

MODUŁ 2

FIZYKA ATOMOWA I JĄDROWA

→ FIZYKA – ZAKRES PODSTAWOWY

OPRACOWANE W RAMACH PROJEKTU:
WIRTUALNE LABORATORIA FIZYCZNE NOWOCZESNĄ METODĄ NAUCZANIA.
PROGRAM NAUCZANIA FIZYKI
Z ELEMENTAMI TECHNOLOGII INFORMATYCZNYCH

→ Zadania

Zadanie 1

Na powierzchnię metalowej płytki pada monochromatyczne promieniowanie o długości fali 280 nm. Praca wyjścia z tego metalu wynosi 3,5 eV.

Oblicz energię kinetyczną elektronów wybitych z powierzchni tej płytki.

Rozwiązanie:

$$\text{Energia padającego fotonu: } E_f = h \frac{c}{\lambda} = 6,63 \cdot 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s} \cdot \frac{3 \cdot 10^8 \frac{\text{m}}{\text{s}}}{280 \cdot 10^{-9} \text{ m}} = 7,1 \cdot 10^{-19} \text{ J} = 4,44 \text{ eV}$$

Z bilansu energetycznego zjawiska fotoelektrycznego wynika, że

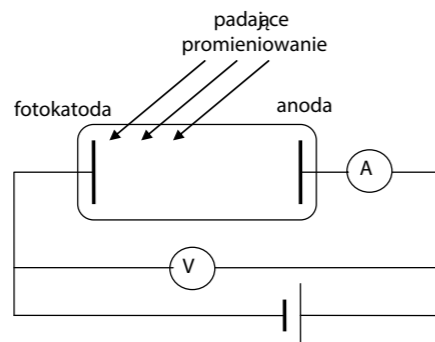
$$E_k = E_f - W = 4,44 \text{ eV} - 3,5 \text{ eV} = 0,94 \text{ eV}$$

Odpowiedź:

Energia kinetyczna wybitego z powierzchni metalowej płytki elektronu wynosi 0,94 V.

Zadanie 2

Na fotokatodę pada promieniowanie o długości fali 190 nm. Amperomierz podłączony do obwodu przestaje wskazywać płynięcie prądu, gdy pomiędzy fotokatodą a anodą panuje napięcia hamujące 2,9 V (patrz rysunek).



Oblicz pracę wyjścia z powierzchni materiału fotokatody.

Rozwiązanie:

Bilans zjawiska fotoelektrycznego: $E_f = W + E_k$

Energię niesioną przez foton można obliczyć ze wzoru: $E_f = \frac{h \cdot c}{\lambda}$

Podstawiając dane do tego wzoru, otrzymujemy:

$$E_f = \frac{6,63 \cdot 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s} \cdot 3 \cdot 10^8 \text{ m/s}}{190 \cdot 10^{-9} \text{ m}} = 10,5 \cdot 10^{-19} \text{ J} = 6,54 \text{ eV}$$

Energia kinetyczna elektronu w opisanej sytuacji jest równa energii potencjalnej w polu elektrycznym:

$$E_k = E_p = e \cdot U = 2,9 \text{ eV}$$

Praca wyjścia wynosi: $W = E_f - E_k = 3,64 \text{ eV}$

Odpowiedź:

Praca wyjścia z materiału fotokatody wynosi 3,64 eV.

Zadanie 3

Na powierzchnię metalu pada promieniowanie. Praca wyjścia dla tego metalu wynosi 2,9 eV. Elektron wybity przez promieniowanie ma energię kinetyczną o wartości 2,5 eV.

Oblicz długość fali padającego na ten metal promieniowania.

Rozwiązanie:

Z bilansu zjawiska fotoelektrycznego wynika: $\frac{h \cdot c}{\lambda} = W + E_k$

$$\text{Długość fali padającego promieniowania: } \lambda = \frac{h \cdot c}{W + E_k} = \frac{6,63 \cdot 10^{-34} \text{ Js} \cdot 3 \cdot 10^8 \frac{\text{m}}{\text{s}}}{(2,9 + 2,5) \cdot 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ J}} = 230 \text{ nm}$$

Odpowiedź:

Długość fali padającego promieniowania wynosi 230 nm.

Zadanie 4

Oblicz najmniejszą długość fali obserwowaną w widmie wodoru.

Rozwiązanie:

Najmniejszą długość fali będzie miało promieniowanie o największej energii. A największą energię będzie miał foton wypromieniowany podczas przejścia elektronu od energii jonizacji do stanu podstawowego. Różnica energii między energią jonizacji a stanem podstawowym wynosi 13,6 eV.

Energię fotonu można obliczyć ze wzoru: $E_f = \frac{h \cdot c}{\lambda}$

$$\text{Więc długość fali: } \lambda = \frac{h \cdot c}{E_f} = \frac{6,63 \cdot 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s} \cdot 3 \cdot 10^8 \frac{\text{m}}{\text{s}}}{13,6 \cdot 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ J}} = 91,4 \cdot 10^{-9} \text{ m} = 91,4 \text{ nm}$$

W rzeczywistości takie przejście jest mało prawdopodobne. Częściej zachodzą przejścia do stanu podstawowego przez poziomy pośrednie.

Odpowiedź: Najmniejsza długość fali w widmie wodoru wynosi 91,4 nm.

Zadanie 5

Atomy wodoru zostały wzbudzone tak, że znajdują się w stanie opisanym główną liczbą kwantową $n = 4$.

Wyznacz, ile linii widmowych będzie można obserwować. Oblicz wartości energii wyemitowanych fotonów.

Rozwiązanie:

Narysujmy schemat poziomów energetycznych:

Zgodnie ze schematem w sprzyjających warunkach będzie można 6 linii widmowych.

Energie wyemitowanych fotonów:

$$E_1 = -0,84eV - (-1,51eV) = 0,67eV$$

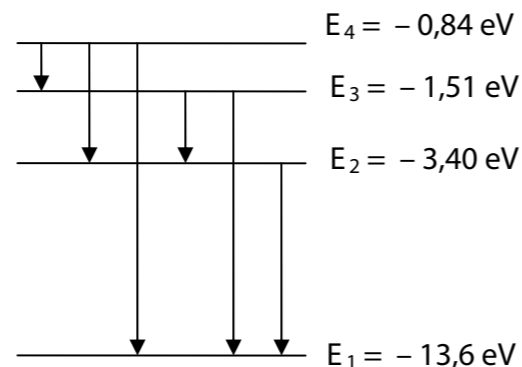
$$E_2 = -0,84eV - (-3,40eV) = 2,56eV$$

$$E_3 = -0,84eV - (-13,6eV) = 12,76eV$$

$$E_4 = -1,51eV - (-3,40eV) = 1,89eV$$

$$E_5 = -1,51eV - (-13,6eV) = 12,09eV$$

$$E_6 = -3,40eV - (-13,6eV) = 10,2eV$$



Zadanie 6

Na atomy wodoru znajdujące się w stanie podstawowym pada światło monochromatyczne, w którym fotony mają energię 5eV.

Czy zostanie ono zaabsorbowane przez wodór? Swoją odpowiedź uzasadnij.

Rozwiązanie:

Nie, takie fotony nie mogą zostać zaabsorbowane przez atomy wodoru znajdujące się w stanie podstawowym. Najbliższy poziom energetyczny ma w atomie wodoru energię $-3,40$ eV. Aby ze stanu podstawowego przenieść elektron do pierwszego stanu wzbudzonego należy dostarczyć energię 10,2 eV.

Zadanie 7

Oblicz gęstość materii w jądrze atomowym atomu węgla $^{12}_6C$.

Rozwiązanie:

Gęstość można wyznaczyć korzystając ze wzoru: $\rho = \frac{m}{V}$

Objętość jądra atomu węgla zapisujemy wzorem: $V = \frac{4}{3}\pi R^3$,

gdzie promień jądra węgla $^{12}_6C$: $R_j = 1,2 \cdot 10^{-15} m \sqrt[3]{A} = 1,2 \cdot 10^{-15} \sqrt[3]{12}$

Objętość jądra atomu węgla: $V = \frac{4}{3}\pi \cdot (1,2 \cdot 10^{-15})^3 \cdot 12 m^3$

Możemy w przybliżeniu uznać, że masa jądra węgla jest równa masie 12 protonów:

$$m = 12 \cdot 1,67 \cdot 10^{-27} kg$$

Gęstość materii w jądrze węgla: $\rho = \frac{12 \cdot 1,67 \cdot 10^{-27} kg}{\frac{4}{3}\pi \cdot 12 \cdot (1,2 \cdot 10^{-15})^3}$

Z ostatniego równania wynika, że gęstość materii w jądrze atomowym jest stała dla każdego jądra i wy-

nosi: $\rho = 2,31 \cdot 10^{17} \frac{kg}{m^3}$.

Odpowiedź:

Gęstość materii w jądrze atomowym wynosi $\rho = 2,31 \cdot 10^{17} \frac{kg}{m^3}$.

Zadanie 8

Jądro izotopu węgla $^{14}_6C$ jest promieniotwórcze. Czas połowicznego rozpadu tego izotopu wynosi 5730 lat. Izotop ten rozpada się tworząc izotop azotu $^{14}_7N$.

Zad. 8.1.

Zapisz reakcję rozpadu jądra izotopu węgla $^{14}_6C$.

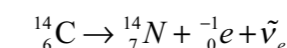
Zad. 8.2.

Aktywność promieniotwórcza pewnego kawałka drewna była 4 razy mniejsza od aktywności świeżo ściętego drzewa.

Oblicz wiek tego kawałka drewna.

Rozwiązanie:

8.1.



8.2.

Aktywność promieniotwórcza źródła maleje z czasem zgodnie z wyrażeniem:

$$A = A_0 \left(\frac{1}{2}\right)^{\frac{t}{T_{1/2}}}$$

Z treści zadania wynika, że $A = \frac{1}{4} A_0$. Wstawiając to do poprzedniego wyrażenia otrzymujemy:

$$\frac{1}{4} A_0 = A_0 \left(\frac{1}{2}\right)^{\frac{t}{T_{1/2}}}$$

Przekształcając ten wzór otrzymujemy: $\left(\frac{1}{2}\right)^2 = \left(\frac{1}{2}\right)^{\frac{t}{T_{1/2}}}$,

Korzystając z własności funkcji wykładniczej otrzymujemy: $2 = \frac{t}{T_{1/2}}$

Szukany wiek kawałka drewna: $t = 2 \cdot T_{1/2} = 11460 lat$

Odpowiedź:

Kawałek drewna ma około 11500 lat.

Zadanie 9

Próbka, w skład której wchodzi izotop radu ^{225}Ra , zawiera 0,5 mg tego izotopu po 74 dniach od jej powstania. Okres połowicznego rozpadu izotopu ^{225}Ra wynosi 14,8 dnia. Oszacuj początkową masę izotopu ^{225}Ra w próbce.

Rozwiązanie:

Czas trwania próbki wynosi pięć okresów połowicznego rozpadu. Oznacza to, że końcowa masa izotopu fosforu stanowi $\frac{1}{32}$ masy początkowej. Początkowa masa próbki wynosiła 2,5 mg.

Odpowiedź: Początkowa masa próbki wynosiła 2,5 mg.

Zadanie 10

W warunkach ziemskich najefektywniejszą reakcją termojądrową może być synteza helu ^4He z trytu ^3T oraz deuteru ^2D .

Zad. 10.1.

Oblicz energię uzyskaną podczas takiej reakcji.

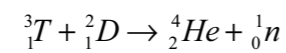
Zad. 10.2.

Opisz trudności w przeprowadzeniu tej reakcji w warunkach ziemskich.

Rozwiązanie:

10.1.

Reakcja syntezy helu ma następujący przebieg:



Sprawdźmy masy jąder występujących po obu stronach tego równania.

Masa przed reakcją: $M_1 = m_{\text{T}} + m_{\text{D}} = 3,0160u + 2,0141u = 5,0301u$

Masa po reakcji: $M_2 = m_{\text{He}} + m_{\text{n}} = 4,0015u + 1,0087u = 5,0102u$

Różnica mas: $\Delta M = M_1 - M_2 = 0,0199u = 3,303 \cdot 10^{-29} \text{ kg}$

Uzyskana energia: $E = \Delta M \cdot c^2 = 2,97 \cdot 10^{-12} \text{ J} = 18,58 \text{ MeV}$

Odpowiedź: Podczas reakcji syntezy jednego jądra helu z trytu i deuteru uzyskamy 18,58 MeV energii.

10.2.

Jądra deuteru oraz trytu mają ładunki dodatnie, więc odpychają się od siebie tym większymi siłami im bliżej siebie znajdują się te jądra. Aby doprowadzić do reakcji syntezy należy je zbliżyć na odległość rzędu 10^{-15} m . Jest to możliwe gdy jądra poruszają się z ogromnymi prędkościami. A to oznacza bardzo wysoką temperaturę. Reakcja syntezy helu z deuteru i trytu wymaga temperatury kilkunastu milionów Kelwinów. Utrzymanie plazmy o tak wysokiej temperaturze jest wielkim wyzwaniem.