Zadanie 9.1. (0–3)

Wymagania egzaminacyjne 2023 i 2024	
Wymaganie ogólne	**Wymagania szczegółowe**
V. Budowanie modeli fizycznych i matematycznych do opisu zjawisk oraz ilustracji praw i zależności fizycznych.	Zdający: XI.1) opisuje dualizm korpuskularno-falowy światła; stosuje pojęcie fotonu oraz jego energii; XI.4) posługuje się pojęciem pędu fotonu; stosuje zasadę zachowania energii i zasadę zachowania pędu do opisu emisji i absorpcji przez swobodne atomy; opisuje odrzut atomu emitującego kwant światła.

Zasady oceniania

3 pkt – poprawna metoda wyprowadzenia wzoru na energię kinetyczną, jaką uzyskał atom w wyniku odrzutu **oraz** podanie prawidłowej postaci tego wzoru.

2 pkt – zapisanie równania wynikającego z zasady zachowania pędu układu atom–foton **oraz** wyrażenie energii kinetycznej atomu poprzez pęd atomu (bezpośrednio albo pośrednio poprzez prędkość i związek prędkości z pędem) **oraz** wyrażenie energii fotonu za pomocą pędu fotonu.

1 pkt – zapisanie równania wynikającego z zasady zachowania pędu układu atom–foton
LUB
– wyrażenie energii kinetycznej atomu poprzez pęd atomu (bezpośrednio albo pośrednio poprzez prędkość i związek prędkości z pędem) **oraz** wyrażenie energii fotonu za pomocą pędu fotonu.

0 pkt – rozwiązanie, w którym zastosowano niepoprawną metodę, albo brak rozwiązania.

Przykładowe pełne rozwiązania

Zastosujemy zasadę zachowania pędu: pęd układu atom–foton jest taki sam przed i po emisji fotonu i ponadto wynosi zero (atom i foton po emisji poruszają się w przeciwne strony, a ponadto mają te same wartości pędu):

$$1a) \quad p_{at} - p_{fot} = 0 \qquad \rightarrow \qquad 1b) \quad p_{at} = p_{fot}$$

Energię kinetyczną atomu i energię fotonu wyrazimy za pomocą ich pędów:

$$2) \quad E_{kin\,at} = \frac{p_{at}^2}{2m_{at}} \qquad\qquad 3) \quad E_{fot} = p_{fot}c$$

W równaniu 2) uwzględnimy równanie 1b) a następnie równanie 3):

$$4) \quad E_{kin\,at} = \frac{p_{at}^2}{2m_{at}} = \frac{p_{fot}^2}{2m_{at}} = \frac{\left(\frac{E_{fot}}{c}\right)^2}{2m_{at}} = \frac{E_{fot}^2}{2m_{at}c^2}$$

Zadanie 9.2. (0–3)

Wymagania egzaminacyjne 2023 i 2024	
Wymagania ogólne	**Wymagania szczegółowe**
II. Rozwiązywanie problemów z wykorzystaniem praw i zależności fizycznych. V. Budowanie modeli fizycznych i matematycznych do opisu zjawisk oraz ilustracji praw i zależności fizycznych.	Zdający: XI.1) opisuje dualizm korpuskularno-falowy światła; stosuje pojęcie fotonu oraz jego energii; XI.4) posługuje się pojęciem pędu fotonu; stosuje zasadę zachowania energii i zasadę zachowania pędu do opisu emisji i absorpcji przez swobodne atomy; opisuje odrzut atomu emitującego kwant światła.

Zasady oceniania

3 pkt – poprawna metoda obliczenia prędkości odrzutu atomu **oraz** podanie prawidłowego wyniku liczbowego z jednostką.

2 pkt – zapisanie/wykorzystanie równania wynikającego z zasady zachowania pędu układu atom–foton **oraz** wyrażenie pędu atomu za pomocą jego prędkości **oraz** wyrażenie pędu fotonu za pomocą jego energii **oraz** zapisanie/wykorzystanie zasady zachowania energii układu atom–foton, np. zapisy równoważne poniższym:

$$p_{at} = p_{fot} \quad \text{oraz} \quad p_{at} = m_{at}v_{at} \quad \text{oraz} \quad p_{fot} = \frac{E_{fot}}{c} \quad \text{oraz} \quad E_{fot} = E_2 - E_1$$

albo jeden zapis

$$v_{at} = \frac{E_2 - E_1}{m_{at}c}$$

1 pkt – zapisanie/wykorzystanie równania wynikającego z zasady zachowania pędu układu atom–foton **oraz** wyrażenie pędu atomu za pomocą jego prędkości, np. zapisy równoważne poniższym:

$$p_{at} = p_{fot} \quad \text{oraz} \quad p_{at} = m_{at}v_{at}$$

albo jeden zapis

$$v_{at} = \frac{p_{fot}}{m_{at}}$$

0 pkt – rozwiązanie, w którym zastosowano niepoprawną metodę, albo brak rozwiązania.

Przykładowe pełne rozwiązania

Wykorzystamy zasadę zachowania pędu układu atom–foton oraz wzory na pęd dla atomu i fotonu:

$$1)\ p_{at} = p_{fot} \quad \text{oraz} \quad 2)\ p_{at} = m_{at}v_{at} \quad \text{oraz} \quad 3)\ p_{fot} = \frac{E_{fot}}{c} \quad \rightarrow$$

$$4)\ v_{at} = \frac{E_{fot}}{m_{at}c}$$

Energię fotonu wyznaczymy z zasady zachowania energii układu atom–foton. Energia układu przed emisją fotonu jest równa energii układu po emisji fotonu. Przed emisją fotonu

atom znajdował się w stanie energetycznym $n = 2$, po emisji atom znajdował się w stanie energetycznym $n = 1$, ponadto atom został odrzucony i powstał emitowany foton:

$$5)\ E_{przed} = E_{po} \qquad \rightarrow \qquad 6)\ E_2 = E_1 + E_{kin\,at} + E_{fot}$$

Zgodnie z założeniem pomijamy energię kinetyczną jaką uzyskał atom w wyniku odrzutu, więc:

$$7)\ E_{fot} = E_2 - E_1$$

Zależność 7) podstawimy do wzoru 4):

$$8)\ v_{at} = \frac{E_2 - E_1}{m_{at}c}$$

$$v_{at} = \frac{13{,}606\left(1 - \frac{1}{2^2}\right) \cdot 1{,}6022 \cdot 10^{-19}\ \mathrm{J}}{1{,}6735 \cdot 10^{-27}\ \mathrm{kg} \cdot 2{,}9979 \cdot 10^{8}\ \frac{\mathrm{m}}{\mathrm{s}}} = 3{,}2588 \ldots \cdot 10^{0}\ \frac{\mathrm{m}}{\mathrm{s}} \approx 3{,}26\ \frac{\mathrm{m}}{\mathrm{s}}$$