

☆ بسيطة

الفيزياء، البكالوريا، الفرع العلمي

نموذج بور والطيف الذري

ذرة الهيدروجين عند بور: المبادئ الثلاثة، وسويات الطاقة، وطاقة التأيّن، ومنشأ الطيف وسلاسلها الإلكترونية والجسم الصلب . الوحدة 4 . الدرس 1

حين يُسخّن غاز الهيدروجين بالانفراغ الكهربائي يُصدر ضوءاً، لكنّ هذا الضوء ليس قوس قزحٍ كاملاً بل خطوط ملوّنة منفصلة. فتر بور ذلك بنموذجٍ للذرة تكون فيه الطاقة مكّمة. ودروس الوحدة الرابعة تأتي في كلّ ورقة امتحانٍ تقريباً، أسئلة قصيرة واختياراتٍ بخمس عشرة درجةً إلى أربعين. نتابع مع الكتاب في الصفحات 189 إلى 199.

مبادئ بور

تذكّر: «قدّم بور نموذجَه في بنية الذرة مُعتمداً على التوفيق بين النموذج الذريّ والنظرية الكهرطيسية، وكان يرى في نظرية الكم وثابت بلانك حلاً لذلك، واستخدم بور تكميم الضوء لشرح الطيف الذريّ» الكتاب، الصفحة 190. ومبادئه، كما يلخصها الكتاب في الصفحة 197: إنّ تغيّر الطاقة مكّمة؛ لا توجد الذرة إلّا في حالةٍ طاقيةٍ محدّدة؛ وعندما ينتقل إلكترونٌ في ذرةٍ مثارةٍ من سويةٍ أعلى إلى سويةٍ أدنى فإنّ الذرة تُصدر فوتوناً طاقته:

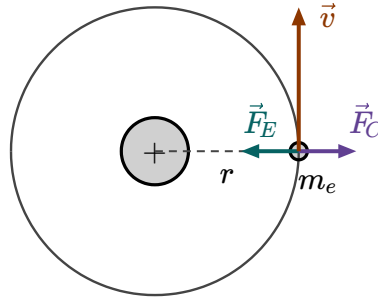
$$\Delta E = E_2 - E_1 = h f$$

حيث $h = 6.63 \times 10^{-34} \text{ J.s}$ ثابت بلانك، و f تواتر الإشعاع.

الإلكترون على مداره

في ذرة الهيدروجين إلكترونٌ واحد يتحرّك حول بروتونٍ واحد. نهمل قوّة التجاذب الكتليّ لصغرها، فيخضع الإلكترون لقوّتين، الكتاب، الصفحة 190: القوّة الكهربيّة الناجمة عن جذب النواة $F_E = k \frac{e^2}{r^2}$ حيث $k = \frac{1}{4\pi\epsilon_0}$ ، وقوّة العطالة النابذة الناجمة

$$F_C = m_e \frac{v^2}{r} \text{ عن الدوران}$$



إلكترون ذرة الهيدروجين على مداره، الكتاب، الصفحة 190، الرسم من عندنا.

الفرض الأول، الكتاب، الصفحة 191: حركة الإلكترون حول النواة دائرية منتظمة، فالقوتان متساويتان.

$$E = ?$$

1. تساوي القوتين $F_E = F_C$:

$$k \frac{e^2}{r^2} = m_e \frac{v^2}{r} \quad m_e v^2 = k \frac{e^2}{r}$$

2. الطاقتان الطاقة الحركية والطاقة الكامنة الكهربائية:

$$E_k = \frac{1}{2} k \frac{e^2}{r} \quad E_p = -k \frac{e^2}{r}$$

3. الطاقة الميكانيكية $E = E_k + E_p$:

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

الطاقة سالبة: الإلكترون مرتبط بالنواة، ولتحريره يجب أن نعطيه طاقة. والفرض الثاني، الكتاب، الصفحة 191: للإلكترون مدارات محددة

فقط، يكون عزم كمية الحركة فيها مضاعفاً صحيحاً لـ $\frac{h}{2\pi}$:

$$m_e v r = n \frac{h}{2\pi} \quad n = 1, 2, 3, \dots$$

والفرض الثالث، الكتاب، الصفحة 191: لا يُصدر الإلكترون طاقةً ما بقي على أحد مداراته، لكنّه يمتصّ طاقةً بكمياتٍ محددة عندما

ينتقل إلى مدار أبعد عن النواة، ويُصدر طاقةً بكمياتٍ محددة عندما ينتقل إلى مدارٍ أقرب.



1. امتصاص: يمتص الإلكترون فوتوناً فينتقل إلى مدار أبعد.
2. إصدار: يعود إلى مدار أقرب فيصدر فوتوناً.

الانتقال بين مدارين، الكتاب، الصفحة 191. الرسم من عندنا.

عندما ينتقل الإلكترون من سوية طاقة أقرب للنواة إلى سوية أبعد عنها، فإنه، الكتاب، الصفحة 197:
كيف أبدأ؟ الأبعد عن النواة طاقته أكبر.

(أ) يُصدر طاقة

(ب) يمتص طاقة

(ج) يحافظ على طاقته

ب. نعم: الصعود إلى سوية أعلى يحتاج طاقة.

سويات الطاقة وطاقة التأين

من الفرض الثاني والتعويض في علاقتي القوتين يستنتج الكتاب، الصفحة 192، نصف قطر المدار وطاقته:

$$r = n^2 r_0 \quad r_0 = \frac{h^2}{4\pi^2 m_e k e^2}$$

$$E_n = \frac{E_0}{n^2} = -\frac{13.6}{n^2} \text{ eV}$$

r_0 نصف قطر بور. وفي الكتاب يسقط العامل e^2 من مقامه، وهو خطأ مطبعي: بدون r_0 لا يكون r_0 طولاً، ومعه يعطي $0.53 \times 10^{-10} \text{ m}$ و $E_0 = -13.6 \text{ eV}$ طاقة الحالة الأساسية ($n = 1$). والطاقة سالبة «لأنها طاقة ارتباط تُشكل طاقة التجاذب الكهربائية الجزء الأكبر منها» الكتاب، الصفحة 193، وقيمتها المطلقة تتناسب عكساً مع مربع رتبة المدار، فتزداد طاقة الإلكترون بازدياد n ، أي بابتعاده عن النواة.

تذكر: طاقة تأين ذرة الهروجين، الكتاب، الصفحة 192: لكي تتأين الذرة يجب أن نعطيهها طاقةً تكفي لنقل الإلكترون من السوية الأساسية إلى حالة عدم الارتباط، أي إلى طاقة معدومة، فيلزم إعطاء طاقة تساوي 13.6 eV أو أكبر.

انتبه:  الإلكترون فولت وحدة طاقة: $1 \text{ eV} = 1.6 \times 10^{-19} \text{ J}$. وقبل التعويض في $\Delta E = h f$ حوّل الطاقة إلى الجول.

مثال من عندنا: طاقات السويات الثلاث الأولى، ثمّ الفوتون الصادر حين يهبط الإلكترون من الثالثة إلى الثانية.

$$E_1, E_2, E_3, \Delta E = ?$$

$$1. \text{ السويات } E_n = -\frac{13.6}{n^2} \text{ eV}$$

$$E_1 = -13.6 \text{ eV}$$

$$E_2 = -3.4 \text{ eV}$$

$$E_3 \approx -1.51 \text{ eV}$$

2. الفرق من الثالثة إلى الثانية:

$$\Delta E = -1.51 - (-3.4) = 1.89 \text{ eV}$$

وهذه المسألة الثانية في الكتاب، الصفحة 198، نكملها في آخر الصفحة.

$$\Delta E = E_3 - E_2$$

طاقة الإلكترون في السوية الثانية لذرة الهيدروجين:

$$E_n = -\frac{13.6}{n^2} \text{ eV} \quad \text{كيف أبدأ؟}$$

$$E_2 = 3.4 \text{ eV} \quad (\text{أ})$$

$$E_2 = -6.8 \text{ eV} \quad (\text{ب})$$

$$E_2 = -3.4 \text{ eV} \quad (\text{ج})$$

$$\text{ج. نعم: } -\frac{13.6}{4}$$

بابتعاد الإلكترون عن النواة فإن طاقته، الكتاب، الصفحة 197:

كيف أبدأ؟ $E_n = -\frac{13.6}{n^2}$: ماذا يحدث للقيمة السالبة حين يكبر n ؟

(أ) تزداد

(ب) تنقص

(ج) لا تتغير

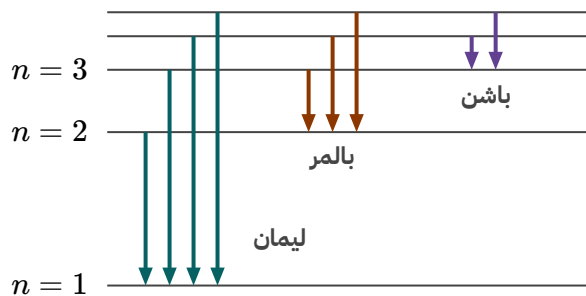
أ. نعم: تقترب من الصفر من تحت، فتكبر.

الطيف الذري

تذكر: «عند تحليل حزمة ضوئية صادرة عن غاز الهيدروجين المُثار بالانفراغ الكهربائي سوف نجد أن الطيف مُكوّن من عددٍ من الخطوط الطيفية، كلٌّ من هذه الخطوط يُمثّل انتقال الإلكترون بين سويتين طاقتين في ذرة الهيدروجين.» الكتاب، الصفحة 193.

والطيف نوعان، الكتاب، الصفحة 195: الطيف المستمرّة تظهر فيها جميع ألوان الطيف متجاورةً دون فواصل، مثل ضوء الشمس وقوس قزح وطيف مصباح التنغستن؛ والطيف المتقطعة تتكوّن من خطوطٍ طيفيةٍ منفصلة، مثل طيف إصدار ذرات الهيدروجين أو بخار الزئبق. ولكلّ عنصرٍ طيفه الخاصّ، يتغير بتغير نوع الغاز.

ويحتوي الطيف الخطّي للهيدروجين على سلاسل، الكتاب، الصفحة 196: سلسلة ليمان، أكبر سلاسل الطيف طاقة، عند عودة الإلكترون من السويات العليا ($n = 2, 3, 4, \dots$) إلى السوية الأولى؛ وسلسلة بالمر عند عودته من ($n = 3, 4, 5, \dots$) إلى السوية المثارة الثانية؛ وسلسلة باشن عند عودته من ($n = 4, 5, 6, \dots$) إلى الثالثة.



سويات طاقة الهيدروجين والسلاسل الثلاث، الكتاب، الصفحة 195. الرسم من عندنا.

وعلى ذلك يقوم التحليل الطيفي، الكتاب، الصفحة 196: يحلّل العلماء الضوء الصادر عن مادّة مسخّنة فيتعرّفون عناصرها من خطوطها، لأنّ لكلّ عنصرٍ «بصمة» من خطوط الطيف خاصّةً به.

يعود الإلكترون في ذرة الهيدروجين من السويّة الرابعة إلى الثانية. الخطّ الصادر ينتمي إلى سلسلة:

| كيف أبدأ؟ السلسلة تُعرف بالسويّة التي يعود إليها.

(أ) بالمر

(ب) ليمان

(ج) باشن

أ. نعم: تنتهي في السويّة الثانية.

من الكتاب: مسائل

المسألة الأولى، الكتاب، الصفحة 198: نصف قطر مدار الإلكترون في ذرة الهيدروجين $r = 0.53 \times 10^{-10} \text{ m}$ ، مع

$$e = 1.6 \times 10^{-19} \text{ C} \text{ قيمة مطلقة، و } m_e = 9.1 \times 10^{-31} \text{ kg} \text{ و } \epsilon_0 = \frac{1}{36\pi \times 10^9} \text{ أي}$$

$$. k = 9 \times 10^9 \text{ N.m}^2.\text{C}^{-2}$$

$$F, v, f = ?$$

$$1. \text{ قوّة التجاذب } F = k \frac{e^2}{r^2}$$

$$F = \frac{9 \times 10^9 \times 2.56 \times 10^{-38}}{2.81 \times 10^{-21}} \\ \approx 8.2 \times 10^{-8} \text{ N}$$

$$2. \text{ السرعة } v = \sqrt{\frac{k e^2}{m_e r}}$$

$$v \approx 2.19 \times 10^6 \text{ m.s}^{-1}$$

$$3. \text{ تواتر الدوران } f = \frac{v}{2\pi r}$$

$$f \approx 6.56 \times 10^{15} \text{ Hz}$$

ويسأل الكتاب هل نأخذ تغيّر الكتلة بحسب النسبيّة في الاعتبار: لا، فالسرعة أقلّ من واحدٍ بالمئة من سرعة الضوء:

$$\frac{v}{c} \approx 0.0073$$

المسألة الثانية، الكتاب، الصفحة 198: يهبط إلكترون من السوية الثالثة $E_3 = -1.51 \text{ eV}$ إلى الثانية $E_2 = -3.4 \text{ eV}$. احسب طاقة الإشعاع وطول موجته.

$$\Delta E, \lambda = ?$$

1. الطاقة بالجول $\Delta E = 1.89 \text{ eV}$:

$$\begin{aligned} \Delta E &= 1.89 \times 1.6 \times 10^{-19} \\ &\approx 3.02 \times 10^{-19} \text{ J} \end{aligned}$$

2. طول الموجة $\Delta E = h f = \frac{h c}{\lambda}$:

$$\lambda = \frac{6.63 \times 10^{-34} \times 3 \times 10^8}{3.02 \times 10^{-19}} \approx 6.58 \times 10^{-7} \text{ m}$$

نحو 658 nm : الخط الأحمر في سلسلة بالمر، وهو الخط الأحمر في صورة طيف الهيدروجين في الكتاب:

$$\lambda = \frac{h c}{\Delta E}$$

المسألة الثالثة، الكتاب، الصفحتان 198 و 199: ذرة هيدروجين في حالتها الأساسية تمتص فوتوناً تواتره $2.91 \times 10^{15} \text{ Hz}$. في أي سوية تصبح؟ وفي نص المسألة يُطبع ثابت الجذب الكهربائي 9×10^{-9} ، والصحيح 9×10^9 .

$$n = ?$$

1. طاقة الفوتون $E = h f$ ثم إلى الإلكترون فولط:

$$\begin{aligned} E &= 6.63 \times 10^{-34} \times 2.91 \times 10^{15} \\ E &\approx 1.93 \times 10^{-18} \text{ J} \approx 12.06 \text{ eV} \end{aligned}$$

2. السوية الجديدة $E_n = -13.6 + 12.06 \approx -1.54 \text{ eV}$:

$$n^2 = \frac{13.6}{1.54} \approx 8.8 \quad n = 3$$

n عدد صحيح، والفرق عن 9 من تقريب الثوابت. وتحقق: $E_3 - E_1 = 12.09 \text{ eV}$:

$$E_3 = -\frac{13.6}{9} \approx -1.51 \text{ eV}$$

نقدّم طاقةً للذرة على شكل إشعاعٍ متواصل فتُثار. إثرها، الكتاب، الصفحة 198:

| كيف أبدأ؟ الطاقة مكتمة: لا تُقبل إلا الكمّيات المطابقة لفرق سويّتين.

(أ) تمتصّ كامل الطاقة المقدّمة

(ب) لا تمتصّ أيّة طاقة

(ج) تمتصّ جزءاً من طاقة الإشعاع مطابقاً لفرق الطاقة بين سويّتين

ج. نعم: كما في الكتاب، الصفحة 198.

طاقة فوتون 1.89 eV . طاقته بالجول:

| كيف أبدأ؟ $1 \text{ eV} = 1.6 \times 10^{-19} \text{ J}$

(أ) 1.89 J

(ب) $\approx 3.02 \times 10^{-19} \text{ J}$

(ج) $\approx 1.18 \times 10^{19} \text{ J}$

ب. نعم: $1.89 \times 1.6 \times 10^{-19}$

المصدر: الفيزياء، الصفحات 189 إلى 199 من الطبعة الرسمية 2025 / 2026.