه الموضع ($\vec{r}$) بصورته في المرآة ($-\vec{r}$). فإذا لم تتغير هذه الموجة، فإننا نقول أن الانعكاسية (التماثل) موجبة ونرمز لها بالرمز (+)، أما اذا تغيرت هذه الدالة فإننا نعتبر الانعكاسية سالبة ونرمز لها بالرمز (-) أي أنه إذا كان :

$$\psi(-r) = \psi(r)$$

فإن الانعكاسية موجبة (+)

واذا كان :

$$\psi(-r) = -\psi(r)$$

فإن الانعكاسية سالبة (-)

وهنا نجد أن الدالة قد غيرت اشارتها.

ويرمز عادة للانعكاسية بالرمز (Π) يمكن استنتاجها إذا عرف العدد الكمي ℓ للزخم الزاوي (انظر فيما بعد) حيث نجد أن:

$$(\Pi) = (-)^{\ell} \qquad (19.1)$$

ويتضح من المعادلة أن الحالات (المستويات) التي لها زخم زاوي فردي تكون ذات انعكاسية سالبة، بينما نجد أن انعكاسية المستويات التي لها زخم زاوي زوجي موجبة.

6.1 الرموز الطيفية (Spectroscopic Notations):

وضعت رموز طيفية لتبين قيم ℓ دون كتابتها صراحة كل مرة وذلك وفق القاعدة التالية :

قيمة (l)	الرمز الطيفي
0	s
1	p
2	d
3	f
4	g
5	h
6	i

7.1 الميكانيكا النسبية (Relativistic Mechanics):

عندما تقترب سرعة الجسيمات من سرعة الضوء، لا بد من إجراء تصحيح ما على الميكانيكا الكلاسيكية لوصف حركة الأجسام. حيث نجد أنه عند السرعات العالية تبدأ كتلة الجسيم في التغير بتغير سرعته، وذلك حسب العلاقه : -

$$m = \frac{m_0}{\sqrt{1 - \frac{\upsilon^2}{c^2}}} \qquad (20.1)$$

حيث

m_0 كتلة السكون للجسيم Rest mass

m كتلة الجسيم النسبية Relativistic mass

υ سرعته

ومن ثم فإن زخم الجسيم يعطى بالعلاقة :

$$p = m\upsilon \qquad (21.1)$$

... عن الزخم الكلاسيكي لأن الكتلة هنا متغيرة.

وتعطى العلاقة بين الكتلة والطاقة، وفق معادلة أينشتاين حيث :

$$E = m c^2 \qquad (22 . 1)$$

حيث E الطاقة الكليه للجسيم.

وبالتعويض عن m من معادلة (1 . 20) نجد أن : –

$$E = \frac{m_0 c^2}{\sqrt{1 - \frac{\upsilon^2}{c^2}}} \qquad (22' . 1)$$

يمكن هنا تحليل المقام حسب قاعدة متعددة الحدود، وينتج أن :

$$E = m_0 c^2 \left(1 + \frac{\upsilon^2}{2 c^2} + \frac{3 \upsilon^4}{8 c^4} + \ldots\right)$$

$$= m_0 c^2 + \frac{1}{2} m_0 \upsilon^2 + \frac{3}{8} m_0 \frac{\upsilon^4}{c^2} + \ldots \qquad (23 . 1)$$

يعرف الحد الأول في هذه المعادلة بطاقة السكون Rest mass energy $[E_0]$ بينما تمثل بقية الحدود طاقة حركة الجسيم (T). وبالتالي يمكن كتابة المعادلة السابقة على الصورة :

$$E = E_0 + T \qquad (24 . 1)$$

لاحظ أن $E_0 = m_0 c^2$

ومن ثم فان :

$$T = E - E_0$$
$$= m c^2 - m_0 c^2$$
$$= (m - m_0) c^2$$
$$\therefore T = \Delta m c^2 \qquad (25 . 1)$$

وهذه تشبه معادلة أينشتاين العامة (1 . 22).

ويمكن ايجاد معادلة عامة تعطي طاقة الحركة (T) حيث نجد أن :

$$T = E - E_0$$
$$= m c^2 - m_0 c^2$$
$$= \frac{m_0 c^2}{\sqrt{1 - \frac{\upsilon^2}{c^2}}} - m_0 c^2$$
$$= m_0 c^2 \left(\frac{1}{\sqrt{1 - \frac{\upsilon^2}{c^2}}} - 1\right) \qquad (26 . 1)$$

ولمقارنة طاقة الحركة الكلاسيكية (T_c) مع طاقة الحركة بصورة عامة (T) فإننا نجد من معادلة (1 . 23) أن :

$$T = E - E_0$$
$$= E - m_0 c^2$$
$$T = \frac{1}{2} m_0 \upsilon^2 + \frac{3}{8} m_0 \frac{\upsilon^4}{c^2} + \ldots \qquad (27 . 1)$$

ففي حالة الميكانيكا الكلاسيكية نجد أن $(\upsilon << c)$ وبالتالي يمكن اهمال الحدود التي تحتوي على c^2 من العلاقة السابقة وينتج أن:

$$T_c \cong \frac{1}{2} m_0 \upsilon^2 \qquad (28 . 1)$$

وهذه هي العلاقة الكلاسيكية التي تعطي طاقة حركة الجسيم، ويمكن تطبيقها عندما تقل سرعة الجسيم عن 0.2 c.

أما عندما تزيد سرعة الجسيم عن 0.2 c فإنه يجب استخدام العلاقات النسبية العامة. (معادلة 1 . 26).

كما ويمكن استنتاج العلاقة العامة التي تربط بين الطاقة (E) والزخم (P) باستخدام معادلتي (1 , 21)، (1 . 22) وينتج أن :

$$E^2 = p^2c^2 + m_0^2c^4 \qquad (29 . 1)$$

لاحظ هنا أنه في حالة الفوتونات فإن ($m_0 = 0$) وينتج أن :

$$E = pc \qquad (30 . 1)$$

وهذه هي نفس معادلتي (1 . 1) , (2 . 1). ويمكن اثبات ذلك بسهولة كما ويمكن إيجاد الطول الموجي المصاحب للجسيم بدلالة طاقة الحركة (T) وذلك باستخدام معادلتي (24 . 1) , (29 . 1) وينتج أن :

$$(m_0c^2 + T)^2 = p^2c^2 + m_0^2c^4 \qquad (31 . 1)$$

وبإجراء بعض الاختصارات يمكن استنتاج أن :

$$p = \sqrt{2m_0T + \frac{T^2}{c^2}} \qquad (32 . 1)$$

وحيث أن :

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

فإننا نجد أن :

$$\lambda = \frac{\hbar}{\sqrt{2m_0T + \frac{T^2}{c^2}}}$$

Estimate the error in treating a 2MeV neutron by non-relativistic kinematics

Eq. (27.1)

مسائل على الباب الأول

1 . احسب طول موجة سيارة كتلتها 1500 كجم تسير بسرعة 100كم/س وضح المفهوم الفيزيائي للاجابة .

2 . أوجد القيمة المتوسطة لزخم جسيم يتحرك حركة توافقية بسيطة في اتجاه المحور السيني، ما هو استنتاجك .

3 . باستخدام مبدأ عدم التحديد احسب عمر النصف لمستوى اثارة نووي اذا كان يتحلل باطلاق فوتونات ذات طاقة تساوي 1.5 م أ ف، ثم احسب الخطأ في موضع هذه الفوتونات .

4 . احسب سرعة الالكترون عندما تبلغ طاقة حركته ضعف طاقة كتلة السكون له .

5 . كرر المسألة السابقة وذلك لبروتون عندما تبلغ طاقته الكلية ثلاثة أمثال كتلة السكون له.

6 . استنتج معادلة (32 . 1) .

7 . أوجد طول موجة الكترون يسير بطاقة حركة تساوي عشرة أمثال طاقة السكون له .