ROZDZIAŁ 11

Fizyka atomowa, relatywistyczna i jądrowa

Fizyka. Zbiór zadań maturalnych temat po temacie. Poziom rozszerzony 2027

W tym rozdziale

Zakres	XI. Fizyka atomowa; XII. Elementy fizyki relatywistycznej i fizyka jądrowa (podstawa programowa, zakres rozszerzony)
R. Repetytorium	Foton i zjawisko fotoelektryczne; Widma atomowe i poziomy energetyczne wodoru; Pęd fotonu i odrzut atomu. Fale materii; Elementy fizyki relatywistycznej; Jądro atomowe i promieniowanie jądrowe; Energia wiązania i energia reakcji jądrowej; Prawo rozpadu promieniotwórczego; ramki „Na maturze" i „Typowe błędy"
A. Zadania wprowadzające	zadania 1–6 · 21 punktów
B. Zadania maturalne	zadania 7–15 · 52 punkty
C. Zadania trudniejsze	zadania 16–20 · 36 punktów
Razem	20 zadań (58 poleceń, w tym 28 rachunkowych), 109 punktów
Rozwiązania	osobny plik: klucz do zadań zamkniętych, rozwiązania etapowe zadań rachunkowych, przykładowe odpowiedzi i zasady oceniania w układzie CKE (z wymaganiami podstawy programowej przy każdym poleceniu)

Jak pracować z rozdziałem

A	Zadania sprawdzające podstawowe pojęcia, prawa i zależności działu.
B	Zadania w formule egzaminu maturalnego (Formuła 2023): wiązki poleceń do wspólnego opisu sytuacji, rysunku, wykresu albo doświadczenia.
C	Zadania wymagające łączenia wiadomości z kilku działów, wieloetapowych obliczeń, wyprowadzeń i analizy danych pomiarowych.
Obliczenia	Zapisz zastosowane prawa i zależności, obliczenia pośrednie i wynik z jednostką. Stałe fizyczne bierz z broszury CKE albo z treści zadania („Przyjmij, że…").
Pomoce	Jak na maturze: *Wybrane wzory i stałe fizykochemiczne na egzamin maturalny z biologii, chemii i fizyki*, linijka, kalkulator naukowy. Symbole przy numerze zadania:  – potrzebny kalkulator, – potrzebna linijka.

Opracowanie własne „Pierwsza Ławka". Zakres zgodny z podstawą programową kształcenia ogólnego – fizyka, zakres rozszerzony (Dz.U. 2024 poz. 1019), bez wymagań, z których nie przeprowadza się egzaminu maturalnego, oraz z Informatorem o

R Repetytorium

Foton i zjawisko fotoelektryczne

Światło ma naturę dualną: w zjawiskach interferencji i dyfrakcji zachowuje się jak fala, a w oddziaływaniu z pojedynczymi atomami i elektronami – jak strumień fotonów. Energia i pęd fotonu: $E = hf = \frac{hc}{\lambda}$, $p = \frac{h}{\lambda} = \frac{E}{c}$. Przydatne: $hc \approx 1240$ eV · nm, 1 eV = 1,602 · 10^{-19} J.

Równanie Einsteina–Millikana: $hf = W + E_{k\,\max}$, gdzie W – praca wyjścia elektronu z metalu. Elektrony mogą zostać wybite tylko wtedy, gdy $f > f_{gr} = \frac{W}{h}$. Napięcie hamowania U_h zatrzymuje najszybsze elektrony: $eU_h = E_{k\,\max}$, więc $U_h = \frac{h}{e}f - \frac{W}{e}$ – wykres $U_h(f)$ jest prostą o nachyleniu h/e.

Moc wiązki P = (liczba fotonów na sekundę) · hf. Jonizacja atomu fotonem także wymaga, aby energia fotonu przekroczyła energię jonizacji.

Widma atomowe i poziomy energetyczne wodoru

Widmo emisyjne gazu atomowego to jasne linie na ciemnym tle, widmo absorpcyjne – ciemne linie na tle widma ciągłego; dla danego pierwiastka linie leżą przy tych samych długościach fali. Atom w stanie podstawowym ma najniższą energię, w stanach wzbudzonych – wyższą.

Poziomy energetyczne atomu wodoru: $E_n = -\frac{13{,}606\text{ eV}}{n^2}$, $n = 1, 2, 3, \ldots$ Przy przejściu z poziomu m na n ($m > n$) atom emituje foton o energii $hf = E_m - E_n$; absorpcja fotonu o takiej energii powoduje przejście odwrotne. Linie tworzą serie: przejścia na $n = 1$ – seria Lymana (nadfiolet), na $n = 2$ – seria Balmera (częściowo w zakresie widzialnym), na $n = 3$ – seria Paschena (podczerwień).

Siatka dyfrakcyjna: $d \sin\theta_k = k\lambda$, d = 1/(liczba rys na jednostkę długości).

Pęd fotonu i odrzut atomu. Fale materii

Dla swobodnego atomu emitującego lub pochłaniającego foton obowiązują zasady zachowania energii i pędu: $E_m - E_n = hf + E_{odrzutu}$ (emisja). Atom spoczywający przed emisją po niej porusza się z pędem o wartości h/λ.

Hipoteza de Broglie'a: z każdą cząstką o pędzie p związana jest fala o długości $\lambda = \frac{h}{p}$. Dla cząstki o masie m przyspieszonej napięciem U (prędkość dużo mniejsza od c): $p = \sqrt{2meU}$. Elektrony, neutrony i atomy ulegają dyfrakcji i interferencji – np. wiązka elektronów przechodząca przez bardzo cienką folię grafitową daje na ekranie układ pierścieni.

Elementy fizyki relatywistycznej

Prędkość światła w próżni c jest taka sama dla wszystkich obserwatorów inercjalnych – nie zależy od prędkości źródła ani obserwatora. Jest to największa prędkość przekazu energii i informacji.

Energia całkowita cząstki o masie m i prędkości v: $E = \frac{mc^2}{\sqrt{1 - v^2/c^2}}$, energia spoczynkowa $E_0 = mc^2$, energia kinetyczna $E_k = E - E_0$. Wzór klasyczny $E_k = \frac{1}{2}mv^2$ jest dobrym przybliżeniem tylko dla $v \ll c$.

Równoważność masy i energii: każdej zmianie energii układu ΔE odpowiada zmiana jego masy $\Delta m = \frac{\Delta E}{c^2}$.

Jądro atomowe i promieniowanie jądrowe

Jądro ${}^{A}_{Z}X$ ma Z protonów i $A - Z$ neutronów. Izotopy – jądra o tej samej liczbie atomowej Z, a różnej liczbie masowej A. W reakcjach jądrowych zachowane są liczba nukleonów (suma A) i ładunek (suma Z).

Rozpad	Schemat	Co zachodzi w jądrze
α	${}^{A}_{Z}X \rightarrow {}^{A-4}_{Z-2}Y + {}^{4}_{2}He$	emisja jądra helu
β^-	${}^{A}_{Z}X \rightarrow {}^{A}_{Z+1}Y + {}^{0}_{-1}e + \bar{\nu}_e$	$n \rightarrow p + e^- + \bar{\nu}_e$
β^+	${}^{A}_{Z}X \rightarrow {}^{A}_{Z-1}Y + {}^{0}_{1}e + \nu_e$	$p \rightarrow n + e^+ + \nu_e$
γ	${}^{A}_{Z}X^* \rightarrow {}^{A}_{Z}X + \gamma$	przejście jądra ze stanu wzbudzonego do niższego

Promieniowanie α ma najmniejszą przenikliwość i najsilniej jonizuje, γ – odwrotnie; α i β odchylają się w polu elektrycznym i magnetycznym, γ – nie. Jądra niestabilne ulegają samorzutnym przemianom, jądra stabilne – nie.

Energia wiązania i energia reakcji jądrowej

Deficyt masy jądra: $\Delta m = Zm_p + (A - Z)m_n - m_j$; **energia wiązania** $E_w = \Delta m\, c^2$ – energia potrzebna do rozdzielenia jądra na swobodne nukleony. Przy masach atomów (z elektronami) w miejsce m_p wstawia się masę atomu ¹H. $1\ u \cdot c^2 = 931{,}494$ MeV (wartość podawana w zadaniach).

Energia reakcji: $Q = (\Sigma\, m_{przed} - \Sigma\, m_{po})c^2$. Gdy $Q > 0$, energia się wydziela – jako energia kinetyczna produktów i energia fotonów γ. Energia wiązania przypadająca na nukleon E_w/A zależy od liczby masowej; energia wydziela się w tych przemianach, w których rośnie łączna energia wiązania układu.

Rozszczepienie ${}^{235}_{92}U$ zachodzi po pochłonięciu neutronu; powstają dwa lżejsze jądra i 2–3 neutrony. Reakcje termojądrowe (synteza) przemiany wodoru w hel są źródłem energii gwiazd.

Prawo rozpadu promieniotwórczego

Rozpad pojedynczego jądra jest zjawiskiem przypadkowym – można podać tylko prawdopodobieństwo rozpadu w danym czasie. Dla dużej liczby jąder: $N = N_0(½)^{t/T}$, gdzie T – czas połowicznego rozpadu (po czasie T pozostaje połowa jąder, które były na początku). Aktywność próbki (liczba rozpadów w jednostce czasu) jest proporcjonalna do liczby jąder: $A = A_0(½)^{t/T}$.

Datowanie węglem ¹⁴C: w żywym organizmie stosunek ¹⁴C/¹²C jest taki jak w atmosferze; po śmierci ¹⁴C rozpada się ($T \approx 5730$ lat), a ¹²C – nie. Z ilorazu $r = (^{14}C/^{12}C)_{próbka} / (^{14}C/^{12}C)_{żywy} = (½)^{t/T}$ oblicza się czas t od śmierci organizmu.

Promieniowanie jonizujące uszkadza cząsteczki w komórkach (m.in. DNA); skutek zależy od dawki, rodzaju promieniowania i od tego, czy źródło znajduje się poza organizmem, czy w jego wnętrzu.

Na maturze

Typowe polecenia: „oblicz energię wiązania / energię wydzieloną w reakcji – wynik podaj w MeV z dokładnością do trzech cyfr znaczących”, „uzupełnij schemat rozpadu”, „oblicz, jaka część jąder pozostanie…”, „wyznacz … w zależności tylko od …”. W kluczu: zasada zachowania energii

zapisana dla całego procesu (z energiami spoczynkowymi i kinetycznymi), deficyt masy jako różnica mas *przed* i *po*, w zasadzie zachowania pędu – przeciwne zwroty pędów. Przy prędkościach porównywalnych z c wymagany jest wzór relatywistyczny; gdy polecenie pozwala, stosuje się wzór klasyczny. Wynik bez jednostki albo z inną liczbą cyfr znaczących niż w poleceniu nie dostaje ostatniego punktu.

Typowe błędy

Tak traci się punkty	Tak jest dobrze	Dlaczego
Obliczanie energii elektronu o prędkości $(2/3)c$ ze wzoru $E_k = ½\,mv^2$.	Dla v porównywalnej z c: $E = \frac{mc^2}{\sqrt{1 - v^2/c^2}}$, $E_k = E - mc^2$.	Wzór klasyczny daje wynik różny już w drugiej cyfrze znaczącej (sprawozdanie CKE 2024, zad. 10.1).
Utożsamianie energii całkowitej z kinetyczną: praca pola = E (bez odjęcia E_0).	Praca siły elektrycznej = przyrost energii kinetycznej: $eU = E - E_0$.	Pominięcie energii spoczynkowej przekreśla dalsze rachunki (sprawozdanie CKE 2024, zad. 10.2).
Odczytanie czasu połowicznego rozpadu z wykresu jako czasu, po którym „coś” osiągnęło połowę – bez sprawdzenia, czy wykres przedstawia jądra pozostałe, czy rozpadnięte.	T to czas, po którym *pozostaje* połowa początkowej liczby jąder (równoważnie: połowa się rozpadła).	Błędy wynikały z niezrozumienia definicji T (sprawozdanie CKE 2024, zad. 11.1).
Twierdzenie, że po rozpadzie suma mas produktów jest większa niż masa jądra, „bo masa nukleonów jest większa niż masa jądra”.	Gdy w rozpadzie wydziela się energia, masa jądra początkowego jest większa od sumy mas produktów: $Q = \Delta mc^2 > 0$.	Mylono energię reakcji (różnica mas substratów i produktów) z energią wiązania (sprawozdanie CKE 2026, zad. 11.2).
Deficyt masy liczony z błędnymi masami nukleonów albo jako różnica innych mas; wynik bez jednostki lub z nadmiarem cyfr.	$\Delta m = Zm_H + (A - Z)m_n - m_{atomu}$, $E_w = \Delta m \cdot 931{,}494$ MeV/u, wynik zaokrąglony zgodnie z poleceniem.	To była zasadnicza trudność zadania o energii wiązania (sprawozdanie CKE 2023, zad. 11.3).
Zasada zachowania pędu dla rozpadu spoczywającego jądra zapisana jako $m_X v_X + m_\alpha v_\alpha = 0$ na wartościach (bez znaków).	Pędy produktów mają przeciwne zwroty: $m_X v_X - m_\alpha v_\alpha = 0$, więc $p_X = p_\alpha$.	Zapis skalarny bez zwrotów był główną przyczyną utraty punktów (sprawozdanie CKE 2025, zad. 12.2).

A Zadania wprowadzające

Zadanie 1. (0–4)

W gabinetach stomatologicznych wypełnienia z żywic utwardza się światłem niebieskim. Dioda lampy polimeryzacyjnej emituje światło o długości fali $\lambda = 460$ nm; fotony o takiej energii zapoczątkowują reakcję utwardzania żywicy.

Zadanie 1.1. (0–2)

Oblicz energię jednego fotonu emitowanego przez diodę lampy. Wynik podaj w dżulach i w elektronowoltach. Zapisz obliczenia.

Obliczenia

Zadanie 1.2. (0–1)

Uzupełnij zdanie. Wybierz właściwe określenia spośród podanych w nawiasach.

Foton światła czerwonego o długości fali 650 nm ma od fotonu emitowanego przez diodę lampy (mniejszą / większą) energię i (mniejszy / większy) pęd, a w próżni porusza się z (mniejszą / taką samą / większą) prędkością.

Zadanie 1.3. (0–1)

Dokończ zdanie. Wybierz właściwą odpowiedź spośród podanych.

Zjawiskiem, którego nie można wyjaśnić, traktując światło wyłącznie jako falę elektromagnetyczną, jest

A. ugięcie światła na siatce dyfrakcyjnej.

B. wybijanie elektronów z metalu tylko przez światło o dostatecznie dużej częstotliwości.

C. załamanie światła na granicy powietrza i szkła.

D. interferencja światła za dwiema szczelinami.

Zadanie 2. (0–3)

Tlen występujący w przyrodzie jest mieszaniną trzech trwałych izotopów: ^{16}O, ^{17}O i ^{18}O. Izotop fluoru ^{18}F otrzymuje się sztucznie; jest on promieniotwórczy. Liczba atomowa tlenu jest równa 8, a fluoru – 9.

Zadanie 2.1. (0–1)

Uzupełnij tabelę – wpisz liczby protonów i neutronów w jądrach podanych nuklidów.

Nuklid	^{16}O	^{17}O	^{18}O	^{18}F
Liczba protonów				
Liczba neutronów				

Zadanie 2.2. (0–2)

Oceń prawdziwość poniższych stwierdzeń. Wybierz P, jeśli stwierdzenie jest prawdziwe, albo F – jeśli jest fałszywe.

1.	Jądra ^{18}O i ^{18}F mają taką samą liczbę nukleonów.	**P**	**F**
2.	Obojętne atomy ^{16}O i ^{18}O mają różną liczbę elektronów.	**P**	**F**
3.	Jądro ^{18}F może przekształcić się w jądro ^{18}O w wyniku rozpadu β^+.	**P**	**F**

Zadanie 3. (0–3)

Polon-210 jest izotopem promieniotwórczym ulegającym rozpadowi α; produktem jest trwały izotop ołowiu. Gal-68 ulega rozpadowi β^+, w którym powstaje trwały izotop cynku.

Zadanie 3.1. (0–2)

Uzupełnij schematy obu rozpadów – wpisz brakujące liczby masowe i atomowe oraz symbol cząstki.

$$^{210}_{84}Po \rightarrow \ ^{\ldots\ldots}_{\ldots\ldots}Pb + \ ^{\ldots\ldots}_{\ldots\ldots}\ldots\ldots$$

$$^{68}_{31}Ga \rightarrow \ ^{\ldots\ldots}_{\ldots\ldots}Zn + \ ^{\ldots\ldots}_{\ldots\ldots}\ldots\ldots + \nu_e$$

Zadanie 3.2. (0–1)

Uzupełnij zdania. Wybierz właściwe określenia spośród podanych w nawiasach.

W rozpadzie β^+ w jądrze (proton zamienia się w neutron / neutron zamienia się w proton).

Cząstka α ma od elektronu (pozytonu) (mniejszą / większą) przenikliwość, a promieniowanie γ w polu magnetycznym (odchyla się / nie odchyla się).

Zadanie 4.3. (0–2)

Oblicz długość fali fotonu emitowanego przy przejściu atomu wodoru ze stanu $n = 4$ do stanu $n = 2$. Wynik podaj w nanometrach z dokładnością do trzech cyfr znaczących. Zapisz obliczenia.

Obliczenia

Zadanie 5. (0–4)

Zgodnie ze szczególną teorią względności każdej energii odpowiada masa, a prędkość światła w próżni ma szczególne znaczenie.

Zadanie 5.1. (0–2)

Oceń prawdziwość poniższych stwierdzeń. Wybierz P, jeśli stwierdzenie jest prawdziwe, albo F – jeśli jest fałszywe.

1.	Obserwator zbliżający się do źródła światła z prędkością $0{,}5c$ zmierzy, że światło porusza się względem niego z prędkością $1{,}5c$.	**P**	**F**
2.	Za pomocą żadnego sygnału nie można przekazać informacji z prędkością większą niż prędkość światła w próżni.	**P**	**F**
3.	Energia spoczynkowa elektronu jest tym większa, im większa jest jego prędkość.	**P**	**F**

Zadanie 5.2. (0–2)

Wodę o masie 1,0 kg ogrzano o 80 K. Ciepło właściwe wody wynosi 4190 J/(kg · K). Oblicz, o ile wzrosła masa wody. Zapisz obliczenia.

Obliczenia

Zadanie 6. (0–3)

Jod-131 stosowany w diagnostyce tarczycy ulega rozpadowi β^- z czasem połowicznego rozpadu $T =$ 8,02 doby.

Zadanie 11.3. (0–1)

Dokończ zdanie. Wybierz odpowiedź A albo B oraz jej uzasadnienie 1. albo 2.

Jądro ^{4}He jest związane

A	silniej (na nukleon) niż jądro ^{6}Li,	ponieważ	**1.**	energia wiązania przypadająca na nukleon jest dla ^{4}He większa niż dla ^{6}Li.
B	słabiej (na nukleon) niż jądro ^{6}Li,		**2.**	jądro ^{6}Li ma więcej nukleonów, więc większą całkowitą energię wiązania.

Zadanie 12. (0–4)

Na dnie jeziora znaleziono wiosło wykonane z drewna. W próbce drewna zmierzono spektrometrem mas stosunek liczby atomów ^{14}C do liczby atomów ^{12}C. Okazał się on równy 31,6% takiego stosunku w drewnie żywych drzew. Czas połowicznego rozpadu węgla-14 wynosi $T = 5730$ lat.

Zadanie 12.1. (0–2)

Oblicz, ile lat temu ścięto drzewo, z którego wykonano wiosło. Przyjmij, że stosunek ^{14}C/^{12}C w atmosferze był w tym okresie stały. Wynik podaj z dokładnością do dwóch cyfr znaczących. Zapisz obliczenia.

Obliczenia

Zadanie 12.2. (0–1)

Dokończ zdanie. Wybierz odpowiedź A albo B oraz jej uzasadnienie 1. albo 2.

Wiek skamieniałości sprzed ok. 1 mln lat

A	można wyznaczyć metodą węgla ^{14}C,	ponieważ	**1.**	czas połowicznego rozpadu ^{14}C jest stały, więc w każdej próbce pozostaje mierzalna liczba jąder ^{14}C.
B	nie można wyznaczyć metodą węgla ^{14}C,		**2.**	1 mln lat to ok. 175 czasów połowicznego rozpadu – pozostaje ułamek ok. 2^{-175} jąder ^{14}C, więc nie da się ich wiarygodnie zmierzyć.

Zadanie 12.3. (0–1)

Oceń prawdziwość poniższych stwierdzeń. Wybierz P, jeśli stwierdzenie jest prawdziwe, albo F – jeśli jest fałszywe.

1.	Po śmierci drzewa liczba atomów ^{12}C w drewnie nie zmienia się wskutek rozpadu promieniotwórczego.	**P**	**F**
2.	Gdyby wiosło przez cały czas leżało w ciepłej wodzie, węgiel-14 rozpadałby się w nim szybciej niż w zimnej.	**P**	**F**

CO JESZCZE JEST W ŚRODKU

Matura 2027 z fizyki (poziom rozszerzony) – zbiór zadań, rozdział 11: Fizyka atomowa, relatywistyczna i jądrowa – zadania z rozwiązaniami

Podgląd pokazał 8 z 26 stron. Pełna wersja: 26 stron A4, PDF do druku.

- Zadania (26 stron): repetytorium działu (Foton i zjawisko fotoelektryczne, Widma atomowe i poziomy energetyczne wodoru, Pęd fotonu i odrzut atomu.
- Rozwiązania (22 strony): klucz do zadań zamkniętych, rozwiązania zadań rachunkowych krok po kroku, przykładowe odpowiedzi do zadań otwartych i zasady oceniania w układzie CKE – za

Kup pełną wersję – plik od razu na e-mail
pierwszalawka.pl/material/fizyka-matura-zbior-zadan-rozdzial-11-fizyka-atomowa-i-jadrowa