

☆ بسيطة

الفيزياء، البكالوريا، الفرع العلمي

انتزاع الإلكترونات وتسريعها

طاقة الانتزاع وطرق انتزاع الإلكترون من سطح معدن، وتسريعه في حقل كهربائي منتظم، وحامل مساره حين يدخل الحقل عمودياً

الإلكترونات والجسم الصلب . الوحدة 4 . الدرس 2

الإلكترونات الحرّة في المعدن لا تخرج منه وحدها: يجذبها المعدن إليه. لكي ننتزعها نعطيهها طاقة، ولكي نجعلها سريعة نضعها في حقل كهربائي. على ذلك يقوم أنبوب الأشعة المهبطية ورأس اهتزاز وأنبوب الأشعة السينية في الدروس التالية. نتابع مع الكتاب في الصفحات 200 إلى 207.

طاقة الانتزاع

يتحرّك الإلكترون الحرّ داخل المعدن بسرعة تتعلّق بدرجة حرارته، وتكون القوى الكهربائية عليه من الأيونات الموجبة حوله محصلتها قريبة من الصفر. أمّا على سطح المعدن فتكون محصلة القوى نحو الداخل، فيلزم لانتزاعه صرف طاقة. وتسمّى الطاقة الدنيا اللازمة لانتزاع إلكترون من سطح المعدن طاقة الانتزاع، ونرمز لها W_s ، ويكتبها الكتاب أيضاً E_s . الكتاب، الصفحة 201. نتبع الكتاب، الصفحة 201: لننقل الإلكترون مسافة صغيرة dl خارج المعدن نقدّم عملاً أكبر من عمل القوة الكهربائية التي تجذبه نحو الداخل.

$$W_s = ?$$

1. العمل $F = e E$:

$$W_s = F dl = e E dl$$

2. فرق الكمون $E dl = U_s$ ، فرق كمون الانتزاع بين سطح المعدن والسطح الخارجي:

$$W_s = e U_s$$

طاقة الانتزاع قيمة مميّزة للمعدن، تتعلّق بعدده الذريّ وكثافته وطبيعة روابطه. من جدول الكتاب، الصفحة 201، بالإلكترون فولت:

$$\text{Na } 2.16 \quad \text{Al } 4.08 \quad \text{Cu } 4.7 \quad \text{Pt } 6.35$$

ونفرض أنّ E الطاقة التي يمتصّها الإلكترون، الكتاب، الصفحة 201: إذا كانت $E < W_s$ لا ينتزع الإلكترون ويبقى منجذباً نحو داخل المعدن؛ وإذا كانت $E = W_s$ يتحرّر بسرعة ابتدائية معدومة؛ وإذا كانت $E > W_s$ يتحرّر ومعه سرعة ابتدائية.

وفي الحالتين الأخيرتين يشترط الكتاب، الصفحة 206، أن تكون جهة حركة الإلكترون نحو الخارج. السرعة الابتدائية:

$$\frac{1}{2} m_e v^2 = E - W_s$$

$$v = \sqrt{\frac{2(E - W_s)}{m_e}}$$

يتمتص إلكترونٌ على سطح الصوديوم ($W_s = 2.16 \text{ eV}$) طاقة 2 eV . ماذا يحدث؟

| كيف أبدأ؟ قارن الطاقة الممتصة بطاقة الانتزاع.

- (أ) يتحرر بسرعةٍ صغيرة
 (ب) لا يُنتزع ويبقى منجذباً نحو الداخل
 (ج) يتحرر بسرعةٍ معدومة
 ب. نعم: $E < W_s$.

طرق انتزاع الإلكترون من سطح معدن

الكتاب، الصفحة 202، يذكر ثلاث طرق: الفعل الكهروضوئي، تُقدّم الطاقة على شكل طاقةٍ ضوئيةٍ تواترها كافٍ، $E = h f$ ؛ والفعل الكهحراري، تُقدّم على شكل طاقةٍ حراريةٍ بتسخين المعدن فتزيد سرعة بعض إلكتروناته فتنبعث؛ ومفعول الحث، نقذف سطح المعدن بحزمةٍ من الجسيمات، فينتقل جزءٌ من طاقة الجسيم الصادم إلى إلكترونٍ حرّ، فإذا كان هذا الجزء أكبر من طاقة الانتزاع أو يساويها اقتُلِع.

المثال المحلول، الكتاب، الصفحة 202: يُقذف سطح معدنٍ طاقة انتزاعه $W_s = 2 \text{ eV}$ بحزمةٍ من الإلكترونات، فتصدر منه إلكتروناتٌ بسرعةٍ ابتدائيةٍ $v' = 5.9 \times 10^5 \text{ m.s}^{-1}$. نفرض أنّ الإلكترون السطحي امتصّ كامل طاقة الإلكترون الساقط. احسب طاقة الإلكترون الساقط وسرعته، مع $m_e = 9 \times 10^{-31} \text{ kg}$.

$$E_k, v = ?$$

1. طاقة الانتزاع بال جول $1 \text{ eV} = 1.6 \times 10^{-19} \text{ J}$:

$$W_s = 2 \times 1.6 \times 10^{-19}$$

$$= 3.2 \times 10^{-19} \text{ J}$$

2. طاقة الإلكترون الساقط طاقة الإلكترون المقتلع الحركية مضافاً إليها طاقة الانتزاع:

$$E_k = \frac{1}{2} \times 9 \times 10^{-31} \times (5.9 \times 10^5)^2 + 3.2 \times 10^{-19}$$

$$E_k \approx 4.77 \times 10^{-19} \text{ J}$$

3. سرعته $v = \sqrt{\frac{2E_k}{m_e}}$

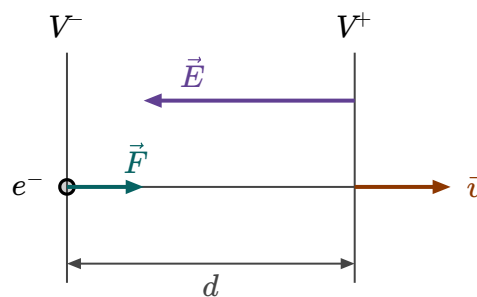
$$v \approx 1.03 \times 10^6 \text{ m.s}^{-1}$$

يكتب الكتاب $4.8 \times 10^{-19} \text{ J}$ و $1.04 \times 10^6 \text{ m.s}^{-1}$. الطاقة مقربة، أما السرعة فحتى من $4.8 \times 10^{-19} \text{ J}$ تخرج $1.03 \times 10^6 \text{ m.s}^{-1}$. العلاقة التي بدأنا بها:

$$E_k = \frac{1}{2} m_e v'^2 + W_s$$

تسريع الإلكترونات في حقل كهربائي منتظم

في نشاط الكتاب، الصفحة 203، إلكترون ساكن في منطقة يسودها حقل كهربائي منتظم بين لبوسي مكثفة مستوية شاقوليين، البعد بينهما d وفرق الكمون U . يخضع لقوة كهربائية لها حامل الحقل وتعاكسه بالجهة، لأن شحنته سالبة، وشدتها ثابتة $F = eE$ مع $E = \frac{U}{d}$. نهمل ثقله.



تسريع إلكترون من السكون بين لبوسين، الكتاب، الصفحة 204. الرسم من عندنا.

نتبع الكتاب، الصفحتان 203 و 204: من السكون حتى نافذة اللبوس الموجب.

$$v = ?$$

1. التسارع بحسب قانون نيوتن الثاني : $F = m_e a$

$$a = \frac{eU}{m_e d} = \text{const}$$

2. حركة مستقيمة متسارعة بانتظام $v^2 - v_0^2 = 2 a x$ مع $v_0 = 0$ و $x = d$

$$v^2 = 2 \frac{eU}{m_e d} d$$

سرعة الخروج لا تتعلق بالبعد بين اللبوسين، بل بفرق الكمون:

$$v = \sqrt{\frac{2eU}{m_e}}$$

تذكر: «يمكن زيادة سرعة خروج الإلكترون من نافذة اللبوس الموجب بزيادة فرق الكمون بين اللبوسين.» و«تصلح العلاقة السابقة من أجل السرعات الصغيرة للإلكترون بالنسبة لسرعة الضوء لأن الكتلة يمكن اعتبارها ثابتة عندئذٍ.» الكتاب، الصفحة 204.

انتبه: لا تنس الجذر: $v = \sqrt{\frac{2eU}{m_e}}$. والعلاقة لا تصلح إلا إذا بقيت السرعة صغيرة أمام سرعة الضوء $3 \times 10^8 \text{ m.s}^{-1}$ ، كما مرّ في درس النسبية الخاصة.

نجعل فرق الكمون بين اللبوسين أربعة أمثاله. سرعة خروج الإلكترون:

$$v = \sqrt{\frac{2eU}{m_e}} \quad \text{كيف أبدأ؟}$$

(أ) تصير أربعة أمثالها

(ب) لا تتغير

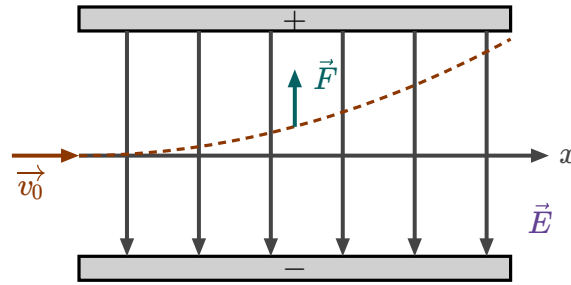
(ج) تتضاعف

ج. نعم: $\sqrt{4} = 2$.

إلكترون يدخل الحقل عمودياً

نفرض إلكترونًا يدخل بسرعة $\vec{v}_0$ بين لبوسين أفقيين مشحونين، عمودياً على خطوط الحقل. ويُطبع في الكتاب، الصفحة 204، «

$\vec{v} \perp \vec{B}$ »، والمقصود عموديّة على الحقل الكهربائي $\vec{E}$. وبإهمال ثقله، كما في الكتاب، تبقى قوّة وحيدة $\vec{F} = -e \vec{E}$ شاقوليّة، باتجاه اللبوس الموجب.



مسار إلكترون يدخل الحقل الكهربائي عمودياً، الكتاب، الصفحة 204. الرسم من عندنا.

نتبع الكتاب، الصفحة 205: مبدأ الفواصل نقطة دخول الإلكترون، ومبدأ الزمن لحظة دخوله، ونسقط على محورين: $x'x$ أفقي و $y'y$ شاقولي نحو الأعلى، والسرعة الأفقية تبقى v_0 .

$$y(x) = ?$$

1. على المحور الأفقي $F_x = 0$ ، فالحركة مستقيمة منتظمة:

$$x = v_0 t \quad (1)$$

2. على المحور الشاقولي $a_y = \frac{eU}{m_e d}$ ثابت، و $v_{0y} = 0$ ، فالحركة متسارعة بانتظام:

$$y = \frac{1}{2} a_y t^2 = \frac{eU}{2m_e d} t^2 \quad (2)$$

3. حامل المسار من (1) $t = \frac{x}{v_0}$ ، نعوض في (2):

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

فالمسار جزء من قطع مكافئ، الكتاب، الصفحة 205. وفي الكتاب يُطبع العامل $\frac{1}{2}$ في الخطوة الثانية على شكل $\frac{1}{z}$ ، وهو خطأ مطبعي:

$$y = k x^2$$

مسار الإلكترون الداخل عمودياً في حقلٍ كهربائيٍّ منتظم:

| كيف أبدأ؟ منتظمٌ أفقياً ومتسارعٌ بانتظامٍ شاقولياً.

(أ) جزءٌ من قطعٍ مكافئ

(ب) مستقيم

(ج) دائرة

أ. نعم: y تتناسب مع x^2 .

من الكتاب: مسألتان

المسألة الأولى، الكتاب، الصفحة 207: ينطلق إلكترونٌ بسرعةٍ ابتدائيةٍ معدومة من فتحةٍ في اللبوس السالب ليخرج من الفتحة المقابلة في اللبوس الموجب. فرق الكمون 10^3 V والمسافة بينهما 1 cm ، مع $e = 1.6 \times 10^{-19} \text{ C}$ و $m_e = 9 \times 10^{-31} \text{ kg}$.

$$v, a = ?$$

$$1. \text{ السرعة } : v = \sqrt{\frac{2eU}{m_e}}$$

$$v = \sqrt{\frac{2 \times 1.6 \times 10^{-19} \times 10^3}{9 \times 10^{-31}}} \\ \approx 1.89 \times 10^7 \text{ m.s}^{-1}$$

$$2. \text{ التسارع } a = \frac{eU}{m_e d} \text{ مع } d = 10^{-2} \text{ m}$$

$$a \approx 1.78 \times 10^{16} \text{ m.s}^{-2}$$

السرعة نحو 6% من سرعة الضوء، فالعلاقة الكلاسيكية صالحة:

$$\frac{v}{c} \approx 0.063$$

المسألة الثانية، الكتاب، الصفحة 207: يدخل إلكترونٌ بسرعةٍ $v_0 = 3 \times 10^6 \text{ m.s}^{-1}$ منطقة حقلٍ كهربائيٍّ منتظم شدته 200 V.m^{-1} ، عمودياً على خطوطه، وطول كلٍّ من اللبوسين $\ell = 0.1 \text{ m}$.

$$a, t = ?$$

1. التسارع $a = \frac{eE}{m_e}$:

$$a = \frac{1.6 \times 10^{-19} \times 200}{9 \times 10^{-31}} \\ \approx 3.56 \times 10^{13} \text{ m.s}^{-2}$$

2. زمن العبور أفقياً حركة منتظمة:

$$t = \frac{0.1}{3 \times 10^6} \approx 3.3 \times 10^{-8} \text{ s}$$

الزمن يُحسب من المحور الأفقي وحده، لأنّ الحقل لا يغيّر المركبة الأفقية للسرعة:

$$t = \frac{\ell}{v_0}$$

إلكترون يُسرّع من السكون بفرق كمون 10^3 V . سرعة خروجه:

كيف أبدأ؟ $v = \sqrt{\frac{2eU}{m_e}}$ مع $m_e = 9 \times 10^{-31} \text{ kg}$.

(أ) $v \approx 1.89 \times 10^7 \text{ m.s}^{-1}$

(ب) $v \approx 3.56 \times 10^{14} \text{ m.s}^{-1}$

(ج) $v \approx 1.33 \times 10^7 \text{ m.s}^{-1}$

أ. نعم: المسألة الأولى، الكتاب، الصفحة 207.

يتحرّر الإلكترون من سطح معدنٍ بشكلٍ مؤكّد عند، الكتاب، الصفحة 206:

كيف أبدأ؟ لا يكفي مقدار الطاقة وحده: يجب أن تكون حركته نحو الخارج.

(أ) حصوله على طاقة أكبر من طاقة الانتزاع أو تساويها

(ب) رفع درجة حرارة المعدن

(ج) حصوله على طاقة أكبر من طاقة الانتزاع أو تساويها مع كون حركته نحو الخارج

ج. نعم: الشرطان معاً.

في المسألة الثانية، لماذا لا يتعلّق زمن عبور الإلكترون بشدّة الحقل؟

| كيف أبدأ؟ على أيّ محورٍ تؤثر القوّة الكهربائيّة؟

أ) لأنّ الحقل لا يؤثّر في الإلكترون

ب) لأنّ القوّة شاقوليّة فلا تغيّر السرعة الأفقيّة

ج) لأنّ تسارعه معدوم

ب. نعم: $x = v_0 t$ مهما كانت شدّة الحقل.

المصدر: الفيزياء، الصفحات 200 إلى 207 من الطبعة الرسمية 2025 / 2026.