سلطنة عُمان
وزارة التربية والتعليم

فيزياء

الثاني عشر

2023-2024

الوحدة الثامنة:

فيزياء الكم

عروض تفاعلية
للصف الثاني عشر
إعداد الأستاذة فاطمة الراشدية

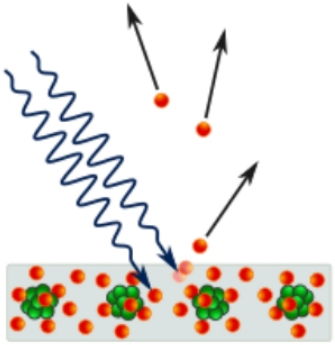
الدرس ٨-٣

للفوتونات كمية تحرك

الأهداف

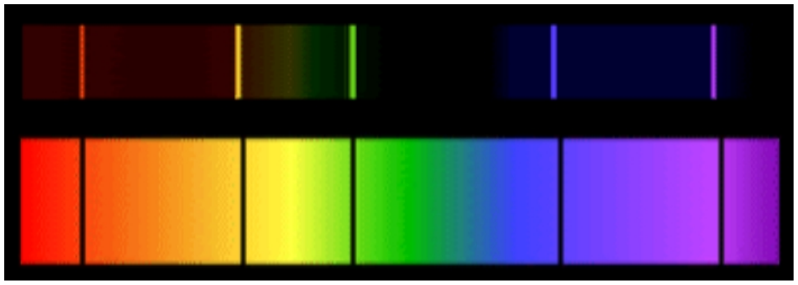
8-10	يذكر أن للفوتون كمية تحرك، ويستخدم المعادلة: $p = E / c$	• يستخدم المعادلة التي تربط كميّة تحرّك الفوتون بطاقته في عمليات حسابية، ويعيد ترتيب المعادلة حسب الحاجة.

ظواهر تدلل أن الفوتونات تسلك سلوك الجسيمات



- التأثير الكهروضوئي

- التأثير بضغط على الأجسام في الفضاء



- الأطياف الخطية

التأثير بضغط على الأجسام في الفضاء

افترض كبلر أن الذيل الطويل للمذنب يتجه بعيدا عن الشمس
لان ضوء الشمس يمارس ضغطا على هذا الذيل

بين آينشتاين في نظريته النسبية الخاصة أن الفوتون الذي ينتقل
في الفراغ له كمية تحرك على الرغم من عدم وجود كتله له

التدفق المستمر لفوتونات ضوء الشمس الحاملة لكمية تحرك
مسؤولة عن التأثير بضغط (أو قوة) على الأجسام في الفضاء.

$$\text{الضغط} = \frac{\text{القوة}}{\text{المساحة}}$$

قانون نيوتن الثاني ◀ القوة = معدل التغيّر في كمية تحرّك الفوتونات

= عدد الفوتونات في الثانية × كمية التحرّك لكل فوتون

$$\text{عدد الفوتونات في الثانية} = \frac{\text{القدرة}}{\text{طاقة كل فوتون}}$$

كمية التحرك للفوتون P

بيّن أينشتاين أن كمية التحرّك (p) للفوتون مرتبطة بطاقته (E) من خلال المعادلة:

$$p = \frac{E}{c}$$

حيث (c): سرعة الضوء في الفراغ.

تذكّر أن الطاقة (E) للفوتون تُكتب على النحو الآتي:

$$E = \frac{hc}{\lambda} \quad \text{أو} \quad E = hf$$

مثال

٢. **يسقط شعاع ليزر قدرته (2.0 mW) عموديًا على لوح فلزي ثابت، مساحة المقطع العرضي للشعاع ($4.0 \times 10^{-6}\ m^2$) وتردد ضوء الليزر يساوي ($4.7 \times 10^{14}\ Hz$). احسب كمية تحرّك الفوتون والضغط الذي يمارسه شعاع الليزر على لوح الفلز. افترض أن اللوح يمتص جميع الفوتونات.**

الخطوة ١: احسب كمية التحرّك لكل فوتون.

$$p = \frac{E}{c} = \frac{hf}{c}$$

$$= \frac{6.63 \times 10^{-34} \times 4.7 \times 10^{14}}{3.00 \times 10^{8}}$$

$$= 1.04 \times 10^{-27} \approx 1.0 \times 10^{-27}\ N\ s$$

(ملاحظة: يمكن كتابة الوحدة إما $kg\ m\ s^{-1}$ أو $N\ s$).

الخطوة ٢: احسب عدد الفوتونات الساقطة على اللوح في الثانية.

$$\text{عدد الفوتونات في الثانية} = \frac{\text{القدرة}}{\text{طاقة كل فوتون}}$$

$$= \frac{2.0 \times 10^{-3}}{hf}$$

$$= \frac{2.0 \times 10^{-3}}{6.63 \times 10^{-34} \times 4.7 \times 10^{14}}$$

$$= 6.4 \times 10^{15}\ s^{-1}$$

الخطوة ٣: احسب القوة المؤثرة على اللوح، بافتراض أنه يمكننا استخدام القانون الثاني لنيوتن، ضع في اعتبارك فترة زمنية قدرها (1.0 s).

القوة = معدل التغيّر في كمية تحرّك الفوتونات

= عدد الفوتونات في الثانية × كمية التحرّك لكل فوتون

$$= 6.4 \times 10^{15} \times 1.04 \times 10^{-27}$$

$$= 6.7 \times 10^{-12}\ N$$

الخطوة ٤: احسب الضغط.

$$\text{الضغط} = \frac{\text{القوة}}{\text{المساحة}}$$

$$= \frac{6.7 \times 10^{-12}}{4.0 \times 10^{-6}} = 1.7 \times 10^{-6}\ Pa$$

هذا المقدار من الضغط ضئيل مقارنة مع الضغط الجوي الذي يُقدّر بـ 100 kPa، ولن يكون قابلًا للملاحظة على اللوح الفلزي الثابت، ومع ذلك فإذا كان هذا اللوح في الفضاء البعيد، فسيُظهر بعض الحركة بعد مرور فترة من الزمن؛ بسبب عدم وجود أي ضغط جوي.

ب. لوح فلزي أبعاده (5.0 cm × 5.0 cm) يسقط عليه عموديًا ضوء طول موجته (550 nm) وشدته ($800\ W\ m^{-2}$)، ويُمتص كل الضوء الساقط بواسطة اللوح الفلزي.

١. اشرح كيف يُؤثر الضوء بقوة على اللوح الذي يصطدم به.

٢. احسب كمية تحرّك فوتون الضوء.

٣. احسب القوة المؤثرة على اللوح بسبب الضوء.

ب. ١. لفوتون الضوء المرئي كمية تحرّك، فهناك تغيّر في كمية التحرّك عندما يصطدم الفوتون باللوح.

ووفقًا للقانون الثاني لنيوتن، فإن معدل التغيّر في كمية التحرّك لتلك الفوتونات يكون مساويًا للقوة المؤثرة على اللوح.

٢. كمية التحرك:

$$p = \frac{E}{c} = \frac{hc}{\lambda c} = \frac{6.63 \times 10^{-34}}{550 \times 10^{-9}}$$

$$= 1.205 \times 10^{-27}\ N\ s \approx 1.2 \times 10^{-27}\ N\ s$$

٣. طاقة الفوتون $= \frac{hc}{\lambda}$

عدد الفوتونات في كل ثانية $= \frac{\text{القدرة}}{\text{طاقة الفوتون}}$

$$= \frac{AI\lambda}{hc}$$

القوة = عدد الفوتونات في كل ثانية × كمية التحرّك لكل فوتون

$$F = \frac{AI\lambda}{hc} \times \frac{h}{\lambda} = \frac{AI}{c}$$

القوة:

$$F = \frac{0.05^2 \times 800}{3.00 \times 10^8} = 6.7 \times 10^{-9}\ N$$

حل آخر:

طاقة الفوتون $= \frac{hc}{\lambda}$

طاقة الضوء الساقط في كل ثانية = المساحة × شدة الضوء

$$= 0.050 \times 0.050 \times 800 = 2.0\ J$$

عدد الفوتونات في كل ثانية $= \frac{\text{طاقة الضوء الساقط في كل ثانية}}{\text{طاقة الفوتون}}$

$$= \frac{2.0}{3.6 \times 10^{-19}} = 5.6 \times 10^{18}$$

القوة = عدد الفوتونات في كل ثانية × كمية التحرّك لكل فوتون

$$F = 5.6 \times 10^{18} \times 1.2 \times 10^{-27} = 6.7 \times 10^{-9}\ N$$