

## ☆ بسيطة

الفيزياء، البكالوريا، الفرع العلمي

### الأشعة المهبطية

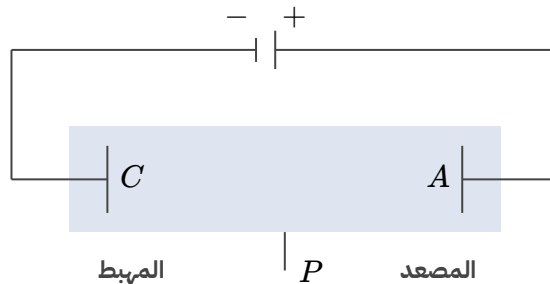
الانفراغ الكهربائي في الغازات، وشرطا توليد الأشعة المهبطية، وآلية توليدها، وخواصها التسع  
الإلكترونيات والجسم الصلب . الوحدة 4 . الدرس 3

البرق شرارة كهربائية بين سحابة مشحونة والأرض، أي تيار في الهواء. كيف يمر تيار في غاز عازل؟ في أنبوب مملئ من الهواء يصير هذا التيار حزمة من الإلكترونات تسمى الأشعة المهبطية، وعليها يقوم راسم الاهتزاز وأنبوب الأشعة السينية. نتابع مع الكتاب في الصفحات 208 إلى 212.

### الانفراغ الكهربائي

الانفراغ الكهربائي شرارة كهربائية تحدث عبر العازل، هواء أو غاز، الفاصل بين جسمين مشحونين بفرق كمون كاف. لا تنقل الغازات التيار ما لم تتأين، فإذا طبّقنا حقلاً كهربائياً تحركت الإلكترونات والأيونات السالبة بعكس الحقل، والأيونات الموجبة باتجاهه، فيتولد تيار في الغاز. الكتاب، الصفحة 208.

في التجربة الأولى، الكتاب، الصفحة 209، أنابيب انفراغ فيها غازات مختلفة بضغط متساو من رتبة  $10 \text{ mmHg}$  : لا يظهر الضوء عند توتر أقل من  $500 \text{ V}$  ، ويجرب الكتاب أولاً  $300 \text{ V}$  ؛ وعند  $500 \text{ V}$  تظهر أضواءً بألوان مختلفة، أحمر برتقاليّ للنيون، وأزرق مخضر لبخار الزئبق؛ وبزيادة التوتر حتى  $1310 \text{ V}$  تزداد شدة الضوء ولا يتغير لونه.



أنبوب الانفراغ، ويسميه الكتاب أنبوب التفريغ الكهربائي: المهبط  $C$  والمصعد  $A$ ، وفتحة إلى مخلية الضغط  $P$ ، الكتاب، الصفحة 209. الرسم من عندنا.

### أنبوب كروكس وشرطا التوليد

في التجربة الثانية، الكتاب، الصفحة 210، نطبّق على أنبوب كروكس توتراً متواصلاً  $1000 \text{ V}$  ، ونخفض الضغط فيه تدريجياً: عند نحو  $110 \text{ mmHg}$  لا انفراغ، مع صوت طقطقة؛ وعند  $100 \text{ mmHg}$  طقطقات تدلّ على تفريغ كهربائي؛ وعند

10 mmHg عمودٌ ضوئيٌّ متجانس من المهبط إلى المصعد؛ وعند قيمةٍ قريبة من 0.01 mmHg يختفي الضوء ويحلّ محله ظلامٌ حالك، وتتألق جدران الأنبوب بلونٍ أخضر.

**تذكّر:** «بمتابعة تخفيض الضغط داخل الأنبوب إلى قيمةٍ قريبة من 0.01 mmHg يختفي الضوء كلياً، ويحلّ محله ظلامٌ حالكٌ داخل الأنبوب، عند هذه المرحلة تتألق جدران الأنبوب بلونٍ أخضر، وهذا ناتجٌ عن أشعةٍ غير مرئيةٍ صادرة عن المهبط، ولذلك سُمّيت بالأشعة المهبطية.» الكتاب، الصفحة 210.

**تذكّر:** شرطاً لتوليد الأشعة المهبطية، الكتاب، الصفحة 210: «فراغٌ كبيرٌ في الأنبوب يتراوح الضغط فيه بين (0.01 – 0.001 mmHg)»، و«توتّر كبيرٌ نسبياً بين قطبي الأنبوب حيث يولّد حقلاً كهربائياً شديداً بجوار المهبط».

والآلية التوليد، الكتاب، الصفحة 210: يحتوي الأنبوب على كتلةٍ غازيةٍ فيها ذراتٌ وأيوناتٌ موجبة. يسرّع الحقل الشديد الأيونات الموجبة نحو المهبط فتصدمه، فتقتلع منه إلكتروناتٌ حرّة. يدفع المهبط هذه الإلكترونات بعيداً ويسرّعها الحقل نحو المصعد، فتصادف في طريقها ذراتٍ غازيةٍ فتؤيّننها، وتتشكّل أيوناتٌ جديدة تتجه نحو المهبط، وهكذا. فالأشعة المهبطية إلكتروناتٌ منتزعةٌ من مادّة المهبط ومن تأيّن ذرات الغاز، يسرّعها الحقل الكهربائيّ الشديد.

ممّ تتكوّن الأشعة المهبطية؟

**| كيف أبدأ؟** انظر إلى آلية التوليد: ما الذي يُقتلع ويُسرّع؟

(أ) من أيوناتٍ موجبة

(ب) من إلكتروناتٍ سريعة

(ج) من فوتوناتٍ غير مرئية

**ب. نعم:** من مادّة المهبط ومن تأيّن الغاز، الكتاب، الصفحة 210.

نطبق توتراً كبيراً على أنبوبٍ ضغط الغاز فيه 10 mmHg . نلاحظ:

**| كيف أبدأ؟** شرط الأشعة المهبطية ضغطٌ بين 0.01 و 0.001 mmHg .

(أ) ظلاماً حالكاً وتألق الجدران بالأخضر

(ب) لا شيء، والأنبوب لا ينقل

(ج) عموداً ضوئياً متجانساً من المهبط إلى المصعد

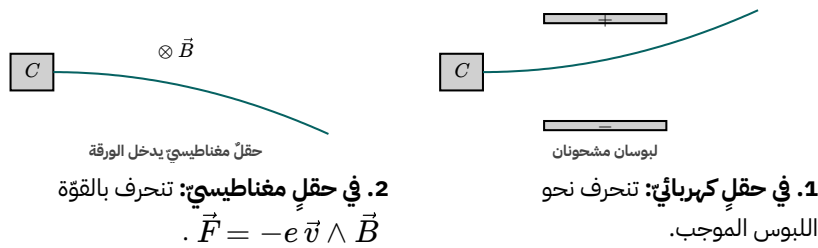
**ج. نعم:** كما في الكتاب، الصفحة 210.

## خواصّ الأشعة المهبطية

يعدّد الكتاب، الصفحة 211، تسع خواصّ. نكتبها مع سبب كلٍّ منها:

1. تنتشر وفق خطوطٍ مستقيمةٍ ناظميةٍ على سطح المهبط، فيختلف شكل الحزمة بحسب شكل المهبط: متوازيةٌ إن كان مستويًا، ومتقاربةٌ إن كان مقعرًا، ومتباعدةٌ إن كان محدبًا. 2. تسبب تألق بعض الأجسام: تهيج ذرات المواد التي تسقط عليها، فيتألق الزجاج العاديّ بالأخضر، وكبريتات الكالسيوم بالأصفر البرتقاليّ. 3. ضعيفة النفوذ: لا تنفذ من صفيحة معدنية، فتكون ظلًا لها على الزجاج المتألق خلفها.

4. تحمل طاقةً حركية: سرعتها كبيرة، بين  $2 \times 10^7 \text{ m.s}^{-1}$  و  $6 \times 10^7 \text{ m.s}^{-1}$  ، ويقول الكتاب إنها تقترب من سرعة الضوء، وهي في الحقيقة بين 7% و 20% منها، فتستطيع أن تدير دولابًا خفيفًا، وتتحول طاقتها إلى أشكالٍ أخرى. 5. تتأثر بالحقل الكهربائي فتتحرف نحو اللبوس الموجب، ممّا يدلّ على أنّها مشحونةٌ بشحنةٍ سالبة. 6. تتأثر بالحقل المغناطيسي، فتتحرف بالقوة المغناطيسية العمودية على خطوط الحقل.



انحراف الأشعة المهبطية، الكتاب، الصفحة 211. الرسم من عندنا.

7. تنتج أشعةً سينيةً إذا صدمت صفيحةً من معدنٍ ثقيل، وهو موضوع درس الأشعة السينية. 8. تؤين الغازات: تنتزع إلكترونًا من الذرة الغازية فتتحول إلى أيون، ويتوهج الغاز. 9. تعمل عمل الأشعة الضوئية في تأثيرها بألواح التصوير الضوئي الحساسة للضوء.

**انتبه:** الأشعة المهبطية إلكترونات، فهي تتأثر بالحقلين الكهربائي والمغناطيسي. أمّا الأشعة السينية في درسٍ لاحق فأمواج كهرومغناطيسية، لا تتأثر بهما. لا تخلط بين النوعين.

لماذا تنحرف الأشعة المهبطية نحو اللبوس الموجب في حقل كهربائي؟

**كيف أبدأ؟** الشحنة السالبة تنجذب إلى الموجب.

- (أ) لأنّها مشحونةٌ بشحنةٍ سالبة
- (ب) لأنّها مشحونةٌ بشحنةٍ موجبة
- (ج) لأنّ الحقل يغيّر طول موجتها

أ. نعم: كما في الكتاب، الصفحة 211.

إذا سقطت الأشعة المهبطية على دولابٍ خفيف استطاعت تدويره، الكتاب، الصفحة 212. علّل:

**| كيف أبدأ؟ أي خاصية من التسع؟**

(أ) لأنها تحمل طاقةً حركية

(ب) لأنها تؤيّن الهواء حول الدولاب

(ج) لأنها تنتشر وفق خطوطٍ مستقيمة

أ. نعم: إلكتروناتٌ سريعة تنقل طاقتها الحركية إلى الدولاب.

## من الكتاب: مسألة

المسألة، الكتاب، الصفحة 212: احسب السرعة التي يغادر بها الإلكترون المهبط المعدني إذا كانت طاقته الحركية لحظة خروجه

من المهبط  $E_k = 10^{-18} \text{ J}$  ، مع  $m_e = 9 \times 10^{-31} \text{ kg}$  .

$$v = ?$$

$$1. \text{ الطاقة الحركية } E_k = \frac{1}{2} m_e v^2 :$$

$$v = \sqrt{\frac{2E_k}{m_e}} = \sqrt{\frac{2 \times 10^{-18}}{9 \times 10^{-31}}}$$

$$2. \text{ القيمة } \sqrt{2.22 \times 10^{12}} :$$

$$v \approx 1.49 \times 10^6 \text{ m.s}^{-1}$$

هذه سرعة الخروج من المهبط. ثم يسرّعها الحقل الشديد في الأنبوب حتى  $10^7 \text{ m.s}^{-1}$  وأكثر:

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

الطاقة الحركية للإلكترون  $10^{-18} \text{ J}$  . سرعته:

$$| \text{ كيف أبدأ؟ } v = \sqrt{\frac{2E_k}{m_e}} .$$

$$(أ) v \approx 2.22 \times 10^{12} \text{ m.s}^{-1}$$

$$(ب) v \approx 1.05 \times 10^6 \text{ m.s}^{-1}$$

$$(ج) v \approx 1.49 \times 10^6 \text{ m.s}^{-1}$$

ج. نعم: الكتاب، الصفحة 212.

أيّ هذه الخواص تدلّ على أنّ الأشعة المهيطة جسيمات مشحونة؟

**| كيف أبدأ؟ ما الذي لا يحدث للضوء؟**

(أ) تؤثر في ألواح التصوير

(ب) تنحرف في الحقلين الكهربائي والمغناطيسي

(ج) تنتشر وفق خطوط مستقيمة

**ب. نعم: الحقلان يؤثران في الشحنات، لا في الضوء.**

المصدر: الفيزياء، الصفحات 208 إلى 212 من الطبعة الرسمية 2025 / 2026.