

REFORMA
2019

FIZYKA

ZBIÓR ZADAŃ

LICEUM I TECHNIKUM • ZAKRES ROZSZERZONY

4



AGNIESZKA BOŻEK, KATARZYNA NESSING, JADWIGA SALACH

FIZYKA

ZBIÓR ZADAŃ

LICEUM I TECHNIKUM • ZAKRES ROZSZERZONY

© Copyright by Wydawnictwa Szkolne i Pedagogiczne
Warszawa 2022

Wydanie I

ISBN 978-83-02-20567-5

Opracowanie merytoryczne i redakcyjne: **Anna Grochulska** (redaktor koordynator,
redaktor merytoryczny), **Zuzanna Ludwiczak** (redaktor merytoryczny)

Konsultacje dydaktyczne: **Sławomir Gajewski**

Redakcja i korekta językowa: **Zespół WSiP, Anna Rossa**

Redakcja techniczna: **Janina Soboń**

Projekt okładki: **Ewa Pawińska**

Projekt graficzny: **Ewa Pawińska**

Opracowanie graficzne: **Hanna Michalska-Baran**

Fotoedycja: **Ignacy Skłodowski**

Skład i łamanie: **MathMaster Studio Jakub Galicki**

Wydawnictwa Szkolne i Pedagogiczne Spółka Akcyjna

00-807 Warszawa, Al. Jerozolimskie 96

KRS: 0000595068

Infolinia: 801 220 555

www.wsip.pl

Druk i oprawa: ArtDruk Zakład Poligraficzny Andrzej Łuniewski

Publikacja, którą nabyłeś, jest dziełem twórcy i wydawcy. Prosimy, abyś przestrzegał praw, jakie im przysługują. Jej zawartość możesz udostępnić nieodpłatnie osobom bliskim lub osobiście znanym. Ale nie publikuj jej w internecie. Jeśli cytujesz jej fragmenty, nie zmieniaj ich treści i koniecznie zaznacz, czyje to dzieło. A kopiując jej część, rób to jedynie na użytek osobisty.

prawolubni


Szanujmy cudzą własność i prawo.
Więcej na www.legalnakultura.pl
Polska Izba Książki

Spis treści

Wstęp	5
Dualna natura promieniowania i materii	
Wskazówki	6
Przykładowe rozwiązania zadań	8
1. Fale elektromagnetyczne	27
*2. Pomiar wartości prędkości światła	33
3. Dyfrakcja i interferencja światła	35
4. Zdolność rozdzielcza przyrządów optycznych	39
5. Polaryzacja światła	40
6. Zjawisko fotoelektryczne zewnętrzne	43
7. Promieniowanie ciał. Widma	48
8. Model Bohra budowy atomu wodoru	52
9. Promieniowanie rentgenowskie	56
10. Fale materii	61
Elementy szczególnej teorii względności	
Wskazówki	64
Przykładowe rozwiązania zadań	66
11. Szybkość światła w różnych inercjalnych układach odniesienia	77
12. Zjawisko Dopplera dla fal elektromagnetycznych	81
13. Maksymalna szybkość przekazu informacji	83
14. Pęd relatywistyczny	84
15. Masa i energia w fizyce relatywistycznej	86
16. Związek między energią i pędem cząstki. Energia i masa układu cząstek	89
Fizyka jądrowa	
Wskazówki	91
Przykładowe rozwiązania zadań	94
17. Promieniowanie jądrowe i jego właściwości	106
18. Jądro atomowe i jego budowa	109
19. Rozpady promieniotwórcze	111
20. Prawo rozpadu promieniotwórczego	113
21. Energia wiązania	116
22. Reakcje jądrowe. Kreacja i anihilacja	118
23. Reakcje rozszczepienia	120
24. Energetyka jądrowa. Wykorzystanie energii jądrowej	123
25. Reakcje termojądrowe. Ewolucja gwiazd	125
26. Promieniowanie jonizujące a organizmy	129
Odpowiedzi do zadań	131

* Rozdział 2 jest rozdziałem nadobowiązkowym.

Wstęp

Zbiór zadań jest przeznaczony dla uczniów liceów i techników, którzy wybrali naukę fizyki w zakresie rozszerzonym. Układ treści w zbiorze jest ściśle skorelowany z podręcznikiem do klasy 4 *Fizyka. Podręcznik. Liceum i technikum. Zakres rozszerzony* autorstwa Marii Fiałkowskiej, Barbary Sagnowskiej i Jadwigi Salach.

Na początku każdego działu zamieściliśmy *Wskazówki*, które wyodrębniają główne problemy analizowane w zadaniach. Przed przystąpieniem do rozwiązywania zadań warto się z nimi zapoznać, aby wiedzieć, jak interpretować dane zagadnienia, na co zwracać szczególną uwagę oraz jakich błędów unikać. Zamieszczone tam uwagi i spostrzeżenia mogą być też przydatne dla nauczycieli w celu doboru odpowiednich zadań do rozwiązywania na lekcji lub jako praca domowa ucznia.

Kolejnym elementem zbioru są *Przykładowe rozwiązania zadań*, w których pokazujemy:

- jak poprawnie przeprowadzić analizę zadania,
- przebieg wzorcowego rozwiązania wraz z komentarzami,
- końcowe wnioski.

Każdy z trzech działów zbioru jest podzielony na rozdziały. W ramach każdego rozdziału zadania uporządkowano według wzrastającego stopnia trudności; mają one zróżnicowaną formę. Oprócz typowych zadań, do których rozwiązania wystarczy zastosować powszechnie znane algorytmy, zbiór zawiera zadania złożone, niekiedy wielostopniowe, wymagające umiejętności:

- interpretacji wykresów,
- wyjaśniania i przewidywania zjawisk,
- uzasadniania własnych sądów,
- przeprowadzania rozumowań,
- wskazywania błędów w rozumowaniu.

Zadania trudniejsze oznaczono gwiazdką (*).

Mamy nadzieję, że zbiór zadań będzie dużą pomocą dla uczniów planujących podjęcie studiów na kierunkach przyrodniczych i technicznych, na których fizyka jest jednym z podstawowych przedmiotów.

Na koniec zwracamy się do tych spośród Was, którzy zamierzają wybrać fizykę jako dodatkowy przedmiot na egzaminie maturalnym. W arkuszach egzaminacyjnych znajdziecie zadania o podobnym stopniu trudności i podobnej konstrukcji do zadań w zbiorze, ale będą one obejmowały materiał z całego kursu fizyki, przeznaczonego dla klas o poszerzonym programie z tego przedmiotu. Systematyczna praca z czterema częściami zbioru zapewni Wam powodzenie, czego serdecznie Wam życzymy.

Z życzeniami wielu sukcesów!

Autorki

Dualna natura promieniowania i materii

Wskazówki

► Zanim zaczniesz rozwiązywać zadanie:

- postaraj się zrozumieć zjawisko fizyczne, które jest opisane w treści;
- przypomnij sobie prawa fizyczne, które odnoszą się do przedstawionego zjawiska – podczas analizowania zjawiska należy sobie uświadomić, dlaczego przebiega ono w opisany sposób;
- zapisz dane i szukane, zaproponuj własne symbole, którymi chcesz się posługiwać;
- pamiętaj – nie dopasowuj do zadania gotowych, wyuczonych wzorów.

► Najważniejsze zagadnienia w tym dziale to:

- widmo fal elektromagnetycznych,
- dyfrakcja, interferencja i polaryzacja światła,
- zjawisko fotoelektryczne zewnętrzne,
- kwantowa teoria promieniowania elektromagnetycznego,
- prawa promieniowania ciał doskonale czarnych,
- model Bohra budowy atomu wodoru,
- promieniowanie rentgenowskie,
- fale materii.

► Najważniejsze pojęcia

- interferencja konstruktywna i destruktywna (warunki) • kąt Brewstera • stała Plancka • praca wyjścia • skwantowanie poziomów energetycznych w atomie • serie widmowe atomu wodoru • krótkofalowa granica ciągłego widma rentgenowskiego • widmo charakterystyczne promieniowania rentgenowskiego • fale de Broglie'a

• W podręczniku omówiono sposób powstawania elektromagnetycznych fal radiowych (drgania w obwodzie LC). Zjawiska zachodzące w tzw. obwodach drgających są bardzo ciekawe, wskazują m.in. na istotną rolę samoindukcji, bez której rozładowanie kondensatora następowałoby jednorazowo, bez powstawania drgań. Przy okazji warto zwrócić uwagę na piękne analogie między wielkościami fizycznymi mechanicznymi i elektrycznymi; analogie te rozciągają się poza obszar samych drgań (patrz zadania 1.25–1.28, a także przykład 1).

• Warto zauważyć, że często podczas wyjaśniania, jak powstaje i rozchodzi się fala elektromagnetyczna, popełniamy pewien błąd, gdy mówimy, że zmiennemu polu elektrycznemu zawsze towarzyszy powstawanie z m i e n n e g o pola magnetycznego, a zmien-

nemu polu magnetycznemu – z m i e n n e g o pola elektrycznego. W przypadku fali elektromagnetycznej istotnie tak jest, ale ogólnie nie jest to prawda (patrz zadanie 1.1). Jeśli strumień magnetyczny przechodzący przez pewną powierzchnię zmieniałby się wskutek liniowej zmiany wartości wektora $\vec{B}$, prostopadłego do powierzchni, to wirowe pole elektryczne powstające podczas tej zmiany byłoby stałe (przez umieszczony w tej przestrzeni pierścień z drutu płynąłby stały prąd indukcyjny). Gdyby natężenie pola elektrycznego między okładkami kondensatora zmieniało się nie sinusoidalnie, lecz liniowo, to wektor $\vec{B}$ wirowego pola magnetycznego miałby wartość stałą. Nie powstałaby wówczas fala elektromagnetyczna.

- W opisie doświadczenia Younga można zastępować sinus kąta ugięcia jego tangensem lub samym kątem (w mierze łukowej!), bo kąty między pierwotnym kierunkiem wiązki padającej a kierunkiem promieni ugiętych, które w wyniku interferencji uległy wzmocnieniu, są bardzo małe (patrz zadania 3.2 i 3.3 oraz przykład 3). Taka sytuacja często ma miejsce także w przypadku siatki dyfrakcyjnej dla widma pierwszego rzędu. Należy tylko pamiętać o konieczności zamiany stopni na radiany.

- Zjawisku ugięcia światła zawsze towarzyszy zjawisko interferencji, gdyż wskutek ugięcia w różnych punktach przestrzeni spotykają się promienie świetlne o różnych fazach drgań. Natomiast interferencja może zachodzić bez ugięcia – znamy przypadki interferencji bezdyfrakcyjnej promieni, które przebyły różne drogi. W opisywanych (i obserwowanych w przyrodzie) zjawiskach są to promienie pochodzące z jednego źródła, więc zawsze spójne, co – jak wiemy – jest warunkiem otrzymania stałego obrazu interferencyjnego; patrz zadania 3.13–3.15, a także przykład 3, który w zasadzie opisuje doświadczenia analogiczne do doświadczenia Younga, ale bez ugięcia.

- W siatce dyfrakcyjnej o dużej stałej (o małej liczbie rys przypadających na 1 mm), czyli o małej zdolności rozdzielczej, często się zdarza, że obserwowane na ekranie widma wyższych rzędów wzajemnie na siebie zachodzą, więc nie ma między nimi ciemnego obszaru albo obszar ten jest bardzo wąski (patrz przykład 2).

- Podczas rozwiązywania zadań, w których rozważamy wiązkę światła padającą kolejno na kilka polaryzatorów o wspólnej osi, ustawionych jeden za drugim, rzutujemy amplitudy natężenia pola elektrycznego $\vec{E}$ na płaszczyzny, w których kolejne polaryzatory przepuszczają drgania. Obliczamy wartości kolejnych zrzutowanych amplitud i w ten sposób otrzymujemy amplitudę fali opuszczającej ostatni polaryzator. Trzeba pamiętać, że stosunek natężeń światła jest równy stosunkowi kwadratów odpowiednich amplitud (patrz zadania 5.7–5.9, a także przykład 5).

- Teoria falowa promieniowania elektromagnetycznego nie wyklucza samego występowania fotoefektu, ponieważ każda fala niesie ze sobą określoną energię. Jednak stwierdzonych zależności ilościowych nie można wytłumaczyć na podstawie tej teorii. Miarą energii fali jest jej natężenie, dlatego energia emitowanych fotoelektronów powinna zależeć od natężenia padającego promieniowania, a tak nie jest – natężenie decyduje jedynie

o liczbie elektronów wybijanych z metalu. Również obserwowana ich natychmiastowa emisja z chwilą rozpoczęcia naświetlania (brak opóźnienia) nie daje się wytłumaczyć, jeśli promieniowanie potraktujemy jako falę (fakt ten został zilustrowany w przykładzie 7).

Przykładowe rozwiązania zadań

Przykład 1 ➡ ułatwi rozwiązanie zadań 1.25–1.28

Istnieją analogie między wielkościami fizycznymi używanymi do opisu zjawisk w mechanice oraz w działach prąd elektryczny i indukcja elektromagnetyczna (w szczególności między wielkościami opisującymi drgania mechaniczne i elektromagnetyczne w obwodzie LC). Uświadomienie sobie tych analogii ułatwi zapamiętywanie wzorów. W drugiej kolumnie tabeli wpisano symbole wielkości fizycznych i wzory opisujące zjawiska mechaniczne, w których te wielkości występują.

Lp.	Symbole wielkości mechanicznych lub wzory	Symbole analogicznych wielkości elektrycznych lub analogiczne wzory	Nazwy wielkości elektrycznych lub objaśnienie wzorów
1.	x		
2.	v		
3.	a		
4.	m		
5.	$p = mv$		
6.	$F = \frac{ \Delta \vec{p} }{\Delta t}$ lub $F = \frac{ d\vec{p} }{dt}$		
7.	k		
8.	$F = k x $		
9.	$T = 2\pi\sqrt{\frac{m}{k}}$		
10.	$E_k = \frac{mv^2}{2}$		
11.	$E_p = \frac{kx^2}{2}$		

- a) W trzeciej kolumnie tabeli wpisz symbole analogicznych wielkości elektrycznych lub analogiczne wzory, zapisane za pomocą tych symboli.
b) W ostatniej kolumnie wpisz nazwy tych wielkości lub krótkie objaśnienia wzorów.

Dane: symbole wielkości mechanicznych lub wzory

- a) Szukane: symbole analogicznych wielkości elektrycznych lub analogiczne wzory
b) Szukane: nazwy wielkości elektrycznych lub objaśnienie wzorów

Rozwiązanie:

Lp.	Dane	a)	b)
1.	x	Q	ładunek elektryczny
2.	v	I	natężenie prądu
3.	a	$\frac{\Delta I}{\Delta t}$ lub $\frac{dI}{dt}$	szybkość zmian natężenia prądu
4.	m	L	współczynnik samoindukcji obwodu
5.	$p = mv$	$\Phi = LI$	strumień indukcji magnetycznej obejmowany przez obwód, w którym płynie prąd o natężeniu I
6.	$F = \frac{ \Delta \vec{p} }{\Delta t}$ lub $F = \frac{ d\vec{p} }{dt}$	$ \epsilon = \frac{ \Delta \Phi }{\Delta t}$ lub $ \epsilon = \frac{ d\Phi }{dt}$	siła elektromotoryczna indukcji
7.	k	$\frac{1}{C}$	odwrotność pojemności elektrycznej
8.	$F = k x $	$U = \frac{Q}{C}$	napięcie na kondensatorze naładowanym ładunkiem Q
9.	$T = 2\pi\sqrt{\frac{m}{k}}$	$T = 2\pi\sqrt{LC}$	okres drgań własnych w obwodzie LC
10.	$E_k = \frac{mv^2}{2}$	$E = \frac{LI^2}{2}$	energia pola magnetycznego w zwojnicy, w której płynie prąd o natężeniu I
11.	$E_p = \frac{kx^2}{2}$	$E = \frac{Q^2}{2C}$	energia pola elektrycznego w kondensatorze naładowanym ładunkiem Q

Przykład 2 ➔ ułatwi rozwiązanie zadań 3.4–3.8 i 3.12

Na siatkę dyfrakcyjną o stałej 4000 nm pada prostopadle wiązka światła białego. Przyjmij, że długości fal światła widzialnego mieszczą się w granicach od 400 nm do 800 nm. Odległość siatki od ekranu jest równa 0,8 m.

- Oblicz szerokości obserwowanych na ekranie widm I i II rzędu oraz odległość barwy czerwonej w widmie I rzędu od barwy fioletowej w widmie II rzędu.
- Wykonaj polecenia wymienione w części a) zadania dla przypadku, gdy stała siatki jest równa 8000 nm.
- Sformułuj wniosek.

a) Dane: $d = 4000 \text{ nm}$; zakres długości fal światła widzialnego: $400 \text{ nm} - 800 \text{ nm}$;
 $x = 0,8 \text{ m}$

Szukane: szerokość widm I i II rzędu, odległości skrajnych barw tych widm

Rozwiązanie:

Oznaczmy odległości poszczególnych barw widma na ekranie od prążka zerowego literą y .

I rząd: Obliczamy $y_{czI} - y_{fi}$.

$$\lambda_{cz} = d \sin \alpha_{czI} \Rightarrow \sin \alpha_{czI} = \frac{\lambda_{cz}}{d} = \frac{800 \text{ nm}}{4000 \text{ nm}} = \frac{8}{40} = 0,200$$

$$\alpha_{czI} \approx 11,54^\circ \Rightarrow \operatorname{tg} \alpha_{czI} \approx 0,204$$

$$y_{czI} = x \cdot \operatorname{tg} \alpha_{czI} \approx 0,8 \text{ m} \cdot 0,204 = 0,1632 \text{ m} \approx 16,3 \text{ cm}$$

$$\lambda_f = d \sin \alpha_{fi} \Rightarrow \sin \alpha_{fi} = \frac{\lambda_f}{d} = \frac{400 \text{ nm}}{4000 \text{ nm}} = 0,100$$

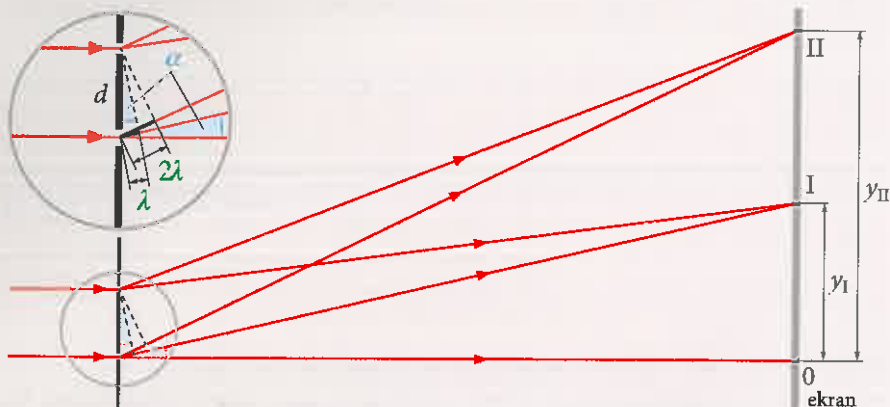
$$\alpha_{fi} \approx 5,74^\circ \Rightarrow \operatorname{tg} \alpha_{fi} \approx 0,101$$

$$y_{fi} = x \cdot \operatorname{tg} \alpha_{fi} \approx 0,8 \text{ m} \cdot 0,101 = 0,0808 \text{ m} \approx 8,1 \text{ cm}$$

Szerokość widma I rzędu:

$$y_{czI} - y_{fi} \approx 16,3 \text{ cm} - 8,1 \text{ cm} = 8,2 \text{ cm}$$

II rząd: Obliczamy $y_{czII} - y_{fiI}$.



$$2\lambda_{cz} = d \sin \alpha_{czII} \Rightarrow \sin \alpha_{czII} = \frac{2\lambda_{cz}}{d} = \frac{2 \cdot 800 \text{ nm}}{4000 \text{ nm}} = 0,400$$

$$\alpha_{czII} \approx 23,58^\circ \Rightarrow \operatorname{tg} \alpha_{czII} \approx 0,436$$

$$y_{czII} = x \cdot \operatorname{tg} \alpha_{czII} \approx 0,8 \text{ m} \cdot 0,436 = 0,3488 \text{ m} \approx 34,9 \text{ cm}$$

$$2\lambda_f = d \sin \alpha_{fiI} \Rightarrow \sin \alpha_{fiI} = \frac{2\lambda_f}{d} = \frac{800 \text{ nm}}{4000 \text{ nm}} = 0,200$$

Widzimy, że $\sin \alpha_{fiI} = \sin \alpha_{czI}$. Wynika z tego, że położenie na ekranie barwy fioletowej w widmie II rzędu pokrywa się z położeniem barwy czerwonej w widmie I rzędu:

$$y_{\text{II}} = y_{\text{czI}} \approx 16,3 \text{ cm}$$

czyli ich odległość jest równa zeru.

Szerokość widma II rzędu:

$$y_{\text{czII}} - y_{\text{fII}} = 34,9 \text{ cm} - 16,3 \text{ cm} = 18,6 \text{ cm}$$

b) Dane: $d' = 8000 \text{ nm}$; pozostałe jak w części a)

Szukane: szerokość widm I i II rzędu, odległości skrajnych barw tych widm

Rozwiązanie:

Postępujemy podobnie jak podczas rozwiązywania części a).

I rząd: Obliczamy $y_{\text{czI}} - y_{\text{fI}}$.

$$\lambda_{\text{cz}} = d' \sin \alpha_{\text{czI}} \Rightarrow \sin \alpha_{\text{czI}} = \frac{\lambda_{\text{cz}}}{d'} = \frac{800 \text{ nm}}{8000 \text{ nm}} = 0,100$$

$$\alpha_{\text{czI}} \approx 5,74^\circ \Rightarrow \text{tg } \alpha_{\text{czI}} \approx 0,101$$

$$y_{\text{czI}} = x \cdot \text{tg } \alpha_{\text{czI}} \approx 0,8 \text{ m} \cdot 0,101 = 0,0808 \text{ m} \approx 8,1 \text{ cm}$$

$$\lambda_{\text{f}} = d' \sin \alpha_{\text{fI}} \Rightarrow \sin \alpha_{\text{fI}} = \frac{\lambda_{\text{f}}}{d'} = \frac{400 \text{ nm}}{8000 \text{ nm}} = 0,050$$

$$\alpha_{\text{fI}} \approx 2,87^\circ \Rightarrow \text{tg } \alpha_{\text{fI}} \approx 0,050$$

$$y_{\text{fI}} = x \cdot \text{tg } \alpha_{\text{fI}} \approx 0,8 \text{ m} \cdot 0,050 = 0,04 \text{ m} = 4,0 \text{ cm}$$

Szerokość widma I rzędu:

$$y_{\text{czI}} - y_{\text{fI}} \approx 8,1 \text{ cm} - 4,0 \text{ cm} = 4,1 \text{ cm}$$

II rząd: Obliczamy $y_{\text{czII}} - y_{\text{fII}}$.

$$2\lambda_{\text{cz}} = d' \sin \alpha_{\text{czII}} \Rightarrow \sin \alpha_{\text{czII}} = \frac{2\lambda_{\text{cz}}}{d'} = \frac{2 \cdot 800 \text{ nm}}{8000 \text{ nm}} = 0,200$$

$$\alpha_{\text{czII}} \approx 11,54^\circ \Rightarrow \text{tg } \alpha_{\text{czII}} \approx 0,204$$

$$y_{\text{czII}} = x \cdot \text{tg } \alpha_{\text{czII}} \approx 0,8 \text{ m} \cdot 0,204 = 0,1632 \text{ m} \approx 16,3 \text{ cm}$$

$$2\lambda_{\text{f}} = d' \sin \alpha_{\text{fII}} \Rightarrow \sin \alpha_{\text{fII}} = \frac{2\lambda_{\text{f}}}{d'} = \frac{800 \text{ nm}}{8000 \text{ nm}} = 0,100$$

Widzimy, że $\sin \alpha_{\text{fII}} = \sin \alpha_{\text{czI}}$. Wynika z tego, że położenie na ekranie barwy fioletowej w widmie II rzędu pokrywa się z położeniem barwy czerwonej w widmie I rzędu:

$$y_{\text{fII}} = y_{\text{czI}} \approx 8,1 \text{ cm}$$

czyli ich odległość jest równa zeru.

Szerokość widma II rzędu:

$$y_{\text{czII}} - y_{\text{fII}} = 16,3 \text{ cm} - 8,1 \text{ cm} = 8,2 \text{ cm}$$

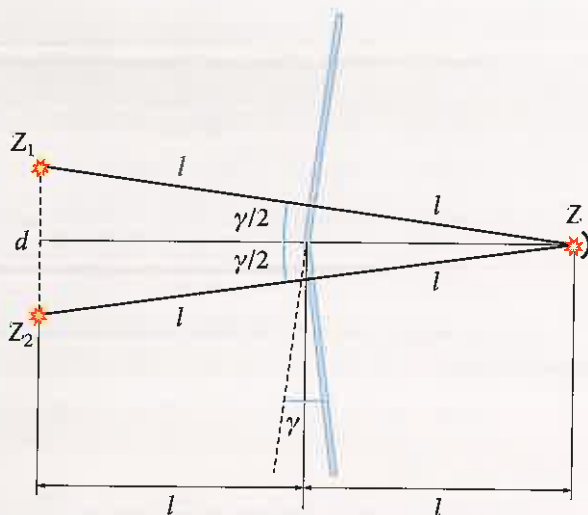
c) Wniosek: Siatka dyfrakcyjna o większej stałej (mniejszej liczbie rys na milimetr) daje widma bardziej zacieśnione – mała jest wówczas zdolność rozdzielcza siatki.

Odpowiedź: Dla siatki dyfrakcyjnej o mniejszej stałej szerokości widm I i II rzędu są równe odpowiednio: 8,2 cm i 18,6 cm. Dla siatki o większej stałej szerokości te wynoszą: 4,1 cm i 8,2 cm (widma są bardziej zacieśnione). W obu przypadkach nie ma ciemnego odstępu między widmami.

Przykład 3 ➔ ułatwi rozwiązanie zadań 3.1–3.3

Jest to przykład na interferencję bezdyfrakcyjną, w której interferuje światło pochodzące z dwóch źródeł spójnych, ponieważ są one odbiciami jednego świecącego punktu w dwóch zwierciadłach.

Zwierciadła Fresnela są nachylone do siebie pod kątem $\gamma = 10'$ (tzn. kąt rozwarty między zwierciadłami jest równy $179^\circ 50'$). Na rysunku kąt γ jest znacznie większy, aby odpowiednie trójkąty były dobrze widoczne. Ze względu na fakt, że kąt $\gamma/2$ jest bardzo mały, możemy uznać, że w trójkątach prostokątnych przeciwprostokątne i przyprostokątne przyległe do kąta $\gamma/2$ są jednakowe i równe $2l$.



Na obszar bliski krawędzi zetknięcia się zwierciadeł pada światło z monochromatycznego źródła Z, odległego od krawędzi o $l = 0,1$ m.

a) Oblicz wzajemną odległość d dwóch źródeł światła Z_1 i Z_2 , które stanowią obrazy pozorne punkowego źródła Z. Pamiętaj o tym, że kąt γ jest tak mały, iż z bardzo dobrym przybliżeniem $\sin \gamma = \tan \gamma = \gamma$ w mierze łukowej.

b) Ekran ustawiamy w odległości $L = 1$ m od źródła Z. Na podstawie znanego warunku maksymalnego wzmocnienia promieni wychodzących z dwóch źródeł punktowych Z_1 i Z_2 oblicz odległość prążka I rzędu od prążka zerowego, jeśli długość fali λ wysyłanej przez źródło jest równa $0,4 \mu\text{m}$. Sporządź odpowiedni rysunek.

Dane: $\gamma = 10'$; $l = 0,1$ m

a) Szukane: d

Rozwiązanie:

Kąt γ jest bardzo mały, więc:

$$\frac{d}{2} : 2l = \frac{\gamma}{2} \Rightarrow d = 2l\gamma$$

Obliczamy kąt γ w mierze łukowej.

$$360^\circ = 2\pi \Rightarrow 1^\circ = \frac{2\pi}{360}$$

$$10' = \left(\frac{1}{6}\right)^\circ = \frac{2\pi}{360} \cdot \frac{1}{6} = \frac{\pi}{1080} \approx 2,9 \cdot 10^{-3}$$

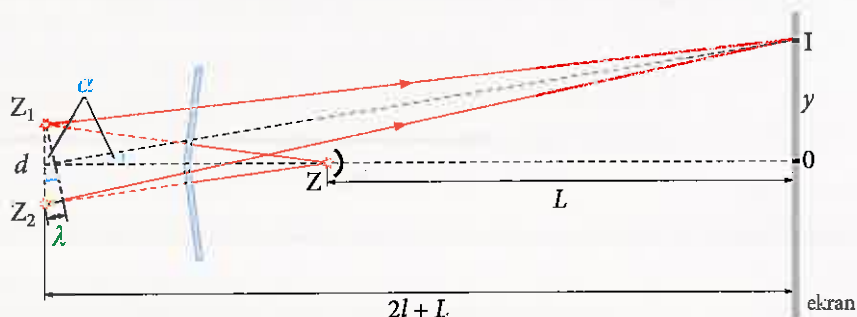
$$d \approx 2 \cdot 0,1 \text{ m} \cdot 2,9 \cdot 10^{-3} = 0,00058 \text{ m} \approx 0,6 \text{ mm}$$

b) Dane: $L = 1 \text{ m}$; $\lambda = 0,4 \text{ }\mu\text{m}$

Szukane: y

Rozwiązanie:

Prążek I rzędu powstaje na ekranie w wyniku interferencji promieni wysłanych ze źródeł Z_1 i Z_2 , gdy różnica długości tych promieni wynosi λ . Przedstawiamy to na schematycznym rysunku (proporcje na rysunku nie zostały zachowane).



Obliczamy odległość y środka prążka zerowego od środka prążka I rzędu.

$$\lambda = d \sin \alpha$$

W przypadku gdy kąt α jest bardzo mały, $\sin \alpha \approx \tan \alpha$.

$$\lambda = d \cdot \tan \alpha = d \cdot \frac{y}{2l + L} \Rightarrow y = \frac{\lambda(2l + L)}{d}$$

$$y \approx \frac{0,4 \text{ }\mu\text{m} \cdot 1,2 \text{ m}}{0,6 \cdot 10^{-3} \text{ m}} = 0,8 \cdot 10^3 \text{ }\mu\text{m} = 800 \text{ }\mu\text{m} = 0,8 \text{ mm}$$

Odpowiedź: Odległość między źródłami światła Z_1 i Z_2 (obrazami pozornymi źródła Z w zwierciadłach) jest równa około 0,6 mm. Odległość między środkami centralnych prążków na ekranie wynosi około 0,8 mm.

Uwaga: W przypadku gdyby kąt γ między zwierciadłami był mniejszy, wzajemna odległość między źródłami Z_1 i Z_2 byłaby również mniejsza, a prążki na ekranie znalazłyby się w większej odległości od siebie.

Przykład 4 ➔ **ułatwi rozwiązanie zadań 3.13–3.15**

Płytką szklaną pokryta jest cienką warstwą substancji przeciwodblaskowej, która przez interferencję wygasa odbite światło żółte o długości fali 580 nm. Współczynnik załamania warstwy przeciwodblaskowej jest równy 1,38, a szkła 1,50.

powietrze	$n_1 = 1,00$
warstwa	$n_2 = 1,38$
szkło	$n_3 = 1,50$

- a) Oblicz najmniejszą grubość warstwy, która zapewni wygaszenie światła o podanej długości fali.
 b) Oblicz dwie kolejne, większe grubości, które dadzą ten sam efekt.
 Załóż, że światło pada na warstwę prostopadle.

Dane: $\lambda = 580 \text{ nm}$; $n_1 = 1,00$; $n_2 = 1,38$; $n_3 = 1,50$

- a) Szukane: $d_{\min}$ warstwy, która wygasi światło odbite

Rozwiązanie:

Światło odbite od dwóch powierzchni (granicznej między powietrzem i warstwą przeciwodblaskową oraz granicznej między warstwą przeciwodblaskową i szkłem) jest wygaszane wtedy, gdy odpowiednia grubość warstwy zapewnia, że odbite fale są w przeciwnej fazie. Podczas odbicia od powierzchni zetknięcia z materiałem o większym współczynniku załamania zachodzi zmiana fazy na przeciwną. Sytuacja taka występuje na obu powierzchniach granicznych, bo $1,00 < 1,38 < 1,50$. W rezultacie obydwa odbicia nie zmieniają fazy.

Aby nastąpiło wygaszenie, różnica dróg ($2d_{\min}$) między dwoma odbitymi promieniami musi być równa **połowie długości fali w warstwie**.

$$2d_{\min} = \frac{1}{2} \cdot \frac{\lambda}{n_2} \quad d_{\min} = \frac{\lambda}{4n_2} \quad d_{\min} = \frac{580 \text{ nm}}{4 \cdot 1,38} \approx 105 \text{ nm}$$

- b) Szukane: d_2 i d_3

Rozwiązanie:

W drugim przypadku różnica dróg promieni odbitych od obu powierzchni musi być równa $\frac{3}{2} \frac{\lambda}{n_2}$, a w trzecim $\frac{5}{2} \frac{\lambda}{n_2}$.

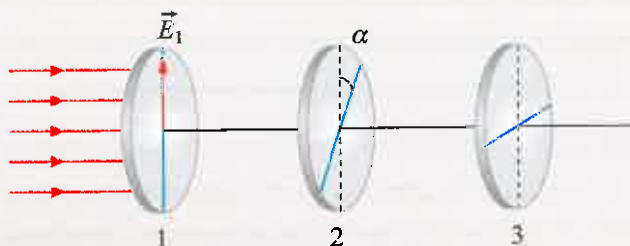
$$2d_2 = \frac{3}{2} \frac{\lambda}{n_2} \quad d_2 = \frac{3}{4} \frac{\lambda}{n_2} \quad d_2 = \frac{3}{4} \cdot \frac{580 \text{ nm}}{1,38} \approx 315 \text{ nm}$$

$$2d_3 = \frac{5}{2} \frac{\lambda}{n_2} \quad d_3 = \frac{5}{4} \frac{\lambda}{n_2} \quad d_3 = \frac{5}{4} \cdot \frac{580 \text{ nm}}{1,38} \approx 525 \text{ nm}$$

Odpowiedź: Kolejne grubości warstw przeciwodblaskowych wynoszą w przybliżeniu: 105 nm, 315 nm i 525 nm.

Przykład 5 ➔ ułatwi rozwiązanie zadań 5.7–5.9

Trzy identyczne, idealne polaryzatory są ustawione tak, że ich środki znajdują się na wspólnej osi.



Rys. 1

Na pierwszy polaryzator pada wiązka światła niespolaryzowanego. Polaryzator ten przepuszcza w płaszczyźnie pionowej drgania o amplitudzie E_1 (rys. 1). Płaszczyzna drgań przepuszczanych przez polaryzator 2 (czyli jego płaszczyzna polaryzacji) jest skreślona względem płaszczyzny drgań polaryzatora 1 o kąt α . Płaszczyzna polaryzacji polaryzatora 3 tworzy z płaszczyzną drgań polaryzatora 1 kąt 90° .

a) Oblicz, dla jakich kątów α amplituda drgań E_3 światła wychodzącego z polaryzatora 3 będzie największa. Ile razy będzie ona mniejsza od E_1 ?

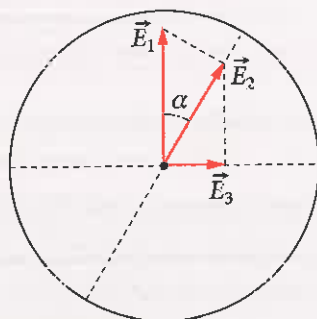
b) Oblicz, dla jakich kątów α amplituda drgań $E_3 = \frac{E_1}{4}$. Jaką część E_1 będzie wówczas E_2 , a jaką część E_2 będzie E_3 ?

Dane: rysunek, kąty między płaszczyznami polaryzacji

a) Szukane: α , dla których E_3 jest maksymalne

Rozwiązanie:

Wektory $\vec{E}_1, \vec{E}_2, \vec{E}_3$ odpowiadają natężeniu pola elektrycznego fali świetlnej po przejściu przez kolejne polaryzatory: 1, 2, 3 (rys. 2).



Rys. 2

$$\frac{E_2}{E_1} = \cos \alpha \quad \Rightarrow \quad E_2 = E_1 \cos \alpha$$

$$\frac{E_3}{E_2} = \cos(90^\circ - \alpha) = \sin \alpha \quad \Rightarrow \quad E_3 = E_2 \sin \alpha = E_1 \cos \alpha \sin \alpha$$

Ponieważ $2 \sin \alpha \cos \alpha = \sin 2\alpha$, to:

$$E_3 = \frac{E_1}{2} \sin 2\alpha$$

Amplituda E_3 będzie maksymalna, gdy $\sin 2\alpha = 1$, czyli gdy kąt zawarty między płaszczyznami polaryzacji polaryzatorów 1 i 2 będzie równy 45° . Wówczas $E_3 = \frac{E_1}{2}$.

Na podstawie wykresu funkcji $y = \sin 2\alpha$ możemy stwierdzić, że także dla kąta $\alpha = 45^\circ + 90^\circ = 135^\circ$ amplituda E_3 będzie maksymalna i równa $\frac{E_1}{2}$, gdyż wtedy $|\sin 2\alpha| = 1$. (Na rysunku 2 narysuj wektor $\vec{E}_2$ odpowiadający tej sytuacji).

Warto zauważyć, że podczas pełnego obrotu polaryzatora 2 amplituda światła spolaryzowanego opuszczającego polaryzator 3 będzie miała maksymalną wartość cztery razy.

b) Szukane: α , dla których $E_3 = \frac{E_1}{4}$

Rozwiązanie:

Korzystamy ze wzoru otrzymanego w punkcie a) zadania: $E_3 = \frac{E_1}{2} \sin 2\alpha$.

$$\frac{E_1}{4} = \frac{E_1}{2} \sin 2\alpha \quad \Rightarrow \quad \sin 2\alpha = \frac{1}{2}$$

To znaczy, że podany w zadaniu warunek będzie spełniony, gdy kąty zawarte między płaszczyznami polaryzacji polaryzatorów 1 i 2 będą równe: $15^\circ, 75^\circ, 105^\circ, 165^\circ$.

Warto zauważyć, że podczas pełnego obrotu polaryzatora 2 amplituda światła spolaryzowanego opuszczającego polaryzator 3 będzie równa $\frac{E_1}{4}$ osiem razy.

Dla kątów równych 15° oraz 165° :

$$E_2 = E_1 \cos 15^\circ \approx 0,966E_1$$

$$E_3 = E_2 \cos 75^\circ \approx 0,259E_2$$

Dla kątów równych 75° oraz 105° :

$$E_2 = E_1 \cos 75^\circ \approx 0,259E_1$$

$$E_3 = E_2 \cos 15^\circ \approx 0,966E_2$$

Odpowiedź: Amplituda drgań światła wychodzącego z polaryzatora 3 będzie największa, gdy kąty α będą równe 45° i 135° ; wówczas będzie ona dwa razy mniejsza od E_1 .

Amplituda $E_3 = \frac{E_1}{4}$, gdy kąty α wynoszą: $15^\circ, 75^\circ, 105^\circ, 165^\circ$. Wówczas dla kątów równych 15° oraz 165° E_2 stanowi około $0,97E_1$, a E_3 około $0,26E_2$, a dla kątów równych 75° oraz 105° E_2 stanowi około $0,26E_1$, a E_3 około $0,97E_2$.

Uwaga: Należy odróżnić kąt α między płaszczyznami polaryzacji polaryzatorów 1 i 2 (o te kąty pytamy) od kątów, o które należy obrócić polaryzator 2, aby uzyskać żądany efekt. Ze względu na symetrię tych drugich jest dwa razy więcej.

Przykład 6 ➔ ułatwi rozwiązanie zadań 6.1–6.9 oraz 6.11–6.20

Praca wyjścia dla wolframu wynosi 4,5 eV. Oblicz:

- graniczną długość fali promieniowania, które może spowodować emisję elektronów z wolframu;
- maksymalną energię kinetyczną i maksymalną szybkość elektronów opuszczających wolframową katodę fotokomórki, na którą pada promieniowanie o częstotliwości $4,2 \cdot 10^{15}$ Hz;
- napięcie hamowania w przypadku opisanym w punkcie b) zadania.

Dane: $W = 4,5$ eV; $\nu = 4,2 \cdot 10^{15}$ Hz

a) Szukane: $\lambda_{\max}$

Rozwiązanie:

$$h\nu = W \quad \frac{hc}{\lambda_{\max}} = W \quad \Rightarrow \quad \lambda_{\max} = \frac{hc}{W}$$

$$\lambda_{\max} = \frac{6,626 \cdot 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s} \cdot 3 \cdot 10^8 \frac{\text{m}}{\text{s}}}{4,5 \cdot 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ J}} = \frac{6,626 \cdot 3}{4,5 \cdot 1,6} \cdot 10^{-7} \text{ m} \approx 2,76 \cdot 10^{-7} \text{ m} = 276 \text{ nm}$$

b) Szukane: $E_{k \max}$; $v_{\max}$

Rozwiązanie:

$$h\nu = W + E_{k \max} \quad \Rightarrow \quad E_{k \max} = h\nu - W$$

$$E_{k \max} = 6,626 \cdot 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s} \cdot 4,2 \cdot 10^{15} \frac{1}{\text{s}} - 4,5 \cdot 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ J} \approx$$

$$\approx (27,829 - 7,2) \cdot 10^{-19} \text{ J} = 20,629 \cdot 10^{-19} \text{ J} \approx 2,06 \cdot 10^{-18} \text{ J}$$

$$E_{k \max} = \frac{1}{2} m v_{\max}^2 \quad \Rightarrow \quad v_{\max} = \sqrt{\frac{2E_{k \max}}{m}}$$

$$v_{\max} = \sqrt{\frac{2 \cdot 20,629 \cdot 10^{-19} \text{ J}}{9,11 \cdot 10^{-31} \text{ kg}}} \approx \sqrt{4,529 \cdot 10^{12} \frac{\text{m}^2}{\text{s}^2}} \approx 2,13 \cdot 10^6 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

c) Szukane: $|U_h|$

Rozwiązanie:

$$e|U_h| = E_{k \max} \quad \Rightarrow \quad |U_h| = \frac{E_{k \max}}{e}$$

$$|U_h| = \frac{20,629 \cdot 10^{-19} \text{ J}}{1,6 \cdot 10^{-19} \text{ C}} = \frac{20,629}{1,6} \text{ V} \approx 12,9 \text{ V}$$

Odpowiedź: Graniczna długość fali promieniowania jest równa w przybliżeniu 276 nm, maksymalna energia kinetyczna i szybkość elektronów wynoszą około $2,06 \cdot 10^{-18}$ J i $2,13 \cdot 10^6$ m/s, a napięcie hamowania jest równe około 12,9 V.

Przykład 7 ➔ ułatwi rozwiązanie zadania 6.3

W odległości 2 m od punkowego źródła światła monochromatycznego o mocy $1 \cdot 10^{-3}$ W umieszczono płytkę metalową. Załóżmy, że pewien określony elektron w płytce może gromadzić energię padającą na powierzchnię płytki o promieniu równym dziesięciu średnicom atomu (10^{-9} m) i środku w miejscu, w którym znajduje się ten elektron. Energia potrzebna do emisji elektronu (praca wyjścia) wynosi 5 eV. Załóż, że światło jest falą, i oblicz, jak długo trzeba czekać, aż elektron zgromadzi tak dużo energii z opisanego źródła.

Dane: $P = 1 \cdot 10^{-3}$ W; $r = 2$ m; $R = 1 \cdot 10^{-9}$ m; $E = 5$ eV

Szukane: t

Rozwiązanie:

Natężenie fali w odległości r od punkowego źródła o mocy P jest równe:

$$I = \frac{P}{4\pi r^2}$$

Energia padająca na powierzchnię S płytki w czasie t wynosi:

$$E = ISt$$

gdzie:

$$S = \pi R^2$$

stąd:

$$t = \frac{E}{I\pi R^2} = \frac{E \cdot 4\pi r^2}{\pi R^2 P} = \frac{4Er^2}{R^2 P}$$

$$t = \frac{4 \cdot 5 \cdot 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ J} \cdot 4 \text{ m}^2}{10^{-18} \text{ m}^2 \cdot 10^{-3} \frac{\text{J}}{\text{s}}} = \frac{80 \cdot 1,6 \cdot 10^{-19}}{10^{-21}} \text{ s} = 128 \cdot 10^2 \text{ s}$$

$$t \approx 3,6 \text{ h}$$

Odpowiedź: Aby elektron mógł zostać wyemitowany z metalu, musiałby gromadzić energię ponad 3,5 godziny.

Przykład 8 ➔ ułatwi rozwiązanie zadania 6.10

Podczas naświetlania katody fotokomórki światłem najsilniejszych linii widma dyskretnego rtęci wyznaczono wartości napięć hamujących. Wyniki pomiarów umieszczono w tabeli.

Lp.	Długość fali λ (10^{-7} m)	Częstotliwość promieniowania ν (10^{14} Hz)	Napięcie hamujące U (V)
1.	5,460		0,35
2.	4,920		0,70

Lp.	Długość fali λ (10^{-7} m)	Częstotliwość promieniowania ν (10^{14} Hz)	Napięcie hamujące U (V)
3.	4,360		0,95
4.	4,050		1,15
5.	3,690		1,50
6.	3,130		2,15

Przyjmij, że długości fal są podane z bardzo dużą dokładnością, a niepewność pomiaru napięcia wynosi 0,05 V.

- Oblicz częstotliwości promieniowania i wpisz je do tabeli.
- Sporządź wykres $U(\nu)$ i na jego podstawie wyznacz stałą Plancka oraz pracę wyjścia dla metalu fotokatody.
- Oszacuj niepewności, z którymi zostały wyznaczone te wielkości fizyczne.

Dane: tabela wartości λ i U

a) Szukane: ν

Rozwiązanie:

Obliczone częstotliwości (ze wzoru $\nu = \frac{c}{\lambda}$) umieszczono w tabeli.

Lp.	Długość fali λ (10^{-7} m)	Częstotliwość promieniowania ν (10^{14} Hz)	Napięcie hamujące U (V)
1.	5,460	5,49	0,35
2.	4,920	6,10	0,70
3.	4,360	6,88	0,95
4.	4,050	7,41	1,15
5.	3,690	8,13	1,50
6.	3,130	9,58	2,15

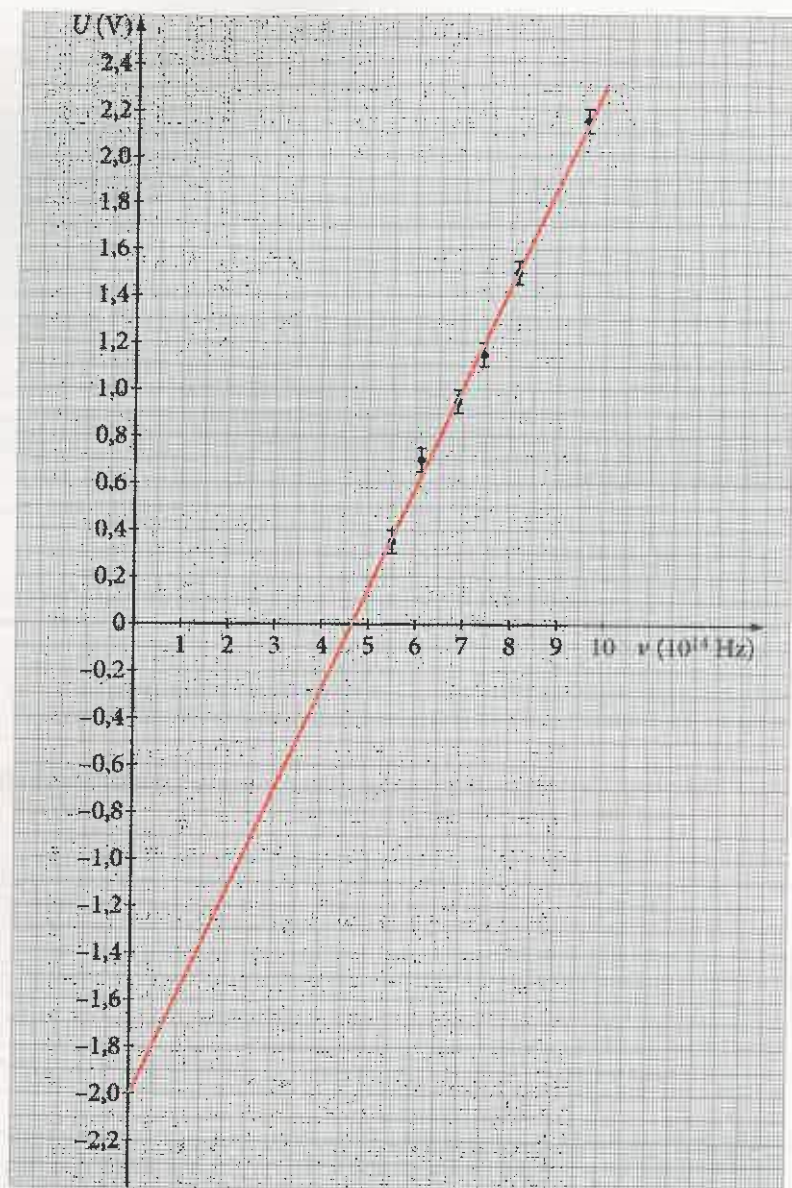
b) Szukane: wykres funkcji $U(\nu)$ oraz h i W wyznaczone na podstawie wykresu

Rozwiązanie:

We wzorze funkcji liniowej:

$$U(\nu) = \frac{h}{e} \nu - \frac{W}{e}$$

współczynnikiem kierunkowym prostej a (tangensem kąta nachylenia prostej do osi ν) jest iloraz $\frac{h}{e}$, a wyraz wolny b to iloraz $-\frac{W}{e}$. Po dopasowaniu prostej do punktów pomiarowych przedłużamy ją aż do punktu przecięcia z osią U . Odczytujemy współrzędne wybranych punktów prostej i obliczamy współczynniki a i b . Z pierwszego współczynnika znajdujemy stałą Plancka h , a z drugiego – pracę wyjścia W .



$$a = \frac{h}{e} \approx \frac{2,30 \text{ V} - (-2,00 \text{ V})}{10 \cdot 10^{14} \text{ Hz}} = \frac{4,30}{10^{15}} \text{ V} \cdot \text{s}$$

$$h = e \cdot a \approx 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ C} \cdot 4,30 \cdot 10^{-15} \text{ V} \cdot \text{s}$$

$$h \approx 6,88 \cdot 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s}$$

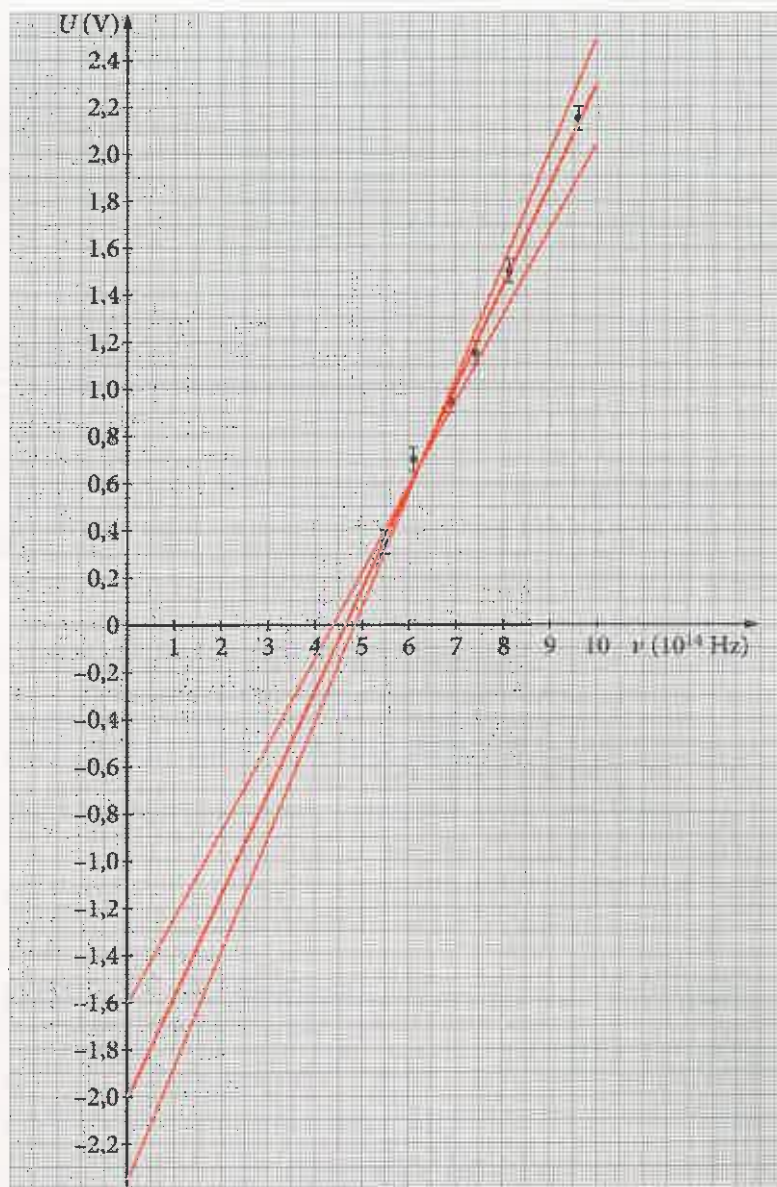
$$b = -\frac{W}{e} \approx -2,00 \text{ V} \quad W \approx 2,00 \text{ V} \cdot e$$

$$W \approx 2,00 \text{ eV}$$

c) Szukane: niepewności pomiarowe h i W

Rozwiązanie:

Rysujemy proste o maksymalnym i minimalnym nachyleniu, mieszczące się w granicach odcinków niepewności pomiarowych. Obliczamy maksymalne i minimalne wartości stałej Plancka i pracy wyjścia, a następnie niepewności bezwzględne i względne.



$$\left(\frac{h}{e}\right)_{\max} \approx \frac{2,50 \text{ V} - (-2,35 \text{ V})}{10^{15} \text{ Hz}} = \frac{4,85}{10^{15}} \text{ V} \cdot \text{s}$$

$$h_{\max} \approx 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ C} \cdot 4,85 \cdot 10^{-15} \text{ V} \cdot \text{s} \approx 7,76 \cdot 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s}$$

$$\left(\frac{h}{e}\right)_{\min} \approx \frac{2,05 \text{ V} - (-1,60 \text{ V})}{10^{15} \text{ Hz}} = \frac{3,65}{10^{15}} \text{ V} \cdot \text{s}$$

$$h_{\min} \approx 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ C} \cdot 3,65 \cdot 10^{-15} \text{ V} \cdot \text{s} \approx 5,84 \cdot 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s}$$

$$\left(\frac{W}{e}\right)_{\max} \approx 2,35 \text{ V} \quad W_{\max} \approx 2,35 \text{ V} \cdot e = 2,35 \text{ eV}$$

$$\left(\frac{W}{e}\right)_{\min} \approx 1,60 \text{ V} \quad W_{\min} \approx 1,60 \text{ V} \cdot e = 1,60 \text{ eV}$$

Obliczamy niepewności bezwzględne i względne stałej Plancka i pracy wyjścia.

$$\Delta h = \frac{h_{\max} - h_{\min}}{2} \approx \frac{(7,76 - 5,84) \cdot 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s}}{2} = \frac{1,92 \cdot 10^{-34}}{2} \text{ J} \cdot \text{s} = 0,96 \cdot 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s}$$

$$\frac{\Delta h}{h} \approx \frac{0,96}{6,88} \cdot 100\% \approx 14,0\%$$

$$\Delta W = \frac{W_{\max} - W_{\min}}{2} \approx \frac{2,35 - 1,60}{2} \text{ eV} = \frac{0,75}{2} \text{ eV} \approx 0,38 \text{ eV}$$

$$\frac{\Delta W}{W} \approx \frac{0,38}{2,00} \cdot 100\% = 19,0\%$$

Uwaga: Wyznaczone wartości wielkości fizycznych oraz ich niepewności mogą być nieco inne, w zależności od narysowanej prostej, przechodzącej przez punkty pomiarowe, oraz dopasowanych prostych o największym i najmniejszym nachyleniu.

Odpowiedź: Wyznaczone na podstawie wykresu $U(\nu)$ wartości stałej Plancka i pracy wyjścia wynoszą:

$h = (6,9 \pm 1,0) \cdot 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s}$ (niepewność względna jest równa w przybliżeniu 14%);

$W = (2,0 \pm 0,4) \text{ eV}$ (niepewność względna jest równa około 19%).

Przykład 9 ➡ ułatwi rozwiązanie zadań 7.1–7.7

Utwórz dwa prawdziwe zdania. Każdemu z punktów I i II przyporządkuj zakończenie wybrane spośród A i B, a następnie spośród 1–5.

Jeśli temperatura ciała doskonale czarnego wzrośnie od 320 K do 640 K, to

I.	całkowita energia emitowana przez to ciało w jednostce czasu	A.	zmaleje	1.	2 razy.
				2.	4 razy.
				3.	8 razy.
II.	długość fali, dla której przypada maksimum energii promieniowania tego ciała,	B.	wzrośnie	4.	16 razy.
				5.	32 razy.

Szukane: sformułowanie prawdziwych zdań I i II

Rozwiązanie: IB4, IIA1

Przykład 10 ➔ ułatwi rozwiązanie zadań 8.1 i 8.3 oraz 8.5–8.7

Poniżej zapisano siedem zdań, które dotyczą zmiany wielkości fizycznych opisujących stan elektronu w atomie wodoru **przy wzroście głównej liczby kwantowej n** (tzn. numeru kolejnej, dozwolonej orbity).

Oceń prawdziwość poniższych zdań. Wskaż P, jeśli zdanie jest prawdziwe, albo F, jeśli jest fałszywe.

1.	Wartość momentu pędu elektronu maleje.	P	F
2.	Wartość siły Coulomba między elektronem i protonem maleje.	P	F
3.	Energia kinetyczna elektronu maleje.	P	F
4.	Energia potencjalna elektronu wzrasta.	P	F
5.	Energia całkowita elektronu maleje.	P	F
6.	Promień orbity elektronu wzrasta wprost proporcjonalnie do n .	P	F
7.	Promień orbity elektronu wzrasta wprost proporcjonalnie do n^2 .	P	F

Szukane: ocena prawdziwości zdań

Rozwiązanie: 1F, 2P, 3P, 4P, 5F, 6F, 7P

Przykład 11 ➔ ułatwi rozwiązanie zadań 9.1–9.11

Lampa rentgenowska wytwarza promieniowanie, którego krótkofalowa granica wynosi 40 pm.

a) Oblicz napięcie przyspieszające elektrony w lampie.

b) Wiadomo, że minimalna długość fali promieniowania ciągłego ($\lambda_{\min}$) jest odwrotnie proporcjonalna do napięcia przyspieszającego (U). Sprawdź, że wartość liczbową współczynnika proporcjonalności między $\lambda_{\min}$ i $\frac{1}{U}$ w jednostkach SI jest równa około $1,24 \cdot 10^{-6}$. Jaka jest jednostka tego współczynnika? Wyraź ją przez jednostki podstawowe w tym układzie.

Dane: $\lambda_{\min} = 40 \text{ pm}$

a) Szukane: U

Rozwiązanie:

Najkrótsze fale rentgenowskie powstają, gdy energia kinetyczna elektronu w całości jest zużyta na energię kwantu.

$$h\nu_{\max} = E_k \quad \text{gdzie} \quad E_k = eU$$

$$h\nu_{\max} = eU$$

$$\frac{hc}{\lambda_{\min}} = eU \quad \Rightarrow \quad U = \frac{hc}{e\lambda_{\min}}$$

$$U = \frac{6.626 \cdot 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s} \cdot 3 \cdot 10^8 \frac{\text{m}}{\text{s}}}{1,6 \cdot 10^{-19} \text{ C} \cdot 40 \cdot 10^{-12} \text{ m}} = \frac{6,626 \cdot 3}{1,6 \cdot 4} \cdot 10^4 \text{ V}$$

$$U \approx 3,1 \cdot 10^4 \text{ V} = 31 \text{ kV}$$

b) Szukane: współczynnik proporcjonalności we wzorze $\lambda_{\min} \left(\frac{1}{U} \right)$

Rozwiązanie:

Korzystamy z rozwiązania przykładu a):

$$U = \frac{hc}{e\lambda_{\min}}$$

Wobec tego:

$$\lambda_{\min} = \frac{hc}{e} \cdot \frac{1}{U}$$

Szukany współczynnik proporcjonalności to:

$$C = \frac{hc}{e}$$

$$C = \frac{6,626 \cdot 3}{1,6} \cdot 10^{-7} \text{ V} \cdot \text{m} \approx 1,24 \cdot 10^{-6} \text{ V} \cdot \text{m}$$

Wyrażamy $\text{V} \cdot \text{m}$ przez jednostki podstawowe w SI.

$$1 \text{ V} \cdot \text{m} = 1 \frac{\text{J}}{\text{C}} \cdot \text{m} = 1 \frac{\text{kg} \cdot \text{m}^2}{\text{s}^2} \cdot \frac{\text{m}}{\text{A} \cdot \text{s}} = 1 \frac{\text{kg} \cdot \text{m}^3}{\text{A} \cdot \text{s}^3}$$

Odpowiedź: Napięcie przyspieszające elektrony w lampie rentgenowskiej jest w przybliżeniu równe 31 kV. Współczynnik proporcjonalności ma w SI wartość

$$1,24 \cdot 10^{-6} \text{ V} \cdot \text{m} = 1,24 \cdot 10^{-6} \frac{\text{kg} \cdot \text{m}^3}{\text{A} \cdot \text{s}^3}.$$

Przykład 12 ➡ ułatwi rozwiązanie zadania 9.12

Sprawność lampy rentgenowskiej to stosunek całkowitej energii otrzymanego z niej promieniowania rentgenowskiego do energii pobranej na jej zasilanie. Pozostała (większa) część energii dostarczonej z zewnątrz zostaje prawie w całości zamieniona na energię wewnętrzną anody, na której hamują elektrony.

W czasie pracy lampy płynie przez nią prąd o natężeniu 20 mA, a napięcie przyłożone między katodę a anodę jest równe 40 kV. Gdybyśmy nie stosowali chłodzenia, to molibdenowa anoda o masie 180 g uległaby stopieniu w czasie 5 minut. Średnie ciepło właściwe molibdenu i jego ciepło topnienia są równe odpowiednio $370 \frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot \text{K}}$ i $291 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$, a temperatura topnienia molibdenu wynosi 2620°C . Lampa pracuje w pomieszczeniu o temperaturze 25°C . Oblicz jej sprawność.

Dane: $I = 20 \text{ mA}$; $U = 40 \text{ kV}$; $m = 0,18 \text{ kg}$; $t = 5 \text{ min}$; $c_w = 370 \frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot \text{K}}$;

$c_t = 291 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$; $t_t = 2620^\circ\text{C}$; $t_0 = 25^\circ\text{C}$

Szukane: η

Rozwiązanie:

Energia pobrana z zewnątrz w czasie t jest równa $U \cdot I \cdot t$, a energia tracona na ogrzanie i stopienie anody to $c_w m \Delta T + c_t m$. Różnica jest energią uzyskanego promieniowania rentgenowskiego.

$$\eta = \frac{UIt - m(c_w \Delta T + c_t)}{UIt} = 1 - \frac{m(c_w \Delta T + c_t)}{UIt}$$

$$\eta = 1 - \frac{0,18 \text{ kg} \left(370 \frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot \text{K}} \cdot 2595 \text{ K} + 291\,000 \frac{\text{J}}{\text{kg}} \right)}{40 \cdot 10^3 \text{ V} \cdot 20 \cdot 10^{-3} \text{ A} \cdot 5 \cdot 60 \text{ s}} = 1 - \frac{18 \cdot (9601,5 + 2910) \text{ J}}{4 \cdot 2 \cdot 5 \cdot 6 \cdot 10^3 \text{ J}} =$$

$$= 1 - \frac{3 \cdot 12511,5}{4 \cdot 10^4} = 1 - 0,938 = 0,062$$

$$\eta \approx 6,2\%$$

Odpowiedź: Sprawność lampy rentgenowskiej jest równa około 6,2%.

Przykład 13 ➡ ułatwi rozwiązanie wszystkich zadań z rozdziału 10

Średnia szybkość cząsteczek tlenu w temperaturze pokojowej jest równa około 450 m/s.

- Oblicz długość fali de Broglie'a dla cząsteczek tlenu w tej temperaturze.
- Do jakiego zakresu widma należy promieniowanie elektromagnetyczne, którego długość fali jest równa obliczonej długości fali de Broglie'a, odpowiadającej cząsteczkom tlenu?
- Oszacuj temperaturę (i wyraż ją w stopniach Celsjusza), w której długość fali de Broglie'a dla cząsteczek tlenu wynosiłaby 10 pm.

Dane: $v_{\text{sr}} = 450 \text{ m/s}$; $M = 32 \text{ g/mol}$

a) Szukane: λ

Rozwiązanie:

$$\lambda = \frac{h}{mv_{\text{sr}}}$$

gdzie m jest masą cząsteczki tlenu, obliczoną z masy molowej i liczby Avogadra N_A :

$$m = \frac{M}{N_A}$$

Wobec tego:

$$\lambda = \frac{h}{\frac{M}{N_A} \cdot v_{\text{sr}}} = \frac{h \cdot N_A}{M \cdot v_{\text{sr}}}$$

$$\lambda = \frac{6,626 \cdot 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s} \cdot 6,02 \cdot 10^{23} \frac{1}{\text{mol}}}{32 \cdot 10^{-3} \frac{\text{kg}}{\text{mol}} \cdot 450 \frac{\text{m}}{\text{s}}} = \frac{6,626 \cdot 6,02}{32 \cdot 45} \cdot 10^{-9} \frac{\text{J} \cdot \text{s}^2}{\text{kg} \cdot \text{m}}$$

$$\lambda \approx 0,0277 \cdot 10^{-9} \text{ m} \approx 27,7 \text{ pm}$$

Uwaga: Wiemy, że masa cząsteczki tlenu jest równa 32 u, więc możemy ją wyrazić w kilogramach:

$$m = 32 \text{ u} = 32 \cdot 1,66 \cdot 10^{-27} \text{ kg} = 5,312 \cdot 10^{-26} \text{ kg}$$

i wstawić do wzoru na długość fali de Broglie'a:

$$\lambda = \frac{h}{mv_{sr}} = \frac{6,626 \cdot 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s}}{5,312 \cdot 10^{-26} \text{ kg} \cdot 450 \frac{\text{m}}{\text{s}}} \approx 2,77 \cdot 10^{-11} \text{ m} = 27,7 \text{ pm}$$

b) Szukane: zakres widma

Rozwiązanie:

Długość fali $\lambda \approx 27,7 \text{ pm}$ odpowiada promieniowaniu rentgenowskiemu o bardzo krótkiej fali (tzw. twardemu promieniowaniu rentgenowskiemu).

c) Dane: $\lambda = 27,7 \text{ pm}$; $t = 20^\circ\text{C}$, $\lambda' = 10 \text{ pm}$

Szukane: t'

Rozwiązanie:

$$\lambda = \frac{h}{mv_{sr}} \quad \lambda' = \frac{h}{mv'_{sr}} \quad \Rightarrow \quad \frac{\lambda}{\lambda'} = \frac{v'_{sr}}{v_{sr}}$$

Wiemy z termodynamiki, że średnia energia kinetyczna ruchu postępowego cząstek gazu jest wprost proporcjonalna do jego temperatury bezwzględnej T , a zatem średnia szybkość cząstek jest wprost proporcjonalna do pierwiastka z T .

$$\frac{v'_{sr}}{v_{sr}} = \sqrt{\frac{T'}{T}}$$

Wobec tego:

$$\frac{\lambda}{\lambda'} = \sqrt{\frac{T'}{T}} \quad \left(\frac{\lambda}{\lambda'}\right)^2 = \frac{T'}{T} \quad \Rightarrow \quad T' = T \left(\frac{\lambda}{\lambda'}\right)^2$$

$$T' = (20 + 273) \text{ K} \cdot (2,77)^2 \approx 293 \text{ K} \cdot 7,673 \approx 2248 \text{ K}$$

$$t' \approx 1975^\circ\text{C} \approx 2000^\circ\text{C}$$

Odpowiedź: Długość fali de Broglie'a dla cząstek tlenu w temperaturze pokojowej jest równa około 27,7 pm i jest porównywalna z długością fali twardych promieni Röntgena. Temperatura, w której długość fali de Broglie'a dla cząstek tlenu wynosiłaby 10 pm, jest równa w przybliżeniu 2000°C.

1 Fale elektromagnetyczne

Zadanie 1.1

Oceń prawdziwość poniższych zdań. Wskaż P, jeśli zdanie jest prawdziwe, albo F, jeśli jest fałszywe.

1.	Fale elektromagnetyczne to fale podłużne.	P	F
2.	Nie istnieje zmienne pole magnetyczne bez towarzyszącego mu (niekiedy także zmiennego) pola elektrycznego.	P	F
3.	Zmienne pole elektryczne wywołuje zawsze powstanie zmiennego pola magnetycznego.	P	F
4.	W sinusoidalnej fali elektromagnetycznej współistnieją ze sobą zmienne pola elektryczne i magnetyczne.	P	F
5.	W sinusoidalnej fali elektromagnetycznej wektory $\vec{E}$ i $\vec{B}$ są do siebie równoległe i prostopadłe do kierunku rozchodzenia się fali.	P	F

Zadanie 1.2

Spośród punktów A–D wybierz ten, w którym poprawnie uporządkowano fale elektromagnetyczne według wzrastającej częstotliwości.

- A. radiowe (długie, średnie, krótkie), UKF, mikrofae, podczerwone, nadfioletowe, widzialne, rentgenowskie, gamma
- B. radiowe (długie, średnie, krótkie), UKF, podczerwone, mikrofae, widzialne, ultrafiolet, rentgenowskie, gamma
- C. radiowe (długie, średnie, krótkie), mikrofae, UKF, podczerwone, widzialne, ultrafiolet, rentgenowskie, gamma
- D. radiowe (długie, średnie, krótkie), UKF, mikrofae, podczerwone, widzialne, ultrafiolet, rentgenowskie, gamma

Zadanie 1.3

Spośród punktów A–E wybierz ten, w którym poprawnie zapisano różne rodzaje promieniowania w kolejności od największej do najmniejszej długości fali.

- A. promieniowanie UV, promieniowanie X, podczerwień
- B. promieniowanie gamma, promieniowanie X, podczerwień
- C. fale radiowe, światło widzialne, ultrafiolet
- D. promieniowanie UV, mikrofae, fale radiowe
- E. podczerwień, światło widzialne, fale radiowe

Zadanie 1.4

Długość fali światła widzialnego mieści się w granicach od 390 nm (fiolet) do 790 nm (czerwień). Oblicz częstotliwości odpowiadające granicznym długościom fali.

Zadanie 1.5

Światło laserowe o długości fali 632 nm przechodzi z powietrza do szkła. Przyjmij, że szybkość światła w powietrzu jest równa $3 \cdot 10^8$ m/s. W szkłe szybkość ta jest mniejsza o $1/3$.

a) Oblicz częstotliwość fali świetlnej w powietrzu i szkłe.

b) Oblicz długość fali świetlnej w szkłe.

Zadanie 1.6

Uzupełnij zdanie właściwym stwierdzeniem, wybranym spośród 1–3, oraz jego poprawnym uzasadnieniem, wybranym spośród A–C.

W akwarium umieszczono lampkę LED emitującą światło niebieskie. Po przejściu światła z wody do powietrza

1.	światło ma nadal barwę niebieską,	ponieważ	A.	przy przejściu z wody do powietrza wzrasta długość fali świetlnej.
2.	światło zmienia barwę na zieloną,		B.	przy przejściu z wody do powietrza nie zmienia się częstotliwość fali.
3.	światło zmienia barwę na fioletową,		C.	przy przejściu z wody do powietrza maleje długość fali świetlnej.

Zadanie 1.7

Wskaż wszystkie poprawne dokończenia zdania.

Cechą wspólną dla wszystkich fal elektromagnetycznych jest

- A. taki sam sposób powstawania.
- B. taki sam sposób rozchodzenia się w próżni.
- C. taka sama szybkość rozchodzenia się w próżni.
- D. taki sam sposób ich wykrywania.
- E. takie same zastosowanie.

Zadanie 1.8

Oceń prawdziwość poniższych zdań. Wskaż P, jeśli zdanie jest prawdziwe, albo F, jeśli jest fałszywe.

1.	Promienie gamma to najdłuższe fale elektromagnetyczne.	P	F
2.	Promieniowanie X to promieniowanie jonizujące, podobnie jak gamma i podczerwone.	P	F
3.	W systemach nawigacji GPS wykorzystuje się mikrofae.	P	F
4.	Promieniowanie podczerwone stosuje się w czujnikach alarmowych i w termowizji.	P	F
5.	Promieniowanie podczerwone pobudza w organizmie produkcję witaminy D.	P	F

Zadanie 1.9

Utwórz prawdziwe zdania. Każdemu rodzajowi promieniowania z punktów 1–3 przyporządkuj wszystkie jego zastosowania, wybrane spośród A–E.

Promieniowanie

1.	ultrafioletowe (UV)	wykorzystuje się	A.	do niszczenia komórek nowotworowych.
2.	rentgenowskie (X)		B.	do sterylizacji pomieszczeń w szpitalach.
3.	gamma (γ)		C.	w solariach.
			D.	do prześwietlania narządów.
			E.	w tomografii komputerowej.

Zadanie 1.10

Do każdego początku zdania 1–8 dobierz odpowiedni rodzaj fal elektromagnetycznych, wybrany spośród A–D.

1.	W kamerach termowizyjnych	stosuje się	A.	promieniowanie podczerwone.
2.	W systemach nawigacji GPS		B.	mikrofale.
3.	W radiofonii		C.	fale radiowe długie, średnie, krótkie i ultrakrótkie.
4.	W systemach alarmowych		D.	fale radiowe ultrakrótkie.
5.	W kuchenkach mikrofalowych			
6.	W telefonii komórkowej			
7.	W telewizji			
8.	W pilotach do TV			

Zadanie 1.11

Uzupełnij zdanie właściwym stwierdzeniem, wybranym spośród 1–3, oraz jego poprawnym dokończeniem, wybranym spośród A–C.

W obwodzie LC rozładowanie kondensatora nie następuje jednorazowo, lecz odbywa się przez oscylacje wskutek obecności

1.	oporu,	gdzie zachodzi	A.	okresowa zmiana natężenia pola elektrycznego.
2.	kondensatora,		B.	zjawisko samoindukcji.
3.	zwojnicy,		C.	rozpraszanie energii.

W zadaniach 1.12–1.14 wskaż poprawne dokończenie zdania.

Zadanie 1.12

Drgania elektryczne w obwodzie LC (którego oporu nie można pominąć) są gasnące, przy czym strata energii następuje

- A. wyłącznie przez wzrost energii wewnętrznej, a następnie przekazanie ciepła otoczeniu.
- B. wyłącznie przez wysłanie fali elektromagnetycznej.
- C. zarówno przez przekazanie otoczeniu ciepła (ciepło Joule'a), jak i wysłanie fali elektromagnetycznej.

Zadanie 1.13

W obwodzie LC w miarę upływu czasu następuje strata energii, w wyniku której

- A. maleje okres drgań elektrycznych.
- B. wzrasta okres drgań elektrycznych.
- C. maleje amplituda drgań.
- D. maleje zarówno amplituda drgań, jak i okres drgań elektrycznych.

Zadanie 1.14

Częstotliwość drgań własnych w obwodzie LC jest

- A. odwrotnie proporcjonalna tylko do pojemności C kondensatora.
- B. odwrotnie proporcjonalna tylko do indukcyjności L obwodu.
- C. odwrotnie proporcjonalna do iloczynu L i C .
- D. malejącą funkcją iloczynu LC .

Zadanie 1.15

Drgający obwód elektryczny składa się z kondensatora o pojemności $C = 1,6 \mu\text{F}$ oraz zwojnicy o indukcyjności $L = 5,0 \text{ mH}$. Oblicz częstotliwość drgań tego obwodu.

Zadanie 1.16

W drgającym obwodzie elektrycznym LC powstają drgania elektromagnetyczne o częstotliwości $\nu = 800 \text{ kHz}$. Wyprowadź wzór na indukcyjność zwojnicy i oblicz jej wartość, jeżeli pojemność kondensatora $C = 15 \text{ nF}$.

Zadanie 1.17

Obwód LC wytwarza falę elektromagnetyczną o częstotliwości 136 kHz . Oblicz częstotliwość fali, którą wytworzyłby ten obwód, gdyby zastąpić pojedynczy kondensator o pojemności C przez dwa kondensatory o takich samych pojemnościach C połączone:

- a) szeregowo,
- b) równolegle.

Zadanie 1.18

Jak zmieni się okres drgań w obwodzie elektrycznym LC, jeżeli do próżniowego kondensatora o pojemności C_0 wsuniemy dielektryk o przenikalności względnej $\epsilon_r = 3$?

Zadanie 1.19

Obwód LC wytwarza falę o częstotliwości 476 kHz.

- Oblicz, jaka będzie częstotliwość wytwarzanej fali po zastąpieniu zwojnicy przez inną, wypełnioną rdzeniem z tego samego materiału, o takiej samej liczbie zwojów, ale 1,5 razy dłuższą.
- Oblicz, jak zmieni się wówczas długość wytwarzanej fali elektromagnetycznej.

Zadanie 1.20

Oceń prawdziwość podanych dokończeń zdania. Wskaż P, jeśli dokończenie jest prawdziwe, albo F, jeśli jest fałszywe.

Częstotliwości dwóch drgających obwodów LC, przy założeniu, że $L_1 \neq L_2$, będą

1.	równe, gdy $\frac{L_1}{L_2} = \frac{C_1}{C_2}$.	P	F
2.	zawsze różne, niezależnie od pojemności kondensatorów.	P	F
3.	jednakowe, jeżeli pojemności kondensatorów będą sobie równe.	P	F
4.	równe, gdy $\frac{L_1}{L_2} = \frac{C_2}{C_1}$.	P	F

Zadanie 1.21

Obwód drgający LC odbiornika, którego indukcyjność $L_1 = 2,5$ mH, jest dostrojony do nadajnika wysyłającego fale o częstotliwości ν_1 . Oblicz indukcyjność odbiornika (pod warunkiem, że pojemność nie uległa zmianie), jeśli odbiera on fale o częstotliwości $\nu_2 = 50\nu_1$.

Zadanie 1.22

Odbiornik radiowy dostrojono do częstotliwości 102 MHz, a następnie zmieniono na częstotliwość 89 MHz. Oblicz, jak i ile razy musiała się zmienić pojemność obwodu LC radioodbiornika, jeśli jego indukcyjność nie uległa zmianie.

Zadanie 1.23

Obwód anteny składa się z cewki o indukcyjności $0,5$ μ H i kondensatora o pojemności 50 pF. Oblicz długość wysyłanej fali.

Zadanie 1.24

Wyprowadź wzór na iloczyn LC anteny odbierającej fale o długości $1,5$ km i oblicz wartość tego iloczynu.

Zadanie 1.25

W poniższym tekście wpisz brakujące słowa.

Istnieje analogia między drganiami mechanicznymi, np. w układzie złożonym z _____ i _____, a drganiami elektrycznymi w obwodzie LC. Dotyczy ona także wielkości fizycznych. W przypadku drgań mechanicznych masie m odpowiada w drganiach elektrycznych _____, a współczynnikowi sprężystości k w drganiach mechanicznych odpowiada _____ w drganiach elektrycznych.

Zadanie 1.26

Wychyleniu x z położenia równowagi w drganiach mechanicznych odpowiada ładunek Q na okładkach kondensatora w obwodzie LC.

- Przypomnij wzór na energię potencjalną układu odważnik–sprężyna w drganiach harmonicznym.
- Na podstawie analogii drgań mechanicznych i elektrycznych napisz wzór na energię naładowanego kondensatora o pojemności C i ładunku Q zgromadzonym na okładkach.

Zadanie 1.27

W obwodzie LC na okładkach kondensatora o pojemności $0,8 \mu\text{F}$ zgromadził się maksymalny ładunek $20 \mu\text{C}$. Oblicz maksymalne natężenie prądu w zwojnicy, jeśli jej indukcyjność jest równa 2 mH .

Zadanie 1.28

Odpowiedz na pytanie a) i na tej podstawie wykonaj polecenie b), dotyczące analogii drgań mechanicznych i elektrycznych.

- Jeśli wychyleniu x w drganiach mechanicznych odpowiada w drganiach elektrycznych ładunek Q na okładkach kondensatora, to jaka wielkość elektryczna będzie odpowiadała $v_x = \frac{\Delta x}{\Delta t}$ (lub $v_x = \frac{dx}{dt}$)?
- Gdy nie ma strat energii, to w drganiach mechanicznych maksymalna energia potencjalna jest równa maksymalnej energii kinetycznej w chwili przechodzenia ciała przez położenie równowagi. Podobnie w obwodzie LC maksymalna energia naładowanego kondensatora (czyli pola elektrycznego między okładkami) jest równa maksymalnej energii pola magnetycznego w zwojnicy (gdy płynie w niej prąd o maksymalnym natężeniu). Napisz dwa analogiczne wzory.

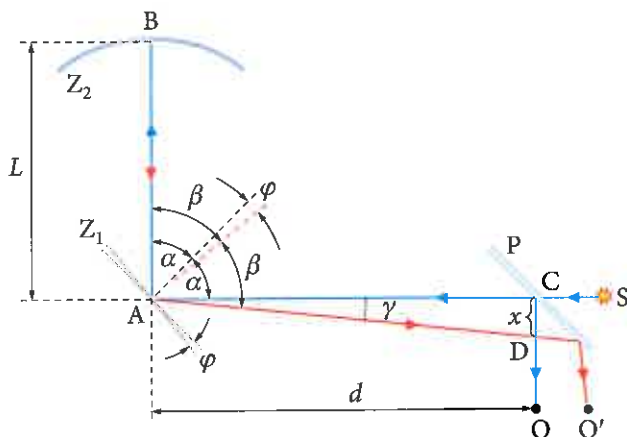
2 Pomiar wartości prędkości światła

Zadanie 2.1

Oceń prawdziwość poniższych zadań. Wskaż P, jeśli zdanie jest prawdziwe, albo F, jeśli jest fałszywe.

1.	Gdyby światło rozchodziło się z nieskończenie dużą szybkością, to dochodziłoby do obserwatora w tej samej chwili, w której zostało wysłane.	P	F
2.	Doświadczenia Galileusza nie były uwieńczone sukcesem, ponieważ nie miał on możliwości mierzenia bardzo krótkich odstępów czasu.	P	F
3.	Obserwacje Rømera nie rozstrzygnęły problemu nieskończonej wartości prędkości światła.	P	F
4.	Rømer oszacował, że na przebycie odległości równej średnicy orbity ziemskiej światło potrzebuje około 22 minut.	P	F

Zadanie 2.2



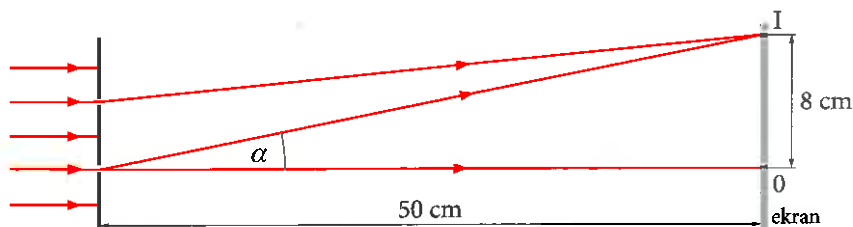
Utwórz trzy prawdziwe zdania. Każdemu z punktów 1 i 2 przyporządkuj odpowiednie zakończenie lub zakończenia, wybrane spośród A–C.

W metodzie Foucaulta wyznaczania szybkości światła większe przesunięcie obserwowanej wiązki można osiągnąć przez

1.	zmniejszenie	A.	okresu obrotu wirującego zwierciadła Z_1 .
		B.	odległości zwierciadeł Z_1 i Z_2 .
2.	zwiększenie	C.	odległości między wirującym zwierciadłem Z_1 a półprzezroczystą płytką P.

Zadanie 3.4

Rysunek przedstawia przejście promieni przez środek siatki dyfrakcyjnej (proporcje nie są zachowane).



- Oblicz kąt między kierunkiem pierwotnym wiązki i promieniem, który w wyniku interferencji z pozostałymi promieniami daje prążek I rzędu.
- Oblicz długość fali światła padającego na siatkę dyfrakcyjną, jeśli odległość między sąsiednimi szczelinami $d = 2,5 \mu\text{m}$.

Zadanie 3.5

Oblicz długość fali światła laserowego, które po przejściu przez siatkę dyfrakcyjną daje na ekranie tylko prążki I i II rzędu. Stała siatki $d = 0,0025 \text{ mm}$, sinus kąta ugięcia dla prążka II rzędu wynosi 0,6.

Zadanie 3.6

Na siatkę dyfrakcyjną mającą 400 rys na 1 mm pada prostopadłe wiązka światła monochromatycznego. Na ekranie odległym o 20 cm od siatki widoczne są prążki interferencyjne I, II i III rzędu. Oblicz długość fali padającego światła, jeżeli odległość między prążkami III rzędu wynosi 21,2 cm.

Zadanie 3.7

Na siatkę dyfrakcyjną pada prostopadłe wiązka światła o długości fali $\lambda = 490 \text{ nm}$ i daje na ekranie dziewięć prążków. Oblicz długość fali światła monochromatycznego, które po przejściu przez tę siatkę daje na ekranie tylko siedem prążków, przy czym kąt między kierunkiem pierwotnym wiązki i promieniem, który w wyniku interferencji daje prążek maksymalnego rzędu, w obu przypadkach jest taki sam.

Zadanie 3.8

Siatka dyfrakcyjna ma 250 rys na jednym milimetrze. Na siatkę pada prostopadłe równoległa wiązka światła żółtego o długości fali 590 nm . Oblicz:

- stałą siatki dyfrakcyjnej;
- kąty, dla których wystąpią na ekranie jasne prążki I i II rzędu;
- maksymalny rząd prążków, które zobaczymy na płaskim ekranie o takiej szerokości, że mogą się na nim znaleźć prążki ugięte najwyżej pod kątem 60° ;
- kąt, pod którym zaobserwujemy ostatni widoczny na ekranie prążek.

Zadanie 3.9

Oceń prawdziwość podanych dokończeń zdania. Wskaż P, jeśli dokończenie jest prawdziwe, albo F, jeśli jest fałszywe.

O liczbie prążków interferencyjnych powstałych na ekranie po przejściu światła przez siatkę dyfrakcyjną decyduje

1.	odległość ekranu od siatki dyfrakcyjnej.	P	F
2.	stała siatki dyfrakcyjnej.	P	F
3.	długość fali świetlnej padającej na siatkę.	P	F
4.	odległość źródła światła od siatki dyfrakcyjnej.	P	F

Zadanie 3.10

Oceń prawdziwość podanych dokończeń zdania. Wskaż P, jeśli dokończenie jest prawdziwe, albo F, jeśli jest fałszywe.

Na siatkę dyfrakcyjną pada równoległa wiązka światła niebieskiego o długości fali 470 nm. Stała siatki wynosi $2 \cdot 10^{-6}$ m. Na bardzo szerokim ekranie, umieszczonym naprzeciwko siatki równolegle do niej, powstanie

1.	dziewięć niebieskich prążków.	P	F
2.	prążek biały zerowego rzędu i po każdej stronie prążki niebieskie.	P	F
3.	tylko prążek niebieski zerowego rzędu.	P	F
4.	prążek niebieski zerowego rzędu i po każdej stronie cztery prążki niebieskie.	P	F

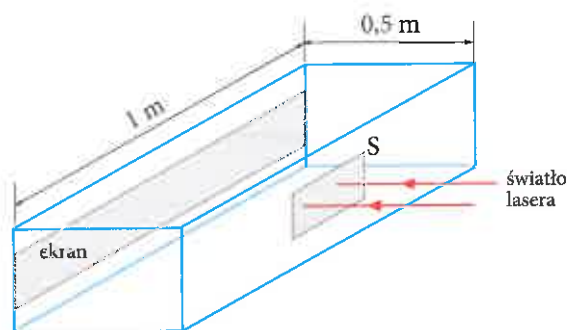
Zadanie 3.11

W powietrzu na siatkę dyfrakcyjną, mającą 500 rys na 1 mm, pada prostopadłe wiązka światła o długości fali 550 nm.

- Oblicz kąt między kierunkiem pierwotnym wiązki i promieniem, który w wyniku interferencji z promieniami biegnącymi od pozostałych szczelin daje prążek II rzędu. Gdy tę samą siatkę dyfrakcyjną z ekranem zanurzono w wodzie, to na ekranie (o odpowiedniej szerokości) otrzymano w sumie siedem prążków interferencyjnych.
- Oblicz kąt ugięcia dla ostatniego prążka widocznego blisko brzegu ekranu. Szybkość rozchodzenia się światła w wodzie jest równa $2,25 \cdot 10^8$ m/s.

Zadanie 3.12

Światło o długości fali równej w przybliżeniu 633 nm, wysyłane przez laser helowo-neonowy, padało prostopadłe na siatkę dyfrakcyjną S umocowaną na środku wewnętrznej ścianki pustego akwarium. Do przeciwległej ścianki akwarium przyklejono na wysokości siatki ekran z kalki technicznej, pokrywający całą szerokość ścianki. Siatka miała 200 rys na 1 mm. Rozmiary akwarium podano na rysunku.



Oblicz:

- stałą siatki dyfrakcyjnej w mikrometrach;
- odległość od prążka zerowego jasnych prążków I rzędu obserwowanych na ekranie;
- liczbę wszystkich jasnych prążków obserwowanych na ekranie.

Następnie akwarium wypełniono wodą.

- Opisz, jak ten fakt wpłynął na obraz interferencyjny (układ prążków) na ekranie; podaj uzasadnienie. Szybkość światła w wodzie jest równa $2,25 \cdot 10^8$ m/s.
- Oblicz, w jakiej odległości od prążka zerowego wystąpiły tym razem jasne prążki I rzędu.
- Oblicz maksymalny rząd jasnego prążka widocznego na ekranie.

Zadanie 3.13

Błonkę mydlaną utrzymującą się na pierścieniu z drutu (na skutek napięcia powierzchniowego) oświetlamy prostopadłą do jej powierzchni wiązką światła żółtego o długości fali 590 nm. Oblicz najmniejszą i kolejną grubość błonki, jeśli w wyniku interferencji promieni odbitych od obu jej powierzchni otrzymujemy maksymalne wzmocnienie światła. Współczynnik załamania błonki jest równy 1,33.

Wskazówka: Jeśli światło pada na powierzchnię graniczną między dwoma ośrodkami o różnych współczynnikach załamania od strony ośrodka o mniejszym współczynniku załamania, to przy odbiciu następuje zmiana fazy o π , co odpowiada połowie długości fali.

Zadanie 3.14

Na płytkę szklaną pokrytą cienką warstwą lodu pada prostopadle wiązka światła białego. Dla pewnych grubości warstwy lodu w świetle odbitym od lodu i od szkła brakuje czerwieni o długości fali 700 nm. Oblicz:

- współczynnik załamania lodu, jeśli minimalna grubość warstwy, dla której zachodzi opisane zjawisko, jest równa 134,5 nm (skorzystaj z informacji, że współczynnik załamania lodu jest mniejszy od współczynnika załamania szkła);
- dwie kolejne grubości warstwy lodu, dla których zachodzi to zjawisko.

Zadanie 3.15

Błonka mydlana o współczynniku załamania 1,33 i grubości 110 nm jest oświetlona padającym prostopadle do jej powierzchni światłem białym.

- Rozstrzygnij, jaka barwa w świetle odbitym jest dominująca.
- Wyjaśnij, jak i dlaczego w miarę upływu czasu zmienia się barwa światła odbitego, jeśli błonka jest ustawiona pionowo.

4**Zdolność rozdzielcza przyrządów optycznych****Zadanie 4.1**

Wskaż poprawne dokończenie zdania.

Oglądany przedmiot jest umieszczony w stałej odległości od oka. Szczegóły przedmiotu rozróżniamy tym lepiej, im średnica źrenicy

- i długość fali światła, którym jest oświetlony przedmiot, są większe.
- i długość fali światła, którym jest oświetlony przedmiot, są mniejsze.
- jest większa, a długość fali światła oświetlającego przedmiot jest mniejsza.
- jest mniejsza, a długość fali światła oświetlającego przedmiot jest większa.

Zadanie 4.2

Z odległości 1,2 m obserwator ogląda „gołym okiem” siatkę o kwadratowych oczkach, wykonaną z cienkiego drucika. Załóż, że siatka jest oświetlona bardzo jasnym światłem:

- żółtym o długości fali 550 nm;
- niebieskim o długości fali 420 nm.

Średnica źrenicy oka jest równa 2 mm. Oblicz w każdym przypadku, jaka musi być najmniejsza długość boku oczka, aby obserwator mógł dostrzec, że oglądanym przedmiotem jest siatka.

Zadanie 4.3

Obserwator ogląda Księżyc przez teleskop optyczny o średnicy zwierciadła równej 10 m. Przyjmij, że Księżyc świeci (odbitym) światłem żółtym o długości fali 570 nm, a jego odległość od Ziemi wynosi 380 000 km. Oblicz minimalną odległość kraterów na powierzchni Księżyca, które przez ten teleskop można zobaczyć oddzielnie.

Zadanie 4.4

Radioteleskop służy do obserwacji obiektów astronomicznych, wysyłających fale radiowe. Załóżmy, że dwa obiekty wysyłają fale radiowe o długości 0,5 m. Oblicz średnicę zwierciadła radioteleskopu, który pozwala rozróżnić te obiekty, jeśli kierunki dochodzących od nich fal tworzą ze sobą kąt równy 1° .

Zadanie 4.5

Siatkę dyfrakcyjną ustawiono równoległe do ekranu w odległości 1 m od niego i oświetlono prostopadle wiązką światła białego ($\lambda_f \approx 400$ nm, $\lambda_{cz} \approx 800$ nm). Stała siatki jest równa $5 \cdot 10^{-3}$ mm.

a) Oszacuj szerokości widm I, II i III rzędu, powstałych na ekranie.

b) Uzupełnij zdanie.

Zdolność rozdzielcza siatki dyfrakcyjnej jest _____ funkcją rzędu widma.

5 Polaryzacja światła

Zadanie 5.1

Oceń prawdziwość poniższych zdań. Wskaż P, jeśli zdanie jest prawdziwe, albo F, jeśli jest fałszywe.

1.	Światło jest falą podłużną.	P	F
2.	W świetle niespolaryzowanym kierunki drgań prostopadłych do siebie wektorów $\vec{E}$ i $\vec{B}$ są różne i przypadkowe.	P	F
3.	W świetle spolaryzowanym liniowo drgania wektora elektrycznego $\vec{E}$ odbywają się w jednej płaszczyźnie utworzonej przez ten wektor i kierunek rozchodzenia się fali.	P	F
4.	Polaryzator przepuszcza wszystkie fale z wiązki światła niespolaryzowanego.	P	F
5.	Za pomocą polaryzatorów otrzymujemy światło spolaryzowane liniowo.	P	F

Zadanie 5.2

Wiązkę światła niebieskiego o długości fali 450 nm skierowano na powierzchnię wody pod takim kątem, aby wiązka odbita była całkowicie spolaryzowana. Oblicz kąt padania, jeżeli długość fali światła niebieskiego w wodzie wynosi 337 nm.

Zadanie 5.3

Wiązka światła pomarańczowego pada na kostkę lodu. Oblicz kąt załamania wiązki w lodzie, jeżeli wiązka odbita jest całkowicie spolaryzowana. Szybkość światła pomarańczowego w lodzie wynosi $2,3 \cdot 10^8$ m/s.

Zadanie 5.4

Oblicz kąt między promieniem padającym a lustrem wody, jeżeli promień odbity jest całkowicie spolaryzowany. Szybkość światła w wodzie wynosi $2,25 \cdot 10^8$ m/s.

Zadanie 5.5

Światło przechodzi z wody o współczynniku załamania 1,33 do szkła o współczynniku załamania 1,50. Oblicz, pod jakim kątem promień świetlny powinien padać na granicę tych dwóch ośrodków, żeby promień odbity od szkła był całkowicie spolaryzowany.

Zadanie 5.6

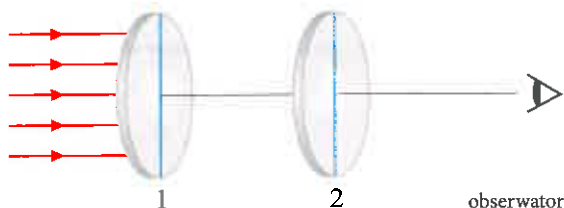
Wiązka światła pada od strony pewnego ośrodka na powierzchnię zetknięcia z powietrzem pod kątem $27,8^\circ$ i załamuje się w powietrzu pod kątem 90° . Oblicz:

- współczynnik załamania nieznanego ośrodka;
- kąt Brewstera dla tego ośrodka.

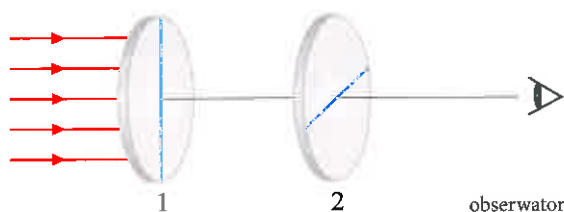
Zadanie 5.7

Dwa identyczne polaryzatory 1 i 2 są ustawione na wspólnej osi. Na polaryzator 1 pada wiązka światła niespolaryzowanego. Poniżej przedstawiono trzy przypadki:

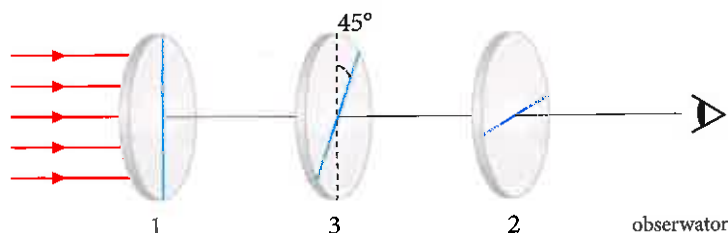
- Płaszczyzny, w których polaryzatory polaryzują światło, są do siebie równoległe.



- Płaszczyzny te są do siebie prostopadłe.



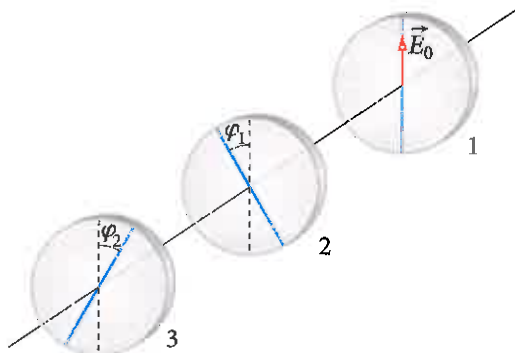
- Miedzy polaryzatory 1 i 2, których kierunki polaryzacji są do siebie prostopadłe, wstawiono trzeci polaryzator (3), który przepuszcza drgania w kierunku tworzącym kąt 45° z kierunkami drgań w polaryzatorach 1 i 2.



- W każdym przypadku napisz, co zaobserwuje obserwator (pole widzenia: jasne, częściowo rozjaśnione czy ciemne).
- Polaryzator 3 obracamy wokół wspólnej osi. Napisz, co zaobserwuje obserwator, gdy kierunki drgań w polaryzatorach 1 i 3 są do siebie:
 - równoległe,
 - prostopadłe.
- Zbadaj, przy jakim kącie między płaszczyznami drgań w polaryzatorach 1 i 3 światło wychodzące z polaryzatora 2 ma największe natężenie. Wykonaj odpowiedni rysunek i przedstaw potrzebne obliczenia.
- Odpowiedz na pytanie:
Ile razy podczas obrotu polaryzatora 3 o kąt pełny natężenie światła wychodzącego z polaryzatora 2 będzie największe?

Zadanie 5.8

Trzy idealne polaryzatory (1, 2, 3) ustawiono jeden za drugim tak, że ich środki znajdują się na jednej prostej. Wiązka światła niespolaryzowanego pada na pierwszy polaryzator, który przepuszcza w płaszczyźnie pionowej drgania o amplitudzie E_0 . Płaszczyzna drgań w polaryzatorze 2 jest skrócona od płaszczyzny pionowej w lewo o kąt $\varphi_1 = 30^\circ$, a płaszczyzna drgań w polaryzatorze 3 w prawo o kąt $\varphi_2 = 30^\circ$ (rysunek).



- Oblicz amplitudę drgań światła wychodzącego z polaryzatora 3.
- Znajdź związek natężenia I światła wychodzącego z polaryzatora 3 z natężeniem I_0 światła przepuszczanego przez polaryzator 1.

Zadanie 5.9

Zadanie to stanowi kontynuację poprzedniego.

Na podstawie odpowiedniego rysunku (bez wykonywania obliczeń) napisz, z czego wynika fakt, że obserwator patrzący w głąb układu polaryzatorów zobaczy ciemne pole zawsze wtedy, gdy suma kątów φ_1 i φ_2 będzie równa 90° .

Zadanie 5.10

Po przejściu światła spolaryzowanego o długości fali 600 nm przez roztwór cukru wypełniający rurkę o długości 8 cm płaszczyzna jego polaryzacji zmieniła się o pewien kąt. Stężenie roztworu wynosi 20 g/100 cm³. Oblicz stężenie roztworu cukru, który spowoduje skręcenie płaszczyzny polaryzacji o kąt dwa razy większy w rurce o długości 10 cm.

Zadanie 5.11

Przez rurkę o długości 12 cm, zawierającą roztwór glukozy o stężeniu 36 g/100 cm³, przepuszczono spolaryzowane światło żółte, w wyniku czego nastąpiło skręcenie płaszczyzny polaryzacji. Oblicz, jaka powinna być długość rurki, aby było możliwe skręcenie płaszczyzny polaryzacji o taki sam kąt dla roztworu o stężeniu 60 g/100 cm³.

6**Zjawisko fotoelektryczne zewnętrzne****Zadanie 6.1**

Kwant promieniowania elektromagnetycznego ma energię 3,0 eV.

- Oblicz długość fali tego promieniowania. Odpowiedz na pytanie, czy jest to promieniowanie widzialne, i uzasadnij odpowiedź.
- Oblicz (i wyraż w elektronowoltach) energię kwantu promieniowania ze środka zakresu widzialnego, tzn. dla długości fali $\lambda = 600$ nm.

Zadanie 6.2

Oceń prawdziwość podanych dokończeń zdania. Wskaż P, jeśli dokończenie jest prawdziwe, albo F, jeśli jest fałszywe.

Zasadę zachowania energii w zjawisku fotoelektrycznym przedstawia wzór:

1.	$h\nu = W + \frac{mv_{\text{elektronu}}^2}{2}$	P	F
2.	$\frac{hc}{\lambda} = W + \frac{mv_{\text{elektronu}}^2}{2}$	P	F
3.	$h\nu = W + E_{\text{k fotonu}}$	P	F
4.	$\frac{hc}{\lambda} = W + eU$	P	F
5.	$h\nu = W + \frac{mc^2}{2}$	P	F
6.	$p_{\text{fotonu}} \cdot c = W + E_{\text{k elektronu}}$	P	F

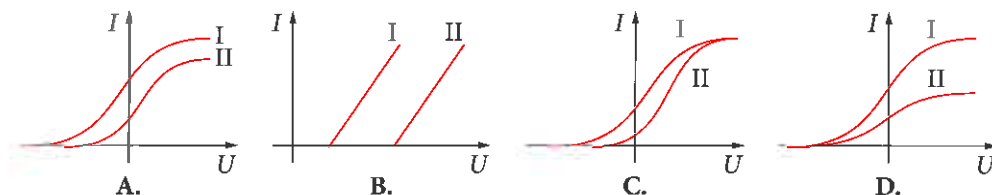
Zadanie 6.3

Oceń prawdziwość poniższych zdań. Wskaż P, jeśli zdanie jest prawdziwe, albo F, jeśli jest fałszywe.

1.	Największą energię mają fotony światła o barwie czerwonej.	P	F
2.	Energia fotonu światła o barwie niebieskiej jest większa od energii fotonu światła o barwie pomarańczowej.	P	F
3.	Liczba fotoelektronów emitowanych w jednostce czasu zależy od natężenia światła padającego na fotokatodę.	P	F
4.	Energia kinetyczna fotoelektronów zależy od natężenia światła.	P	F
5.	Energia kinetyczna fotoelektronów zależy od częstotliwości promieniowania wywołującego fotoemisję.	P	F
6.	W doświadczeniach nie zaobserwowano opóźnienia między chwilami oświetlenia powierzchni metalu i emisji z niej elektronów, czego nie można wytłumaczyć, jeśli przyjmiemy falową naturę promieniowania.	P	F

Zadanie 6.4

Przeanalizuj poniższe rysunki i wskaż poprawne dokończenie każdego zdania.



- a) Zależność natężenia prądu w obwodzie fotokomórki od przyłożonego napięcia dla dwóch źródeł światła o tym samym natężeniu, ale o różnych częstotliwościach, przedstawiono na rysunku A / B / C / D.
- b) Zależność natężenia prądu w obwodzie fotokomórki od przyłożonego napięcia dla dwóch źródeł światła o tych samych częstotliwościach, ale o różnych natężeniach, przedstawiono na rysunku A / B / C / D.

Zadanie 6.5

Praca wyjścia elektronów z wolframowej płytki wynosi 4,5 eV. Oblicz najmniejszą częstotliwość promieniowania powodującego efekt fotoelektryczny i odpowiadającą jej długość fali.

Zadanie 6.6

Fala elektromagnetyczna o długości 250 nm pada na wolframową płytkę i powoduje zjawisko fotoelektryczne. Oblicz maksymalną energię kinetyczną elektronów wybitych z płytki. Praca wyjścia dla wolframu wynosi $7,2 \cdot 10^{-20}$ J. Wynik podaj w J i eV.

Zadanie 6.7

Promieniowanie ultrafioletowe pada na płytkę cynkową i wybija z niej elektrony. Praca wyjścia dla cynku wynosi 4,33 eV. Oblicz:

- wartość minimalnego pędu fotonów wywołujących efekt fotoelektryczny;
- wartość pędu fotonów, gdy częstotliwość padającego promieniowania jest równa $1,5 \cdot 10^{15}$ Hz, oraz wartość maksymalnego pędu wybitych wówczas fotoelektronów.

Zadanie 6.8

Na płytkę z niklu padały fotony o energii 6,2 eV. Wybijały one elektrony i nadawały im pewną szybkość. Gdy zwiększono trzy razy energię padających fotonów, stwierdzono, że maksymalna energia kinetyczna fotoelektronów wzrosła dziewięć razy. Oblicz:

- pracę wyjścia dla niklu – wynik podaj w J i eV;
- maksymalną szybkość fotoelektronów dla fotonów o energii 6,2 eV.

Zadanie 6.9

Promieniowanie padające na platynową katodę fotokomórki wybija z niej elektrony. Maksymalna szybkość fotoelektronów jest równa $4,47 \cdot 10^2$ km/s. Oblicz długość fali promieniowania padającego na katodę, jeżeli maksymalna długość fali wywołującej w tej katodzie zjawisko fotoelektryczne wynosi 225 nm.

Zadanie 6.10*

Podczas zajęć w laboratorium fizycznym uczniowie wykonali doświadczenie mające na celu wyznaczenie stałej Plancka i pracy wyjścia dla fotokatody z nieznanego metalu na podstawie zjawiska fotoelektrycznego. Otrzymane wyniki pomiarów (częstotliwości oraz napięcia hamowania) zapisali w tabeli.

ν (10^{14} Hz)	6,5	7,0	7,5	8,0	8,5	9,0	9,5	10,0
U (V)	0,20	0,30	0,60	0,90	1,15	1,35	1,40	1,80

- Narysuj schemat obwodu elektrycznego, z którego korzystali uczniowie.

Wskazówka: Użyj symbolu fotokomórki:



- Skorzystaj z wyników podanych w tabeli. Przyjmij, że częstotliwość mierzono z bardzo dużą dokładnością, a niepewność mierzonego napięcia wynosiła $\Delta U = 0,05$ V. Na papierze milimetrowym sporządź wykres zależności napięcia hamowania od częstotliwości promieniowania padającego na katodę fotokomórki; narysuj prostą przechodzącą przez możliwie największą liczbę punktów pomiarowych oraz proste graniczne, wynikające z zaznaczonych odcinków niepewności pomiarowych ΔU .

- c) Wyznacz wartości stałej Plancka i pracy wyjścia dla metalu fotokatody. Podaj nazwę metalu (skorzystaj z podanej tabeli).

Metal	lit	miedź	srebro	wolfram
W (eV)	2,40	4,54	4,30	4,40

- d) Oszacuj bezwzględne i względne niepewności wyznaczonych wielkości.

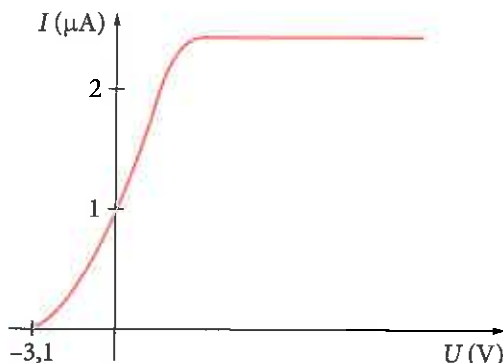
Zadanie 6.11

Powierzchnię pewnego metalu oświetlono kolejno dwiema wiązkami światła o długościach fali $\lambda_1 = 250$ nm i $\lambda_2 = 260$ nm.

- a) Oblicz maksymalne szybkości v_1 i v_2 fotoelektronów opuszczających powierzchnię metalu, oświetlonego światłem o podanych długościach fal, jeśli wiadomo, że $v_2 = 0,25v_1$.
- b) Oblicz pracę wyjścia elektronów z płytki. Wynik podaj w J i eV.

Zadanie 6.12

Fotokomórkę oświetlono promieniowaniem o długości fali równej 250 nm. Na podstawie przedstawionej poniżej charakterystyki $I(U)$ fotokomórki oblicz pracę wyjścia dla fotokatody tej fotokomórki. Wynik podaj w elektronowoltach.



Zadanie 6.13

Na cezową katodę fotokomórki pada promieniowanie o długości fali 320 nm. Oblicz pracę wyjścia elektronu z cezu, jeśli po przyłożeniu napięcia hamującego 1,74 V prąd w obwodzie fotokomórki przestaje płynąć. Wynik podaj w dżulach.

Zadanie 6.14

Graniczna długość fali, dla której w danej fotokomórce zachodzi fotoefekt, wynosi 380 nm. Oblicz, jakie napięcie hamujące należy przyłożyć do elektrod fotokomórki, oświetlonej światłem o częstotliwości $1,0 \cdot 10^{15}$ Hz, aby prąd w obwodzie przestał płynąć.

Zadanie 6.15

Praca wyjścia dla cezu wynosi 1,9 eV. Oblicz:

- graniczną długość fali dla zjawiska fotoelektrycznego dla tego metalu;
- maksymalną szybkość elektronów opuszczających cezową katodę fotokomórki, na którą pada promieniowanie fioletowe o długości fali 400 nm;
- napięcie hamowania w przypadku opisanym w punkcie b) zadania.

Zadanie 6.16

Gdy katodę fotokomórki oświetlono promieniowaniem o długości fali λ , to prąd w obwodzie przestał płynąć przy napięciu hamującym 1,55 V. Natomiast gdy na katodę skierowano światło o fali dłuższej o 0,25 długości początkowej, napięcie hamujące wynosiło 0,30 V. Oblicz:

- początkową długość fali;
- pracę wyjścia elektronów z katody fotokomórki.

Zadanie 6.17

Gdy na katodę fotokomórki skierowano promieniowanie o częstotliwości $1,28 \cdot 10^{15}$ Hz, to prąd w jej obwodzie przestał płynąć przy napięciu hamującym 0,60 V. Oblicz:

- pracę wyjścia elektronów z katody (wynik podaj w J i eV);
- długość fali promieniowania, które należy skierować na tę katodę, aby napięcie hamujące wynosiło 1,20 V.

Zadanie 6.18

W obwodzie fotokomórki płynie prąd nasycenia o natężeniu $I = 1 \mu\text{A}$.

- Wyprowadź wzór na minimalną moc źródła promieniowania elektromagnetycznego o długości fali $\lambda = 280$ nm, konieczną do uzyskania prądu o podanej wartości natężenia, przy założeniu, że tylko 25% fotonów powoduje wybite elektronów z katody.
- Skorzystaj z wyprowadzonego wzoru i oblicz tę minimalną moc.

Zadanie 6.19

Praca wyjścia dla srebra ma tak dużą wartość, że zjawisko fotoelektryczne na tym metalu zachodzi dopiero dla dalekiego ultrafioletu. W laboratorium fizycznym wykonano doświadczenie, w którym oświetlano srebrną fotokatodę kolejno promieniowaniem o długości fali λ_1 i λ_2 – i w każdym przypadku mierzono napięcie hamowania. Otrzymano wyniki U_1 i U_2 .

- Wykaż, że można skorzystać z tych wielkości, aby wyznaczyć stałą Plancka h i pracę wyjścia W dla srebra z następujących wzorów:

$$h = \frac{e\lambda_1\lambda_2 (|U_1| - |U_2|)}{c(\lambda_2 - \lambda_1)} \quad W = \frac{e (|U_1|\lambda_1 - |U_2|\lambda_2)}{\lambda_2 - \lambda_1}$$

- b) Podstaw do tych wzorów zmierzone w laboratorium wartości: $\lambda_1 = 150 \text{ nm}$, $U_1 = 3,6 \text{ V}$, $\lambda_2 = 250 \text{ nm}$, $U_2 = 0,3 \text{ V}$ i oblicz h oraz W .
- c) Załóżmy, że długość fali zmierzono z bardzo dużą dokładnością, a niepewność pomiaru napięcia wynosiła $0,1 \text{ V}$. Oblicz maksymalną i minimalną wartość stałej Plancka (które można było otrzymać w najmniej korzystnych przypadkach) oraz maksymalną niepewność bezwzględną Δh . Oblicz niepewność względną wyniku pomiaru w procentach.
- d) Oblicz graniczną długość fali (stanowiącą próg zjawiska fotoelektrycznego) dla metalu, którego praca wyjścia jest równa $4,7 \text{ eV}$. Przyjmij wartość stałej Plancka obliczoną w punkcie b) zadania.

Zadanie 6.20*

Płytką cynkową, oświetloną promieniowaniem z łuku węglowego, zawierającym ultrafiolet, ładuje się wskutek utraty elektronów do pewnego maksymalnego potencjału dodatniego.

- a) Podaj wyjaśnienie tego faktu.
- b) Oszacuj maksymalny potencjał płytki. Przyjmij, że długość fali promieniowania ultrafioletowego, które na nią pada, jest równa 300 nm . Praca wyjścia dla cynku wynosi $3,74 \text{ eV}$.

7**Promieniowanie ciał. Widma****Zadanie 7.1**

Graniczne długości fal światła widzialnego to $\lambda_1 = 400 \text{ nm}$ (fiolet) i $\lambda_2 = 800 \text{ nm}$ (czerwień). Oblicz temperatury ciał doskonale czarnych, w których widmach maksimum energii promieniowania przypada na wymienione długości fal.

Zadanie 7.2

Oblicz długość fali, dla której przypada maksimum promieniowania ciała doskonale czarnego o temperaturze $36,6^\circ\text{C}$.

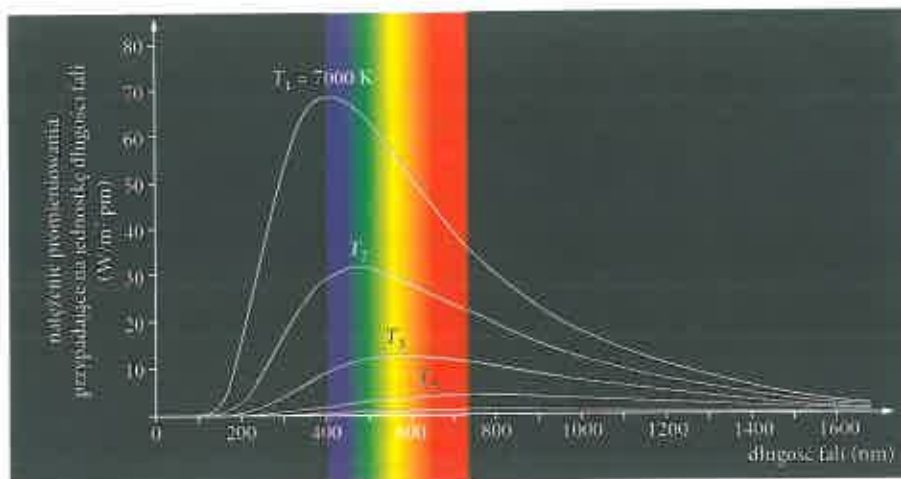
Zadanie 7.3

Temperatura ciała doskonale czarnego wynosi 1800 K . Oblicz:

- a) ile razy wzrośnie energia całkowita emitowana przez to ciało w jednostce czasu, jeżeli jego temperatura wzrośnie o 900 K ;
- b) o ile zmaleje długość fali, na którą przypada maksimum natężenia promieniowania, przy wzroście temperatury o 900 K ;
- c) o ile procent zmaleje długość fali przy wzroście temperatury o 900 K .

Zadanie 7.4

Na rysunku przedstawiono zależność natężenia promieniowania wysyłanego przez ciało w różnych temperaturach od długości fali.



Oceń prawdziwość podanych dokończeń zdania. Wskaż P, jeśli dokończenie jest prawdziwe, albo F, jeśli jest fałszywe.

Na podstawie praw promieniowania oraz wykresu możemy powiedzieć, że:

1.	różnica temperatur $T_1 - T_3 \approx 2000$ K.	P	F
2.	moc promieniowania jest największa dla widma o temperaturze T_4 .	P	F
3.	stosunek mocy promieniowania $\frac{P_2}{P_3} \approx 2$.	P	F
4.	im wyższa temperatura ciała, tym mniejsza długość fali odpowiadająca maksimum energii promieniowania.	P	F

Zadanie 7.5

Stała słoneczna s informuje nas o ilości energii, jaka dochodzi w czasie 1 sekundy do 1 m^2 powierzchni planety ustawionej prostopadle do promieni słonecznych. Dla Jowisza stała słoneczna $s = 50 \text{ W/m}^2$, a odległość Jowisza od Słońca $r = 5,2 \text{ au}$ ($1 \text{ au} = 150 \cdot 10^6 \text{ km}$).

Przyjmij, że promień Słońca $R_S = 6,96 \cdot 10^8 \text{ m}$.

- Oblicz całkowitą moc promieniowania Słońca.
- Wyprowadź wzór na temperaturę powierzchni Słońca i oszacuj jej wartość; potraktuj Słońce jako ciało doskonale czarne.
- Oszacuj długość fali odpowiadającą maksymalnej energii promieniowania emitowanego przez Słońce.



Zadanie 7.6

Ciało doskonale czarne o powierzchni S miało temperaturę $T = 4000$ K. Połowa jego powierzchni ostygła o $\Delta T = 800$ K, a temperatura drugiej połowy wzrosła o $\Delta T = 800$ K.

- Oblicz stosunek całkowitej mocy promieniowania ciała po zmianie temperatur do mocy początkowej.
- Oblicz, jaką część całkowitej powierzchni ciała musiałaby stanowić powierzchnia S_1 , która ostygła, aby całkowita moc końcowa była równa mocy początkowej.

Zadanie 7.7

W miarę wyczerpywania się paliwa jądrowego na Słońcu, jego temperatura będzie się obniżać.

- Uzupełnij luki w poniższym zdaniu.
Gdy temperatura Słońca się obniży, stała słoneczna _____, a długość fali odpowiadająca maksimum energii promieniowania Słońca _____.
- Oszacuj wartość stałej słonecznej dla Ziemi, gdy temperatura powierzchni Słońca obniży się do 5000 K. (Jej obecna wartość wynosi $1,36 \cdot 10^3 \frac{\text{J}}{\text{m}^2 \cdot \text{s}}$, a temperatura powierzchni Słońca jest równa około 6000 K). Wymień założenia, które musimy przyjąć, aby dokonać tego oszacowania.
- Oblicz długość fali odpowiadającej maksimum energii promieniowania Słońca po obniżeniu się jego temperatury.

Zadanie 7.8

Do każdego zdania spośród 1–6 dobierz związane z nim pojęcie fizyczne, wybrane spośród A–F.

- Na podstawie obserwacji przepuszczonego przez pryzmat światła, wysłanego przez rozgrzane do wysokiej temperatury ciało stałe lub ciecz, nie możemy zidentyfikować pierwiastków, które są zawarte w tej substancji.
- W świecących reklamach zawarty w rurce gaz, pobudzony do świecenia, emituje tylko niektóre długości fal z zakresu światła widzialnego.
- Nie ma dwóch różnych pierwiastków, których pary pobudzone do świecenia wysyłałyby fale o takich samych długościach (takim samym składzie widmowym), dlatego dzięki badaniu widm możemy zidentyfikować pierwiastki.
- W serii Balmera występuje kilka linii widmowych odpowiadających falom o długościach z zakresu światła widzialnego.
- Za pomocą przyrządu zawierającego pryzmat lub siatkę dyfrakcyjną (które rozdzielają światło na poszczególne barwy) możemy mierzyć długości fal światła wysłanego przez różne źródła.
- Gdy w pewnych warunkach przepuścimy światło białe przez rurkę z gazem jednoatomowym jakiegoś pierwiastka, to pewne długości fal zostaną pochłonięte i po rozszczepieniu światła na tle widma ciągłego zaobserwujemy ciemne prążki.

Pojęcia fizyczne:

A. spektrometr

B. widmo liniowe emisyjne

C. widmo wodoru

D. analiza widmowa

E. widmo ciągłe

F. widmo liniowe absorpcyjne

Zadanie 7.9

Utwórz dwa prawdziwe zdania. Każdemu z punktów A i B przyporządkuj odpowied-
nie dokończenie, wybrane spośród 1–4.

Widmo liniowe

A.	absorpcyjne	to układ	1.	jasnych linii na tle widma ciągłego, odpowiadających falom pochłoniętym przez gaz.
			2.	ciemnych linii na tle widma ciągłego, odpowiadających falom pochłoniętym przez gaz.
B.	emisyjne		3.	pojedynczych linii odpowiadających określonym długościom fali na jasnym tle.
			4.	pojedynczych linii odpowiadających określonym długościom fali na ciemnym tle.

Zadanie 7.10

Oceń prawdziwość poniższych zdań. Wskaż P, jeśli zdanie jest prawdziwe, albo F, jeśli jest fałszywe.

1.	Skład chemiczny ciała stałego rozżarzonego do wysokiej temperatury wpływa na skład widmowy wysyłanego światła.	P	F
2.	Tylko jedna seria widmowa atomu wodoru leży częściowo w obszarze widzialnym.	P	F
3.	Widmo (emitowane przez jednoatomowe gazy), którego linie odpowiadają falom o ściśle określonych długościach, nazywamy widmem dyskretnym.	P	F
4.	Za pomocą analizy widmowej bada się skład chemiczny substancji.	P	F

Zadanie 7.11

Oceń prawdziwość poniższych zdań, dotyczących analizy widmowej. Wskaż P, jeśli zdanie jest prawdziwe, albo F, jeśli jest fałszywe.

1.	W analizie widmowej konieczne jest rozszczepienie światła na barwy składowe.	P	F
2.	Zasadniczym elementem spektroskopu jest polaryzator.	P	F
3.	Analizy widmowej dokonuje się przez porównanie widma badanej substancji ze znanymi widmami liniowymi pierwiastków.	P	F
4.	W metodzie analizy widmowej nie można posłużyć się widmem absorpcyjnym substancji.	P	F

8

Model Bohra budowy atomu wodoru

Zadanie 8.1

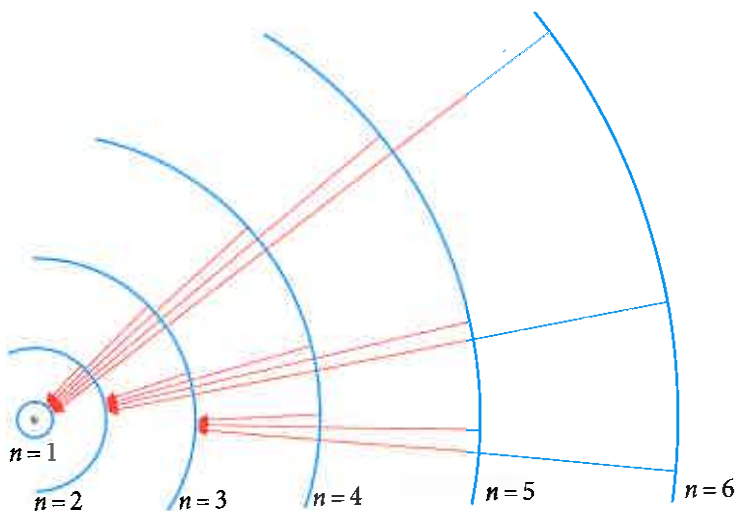
Oceń prawdziwość poniższych zdań, dotyczących modelu Bohra budowy atomu wodoru. Wskaż P, jeśli zdanie jest prawdziwe, albo F, jeśli jest fałszywe.

1.	Energia potencjalna elektronu na każdej orbicie dozwolonej jest ujemna.	P	F
2.	Tylko te orbity są dozwolone, dla których jest spełniony warunek, że rolę siły dośrodkowej pełni siła elektrostatycznego oddziaływania między protonem a elektronem.	P	F
3.	Energia kinetyczna elektronu na dozwolonej orbicie jest większa od wartości bezwzględnej energii potencjalnej na tej orbicie.	P	F
4.	Elektron na orbicie dozwolonej porusza się ruchem zmiennym krzywoliniowym, więc podczas każdego okrążenia wypromieniowuje energię w postaci fali elektromagnetycznej.	P	F
5.	Możliwe jest przejście elektronu ze stanu podstawowego do stanu wzbudzonego pod warunkiem pochłonięcia ściśle określonej porcji energii.	P	F

Zadanie 8.2

Na schematycznym rysunku poniżej przedstawiono kilka możliwych przejść elektronów ze stanów wzbudzonych w atomie wodoru.

- Zaznacz przejście odpowiadające czerwonej linii w serii Balmera.
- Zaznacz przejścia odpowiadające serii leżącej w całości w nadfiolecie.
- Nazwij przedstawione serie.



Zadanie 8.3

Oblicz, na której orbicie w atomie wodoru wartość momentu pędu elektronu wyraża się wzorem $\frac{3h}{\pi}$.

Zadanie 8.4

Oblicz najmniejszą długość fali (granice serii) odpowiadającą linii widmowej serii:

- a) Bracketta ($k = 4$);
- b) Pfunda ($k = 5$).

Zadanie 8.5

Oblicz, na której orbicie w atomie wodoru moment pędu elektronu ma wartość równą w przybliżeniu $4,22 \cdot 10^{-34} \frac{\text{kg} \cdot \text{m}^2}{\text{s}}$.

Zadanie 8.6

Oblicz różnicę wartości momentu pędu elektronu na czwartej i drugiej orbicie w atomie wodoru.

Zadanie 8.7

Wyprowadź wzór na promień pierwszej orbity elektronowej w atomie wodoru i oblicz ten promień.

Zadanie 8.8

Oblicz i wyraż w elektronowoltach wartości energii całkowitej elektronu na orbitach: 2, 3, 4, 6.

Zadanie 8.9

Elektron przeskakuje z orbity czwartej na drugą. Oblicz zmianę:

- a) energii potencjalnej tego elektronu;
- b) jego energii kinetycznej.

Zadanie 8.10

Oblicz energię fotonu emitowanego przy przejściu elektronu w atomie wodoru z orbity:

- a) piątej na trzecią;
- b) szóstej na drugą.

Zadanie 8.11

Oblicz wartość pędu fotonu emitowanego przy przejściu elektronu w atomie wodoru z orbity:

- a) czwartej na trzecią;
- b) piątej na drugą.

Zadanie 8.12

Energia fotonu wyemitowanego przez atom wodoru podczas przeskoku elektronu na drugą orbitę wynosiła 2,856 eV. Oblicz numer orbity, z której przeskoczył elektron.

Zadanie 8.13

Wartość pędu fotonu wyemitowanego przez atom wodoru podczas przeskoku elektronu na trzecią orbitę wynosiła około $6,05 \cdot 10^{-28} \frac{\text{kg} \cdot \text{m}}{\text{s}}$. Oblicz numer orbity, z której przeskoczył elektron.

Zadanie 8.14

Oblicz energię, którą musiał pochłonąć atom, jeśli nastąpił w nim przeskoczek elektronu z orbity:

- a) pierwszej na czwartą;
- b) trzeciej na piątą.

Zadanie 8.15

Atom wodoru wyemitował kwant o długości fali równej około 95 nm. Oblicz główną liczbę kwantową n stanu, do którego nastąpiło wzbudzenie, jeśli emisja wystąpiła w wyniku powrotu do stanu podstawowego.

Zadanie 8.16

Stała Rydberga $R = 1,097 \cdot 10^7 \frac{1}{\text{m}}$. Oblicz długość fali promieniowania emitowanego przez atom wodoru podczas przeskoku elektronu z orbity:

- a) szóstej na drugą;
- b) piątej na pierwszą.

Zadanie 8.17

Długość fali promieniowania emitowanego przez atom wodoru podczas przeskoku elektronu na drugą orbitę wynosi około 486 nm. Której linii serii Balmera odpowiada ta długość fali?

Zadanie 8.18

Oblicz częstotliwość promieniowania odpowiadającego:

- a) trzeciej linii serii Lymana;
 - b) pierwszej linii serii Bracketta
- w widmie wodoru.

Zadanie 8.19

Częstotliwość promieniowania emitowanego przez atom wodoru podczas przeskoku elektronu na czwartą orbitę wynosi $1,14 \cdot 10^{14}$ Hz. Oblicz numer orbity, z której przeskoczył elektron.

Zadanie 8.20

Oblicz najmniejszą długość fali promieniowania elektromagnetycznego, jakie może wyemitować atom wodoru. W wyniku jakiego zjawiska jest emitowane takie promieniowanie?

Zadanie 8.21

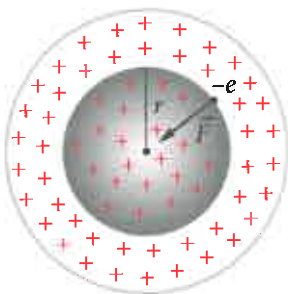
Ustal, czy atom wodoru może emitować mikrofae, tzn. fale elektromagnetyczne o długości rzędu 1 cm. Oszacuj, z jakim przejściem elektronu w atomie tego pierwiastka mogłaby się wiązać emisja takiego promieniowania, jeśli założymy, że przejście następowałoby między sąsiednimi poziomami energetycznymi.

Zadanie 8.22*

Na początku XX w. J.J. Thomson stworzył model atomu zwany modelem „ciasta z rodzynkami”, według którego ładunek dodatni w atomie rozłożony jest równomiernie w małym obszarze kulistym, a elektrony są w nim osadzone jak rodzynki w cieście.

- Przyjmij jako promień atomu wodoru promień pierwszej orbity elektronowej (według modelu Bohra), tzn. $5,3 \cdot 10^{-11}$ m, i oblicz gęstość objętościową dodatniego ładunku w atomie wodoru (według modelu Thomsona). Pamiętaj, że atom jest obojętny elektrycznie.
- Wykaż, że elektron, który znalazłby się w takim atomie jako „rodzynka”, wykonywałby drgania harmoniczne.

Wskazówka: Na ładunek punktowy wewnątrz naładowanej kuli (z jednakową w każdym punkcie gęstością objętościową ρ) działa w odległości r od środka kuli siła elektryczna pochodząca tylko od ładunku znajdującego się w kuli o promieniu r (rysunek).



- Oblicz okres drgań. Wynik porównaj z okresem obiegu elektronu wokół jądra po pierwszej orbicie według modelu Bohra.

9

Promieniowanie rentgenowskie

Zadanie 9.1

Oceń prawdziwość poniższych zdań. Wskaż P, jeśli zdanie jest prawdziwe, albo F, jeśli jest fałszywe.

1.	Promieniowanie rentgenowskie powstaje w wyniku hamowania protonów uderzających w katodę.	P	F
2.	Promieniowanie X ulega odchyleniu w polu elektrycznym i magnetycznym.	P	F
3.	Źródłem promieniowania rentgenowskiego jest anoda, w którą uderzają przyspieszane w silnym polu elektrycznym elektrony wyemitowane z katody.	P	F
4.	W lampie rentgenowskiej zachodzi zjawisko termoemisji, czyli emisji elektronów z katody rozgrzanej do wysokiej temperatury.	P	F
5.	Promieniowanie rentgenowskie to promieniowanie elektromagnetyczne.	P	F

Zadanie 9.2

Oceń prawdziwość poniższych zdań. Wskaż P, jeśli zdanie jest prawdziwe, albo F, jeśli jest fałszywe.

1.	Rentgenowskie widmo ciągłe powstaje w wyniku emisji promieniowania o dowolnej częstotliwości.	P	F
2.	Promieniowanie charakterystyczne powstaje w wyniku wzbudzenia atomów anody, które powracając do stanu podstawowego, emitują promieniowanie o ściśle określonej energii.	P	F
3.	Linie widma charakterystycznego odpowiadają promieniowaniu X o ściśle określonych długościach fali.	P	F
4.	Analiza ciągłego promieniowania rentgenowskiego dostarcza informacji o układzie poziomów energetycznych wewnętrznych powłok atomu.	P	F

Zadanie 9.3

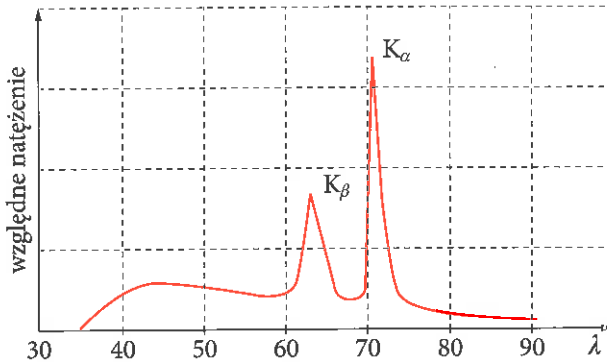
Pęd fotonu promieniowania rentgenowskiego ma wartość $2,21 \cdot 10^{-25} \frac{\text{kg} \cdot \text{m}}{\text{s}}$. Oblicz długość fali fotonu oraz jego energię. Energię podaj w kiloelektronowoltach.

Zadanie 9.4

Oblicz wartość pędu fotonu promieniowania rentgenowskiego, którego częstotliwość wynosi $0,5 \cdot 10^{19} \text{ Hz}$.

Zadanie 9.5

Rysunek przedstawia widmo ciągłe promieniowania X, na którego tle widać linie odpowiadające promieniowaniu o ściśle określonej długości fali, tzw. promieniowanie charakterystyczne.

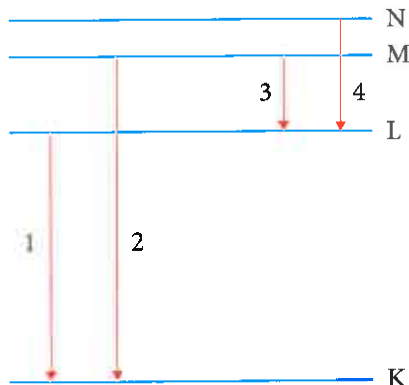
**Wskaż poprawne dokończenie zdania.**

Jeżeli zwiększymy napięcie przyspieszające elektrony w lampie rentgenowskiej, krótkofalowa granica widma przesunie się na wykresie

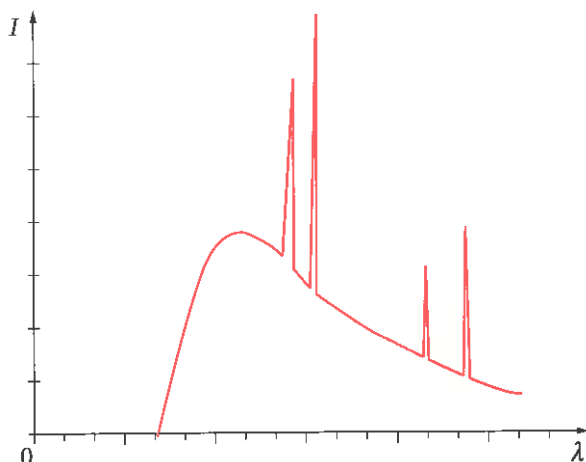
- A. w prawo, a linie nie zmieniają swojego położenia.
- B. w prawo, a linie przesuną się w lewo.
- C. w lewo, a linie nie zmieniają swojego położenia.
- D. w lewo, a linie przesuną się w prawo.

Zadanie 9.6

W lampie rentgenowskiej elektrony przyspieszone odpowiednio silnym polem elektrycznym uderzają w atomy anody i powodują wybijanie elektronów z powłok K i L tych atomów. Następnie elektrony z wyższych powłok przechodzą na powłoki K i L, co pokazuje schemat poniżej.



Podpisz na poniższym rysunku numerami od 1 do 4 linie charakterystyczne w widmie promieniowania, tak aby odpowiadały kolejnym przejściom przedstawionym na schemacie, oraz podaj nazwy serii.



Zadanie 9.7

Powstające w lampie rentgenowskiej kwanty mają różne energie, więc widmo rentgenowskiego promieniowania hamowania jest ciągłe. Ma ono jednak wyraźną krótkofalową granicę.

- Wyjaśnij, dlaczego widmo rentgenowskiego promieniowania hamowania jest ograniczone od strony fal krótkich. Odpowiedz na pytanie, od czego zależy graniczna, minimalna długość fali tego promieniowania.
- Promieniowanie o długości fali równej 1 nm to bardzo długofalowe promieniowanie rentgenowskie (graniczące z ultrafioletem). Oblicz szybkość elektronów, które w trakcie zderzania się z przeszkodą mogą wytworzyć promieniowanie hamowania o takiej granicy krótkofalowej.
- Oblicz napięcie przyspieszające potrzebne do nadania elektronom szybkości obliczonej w punkcie b) zadania.

Zadanie 9.8

Oblicz napięcie między katodą i anodą lampy rentgenowskiej, jeżeli fotony promieniowania tej lampy mają częstotliwości nie większe niż $1,9 \cdot 10^{19}$ Hz.

Zadanie 9.9

Przy pewnym napięciu między katodą i anodą lampy rentgenowskiej uzyskano widmo promieniowania, którego krótkofalowa granica była równa 25,0 pm. Oblicz krótkofalową granicę po zwiększeniu napięcia o 10 kV.

Zadanie 9.10

Między katodę i anodę lampy rentgenowskiej przyłożono napięcie 50 kV. Oblicz wartość maksymalnego pędu i odpowiadającą mu długość fali fotonu promieniowania rentgenowskiego z tej lampy.

Zadanie 9.11

Graniczna częstotliwość fali widma promieniowania rentgenowskiego z pewnej lampy wynosi $3 \cdot 10^{17}$ Hz. Oblicz maksymalną szybkość elektronów hamowanych na anodzie.

Zadanie 9.12

Sprawność lampy rentgenowskiej wynosi 1% (jest to stosunek mocy promieniowania rentgenowskiego do mocy zasilania). Pozostała energia zasilania zamienia się prawie całkowicie na energię wewnętrzną anody. Między katodę i anodę lampy rentgenowskiej przyłożono napięcie $U = 50$ kV, a natężenie prądu, przy którym pracuje lampka, $I = 25$ mA. Oblicz, po jakim czasie wolframowa anoda o masie $m = 150$ g uległaby stopieniu, jeżeli nie stosowalibyśmy chłodzenia. Średnie ciepło topnienia wolframu $c_t = 190 \cdot 10^3 \frac{\text{J}}{\text{kg}}$, jego ciepło właściwe $c_w = 180 \frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot \text{K}}$, a temperatura topnienia $t_t = 3350^\circ\text{C}$. Temperatura otoczenia $t_0 = 20^\circ\text{C}$.

Zadanie 9.13

Oceń prawdziwość poniższych zdań. Wskaż P, jeśli zdanie jest prawdziwe, albo F, jeśli jest fałszywe.

1.	Kierunek rozchodzenia się promieniowania X można zmienić podczas odbicia wiązki od powierzchni kryształu tylko dla określonych kątów padania.	P	F
2.	Przejście wiązki promieniowania X przez obszar pola magnetycznego lub elektrycznego powoduje zmianę jej kierunku.	P	F
3.	Promieniowanie rentgenowskie podlega tylko zjawisku interferencji.	P	F
4.	Za pomocą promieniowania X o znanej długości fali możemy badać strukturę kryształów i wyznaczyć odległość między płaszczyznami krystalograficznymi.	P	F

Zadanie 9.14

Wskaż poprawne dokończenie zdania.

Po oświetleniu kryształu promieniami X obserwujemy na ekranie obrazy dyfrakcyjne, gdy odległość między atomami w kryształach jest

- A. dużo mniejsza od długości fali promieniowania padającego.
- B. dużo większa od długości fali promieniowania padającego.
- C. równa długości fali promieniowania padającego.
- D. zbliżona do długości fali promieniowania padającego.

Zadanie 10.5

Porównaj długości fal de Broglie'a odpowiadające dwóm cząstkom o masach $m_1 = m$ oraz $m_2 = 400m$ i o takich samych energiach kinetycznych.

Zadanie 10.6

Oblicz, jak zmieni się długość fali de Broglie'a protonu, jeżeli:

- jego pęd wzrośnie cztery razy;
- jego energia kinetyczna zmaleje dwa razy;
- napięcie przyspieszające proton wzrośnie czterokrotnie.

Zadanie 10.7

Oblicz, jakim napięciem została przyspieszona cząstka alfa ze stanu spoczynku, jeśli odpowiadająca jej długość fali wynosi $5 \cdot 10^{-14}$ m ($m_\alpha \approx 4m_p$, $q_\alpha = 2q_p$).

Zadanie 10.8

Cząstka o ładunku elementarnym, przyspieszona napięciem 30 kV, ma długość fali de Broglie'a $1,17 \cdot 10^{-13}$ m. Oblicz masę cząstki i ją zidentyfikuj.

Zadanie 10.9

Proton porusza się po okręgu w jednorodnym polu magnetycznym, którego indukcja ma wartość 0,01 T. Oblicz średnicę okręgu, jeżeli długość fali protonu wynosi $9,9 \cdot 10^{-13}$ m.

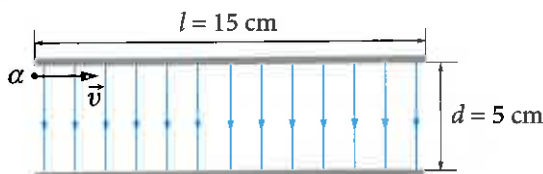
Zadanie 10.10

Elektron porusza się w jednorodnym polu elektrostatycznym wzdłuż linii pola między punktami A i B ruchem jednostajnie przyspieszonym z $v_0 = 0$. Punkty A i B znajdują się w odległości 4 mm od siebie. Oblicz:

- różnicę potencjałów między tymi punktami, jeżeli po przebyciu drogi 1 mm elektron uzyskał szybkość 10^6 m/s;
- pęd elektronu w punkcie B i odpowiadającą mu długość fali de Broglie'a.

Zadanie 10.11

W pole elektryczne wytworzone wewnątrz kondensatora płaskiego wpadła cząstka alfa z prędkością o wartości 10^5 m/s prostopadle do linii pola, tak jak pokazuje rysunek.



- a) Oblicz wartość przyspieszenia cząstki alfa, jeżeli napięcie między okładkami kondensatora wynosi 30 V.
- b) Oblicz, o ile procent zmaleje długość fali de Broglie'a cząstki alfa po przejściu przez pole elektrostatyczne.

Zadanie 10.12

Wskaż wszystkie poprawne dokończenia zdania.

Potwierdzeniem prawdziwości teorii de Broglie'a jest

- A. dyfrakcja neutronów na kryształach.
- B. działanie mikroskopu elektronowego.
- C. terapia protonowa nowotworów.
- D. możliwość przyspieszania cząstek naładowanych w polu elektrostatycznym.

Zadanie 10.13

Oceń prawdziwość poniższych zdań. Wskaż P, jeśli zdanie jest prawdziwe, albo F, jeśli jest fałszywe.

1.	Dla obiektów makroskopowych długość fali materii jest wiele rzędów wielkości mniejsza od średnicy atomu.	P	F
2.	Właściwości falowe materii obserwujemy w doświadczeniach, jeżeli długości fal de Broglie'a cząstek są rzędu średnicy atomu.	P	F
3.	Gdy przez układ szczelin przepuścimy więcej elektronów, to prążki interferencyjne będą lepiej widoczne.	P	F

Zadanie 10.14

Oceń prawdziwość poniższych zdań. Wskaż P, jeśli zdanie jest prawdziwe, albo F, jeśli jest fałszywe.

1.	Falowe właściwości cząstek wykorzystuje się w mikroskopach elektronowych.	P	F
2.	Dzięki dyfrakcji elektronów można badać strukturę kryształów.	P	F
3.	Mikroskop optyczny pozwala na zaobserwowanie nieco mniejszych obiektów niż mikroskop elektronowy.	P	F
4.	Długość fal elektronów przyspieszanych w mikroskopie elektronowym jest porównywalna z długością fal promieni Röntgena.	P	F
5.	Zasada działania mikroskopu elektronowego przypomina zasadę działania optycznego mikroskopu transmisyjnego.	P	F

Elementy szczególnej teorii względności

Wskazówki

► Zanim zaczniesz rozwiązywać zadanie:

- postaraj się zrozumieć zjawisko fizyczne, które jest opisane w treści;
- przypomnij sobie prawa fizyczne, które odnoszą się do przedstawionego zjawiska – podczas analizowania zjawiska należy sobie uświadomić, dlaczego przebiega ono w opisany sposób;
- zapisz dane i szukane, zaproponuj własne symbole, którymi chcesz się posługiwać;
- pamiętaj – nie dopasowuj do zadania gotowych, wyuczonych wzorów.

► Najważniejsze zagadnienia w tym dziale to:

- szybkość światła w różnych inercjalnych układach odniesienia,
- zasada względności Einsteina,
- maksymalna szybkość przekazu informacji,
- niejednoczesność zdarzeń,
- zjawisko Dopplera dla fal elektromagnetycznych,
- związek między energią i pędem cząstki,
- masa układu cząstek wzajemnie oddziałujących.

► Najważniejsze pojęcia

- względność jednoczesności ◦ pęd relatywistyczny ◦ energia spoczynkowa ◦ relatywistyczna energia kinetyczna ◦ energia całkowita cząstki swobodnej ◦ energia układu cząstek
- W przykładzie 1 oraz w zadaniach 11.4 i 11.5 zwrócono uwagę na istotną różnicę między dwoma doświadczeniami myślowymi. W pierwszym przypadku w tzw. ruchomym układzie odniesienia wyrzucamy w przeciwne strony przedmioty (piłki), a w drugim wysyłamy błyski świetlne. Różnica polega na tym, że prędkości piłek w układach platformy i obserwatora na zewnątrz nie są takie same, natomiast sygnały świetlne w każdym układzie inercjalnym rozchodzą się z taką samą szybkością, równą c . Konsekwencją tego faktu jest **nierównoczesność** dotarcia sygnałów świetlnych do A i B, stwierdzona przez obserwatora znajdującego się na zewnątrz rakiety (na Ziemi).
- Cztery zadania (11.6–11.9) dotyczą **dylatacji czasu**. Zagadnienie to nie występuje w podstawie programowej i nie zostało omówione w podręczniku, dlatego poprzedzono je krótkim tekstem wprowadzającym (wymienione zadania kształtują umiejętność posługiwania się informacjami pochodzącymi z analizy materiałów źródłowych).

- W zjawisku Dopplera dla fal elektromagnetycznych nie rozróżniamy przypadków, w których porusza się źródło fali i odbiorca – istotna jest jedynie ich szybkość względna v_{wzgl} , oznaczana w podręcznikach literą v . Możemy zastosować dokładne wzory relatywistyczne, opisujące związek między częstotliwością fali wysyłanej (ν) i odbieranej (ν') dla dowolnej szybkości względnej:

$$\nu' = \nu \sqrt{\frac{1 + \frac{v}{c}}{1 - \frac{v}{c}}} \quad (\text{gdy źródło i odbiorca zbliżają się do siebie})$$

$$\nu' = \nu \sqrt{\frac{1 - \frac{v}{c}}{1 + \frac{v}{c}}} \quad (\text{gdy źródło i odbiorca oddalają się od siebie})$$

Wzory te można zastąpić wzorami przybliżonymi, gdy $v \ll c$:

$$\nu' = \nu \left(1 + \frac{v}{c}\right) \quad (\text{gdy źródło i odbiorca zbliżają się do siebie})$$

$$\nu' = \nu \left(1 - \frac{v}{c}\right) \quad (\text{gdy źródło i odbiorca oddalają się od siebie})$$

W przypadku gdy $v \ll c$, możemy także oszacować ze wzoru przybliżonego $\frac{\Delta\lambda}{\lambda} \approx \frac{v}{c}$ względną zmianę długości fali odbieranej w stosunku do wysyłanej (patrz przykład 2).

- Szczególnie atrakcyjne wydają się tzw. wzory na relatywistyczne składanie prędkości:

$$u_{\text{wzgl}} = \frac{v_1 + v_2}{1 + \frac{v_1 v_2}{c^2}} \quad (\text{gdy zwroty prędkości są przeciwne})$$

$$u_{\text{wzgl}} = \frac{v_1 - v_2}{1 - \frac{v_1 v_2}{c^2}} \quad (\text{gdy zwroty prędkości są zgodne})$$

Wynika z nich, że dla v_1 i v_2 dowolnie zbliżonych do c szybkość względna cząstek nigdy nie osiąga wartości c (patrz przykład 3).

- Działająca na ciało siła $\vec{F}$ o kierunku prostopadłym do jego prędkości jest równa $\gamma m \vec{a}$, dlatego promień okręgu zataczanego przez naładowaną cząstkę relatywistyczną w jednorodnym polu magnetycznym oraz jej okres obiegu są także γ razy większe niż w przypadku cząstki klasycznej (której $v \ll c$) – patrz przykład 5.

- **Energii spoczynkową** każdego ciała o masie m wyrażamy wzorem $E_s = mc^2$. W różnego rodzaju publikowanych tekstach (głównie w artykułach popularnonaukowych) często zdarzają się nieścisłości i niedopowiedzenia na temat interpretacji tego wzoru. Opuszczanie wskaźnika „s” przy symbolu energii sugeruje, że mc^2 oznacza każdą energię ciała, w tym także energię całkowitą. Fałszywość tego przekonania staje się widoczna od razu, gdy spojrzymy na związek energii całkowitej E z pędem p ciała i jego masą m :

$$E^2 = p^2 c^2 + m^2 c^4 \quad (*)$$

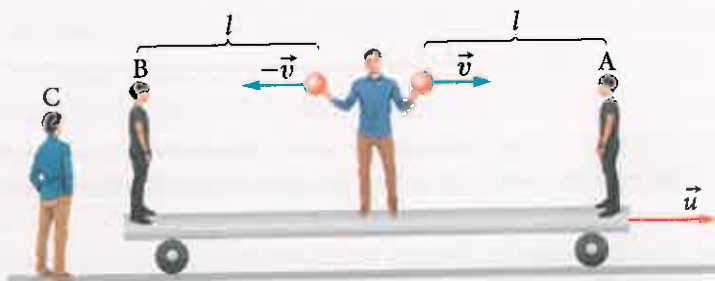
Z ostatniego wzoru wynika, że $E = mc^2$ tylko wtedy, gdy ciało spoczywa, tzn. jego pęd jest równy zeru. Energia spoczynkowa jest energią wewnętrzną ciała, która może mieć różne składniki (patrz przykład 6).

- Przez energię całkowitą E ciała swobodnego (cząstki swobodnej) w danym układzie odniesienia rozumiemy w szczególnej teorii względności sumę jego energii spoczynkowej i kinetycznej (ciało swobodne to takie, które nie oddziałuje z innymi ciałami, nie ma zatem energii potencjalnej) – patrz przykład 7.
- Zarówno pęd ciała, jak i jego energia kinetyczna (a więc i całkowita) dążą do nieskończoności w przypadku, gdy szybkość ciała dąży do skończonej wartości c . Energia kinetyczna cząstki naładowanej, przyspieszanej w polu elektrostatycznym, rośnie coraz gwałtowniej, ale jej szybkość nie wzrasta nieograniczenie (patrz przykłady 4 i 8).
- Wzór (*) stosuje się także do układu cząstek. Wynika z niego, że pojedynczy foton jest cząstką bezmasową, ale układ fotonów nie zawsze musi mieć masę równą zeru (patrz przykład 9). W szczególnej teorii względności masa nie jest wielkością addytywną, masa układu cząstek wzajemnie oddziałujących jest mniejsza od sumy ich mas. Będzie jeszcze o tym mowa w dziale *Fizyka jądrowa*.

Przykładowe rozwiązania zadań

Przykład 1 ➡ ułatwi rozwiązanie zadań 11.4 i 11.5

Z miejsca znajdującego się pośrodku jadącej po torach z prędkością $\vec{u}$ platformy wyrzucono jednocześnie poziomo dwie piłki z jednakowymi co do wartości prędkościami $\vec{v}$ i $-\vec{v}$ względem platformy. Szybkości u i v były niewielkie w porównaniu z c . Piłki zostaną złapane przez obserwatorów A i B, znajdujących się w jednakowych odległościach l od miejsc wyrzucenia piłek (rysunek).



Według obserwatorów A i B piłki dotrą do nich równocześnie po czasie $\Delta t = \frac{l}{v}$ od chwili wyrzucenia.

- Wyprowadź wzory na odstęp czasu Δt_A i Δt_B , upływające między chwilą wyrzucenia piłek i chwilami złapania ich przez A i B w układzie odniesienia obserwatora C, który jest nieruchomy względem torów. Przyjmij, że $v > u$.
- Sformułuj wniosek.

Dane: $v \ll c$; $u \ll c$; $v > u$; l

a) Szukane: Δt_A , Δt_B (wyprowadzenie wzorów)

Rozwiązanie:

Wyprowadzamy wzór na Δt_A .

Obserwator A ucieka przed piłką z szybkością u , więc w czasie Δt_A lecąc do niego piłka przebywa drogę $l + u \cdot \Delta t_A$. Piłka porusza się z szybkością $v + u$, bo została wyrzucona przez osobę, która w układzie odniesienia torów porusza się z prędkością $\vec{u}$ zwróconą zgodnie z $\vec{v}$.

$$\Delta t_A = \frac{l + u \cdot \Delta t_A}{v + u}$$

Po przekształceniu ostatniego wzoru otrzymujemy wynik:

$$\Delta t_A = \frac{l}{v}$$

Wyprowadzamy wzór na Δt_B .

Obserwator B zbliża się do lecącej w jego stronę piłki z szybkością u , więc w czasie Δt_B piłka przebywa drogę $l - u \cdot \Delta t_B$. Piłka w układzie torów porusza się z szybkością $v - u$, bo została wyrzucona przez osobę, która w tym układzie porusza się z prędkością $\vec{u}$ zwróconą przeciwnie do prędkości wyrzucanej piłki, a $v > u$.

$$\Delta t_B = \frac{l - u \cdot \Delta t_B}{v - u}$$

Po przekształceniu ostatniego wzoru otrzymujemy wynik:

$$\Delta t_B = \frac{l}{v}$$

b) Wniosek: Odstępy czasu między chwilą wyrzucenia piłek a chwilami ich złapania przez obserwatorów A i B są takie same (i równe $\frac{l}{v}$), tzn. piłki równocześnie wyrzucone dotrą do A i B równocześnie w obu układach odniesienia.

Przykład 2 ➡ ułatwi rozwiązanie zadań z rozdziału 12

Barwa światła w sposób dostrzegalny zmienia się z żółtej na czerwoną, gdy długość fali (w próżni) wzrośnie od 580 nm co najmniej do 650 nm.

a) Z dokładnego, relatywistycznego związku między v i v' oblicz minimalną szybkość, z którą oddala się od nas galaktyka, jeśli światło żółte (o częstotliwości ν), które jest przez nią wysyłane, obserwujemy jako czerwone (o częstotliwości ν').

b) Oszacuj tę szybkość dwoma sposobami: 1) z przybliżonego związku między v i v' oraz 2) z przybliżonego wzoru $\frac{\Delta \lambda}{\lambda} = \frac{v}{c}$.

Dane: $\lambda = 580 \text{ nm}$; $\lambda' = 650 \text{ nm}$

a) Szukane: obliczenie minimalnej szybkości v oddalania się galaktyk

Rozwiązanie:

$$v' = v \sqrt{\frac{1 - \frac{v}{c}}{1 + \frac{v}{c}}} \quad \frac{c}{\lambda'} = \frac{c}{\lambda} \sqrt{\frac{1 - \frac{v}{c}}{1 + \frac{v}{c}}} \quad \frac{\lambda}{\lambda'} = \sqrt{\frac{1 - \frac{v}{c}}{1 + \frac{v}{c}}}$$

$$\left(\frac{\lambda}{\lambda'}\right)^2 = \frac{1 - \frac{v}{c}}{1 + \frac{v}{c}} \quad \left(\frac{\lambda}{\lambda'}\right)^2 \left(1 + \frac{v}{c}\right) = 1 - \frac{v}{c} \quad \frac{v}{c} \left[1 + \left(\frac{\lambda}{\lambda'}\right)^2\right] = 1 - \left(\frac{\lambda}{\lambda'}\right)^2$$

$$v = c \frac{1 - \left(\frac{\lambda}{\lambda'}\right)^2}{1 + \left(\frac{\lambda}{\lambda'}\right)^2}$$

$$v = c \frac{1 - \left(\frac{58}{65}\right)^2}{1 + \left(\frac{58}{65}\right)^2} \approx c \frac{1 - 0,7962}{1 + 0,7962} = c \frac{0,2038}{1,7962} \approx 0,11346c$$

$$v \approx 3,40 \cdot 10^7 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

b) Szukane: oszacowanie minimalnej szybkości v oddalania się galaktyk

1) Z przybliżonego związku:

$$v' = v \left(1 - \frac{v}{c}\right) \quad \frac{1}{\lambda'} = \frac{1}{\lambda} \left(1 - \frac{v}{c}\right) \quad \frac{\lambda}{\lambda'} = 1 - \frac{v}{c}$$

$$\frac{v}{c} = 1 - \frac{\lambda}{\lambda'}$$

$$v = c \left(1 - \frac{58}{65}\right) = c \cdot \frac{7}{65} \approx 0,10769c$$

$$v \approx 3,23 \cdot 10^7 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

2) Z przybliżonego wzoru:

$$\frac{v}{c} = \frac{\Delta\lambda}{\lambda} \quad v = c \frac{\Delta\lambda}{\lambda} = c \cdot \frac{7}{58} \approx 0,12069c$$

$$v \approx 3,62 \cdot 10^7 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

Odpowiedź: Z dokładnego wzoru otrzymujemy wartość $v \approx 3,40 \cdot 10^7 \frac{\text{m}}{\text{s}}$; oszacowane wartości z wzorów przybliżonych to $v \approx 3,23 \cdot 10^7 \frac{\text{m}}{\text{s}}$ i $v \approx 3,62 \cdot 10^7 \frac{\text{m}}{\text{s}}$.

Przykład 3 ➔ ułatwi rozwiązanie zadań 13.4 i 13.5

Oblicz szybkość względną dwóch elektronów w przypadkach, gdy:

- pędzą naprzeciw siebie wzdłuż linii prostej z szybkościami $v_1 = v_2 = 0,90c$;
- poruszają się wzdłuż tej samej prostej z prędkościami $\vec{v}_1$ i $\vec{v}_2$ o takich samych zwrotach, przy czym $v_1 = 0,40c$ i $v_2 = 0,60c$. Czy w tej sytuacji elektrony zbliżają się do siebie, czy się oddalają?

c) Udowodnij, że ze wzoru $v_{wzgl} = \frac{v_1 + v_2}{1 + \frac{v_1 v_2}{c^2}}$, gdzie $v_1 < c$ i $v_2 < c$, wynika, iż zawsze $v_{wzgl} < c$.

a) Dane: $v_1 = v_2 = 0,90c$; zwroty $\vec{v}_1$ i $\vec{v}_2$ przeciwne

Szukane: v_{wzgl}

Rozwiązanie:

$$v_{wzgl} = \frac{v_1 + v_2}{1 + \frac{v_1 v_2}{c^2}} \quad v_{wzgl} = \frac{0,90c + 0,90c}{1 + 0,81} = \frac{1,80c}{1,81} \approx 0,99c$$

b) Dane: $v_1 = 0,40c$, $v_2 = 0,60c$; zwroty $\vec{v}_1$ i $\vec{v}_2$ zgodne

Szukane: v_{wzgl}

Rozwiązanie:

$$v_{wzgl} = \frac{v_2 - v_1}{1 - \frac{v_1 v_2}{c^2}} \quad v_{wzgl} = \frac{0,60c - 0,40c}{1 - 0,24} = \frac{0,20c}{0,76} \approx 0,26c$$

W tym przypadku elektrony mogą zarówno zbliżać się do siebie, jak i od siebie oddalać. Jeżeli szybszy elektron goni wolniejszy, to elektrony będą się do siebie zbliżać, w odwrotnej sytuacji będą się od siebie oddalać.

c) Dane: $v_{wzgl} = \frac{v_1 + v_2}{1 + \frac{v_1 v_2}{c^2}}$; $v_1 < c$; $v_2 < c$

Szukane: dowód, że $v_{wzgl} < c$

Rozwiązanie:

Obliczymy różnicę $c - v_{wzgl}$ i wykazemy, że różnica ta jest dodatnia.

$$c - v_{wzgl} = c - \frac{v_1 + v_2}{1 + \frac{v_1 v_2}{c^2}} = \frac{c + \frac{v_1 v_2}{c} - v_1 - v_2}{1 + \frac{v_1 v_2}{c^2}}$$

Licznik i mianownik ułamka mnożymy przez c i grupujemy odpowiednio wyrazy w liczniku.

$$\begin{aligned} c - v_{wzgl} &= \frac{c^2 + v_1 v_2 - c v_1 - c v_2}{c \left(1 + \frac{v_1 v_2}{c^2} \right)} = \frac{c^2 - c v_2 - (c v_1 - v_1 v_2)}{c \left(1 + \frac{v_1 v_2}{c^2} \right)} = \\ &= \frac{c(c - v_2) - v_1(c - v_2)}{c \left(1 + \frac{v_1 v_2}{c^2} \right)} = \frac{(c - v_2)(c - v_1)}{c \left(1 + \frac{v_1 v_2}{c^2} \right)} \end{aligned}$$

Mianownik otrzymanego ułamka jest dodatni. Gdy $v_1 < c$ i $v_2 < c$, to licznik jest także dodatni, więc:

$$c - v_{wzgl} > 0 \quad \Rightarrow \quad v_{wzgl} < c$$

Odpowiedź: W przypadku a) $v \approx 0,99c$, a w przypadku b) $v \approx 0,26c$ (elektrony mogą się zarówno do siebie zbliżać, jak i od siebie oddalać).

Przykład 4 ➔ ułatwi rozwiązanie zadań 14.1–14.3

Szybkość cząstki wzrosła dwukrotnie:

- a) od $0,10c$ do $0,20c$;
- b) od $0,20c$ do $0,40c$;
- c) od $0,40c$ do $0,80c$.

Oblicz, ile razy zwiększyła się wartość pędu cząstki w każdym z tych przypadków.

a) Dane: $v_1 = 0,10c$; $v_2 = 0,20c$

Szukane: $\frac{p_2}{p_1}$

Rozwiązanie:

$$p_2 = \frac{mv_2}{\sqrt{1 - \frac{v_2^2}{c^2}}} \quad p_1 = \frac{mv_1}{\sqrt{1 - \frac{v_1^2}{c^2}}}$$

$$\frac{p_2}{p_1} = \frac{v_2}{v_1} \cdot \frac{\sqrt{1 - \frac{v_1^2}{c^2}}}{\sqrt{1 - \frac{v_2^2}{c^2}}}$$

$$\frac{p_2}{p_1} = 2 \sqrt{\frac{1 - 0,01}{1 - 0,04}} = 2 \sqrt{\frac{0,99}{0,96}} \approx 2,03$$

b) Dane: $v_3 = 0,20c$; $v_4 = 0,40c$

Szukane: $\frac{p_4}{p_3}$

Rozwiązanie:

Postępujemy podobnie jak w przypadku a) i otrzymujemy:

$$\frac{p_4}{p_3} = \frac{v_4}{v_3} \cdot \frac{\sqrt{1 - \frac{v_3^2}{c^2}}}{\sqrt{1 - \frac{v_4^2}{c^2}}}$$

$$\frac{p_4}{p_3} = 2 \sqrt{\frac{1 - 0,04}{1 - 0,16}} = 2 \sqrt{\frac{0,96}{0,84}} \approx 2,14$$

c) Dane: $v_5 = 0,40c$; $v_6 = 0,80c$

Szukane: $\frac{p_6}{p_5}$

Rozwiązanie:

$$\frac{p_6}{p_5} = \frac{v_6}{v_5} \sqrt{\frac{1 - 0,16}{1 - 0,64}} = 2 \sqrt{\frac{0,84}{0,36}} \approx 3,06$$

Odpowiedź: W przypadku a) wartość pędu wzrosła około 2,03 razy, w przypadku b) – około 2,14 razy, a w przypadku c) – około 3,06 razy.

Przykład 5 ➔ ułatwi rozwiązanie zadań 14.4 i 14.5

Naładowana cząstka wpada w obszar jednorodnego pola magnetycznego z szybkością $v \ll c$ i po zakreśleniu w nim półokręgu opuszcza pole po czasie t . Gdy ta sama cząstka wpada w to samo pole magnetyczne z szybkością zbliżoną do c (cząstka relatywistyczna), po zakreśleniu półokręgu opuszcza pole po czasie $4t$.

a) Oblicz iloraz $\frac{v}{c}$ dla tej cząstki relatywistycznej.

b) Zidentyfikuj cząstkę, jeśli wartość jej pędu w przypadku relatywistycznym jest równa około $3,9 \cdot 10^{-18} \frac{\text{kg} \cdot \text{m}}{\text{s}}$.

a) Dane: w przypadku cząstki klasycznej: t ; w przypadku cząstki relatywistycznej: $4t$

Szukane: $\frac{v}{c}$ w przypadku cząstki relatywistycznej

Rozwiązanie:

W przypadku cząstki klasycznej (której szybkość $v \ll c$) o ładunku q promień półokręgu zakreślanego w jednorodnym polu magnetycznym o indukcji $\vec{B}$:

$$r = \frac{mv}{qB}$$

a okres obiegu:

$$T = \frac{2\pi m}{qB}$$

W przypadku cząstki relatywistycznej (której szybkość v jest zbliżona do c) drugą zasadę dynamiki możemy zapisać następująco:

$$\vec{F} = \frac{d\vec{p}}{dt} = \frac{d}{dt}(\gamma m \vec{v}) = \gamma m \frac{d\vec{v}}{dt} = \gamma m \vec{a}$$

gdyż siła magnetyczna Lorentza nie zmienia wartości prędkości cząstki, więc czynnik Lorentza γ pozostaje stały. Przyspieszenie $\vec{a}$ jest przyspieszeniem dośrodkowym, czyli jego wartość $a = \frac{v^2}{r}$.

$$\gamma m \frac{v^2}{r} = qvB$$

stąd promień zakreślanego okręgu:

$$r_{\text{rel}} = \frac{\gamma mv}{qB}$$

a okres obiegu:

$$T_{\text{rel}} = \gamma \frac{2\pi m}{qB}$$

Wobec tego:

$$T_{\text{rel}} = \gamma T$$

czyli:

$$4t = \gamma t \quad \Rightarrow \quad \gamma = 4$$

$$\frac{1}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} = 4 \quad 1 = 16 \left(1 - \frac{v^2}{c^2}\right) \quad \frac{16v^2}{c^2} = 15$$

$$\frac{v}{c} = \frac{\sqrt{15}}{4} \approx \frac{3,873}{4} \approx 0,97$$

Cząstka jest więc ultrarelatywistyczna.

b) Dane: $\gamma = 4$; $p \approx 3,9 \cdot 10^{-18} \frac{\text{kg} \cdot \text{m}}{\text{s}}$; $v \approx 0,97c$

Szukane: identyfikacja cząstki (m)

Rozwiązanie:

$$p = \gamma m v \Rightarrow m = \frac{p}{\gamma v}$$

$$m \approx \frac{3,9 \cdot 10^{-18} \frac{\text{kg} \cdot \text{m}}{\text{s}}}{4 \cdot 0,97 \cdot 3 \cdot 10^8 \frac{\text{m}}{\text{s}}} = \frac{3,9}{12 \cdot 0,97} \cdot 10^{-26} \text{ kg}$$

$$m \approx 3,35 \cdot 10^{-27} \text{ kg}$$

Obliczona masa jest w przybliżeniu dwa razy większa od masy protonu, cząstką jest więc deuteron (jądro ciężkiego wodoru).

Odpowiedź: Cząstka, której okres obiegu w polu magnetycznym jest cztery razy większy niż cząstki klasycznej, jest cząstką ultrarelatywistyczną: $\frac{v}{c} \approx 0,97$. Cząstka o podanej wartości pędu to deuteron.

Przykład 6 ➡ ułatwi rozwiązanie zadań 15.4 i 15.5

W zadaniu 9.12 jest mowa o wolframowej anodzie lampy rentgenowskiej, której temperatura podczas pracy lampy wzrosła od 20°C do temperatury topnienia, tj. do 3350°C . Oblicz, o ile procent wzrosła masa anody. Średnie ciepło właściwe wolframu jest równe $180 \frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot \text{K}}$.

Dane: $t_0 = 20^\circ\text{C}$; $t = 3350^\circ\text{C}$; $c_w = 180 \frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot \text{K}}$

Szukane: $\frac{\Delta m}{m}$ w procentach

Rozwiązanie:

Podczas pracy lampy rentgenowskiej kosztem części energii elektronów (energii hamowania) wzrosła energia wewnętrzna anody. Przyrost energii jest równoważny ciepłu, które należałoby dostarczyć podczas wzrostu temperatury anody.

$$\Delta U = Q = c_w m \Delta T \quad (\Delta T = \Delta t)$$

Przyrost energii wewnętrznej ciała to przyrost jego energii spoczynkowej, a zatem:

$$\Delta m = \frac{\Delta E_s}{c^2} = \frac{\Delta U}{c^2} = \frac{c_w m \Delta T}{c^2}$$

$$\frac{\Delta m}{m} = \frac{c_w \Delta T}{c^2}$$

$$\frac{\Delta m}{m} = \frac{180 \frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot \text{K}} \cdot 3330 \text{ K}}{9 \cdot 10^{16} \frac{\text{m}^2}{\text{s}^2}} = \frac{599400}{9} \cdot 10^{-16} \approx 7 \cdot 10^{-12}$$

$$\frac{\Delta m}{m} \approx 7 \cdot 10^{-10}\%$$

Odpowiedź: Masa anody wzrosła w przybliżeniu o $7 \cdot 10^{-10}\%$.

Przykład 7 ➔ ułatwi rozwiązanie prawie wszystkich zadań z rozdziału 15

Dla cząstki o masie m wyprowadź związek między:

- a) wartością jej pędu,
- b) energią kinetyczną,
- c) energią całkowitą

a masą m i szybkością światła c , gdy czynnik Lorentza $\gamma = 3$.

Dane: $\gamma = 3$

a) Szukane: $p(m, c)$

Rozwiązanie:

$$p = \gamma mv$$

Znajdujemy związek $v(\gamma)$.

$$\gamma = \frac{1}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} \quad \gamma^2 = \frac{1}{1 - \frac{v^2}{c^2}} \quad \gamma^2 \left(1 - \frac{v^2}{c^2}\right) = 1 \quad \gamma^2 \frac{v^2}{c^2} = \gamma^2 - 1$$

$$v = \frac{c}{\gamma} \sqrt{\gamma^2 - 1}$$

$$p = \gamma m \frac{c}{\gamma} \sqrt{\gamma^2 - 1} = mc \sqrt{\gamma^2 - 1}$$

$$p = \sqrt{9 - 1} mc = \sqrt{8} mc$$

b) Szukane: $E_k(m, c)$

Rozwiązanie:

$$E_k = (\gamma - 1)mc^2$$

$$E_k = 2mc^2$$

c) Szukane: $E(m, c)$

Rozwiązanie:

$$E = \gamma mc^2$$

$$E = 3mc^2$$

Odpowiedź: Dla $\gamma = 3$: $p = \sqrt{8} mc$, $E_k = 2mc^2$, $E = 3mc^2$.

Przykład 8 ⇒ ułatwi rozwiązanie zadań: 15.10; 15.12; 15.13; 16.1–16.3

Elektron ma energię całkowitą $E = 0,1 \text{ GeV}$, a jego energia spoczynkowa $E_s = 0,511 \text{ MeV}$.

- Wyprowadź wzór na wartość prędkości elektronu.
- Wyprowadź wzór na wartość pędu elektronu.
- Oblicz wartości prędkości i pędu elektronu.

Dane: $E = 0,1 \text{ GeV}$; $E_s = 0,511 \text{ MeV}$

a) Szukane: $v(E, E_s)$

Rozwiązanie:

$$E = \gamma mc^2 = \gamma E_s \Rightarrow \gamma = \frac{E}{E_s}$$

Wyrażamy szybkość elektronu przez czynnik Lorentza γ , tak jak w przykładzie 7:

$$v = \frac{c}{\gamma} \sqrt{\gamma^2 - 1}$$

$$v = \frac{c}{\frac{E}{E_s}} \sqrt{\left(\frac{E}{E_s}\right)^2 - 1} = \frac{cE_s}{E} \sqrt{\frac{E^2}{E_s^2} - 1} = c \sqrt{1 - \frac{E_s^2}{E^2}}$$

b) Szukane: $p(E, E_s)$

Rozwiązanie:

Korzystamy ze znalezionej zależności $v(E, E_s)$ w punkcie a) rozwiązania:

$$v = c \sqrt{1 - \frac{E_s^2}{E^2}}$$

Do wzoru $p = \gamma mv$ podstawiamy γ i v wyrażone przez energię całkowitą i energię spoczynkową elektronu.

$$p = \frac{E}{E_s} \cdot m \cdot c \sqrt{1 - \frac{E_s^2}{E^2}}$$

Ponieważ $E_s = mc^2$, to:

$$p = \frac{E}{c} \sqrt{1 - \frac{E_s^2}{E^2}} = \frac{1}{c} \sqrt{E^2 - E_s^2}$$

Uwaga: Szukany wzór można też wyprowadzić ze związku między energią całkowitą cząstki swobodnej a jej pędem i masą.

$$E^2 = p^2 c^2 + m^2 c^4$$

$$p^2 c^2 = E^2 - m^2 c^4 = E^2 - E_s^2$$

$$p = \frac{1}{c} \sqrt{E^2 - E_s^2}$$

c) Szukane: v i p

Rozwiązanie:

$$\frac{E_s}{E} = \frac{0,511 \text{ MeV}}{0,1 \text{ GeV}} = \frac{0,511 \text{ MeV}}{0,1 \cdot 10^3 \text{ MeV}} = \frac{0,511}{100}$$

Obliczamy wartość prędkości elektronu.

$$v = c \cdot \sqrt{1 - \frac{0,261121}{10\,000}} = c \cdot \sqrt{1 - 0,0000261121} \approx c \cdot \sqrt{0,999973888} \approx 0,999987c$$

Gdy za szybkość światła w próżni podstawimy dokładną, przyjętą obecnie z definicji wartość $c = 299\,796,458 \text{ km/s}$, to otrzymamy wynik:

$$v \approx 299\,792,561 \frac{\text{km}}{\text{s}}$$

Obliczamy wartość pędu elektronu.

$$p = \frac{1}{3 \cdot 10^8 \frac{\text{m}}{\text{s}}} \cdot \sqrt{(0,1 \cdot 10^3 \text{ MeV})^2 - (0,511 \text{ MeV})^2} \approx \frac{99,999 \text{ MeV}}{3 \cdot 10^8 \frac{\text{m}}{\text{s}}} \approx$$

$$\approx 33,3 \frac{\text{s}}{\text{m}} \cdot 10^{-8} \cdot 1,6 \cdot 10^{-13} \text{ J}$$

$$p \approx 5,3 \cdot 10^{-20} \frac{\text{kg} \cdot \text{m}}{\text{s}}$$

Odpowiedź: Szybkość i wartość pędu elektronu wyrażone są wzorami: $v = c \sqrt{1 - \frac{E_s^2}{E^2}}$,

$p = \frac{1}{c} \sqrt{E^2 - E_s^2}$. Szybkość elektronu o energii całkowitej równej $0,1 \text{ GeV}$ jest równa $v \approx 299\,792,561 \frac{\text{km}}{\text{s}}$, a wartość jego pędu $p \approx 5,3 \cdot 10^{-20} \frac{\text{kg} \cdot \text{m}}{\text{s}}$. Taki elektron jest ultrarelatywistyczny.

Przykład 9 ➡ ułatwi rozwiązanie zadań 16.5–16.7

Układ fotonów stanowią dwie monochromatyczne wiązki światła wysłane w przeciwnne strony. Wiązka wysłana zgodnie ze zwrotem osi x zawiera n_1 fotonów o pędzie $\vec{p}_1$ każdy, a wiązka biegnąca w przeciwną stronę zawiera n_2 fotonów o pędzie $\vec{p}_2$ każdy. Wyprowadź wzór na wartość pędu układu, jego energię i masę, jeśli $n_1 p_1 > n_2 p_2$. Podaj zwrot pędu układu.

Dane: n_1 ; $\vec{p}_1$; n_2 ; $\vec{p}_2$ (zwroty $\vec{p}_1$ i $\vec{p}_2$ przeciwnne)

Szukane: $\vec{p}_u$; E_u ; m_u

Rozwiązanie:

Związek między energią, pędem i masą stosuje się także do układu cząstek:

$$E_u^2 = p_u^2 c^2 + m_u^2 c^4 \quad (*)$$

Pęd układu fotonów:

$$\vec{p}_u = n_1 \vec{p}_1 + n_2 \vec{p}_2$$

a wartość pędu układu:

$$p_u = n_1 p_1 - n_2 p_2$$

Energia układu fotonów:

$$E_u = n_1 E_1 + n_2 E_2$$

gdzie:

$$E_1 = h\nu_1 = \frac{hc}{\lambda_1} = p_1 c$$

$$E_2 = h\nu_2 = \frac{hc}{\lambda_2} = p_2 c$$

$$E_u = n_1 p_1 c + n_2 p_2 c = c(n_1 p_1 + n_2 p_2)$$

Ze wzoru (*) obliczamy masę układu:

$$m_u = \frac{1}{c^2} \sqrt{E_u^2 - p_u^2 c^2}$$

Podstawiamy wyznaczone wcześniej wartości E_u oraz p_u i otrzymujemy:

$$\begin{aligned} m_u &= \frac{1}{c^2} \sqrt{c^2 (n_1 p_1 + n_2 p_2)^2 - (n_1 p_1 - n_2 p_2)^2 c^2} = \\ &= \frac{1}{c} \sqrt{n_1^2 p_1^2 + n_2^2 p_2^2 + 2n_1 n_2 p_1 p_2 - n_1^2 p_1^2 - n_2^2 p_2^2 + 2n_1 n_2 p_1 p_2} = \\ &= \frac{1}{c} \sqrt{4n_1 n_2 p_1 p_2} = \frac{2}{c} \sqrt{n_1 n_2 p_1 p_2} \end{aligned}$$

Odpowiedź: Wartość pędu układu $p_u = n_1 p_1 - n_2 p_2$; pęd układu $\vec{p}_u$ jest zwrócony zgodnie ze zwrotem osi x . Energia układu $E_u = c(n_1 p_1 + n_2 p_2)$. Masa układu

$$m_u = \frac{2}{c} \sqrt{n_1 n_2 p_1 p_2}.$$

11 Szybkość światła w różnych inercjalnych układach odniesienia

Zadanie 11.1

Oceń prawdziwość poniższych zdań. Wskaż P, jeśli zdanie jest prawdziwe, albo F, jeśli jest fałszywe.

1.	Transformacje Galileusza stosuje się w przypadku, gdy ciała poruszają się z szybkościami zbliżonymi do szybkości światła c .	P	F
2.	Zgodnie z transformacjami Galileusza szybkość względna dwóch ciał, które zbliżają się do siebie z szybkościami v_1 i v_2 , jest równa sumie tych szybkości.	P	F
3.	Zgodnie z zasadą względności Galileusza we wszystkich inercjalnych układach odniesienia obowiązują takie same prawa mechaniki.	P	F
4.	Szybkość światła w próżni nie zależy od szybkości źródła, a jedynie od szybkości obserwatora, który mierzy tę szybkość.	P	F

Zadanie 11.2

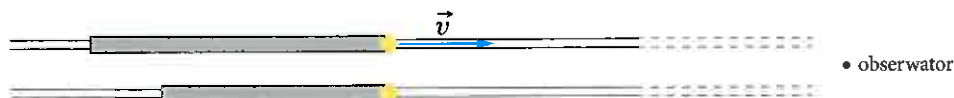
Oceń prawdziwość poniższych zdań. Wskaż P, jeśli zdanie jest prawdziwe, albo F, jeśli jest fałszywe.

1.	W układach inercjalnych poruszających się względem siebie z dowolnie dużymi szybkościami czas płynie jednakowo.	P	F
2.	Czas płynie jednakowo we wszystkich układach inercjalnych poruszających się względem siebie z szybkościami znacznie mniejszymi od c .	P	F
3.	Konsekwencją postulatów Einsteina o niezależności szybkości światła od układu odniesienia jest fakt, że dwa zdarzenia jednoczesne w jednym układzie inercjalnym nie są jednoczesne w innym.	P	F

Zadanie 11.3

Obecnie pociągi mogą osiągać szybkości dochodzące do 600 km/h.

Obserwator, który stoi w pewnej odległości od zbliżającego się pierwszego pociągu, obserwuje jego ruch w chwili mijania drugiego, będącego w spoczynku. W chwili, gdy czoła pociągów znajdują się w tej samej odległości od obserwatora, z obu pojazdów zostają (równocześnie) wysłane dwa błyski światła (rysunek).



Uzupełnij zdanie właściwym stwierdzeniem, wybranym spośród 1–2, oraz jego poprawnym uzasadnieniem, wybranym spośród A–C.

Obserwator dostrzeże

1.	oba błyski równocześnie,	ponieważ	A.	błysk wysłany przez pędzący pociąg porusza się szybciej (prędkość światła dodaje się do prędkości pociągu).
			B.	w każdym przypadku światło będzie się poruszało z taką samą szybkością.
2.	wcześniej błysk wysłany przez pędzący pociąg,		C.	błyski poruszają się z takimi samymi szybkościami, ale błysk dochodzący z pędzącego pociągu ma do przebycia krótszą drogę.

Zadanie 11.4

Na końcach długiej platformy, poruszającej się z prędkością $\vec{u}$ względem podłoża, znajdują się dwaj pasażerowie A i B (patrz rysunek w przykładzie 1). Człowiek znajdujący się na środku platformy wyrzuca równocześnie piłki w prawo i w lewo z prędkościami $\vec{v}$ i $-\vec{v}$ względem układu odniesienia związanego z platformą. Obserwator C jest nieruchomy względem podłoża. Wartości wszystkich prędkości są znacznie mniejsze od c i $v > u$.

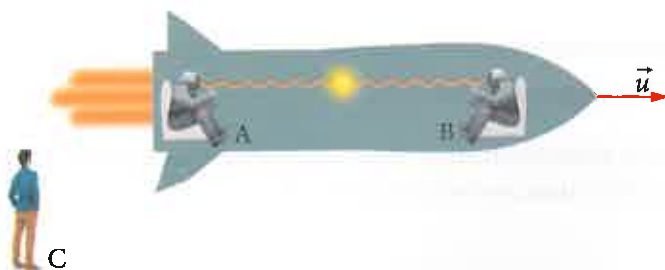
Wskaż poprawne dokończenie zdania.

Pasażerowie A i B złapią piłki

- A. równocześnie zarówno w układzie odniesienia związanym z platformą, jak i w układzie związanym z podłożem.
- B. równocześnie w układzie odniesienia platformy, ale nierównocześnie według obserwatora C związanego z podłożem.
- C. równocześnie w układzie odniesienia związanym z podłożem (obserwator C), a nierównocześnie w układzie odniesienia platformy.
- D. nierównocześnie zarówno w układzie odniesienia platformy, jak i w układzie odniesienia podłoża.

Zadanie 11.5

Na końcach rakiety pędzącej z prędkością $\vec{u}$ względem Ziemi znajdują się dwaj pasażerowie A i B (rysunek). Ze źródła światła położonego dokładnie w środku rakiety (w jednakowych odległościach od A i B) wysyłane są równocześnie błyski światła w prawo i w lewo. Obserwator C jest nieruchomy względem Ziemi.



Wskaż poprawne dokończenie zdania.

Błyski światła dotrą do pasażerów A i B

- A. równocześnie zarówno w układzie odniesienia związanym z rakieta, jak i z Ziemią.
- B. równocześnie w układzie odniesienia rakiety, ale nierównocześnie według obserwatora C na Ziemi.
- C. równocześnie w układzie odniesienia związanym z Ziemią (obserwator C), a nierównocześnie w układzie odniesienia rakiety.
- D. nierównocześnie zarówno w układzie odniesienia rakiety, jak i w układzie odniesienia Ziemi.

Poniższy tekst odnosi się do zadań 11.6–11.9. Należy go przestudiować przed przystąpieniem do ich rozwiązywania.

Ze względu na to, że w różnych inercjalnych układach odniesienia czas płynie niejednakowo, odstęp czasu Δt , upływający między danymi dwoma zdarzeniami zachodzącymi w układzie odniesienia w tym samym miejscu, **nie jest taki sam** jak czas $\Delta t'$, który upływa między tymi samymi zdarzeniami w innym układzie inercjalnym.

Załóżmy, że Bartek siedzi w swoim pokoju, z którym związany jest układ odniesienia U, i czyta książkę. Zdarzenie początkowe to otwarcie książki, zdarzenie końcowe to jej zamknięcie, a odstęp czasu między tymi zdarzeniami (czyli czas czytania) $\Delta t = 0,5$ h. Jacek, kolega Bartka – obserwator w układzie U' , który porusza się względem Bartka z szybkością v , mierzy na swoim zegarze czas czytania książki i stwierdza, że Bartek czytał ją w czasie $\Delta t'$, dłuższym niż 0,5 h!

$$\Delta t' > \Delta t$$

Prawdziwy jest związek:

$$\Delta t' = \gamma \Delta t = \frac{\Delta t}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$$

Czas Δt nazywamy **czasem własnym** trwania zjawiska – jest to czas zmierzony w tym układzie odniesienia, w którym początek i koniec zjawiska **następuje w tym samym miejscu**. Czas ten jest zawsze najkrótszy.

Zadanie 11.6

Odpowiedz na pytanie:

Czy położenia Bartka zmierzone w układzie odniesienia Jacka w chwilach otwierania i zamykania książki (x'_0 i x') są jednakowe?

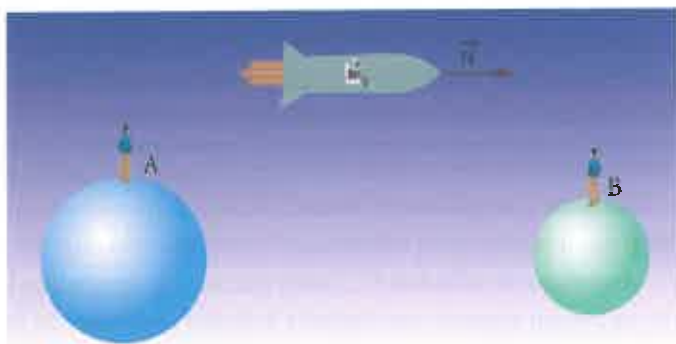
Po udzieleniu odpowiedzi wyjaśnij, dlaczego czasu $\Delta t'$ nie możemy uznać za czas własny trwania opisywanego zjawiska.

Zadanie 11.7

Nietrwała cząstka promieniowania kosmicznego pędzi w stronę Ziemi z szybkością $0,5c$. Czas życia cząstki zmierzony na Ziemi jest równy $2,2 \mu\text{s}$. Oblicz czas życia cząstki w jej własnym układzie odniesienia.

Zadanie 11.8

Rakieta poruszająca się z prędkością $\vec{v}$ o wartości $0,8c$ mijała kolejno dwie planety: A i B (rysunek). Zakładamy, że w tym czasie planety pozostawały w spoczynku. Obserwatorzy znajdujący się na planetach zmierzili na swoich zegarach czas, który minął od chwili, gdy rakieta przeleciała w pobliżu planety A, do chwili, kiedy przeleciała w pobliżu planety B: $\Delta t_A = \Delta t_B$. Pasażer rakiety stwierdził, że w jego układzie odniesienia czas ten był równy Δt_r .



- Zapisz, z jaką prędkością poruszały się planety w układzie odniesienia związanym z rakietą.
- Rozstrzygnij, który z podanych czasów jest czasem własnym; uzasadnij swoją odpowiedź.
- Zapisz związek między Δt_A i Δt_r .
- Oblicz v , gdy czas własny jest dwa razy krótszy od czasu zmierzonego w drugim układzie odniesienia.

Zadanie 11.9

Doświadczalnym faktem potwierdzającym, że czas w różnych układach odniesienia nie płynie tak samo, jest możliwość detekcji na Ziemi mionów powstałych w górnych warstwach atmosfery z promieniowania kosmicznego. Mion jest cząstką nietrwałą, która po czasie $2,2 \mu\text{s}$ rozpada się na elektron i dwie inne, lżejsze cząstki (neutrino). Czas życia mionu mierzony w układzie odniesienia, w którym mion się porusza, jest dłuższy niż czas mierzony w układzie, w którym spoczywa. Dlatego miony z promieniowania kosmicznego zdążą przebyć grubą warstwę atmosfery i dotrzeć do powierzchni Ziemi.

Oceń prawdziwość poniższych zdań. Wskaż P, jeśli zdanie jest prawdziwe, albo F, jeśli jest fałszywe.

1.	Czas w układzie odniesienia związanym z mionem poruszającym się względem Ziemi z prędkością bliską prędkości światła płynie szybciej niż w układzie odniesienia związanym z Ziemią.	P	F
2.	Rozpadowi może ulec tylko mion spoczywający względem Ziemi.	P	F
3.	Jeśli mion porusza się względem Ziemi, to Ziemia porusza się względem mionu.	P	F
4.	Mion poruszający się w stronę Ziemi nie może osiągnąć prędkości c , ponieważ ma niezerową masę.	P	F
5.	Gdyby czas życia mionu poruszającego się z szybkością bliską szybkości światła był taki sam jak mionu spoczywającego, to mion powstały w górnych warstwach atmosfery nie doleciałby do Ziemi, tylko rozpadłby się po drodze.	P	F
6.	W układzie odniesienia związanym z mionem jego czas życia jest dłuższy niż 2,2 μs .	P	F

12 Zjawisko Dopplera dla fal elektromagnetycznych

Zadanie 12.1

Z Ziemi zaobserwowano układ podwójny gwiazd A i B krążących wokół środka masy. Widmo światła gwiazdy A jest przesunięte w stronę fal krótkich (ku fioletowi), a gwiazdy B – w stronę fal długich (ku czerwieni).

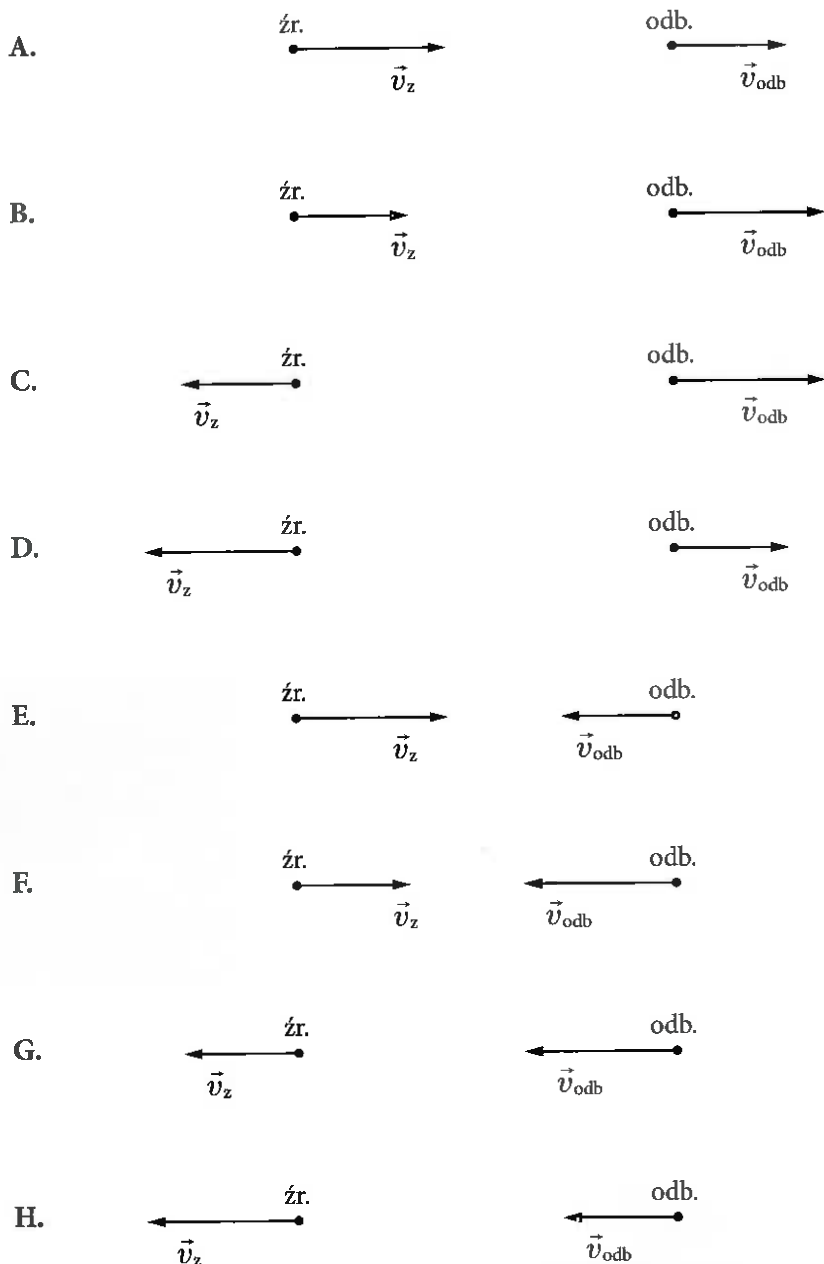


Oceń prawdziwość poniższych zdań. Wskaż P, jeśli zdanie jest prawdziwe, albo F, jeśli jest fałszywe.

1.	Gwiazda A na pewno znajduje się bliżej Ziemi niż gwiazda B.	P	F
2.	Gwiazda A zbliża się do Ziemi, a gwiazda B oddala się od Ziemi.	P	F
3.	Obie gwiazdy oddalają się od Ziemi, ale gwiazda B z większą szybkością.	P	F
4.	Zmianę długości fal świetlnych można wytłumaczyć na podstawie zjawiska Dopplera.	P	F
5.	Zmianę długości fal świetlnych można wytłumaczyć zmniejszaniem się natężenia promieniowania świetlnego wraz ze wzrostem odległości.	P	F

Zadanie 12.2

Na rysunkach A–H przedstawiono osiem przypadków ruchu źródła fali elektromagnetycznej i odbiornika.



Do każdego przypadku dobierz właściwy wzór, wybrany spośród 1–6. Podane wzory pozwalają obliczyć częstotliwość ν' fali odbieranej, gdy v_{odb} i v_z są znacznie mniejsze od szybkości światła c .

1. $v' = v \left(1 + \frac{v_z - v_{\text{odb}}}{c} \right)$

4. $v' = v \left(1 - \frac{v_{\text{odb}} - v_z}{c} \right)$

2. $v' = v \left(1 - \frac{v_z - v_{\text{odb}}}{c} \right)$

5. $v' = v \left(1 + \frac{v_z + v_{\text{odb}}}{c} \right)$

3. $v' = v \left(1 + \frac{v_{\text{odb}} - v_z}{c} \right)$

6. $v' = v \left(1 - \frac{v_z + v_{\text{odb}}}{c} \right)$

Zadanie 12.3

Źródło wysyła falę elektromagnetyczną o częstotliwości $6,00 \cdot 10^{14}$ Hz. Szybkość źródła wynosi $0,012c$, a szybkość obserwatora to $0,003c$. Oblicz częstotliwość fali odbieranej przez obserwatora w przypadkach D, F i H z poprzedniego zadania.

Zadanie 12.4

Rakieta kosmiczna, która oddala się od Ziemi z szybkością $0,04c$, wysyła w kierunku naszej planety sygnały radiowe o częstotliwości 20 MHz.

- Oblicz częstotliwość sygnałów odbieranych na Ziemi.
- Oblicz, o ile i jak różni się długość fali odbieranej na Ziemi od długości fali, na której pracuje nadajnik rakiety.

13**Maksymalna szybkość przekazu informacji****Zadanie 13.1**

Pewien czytelnik po zapoznaniu się z zasadą przyczynowości sformułował następujące zdanie:

Wcześniejsze wystąpienie zdarzenia A przed zdarzeniem B jest warunkiem koniecznym i wystarczającym, aby B mogło być skutkiem A.

Oceń prawdziwość tego zdania i napisz do swojej odpowiedzi objaśniający komentarz.

Zadanie 13.2

Oceń prawdziwość poniższych zdań, opisujących zasadę przyczynowości, jej ograniczenia i konsekwencje. Wskaż P, jeśli zdanie jest prawdziwe, albo F, jeśli jest fałszywe.

1.	Zgodnie z zasadą przyczynowości tylko zjawiska późniejsze mogą być skutkiem zjawisk wcześniejszych.	P	F
2.	Ograniczenie zasady przyczynowości polega na tym, że nie każde zjawisko wcześniejsze może mieć wpływ na późniejsze.	P	F
3.	Informacja rozchodzi się w przestrzeni z nieskończoną szybkością.	P	F
4.	Jeśli dwa zdarzenia 1 i 2 zaszły w miejscach odległych od siebie o d , to zdarzenie późniejsze 2 mogło być skutkiem zdarzenia 1 pod warunkiem, że zdarzenie 2 nastąpiło później co najmniej o $2d/c$.	P	F

Zadanie 13.3

Oceń prawdziwość poniższych zdań. Wskaż P, jeśli zdanie jest prawdziwe, albo F, jeśli jest fałszywe.

1.	Gdyby prędkość światła w próżni miała wartość 300 000 km/h, to wiele obiektów, np. cząstki promieniowania kosmicznego, miałyby prędkość od niego większą.	P	F
2.	Szybkość światła jest taka sama dla obserwatora spoczywającego, jak dla obserwatora zbliżającego się z dużą szybkością do źródła światła.	P	F
3.	Żaden obiekt posiadający masę nie może osiągnąć szybkości, z jaką porusza się światło.	P	F
4.	Każdą gwiazdę, którą oglądamy na nocnym niebie, widzimy tak, jak wyglądała w przeszłości, a nie jak wygląda dziś.	P	F
5.	Zgodnie z prawem Hubble'a szybkości ucieczki najbliższych galaktyk są bliskie szybkości światła.	P	F

Zadanie 13.4

Dwa protony pędzą naprzeciw siebie z szybkościami zbliżonymi do c . Ich szybkość względna jest równa $0,80c$. Oblicz szybkość v_1 jednego protonu, jeśli wartość prędkości drugiego $v_2 = 0,20c$.

Zadanie 13.5

Dwie rakiety poruszają się w przeciwnne strony wzdłuż tej samej prostej z jednakowymi szybkościami $v = 0,80c$. Oblicz szybkość jednej rakiety zmierzoną przez obserwatora znajdującego się w drugiej rakiecie.

14 Pęd relatywistyczny

Zadanie 14.1

Oceń prawdziwość poniższych zdań. Wskaż P, jeśli zdanie jest prawdziwe, albo F, jeśli jest fałszywe.

1.	Wartość pędu cząstki relatywistycznej rośnie nieliniowo wraz ze wzrostem jej szybkości.	P	F
2.	Ze wzoru $\vec{p} = m\vec{v}$ nie można obliczać pędu ciała poruszającego się z prędkością o wartości zbliżonej do c .	P	F
3.	W przypadku cząstki poruszającej się z szybkością $v \ll c$ nie można stosować wzoru na pęd relatywistyczny.	P	F
4.	Maksymalny pęd, jaki może osiągnąć cząstka o masie m przyspieszana w polu elektrostatycznym, ma wartość mc .	P	F

Zadanie 14.2

Uzupełnij w tabeli brakujące wartości wielkości fizycznych dla cząstki o masie m .

Wielkość fizyczna	1	2	3	4
wartość prędkości v	$0,25c$			
wartość pędu klasycznego p_{kl}		$0,35mc$		
wartość pędu relatywistycznego p_{rel}			$0,44mc$	
iloraz p_{rel}/p_{kl}				$1,12$

Zadanie 14.3

Spoczywający początkowo elektron, przyspieszony w polu elektrostatycznym, uzyskał prędkość o wartości $v = 0,25c$.

- Oblicz wartość pędu elektronu według wzoru klasycznego i relatywistycznego.
- Wyprowadź wzór na błąd względny, jaki popełniamy, gdy stosujemy wzór $p = mv$ zamiast wzoru na wartość pędu relatywistycznego. Oblicz ten błąd i wyraż go w procentach.

Zadanie 14.4

Relatywistyczna cząstka o masie dwa razy większej od masy protonu i o ładunku równym ładunkowi protonu zatacza z szybkością $v = 0,4c$ okrąg w jednorodnym polu magnetycznym, którego indukcja ma wartość $B = 0,2 \text{ T}$.

- Oblicz wartość pędu cząstki.
- Wyprowadź wzór na częstotliwość, z którą cząstka obiega okrąg.
- Oblicz tę częstotliwość.

Zadanie 14.5

Relatywistyczny proton wpada w obszar pola magnetycznego z prędkością prostopadłą do linii pola, zakreśla w nim półokrąg i opuszcza pole. Wartość pędu protonu jest równa $8 \cdot 10^{-20} \text{ kg} \cdot \frac{\text{m}}{\text{s}}$, a wartość indukcji pola magnetycznego wynosi $1,3 \text{ T}$.

- Wyprowadź wzór na iloraz $\frac{v}{c}$ dla protonu i oblicz wartość tego ilorazu.
- Oblicz promień półokręgu, który proton zakreśli w polu magnetycznym.
- Oblicz czas przebywania protonu w polu magnetycznym.

Zadanie 14.6

Oblicz długość fali de Broglie'a elektronu poruszającego się z szybkością $0,6c$.

15 Masa i energia w fizyce relatywistycznej

Zadanie 15.1

Utwórz prawdziwe dokończenie zdania. Wybierz właściwe uzupełnienia, najpierw spośród 1–2, a następnie spośród A–C.

Energia kinetyczna naładowanej cząstki relatywistycznej podczas przejścia między punktami o różnicy potencjałów ΔV wzrasta

1.	o taką samą wartość, jak energia cząstki nierelatywistycznej,	a przyrost szybkości cząstki relatywistycznej	A.	jest taki sam jak w wypadku cząstki nierelatywistycznej.
2.	o inną wartość niż energia cząstki nierelatywistycznej,		B.	jest większy niż w wypadku cząstki nierelatywistycznej.
			C.	jest mniejszy niż w wypadku cząstki nierelatywistycznej.

Zadanie 15.2

Proton o szybkości początkowej bliskiej zeru znalazł się w jednorodnym polu elektrostatycznym.

- Oblicz napięcie przyspieszające proton do szybkości $0,65c$.
- Oblicz szybkość protonu, przyspieszonego takim napięciem, którą otrzymalibyśmy przy użyciu klasycznego wzoru na energię kinetyczną.

Zadanie 15.3

Oceń prawdziwość poniższych zdań. Wskaż P, jeśli zdanie jest prawdziwe, albo F, jeśli jest fałszywe.

1.	$E = mc^2$ jest związkiem między energią całkowitą ciała a jego masą.	P	F
2.	Stosunek energii całkowitej cząstki swobodnej do jej energii spoczynkowej jest równy wyrażeniu $\gamma = \left(1 - \frac{v^2}{c^2}\right)^{-\frac{1}{2}}$.	P	F
3.	Energia całkowita cząstki swobodnej jest większa od jej energii spoczynkowej o γmc^2 .	P	F
4.	Energia kinetyczna cząstki swobodnej jest γ razy większa od jej energii spoczynkowej.	P	F
5.	W przemianach cząstek jest spełniona zasada zachowania energii spoczynkowej.	P	F
6.	Energia całkowita cząstki swobodnej zawsze rośnie ze wzrostem jej pędu.	P	F

Zadanie 15.4

Oceń prawdziwość poniższych zdań. Wskaż P, jeśli zdanie jest prawdziwe, albo F, jeśli jest fałszywe.

1.	Energia spoczynkowa tlenu zawartego w butli podczas jego oziębiania maleje.	P	F
2.	Masa spoczynkowa rozgrzanego żelazka jest taka sama jak zimnego.	P	F
3.	Wzrost każdego składnika energii wewnętrznej ciała powoduje wzrost jego masy.	P	F

Zadanie 15.5

Uzupełnij zdanie właściwym stwierdzeniem, wybranym spośród 1–3, oraz jego poprawnym uzasadnieniem, wybranym spośród A–C.

Masa spoczynkowa neonu zawartego w rurce, w której rozpoczęło się wyładowanie elektryczne,

1.	zmaląa,	ponieważ	A.	nastąpiło wzbudzenie wielu atomów neonu.
2.	wzrosła,		B.	zmniejszyło się ciśnienie.
3.	nie uległa zmianie,		C.	temperatura gazu nie zmieniła się (tzw. zimne świecenie).

Zadanie 15.6

Proton porusza się z szybkością $0,8c$. Oblicz stosunek energii całkowitej protonu do jego energii kinetycznej.

Zadanie 15.7

Cząstka o masie m porusza się z szybkością $v = 0,60c$.

a) Sprawdź, że energię kinetyczną tej cząstki można wyrazić wzorem:

$$E_k = 0,25mc^2$$

b) Napisz wzór, którym można wyrazić energię całkowitą tej cząstki.

Zadanie 15.8

Cząstka relatywistyczna porusza się z taką szybkością, że jej energia całkowita jest 5 razy większa od energii spoczynkowej. Wyraż szybkość tej cząstki jako ułamek szybkości światła.

Zadanie 15.9

Oblicz szybkość, z którą porusza się cząstka, jeśli energia kinetyczna tej cząstki jest równa połowie jej energii spoczynkowej.

Zadanie 15.10

Betatron jest urządzeniem służącym do przyspieszania elektronów. Dla celów przemysłowych i medycznych (naświetlanie chorych organów) przyspieszane tam elektrony osiągają energię kinetyczną około 30 MeV.

- Oblicz, ile razy ta energia jest większa od energii spoczynkowej elektronu.
- Wyraż iloraz $\frac{v}{c}$ dla tych elektronów przez energię kinetyczną E_k . Oblicz wartość tego ilorazu.

Zadanie 15.11

Szybkość przyspieszanego protonu wzrosła od $0,6c$ do $0,8c$. Oblicz:

- przyrost energii kinetycznej protonu;
- przyrost jego energii całkowitej;
- o ile procent wzrosła energia kinetyczna, a o ile energia całkowita protonu.

Zadanie 15.12

W akceleratorze LHC są przyspieszane wiązki protonów lecące w przeciwne strony, które następnie zderzają się ze sobą. Badane produkty zderzenia dają nam wiedzę o budowie cząstek elementarnych. Szybkości rozpędzanych cząstek (w układzie spoczywającym) są prawie równe c . Przyjmij, że $v_p = 0,999c$.

- Skorzystaj ze wzoru na relatywistyczne dodawanie prędkości i sprawdź, że wartość prędkości jednego protonu względem drugiego nie przekracza c .
- Oblicz, jak długo trwa jedno okrążenie przez proton tunelu akceleratora LHC o długości 27 km.
- Oblicz energię protonu i wyraż ją w elektronowoltach¹.

Zadanie 15.13

Cząstka ma masę m .

- Przedstaw wzór na wartość pędu relatywistycznego tej cząstki w postaci funkcji $p(\gamma)$.
- Na podstawie wzoru na $p(\gamma)$ wyraż wartość pędu relatywistycznego przez masę cząstki, jej energię kinetyczną E_k i energię spoczynkową E_s .
- Oblicz wartość pędu relatywistycznego elektronu, którego energia kinetyczna jest cztery razy większa od jego energii spoczynkowej.

¹ W rzeczywistości zarówno szybkości protonów, jak i ich energie są jeszcze większe (rzędu TeV, czyli 10^{12} eV).

16

Związek między energią i pędem cząstki. Energia i masa układu cząstek

Zadanie 16.1

Wartość pędu cząstki o masie $m = 5,01 \cdot 10^{-27} \text{ kg}$ wynosi $p = 4,70 \cdot 10^{-19} \frac{\text{kg} \cdot \text{m}}{\text{s}}$. Wyrowadź wzór na energię kinetyczną cząstki i oblicz jej wartość. Wynik podaj w mega-elektronowoltach.

Zadanie 16.2

Elektron ma energię kinetyczną $E_k = 1 \text{ MeV}$. Wyraź wartość pędu elektronu przez jego energię kinetyczną i masę m ; skorzystaj z:

- mechaniki klasycznej;
- relatywistycznego wzoru na wartość pędu.
- Oblicz błąd względny, jaki popełnilibyśmy przy użyciu klasycznego wzoru na wartość pędu.

Zadanie 16.3

Wartość pędu cząstki jest równa $5,78 \cdot 10^{-19} \frac{\text{kg} \cdot \text{m}}{\text{s}}$, a jej całkowita energia wynosi $3,47 \cdot 10^{-10} \text{ J}$. Oblicz masę cząstki oraz jej szybkość.

Zadanie 16.4

Spośród punktów 1–8 wybierz wszystkie wielkości fizyczne i wyrażenia matematyczne, które są takie same w każdym inercjalnym układzie odniesienia, tzn. stanowią niezmienniki relatywistyczne.

- | | |
|------------------------------|------------------------|
| 1. szybkość światła w próżni | 5. energia całkowita |
| 2. masa ciała | 6. energia spoczynkowa |
| 3. ładunek elektryczny | 7. $E^2 - p^2 c^2$ |
| 4. pęd | 8. $E^2 - m^2 c^4$ |

Zadanie 16.5

Dwie identyczne, równoległe wiązki światła, z których każda zawiera n fotonów o częstotliwości ν , zostały wysłane w tę samą stronę. Oblicz wartość całkowitego pędu układu fotonów w wiązkach, ich energię i masę.

Zadanie 16.6

Dwa impulsy światła zostały wysłane w przeciwne strony. Każdy impuls zawiera n fotonów o tej samej częstotliwości ν . Oblicz wartość ich całkowitego pędu, energię i masę.

Zadanie 16.7

Dwa błyski światła wysłano w przeciwne strony. Błysk biegnący zgodnie ze zwrotem osi x zawiera n_1 fotonów o częstotliwości ν_1 , a błysk biegnący przeciwnie zawiera n_2 fotonów o częstotliwości ν_2 , przy czym $n_1 \nu_1 > n_2 \nu_2$. Oblicz całkowity pęd, energię i masę układu fotonów.

Zadanie 16.8

Energia spoczynkowa atomu wodoru to energia dwóch oddziałujących ze sobą cząstek – protonu i elektronu.

- Oblicz energię spoczynkową atomu wodoru w stanie podstawowym.
- Oblicz, o ile procent energia ta jest mniejsza od sumy energii spoczynkowych protonu i elektronu jako cząstek swobodnych.

Wskazówka: Na energię spoczynkową atomu wodoru składają się: energia spoczynkowa protonu, energia spoczynkowa elektronu, energia kinetyczna elektronu i energia potencjalna wzajemnego oddziaływania tych cząstek (według modelu Bohra suma energii kinetycznej i potencjalnej elektronu wyraża się wzorem $-\frac{ke^2}{2r}$, gdzie r jest promieniem orbity).

Przyjmij następujące dane:

$$m_p = 1,67262192 \cdot 10^{-27} \text{ kg};$$

$$m_e = 9,1093837 \cdot 10^{-31} \text{ kg};$$

$$e = 1,602176634 \cdot 10^{-19} \text{ C};$$

$$c = 2,99792458 \cdot 10^8 \text{ m/s};$$

$$k = 8,9875518 \cdot 10^9 \text{ N} \cdot \text{m}^2/\text{C}^2;$$

$$\text{promień pierwszej orbity elektronowej } r = 5,29177212 \cdot 10^{-11} \text{ m}.$$

Wskazówki

► Zanim zaczniesz rozwiązywać zadanie:

- postaraj się zrozumieć zjawisko fizyczne, które jest opisane w treści;
- przypomnij sobie prawa fizyczne, które odnoszą się do przedstawionego zjawiska – podczas analizowania zjawiska należy sobie uświadomić, dlaczego przebiega ono w opisany sposób;
- zapisz dane i szukane, zaproponuj własne symbole, którymi chcesz się posługiwać;
- pamiętaj – nie dopasowuj gotowych, wyuczonych wzorów do zadania.

► Najważniejsze zagadnienia w tym dziale to:

- promieniowanie jądrowe i jego właściwości,
- budowa jądra atomowego,
- prawo rozpadu promieniotwórczego,
- reakcje jądrowe,
- reakcje rozszczepienia,
- wykorzystanie energii jądrowej,
- reakcje termojądrowe,
- zastosowanie promieniowania jonizującego.

► Najważniejsze pojęcia

- izotop ◦ rozpad promieniotwórczy ◦ czas połowicznego rozpadu ◦ aktywność promieniotwórcza ◦ deficyt masy ◦ energia wiązania ◦ kreacja i anihilacja ◦ reakcja rozszczepienia ◦ masa krytyczna ◦ reaktor jądrowy ◦ reakcja syntezy
- Niekiedy rozpadające się izotopy promieniotwórcze tworzą tzw. rodziny, w których powstające jądra ulegają kolejnym rozpadom α lub β , aż do powstania izotopu trwałego. Jeśli zastosujemy reguły przesunięć dotyczące zmiany liczb Z i A w wyniku tych rozpadów, łatwo znajdziemy łączną liczbę rozpadów w całej rodzinie. Najpierw obliczamy, jaką wielokrotnością 4 jest różnica końcowej i początkowej liczby masowej A – stąd wiemy, ile było rozpadów α . Każdy rozpad α zmniejsza liczbę atomową Z o 2, a każdy rozpad β^- zwiększa ją o 1, zatem porównanie liczb atomowych izotopu początkowego i końcowego pozwala nam znaleźć liczbę rozpadów β (patrz przykład 2).
- Prawie każdy pierwiastek posiada kilka lub kilkanaście izotopów, z których część jest trwała, a część się rozpada. Masy izotopów można wyznaczyć za pomocą spektrografów masowych (patrz przykład 6).

• Aby cząstka naładowana dodatnio (np. proton lub cząstka α) mogła wnikać do jądra dowolnego izotopu, musi mieć odpowiednio dużą początkową energię kinetyczną, bo w miarę zbliżania się do jądra jest coraz silniej hamowana (odpychanie elektrostatyczne). Z zasady zachowania energii (suma energii kinetycznej i elektrycznej energii potencjalnej) obliczamy minimalną odległość zbliżającej się cząstki od bombardowanego przez nią jądra. Następnie porównujemy tę odległość z sumą promieni obu nuklidów i rozstrzygamy, jaki będzie skutek tego procesu, wiemy bowiem, że zasięg sił jądrowych jest porównywalny z tą sumą. Promień jądra o liczbie masowej A szacujemy ze wzoru:

$$r = 1,2 \cdot 10^{-15} \text{ m} \cdot \sqrt[3]{A} = 1,2 \text{ fm} \cdot \sqrt[3]{A}$$

Patrz przykłady: 3, 4 i 5.

• Podczas rozwiązywania zadań, w których wykorzystujemy prawo rozpadu promieniotwórczego, trzeba zwracać uwagę na to, czy wymagane jest obliczenie liczby atomów (jąder), które **pozostały** po czasie t , czy też liczby tych atomów (jąder), które **uległy rozpadowi** w tym czasie. W pewnych zadaniach wymaga się obliczenia czasu, po którym pozostanie dana liczba jąder lub w którym rozpadnie się dana liczba jąder. Współczesne kalkulatory pozwalają obliczyć dowolną potęgę liczby 2 i dowolny wykładnik potęgi liczby 2 (jeśli znamy wartość potęgi); patrz przykład 7.

• Aktywność próbki materiału promieniotwórczego maleje wraz z upływem czasu według takiego samego prawa jak prawo rozpadu. Aktywność jest wprost proporcjonalna do masy danego pierwiastka promieniotwórczego zawartej w próbce, więc masa także maleje z czasem (patrz przykład 8). W próbce w miarę upływu czasu pojawiają się atomy innego pierwiastka (lub innych pierwiastków), powstające w wyniku rozpadu. Niekiedy trzeba obliczyć liczbę jąder (atomów) zawartych w danej masie pierwiastka; wówczas należy sobie przypomnieć wiadomości z początkowych rozdziałów termodynamiki (patrz przykład 11).

• Energia spoczynkowa układu związanego (siłami dowolnej natury: grawitacyjnymi, elektrycznymi, jądrowymi) jest mniejsza od sumy energii jego składników. Energia wiązania E_w to energia, którą musimy dostarczyć, aby rozdzielić układ związany na poszczególne składniki. Obliczamy ją ze wzoru: $E_w = \Delta m \cdot c^2$, gdzie Δm jest deficytem masy (patrz przykład 9), lub przez pomnożenie energii wiązania jednego nukleonu w jądrze danego pierwiastka przez liczbę zawartych w nim nukleonów.

• Aby prawidłowo zapisywać równania reakcji jądrowych, należy stosować zasadę zachowania sumy liczb atomowych Z i sumy liczb masowych A (patrz przykład 10). W reakcjach rozpadu β^- i β^+ sumy algebraiczne liczby ładunków elementarnych po każdej stronie równania muszą być jednakowe.

• Źródłem energii powstającej w procesie rozszczepienia jądra jest różnica między sumą energii spoczynkowych cząstek przed rozszczepieniem i po rozszczepieniu. Kosztem ubytku energii spoczynkowych pojawia się energia kinetyczna fragmentów (produktów)

rozszczeplenia, co powoduje, że rośnie energia wewnętrzna rozszczepianego materiału, która następnie zostaje przekazana chłodniejszemu otoczeniu. Nosi ona nazwę energii jądrowej. Przez porównanie sumy energii spoczynkowej cząstek przed reakcją i po reakcji możemy rozstrzygnąć, czy dana reakcja może nastąpić (patrz przykłady 10 i 11).

- Podczas rozwiązywania zadań skorzystaj z zamieszczonej poniżej tabeli mas atomowych wybranych izotopów. **Masy atomowe** izotopów są większe od **mas jąder atomowych**, ponieważ uwzględniają masy elektronów. W przykładzie 9 należy obliczyć energię wiązania jądra deuteru, więc do obliczeń przyjęto masę samego jądra. W zadaniach, w których liczba (i masa) elektronów w atomach składników oraz produktów reakcji jest taka sama, można zastąpić masy jąder masami atomów i nie wpłynie to na wynik końcowy. Tak postępujemy zwykle w przypadku obliczania energii wyzwolonej w procesie rozszczepienia jądra (patrz przykład 10). Jest to wygodniejsze, gdyż tabele mas jąder atomów są trudniej dostępne niż tabele mas atomów poszczególnych izotopów.

- Tabela mas atomowych wybranych izotopów**

Izotop	Masa atomowa (u)	Izotop	Masa atomowa (u)
^1_1H	1,007825	$^{113}_{44}\text{Ru}$	112,922498
^2_1H	2,014102	$^{121}_{49}\text{In}$	120,907846
^3_1H	3,016049	$^{130}_{51}\text{Sb}$	129,911656
^3_2He	3,016029	$^{136}_{54}\text{Xe}$	135,907221
^4_2He	4,002603	$^{140}_{54}\text{Xe}$	139,921650
^6_3Li	6,015122	$^{144}_{54}\text{Xe}$	143,938513
^7_3Li	7,016004	$^{139}_{55}\text{Cs}$	138,913364
^9_4Be	9,012186	$^{141}_{55}\text{Cs}$	140,919630
$^{12}_6\text{C}$	12,000000	$^{139}_{56}\text{Ba}$	138,908830
$^{16}_8\text{O}$	15,994900	$^{144}_{56}\text{Ba}$	143,922953
$^{35}_{17}\text{Cl}$	34,968855	$^{146}_{57}\text{La}$	145,925798
$^{57}_{17}\text{Cl}$	36,965896	$^{140}_{58}\text{Ce}$	139,873400
$^{87}_{35}\text{Br}$	86,920711	$^{197}_{79}\text{Au}$	196,966543
$^{94}_{36}\text{Kr}$	93,932990	$^{214}_{82}\text{Pb}$	214,157464
$^{93}_{37}\text{Rb}$	92,921570	$^{222}_{86}\text{Rn}$	222,017570
$^{95}_{37}\text{Rb}$	94,929303	$^{226}_{88}\text{Ra}$	226,025400
$^{90}_{38}\text{Sr}$	89,907738	$^{228}_{89}\text{Ac}$	228,031021
$^{94}_{38}\text{Sr}$	93,915362	$^{230}_{90}\text{Th}$	230,036350
$^{94}_{40}\text{Zr}$	93,884100	$^{231}_{90}\text{Th}$	231,036304
$^{98}_{42}\text{Mo}$	97,905510	$^{235}_{92}\text{U}$	235,043920
$^{107}_{43}\text{Tc}$	106,914358	$^{239}_{94}\text{Pu}$	239,052163

Masa protonu $m_p = 1,007276 \text{ u}$

Masa neutronu $m_n = 1,008665 \text{ u}$

Masa elektronu $m_e = 0,000549 \text{ u}$

Uwaga: W rozwiązaniach zadań często przyjmujemy zaokrąglone wartości masy protonu ($1,0073 \text{ u}$) i neutronu ($1,0087 \text{ u}$) oraz przyjmujemy, że $1 \text{ u} = 1,66 \cdot 10^{-27} \text{ kg}$, a także, że jednostka masy atomowej jest równoważna energii $931,5 \text{ MeV}$.

Przykładowe rozwiązania zadań

Przykład 1 ➔ ułatwi rozwiązanie zadań z rozdziału 17

Oceń prawdziwość poniższych zdań na temat właściwości rodzajów promieniotwórczości i istoty zjawiska promieniotwórczości. Wskaż P, jeśli zdanie jest prawdziwe, albo F, jeśli jest fałszywe.

1.	Wiązka promieniowania jądrowego po wejściu w pole magnetyczne lub elektryczne rozdziela się na trzy oddzielne wiązki.	P	F
2.	Cząstki β słabiej odchylają się w polu magnetycznym niż cząstki α o tej samej szybkości.	P	F
3.	Kierunek ruchu kwantów γ nie ulega zmianie w polach elektrycznym i magnetycznym.	P	F
4.	Siły magnetyczne, działające na cząstki α i β poruszające się w danym polu magnetycznym z prędkościami o takich samych zwrotach, są zwrócone przeciwnie.	P	F
5.	Tylko cząstki naładowane (α i β) jonizują środowisko, w którym się rozchodzą.	P	F
6.	Promieniotwórczość jest zjawiskiem samorzutnym.	P	F
7.	Mozna przewidzieć, które jądra ulegną rozpadowi w danym czasie.	P	F
8.	Rozpad β^- polega na emisji elektronu z powłoki elektronowej atomu.	P	F
9.	Podczas rozpadu α z jądra atomu zostaje wyemitowany zespół istniejących w nim cząstek.	P	F
10.	W wyniku rozpadu α jądra radu ^{226}Ra zmieniają się w jądra toru.	P	F
11.	Jądro radonu ^{222}Rn jest jądrem trwałym.	P	F
12.	W wyniku rozpadu α jądro ^{238}U przechodzi w jądro ^{234}Th .	P	F

Szukane: ocena prawdziwości zdań

Odpowiedź: 1P, 2F, 3P, 4P, 5F, 6P, 7F, 8F, 9P, 10F, 11F, 12P

Przykład 2 ➔ ułatwi rozwiązanie zadań: 17.3; 19.1; 19.5–19.9

Uzupełnij zdanie właściwymi stwierdzeniami, wybranymi spośród 1–2 oraz spośród A i B.

Rozpad promieniotwórczy to wysłanie z jądra atomu

1.	cząstki α , cząstki β lub kwantu γ ,	co	A.	zawsze	wiąże się ze zmianą jądra na jądro innego pierwiastka.
2.	cząstki α lub cząstki β ,		B.	nie zawsze	

Szukane: poprawne uzupełnienie zdania

Odpowiedź: 2A

Przykład 3 ➔ ułatwi rozwiązanie zadań 18.1 i 18.7

Utwórz dwa prawdziwe zdania. Dwukrotnie uzupełnij zdanie właściwym stwierdzeniem, wybranym spośród 1–4, oraz jego poprawnym dokończeniem, wybranym spośród A–D.

Siły jądrowe

1.	są zależne od ładunku,	dlatego	A.	znacznie przekraczają siły elektrostatycznego odpychania między protonami.
2.	są krótko-zasięgowe,		B.	trudniej oderwać nukleon od jądra o dużej liczbie masowej.
3.	w dużych jądrach są większe,		C.	dwa protony przyciągają się najsilniej, proton z neutronem słabiej, a najsłabiej przyciągają się dwa neutrony.
4.	to najsilniejsze oddziaływania w przyrodzie,		D.	praktycznie nie działają w odległości nieznacznie większej od rozmiarów jądra.

Szukane: utworzenie dwóch prawdziwych zdań

Odpowiedź: 2D, 4A

Przykład 4 ➔ ułatwi rozwiązanie zadań 18.4 i 18.7

Jądro uranu ^{238}U , a także jądro kadmu ^{112}Cd , pochłaniają neutron. Oszacuj, o ile procent wzrośnie promień:

- jądra uranu,
 - jądra kadmu
- po wchłonięciu neutronu.

a) Dane: $A_1 = 238$; $A_2 = 239$

Szukane: o ile procent wzrośnie promień jądra uranu

Rozwiązanie:

Promień jądra o liczbie masowej A obliczamy ze wzoru: $r = 1,2 \text{ fm} \cdot \sqrt[3]{A}$.

$$\frac{1,2 \text{ fm} \cdot \sqrt[3]{A_2} - 1,2 \text{ fm} \cdot \sqrt[3]{A_1}}{1,2 \text{ fm} \cdot \sqrt[3]{A_1}} \cdot 100\% = \left(\sqrt[3]{\frac{A_2}{A_1}} - 1 \right) \cdot 100\% =$$

$$= \left(\sqrt[3]{\frac{239}{238}} - 1 \right) \cdot 100\% \approx (1,0013986 - 1) \cdot 100\% \approx 0,14\%$$

b) Dane: $A_1 = 112$; $A_2 = 113$

Szukane: o ile procent wzrośnie promień jądra kadmu

Rozwiązanie:

$$\left(\sqrt[3]{\frac{A_2}{A_1}} - 1 \right) \cdot 100\% = \left(\sqrt[3]{\frac{113}{112}} - 1 \right) \cdot 100\% \approx (1,0029674 - 1) \cdot 100\% \approx 0,30\%$$

Odpowiedź: Po wchłonięciu neutronu promień jądra uranu wzrośnie w przybliżeniu o 0,14%, a promień jądra kadmu wzrośnie w przybliżeniu o 0,30%.

Przykład 5 ➔ ułatwi rozwiązanie zadań 18.1; 18.6 i 18.7

Radon ^{222}Rn podczas rozpadu emituje cząstkę α o energii kinetycznej 5,5 MeV. Cząstka zbliża się do jądra złota ^{197}Au z bardzo dużej odległości i zderza się z nim centralnie oraz sprężyście. Pomiń odrzut znacznie cięższego jądra złota i oblicz:

- w jakiej odległości od środka jądra cząstka się zatrzyma;
- w jakiej odległości w takim samym przypadku zatrzymałby się proton o takiej samej początkowej energii kinetycznej.
- Porównaj obliczone odległości z sumą promieni jądra i zderzających się z nim cząstek (α i protonu).

d) Uzupełnij zdanie właściwym stwierdzeniem, wybranym spośród 1–3, oraz jego poprawnym uzasadnieniem, wybranym spośród A–C.

Obydwe cząstki (α i proton)

1.	po zatrzymaniu będą nadal pozostawały w spoczynku,	ponieważ w obliczonych odległościach	A.	siła jądrowa o małym zasięgu nie jest wystarczająco duża, aby wciągnąć cząstki do jądra.
2.	po zatrzymaniu wrócą po tej samej drodze,		B.	siła jądrowa zostanie zrównoważona przez siłę elektrostatycznego odpychania.
3.	zostaną wciągnięte do jądra złota,		C.	siła jądrowa jest nieznacznie mniejsza od siły elektrostatycznego odpychania.

a) Dane: $E_k = 5,5 \text{ MeV}$; $q_\alpha = 2e$; $q_{\text{Au}} = 79e$

Szukane: d_α

Rozwiązanie:

Początkowa energia układu to tylko energia kinetyczna cząstki α , a końcowa to energia potencjalna układu: jądro i cząstka α .

$$E_k = \frac{kq_\alpha q_{\text{Au}}}{d_\alpha} \quad \text{skąd} \quad d_\alpha = \frac{k \cdot 2e \cdot 79e}{E_k} = \frac{158ke^2}{E_k}$$

$$d_\alpha = \frac{158 \cdot 9 \cdot 10^9 \cdot (1,6 \cdot 10^{-19})^2 \text{ N} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{C}^2}{5,5 \cdot 1,6 \cdot 10^{-13} \text{ C}^2 \cdot \text{J}} =$$

$$= \frac{158 \cdot 9 \cdot 1,6}{5,5} \cdot 10^{-16} \text{ m} \approx 414 \cdot 10^{-16} \text{ m} = 41,4 \text{ fm}$$

b) Dane: $E_k = 5,5 \text{ MeV}$; $q_p = 1e$; $q_{\text{Au}} = 79e$

Szukane: d_p

Rozwiązanie:

$$d_p = \frac{k \cdot e \cdot 79e}{E_k} = \frac{79ke^2}{E_k}$$

Proton zatrzyma się w dwa razy mniejszej odległości od jądra złota niż cząstka α , więc:

$$d_p \approx 20,7 \text{ fm}$$

c) Dane: d_α i d_p (obliczone wcześniej)

Szukane: porównanie d_α i d_p z sumą promieni zderzających się cząstek

Rozwiązanie:

Promień jądra złota: $r_{\text{Au}} = 1,2 \text{ fm} \cdot \sqrt[3]{197} \approx 7 \text{ fm}$

Promień cząstki α : $r_\alpha = 1,2 \text{ fm} \cdot \sqrt[3]{4} \approx 2 \text{ fm}$

Promień protonu: $r_p \approx 1 \text{ fm}$

Sumy są odpowiednio równe:

$$r_{\text{Au}} + r_\alpha \approx 9 \text{ fm} < 41,4 \text{ fm}$$

$$r_{\text{Au}} + r_p \approx 8 \text{ fm} < 20,7 \text{ fm}$$

Każda z tych sum jest mniejsza od obliczonej odległości.

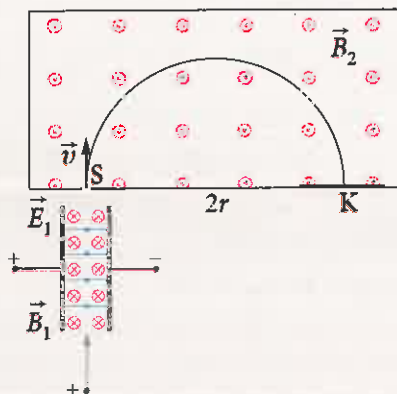
d) 2A

Odpowiedź: Cząstka α zatrzyma się w odległości równej około 41,4 fm od środka jądra złota, a proton – w odległości równej około 20,7 fm. Żadna z cząstek o podanej energii nie zostanie wchłonięta przez jądro złota.

Przykład 6 ➔ ułatwi rozwiązanie zadań 18.8 i 18.9

Podczas badania zjonizowanych atomów za pomocą **spektrografów masowych** odkryto, że większość pierwiastków występuje w przyrodzie w postaci mieszaniny izotopów o różnych masach.

Na rysunku przedstawiono schemat budowy jednego ze spektrografów.



Wiązka rozprzeczonych jonów wpada w skrzyżowane pola elektryczne (o natężeniu $\vec{E}$) i magnetyczne (o indukcji $\vec{B}_1$), przez które bez odchylenia przechodzą tylko jony mające określoną prędkość $\vec{v}$. Następnie jony o tej samej prędkości wchodzi przez szczelinę wlotową S w obszar jednorodnego pola magnetycznego o indukcji $\vec{B}_2$, w którym zakreślają półokręgi i padają na kliszę fotograficzną K, zostawiając na niej ślady (zaczernienie). Jeśli znamy ładunek q jonu, to możemy wyznaczyć jego masę m z położenia śladu.

Na podstawie znajomości E , B_1 , B_2 , q i m wyprowadź wzór na:

- wartość prędkości jonów przechodzących przez skrzyżowane pola i wpadających przez szczelinę wlotową S do obszaru odchylającego pola magnetycznego;
- promień półokręgu zakreślonego przez jon izotopu o masie m i ładunku q .
- Oblicz stosunek odległości od S śladów pozostawionych na kliszy przez jony dwóch trwałych izotopów chloru o liczbach masowych 35 i 37, jeśli ich ładunki są takie same. Oblicz odległości śladów, jeśli ślad lżejszego jonu znajduje się w odległości 50 cm od S.
- Jak wyjaśnisz fakt, że zaczernienie kliszy położone bliżej S jest znacznie silniejsze?

Dane: E , B_1 , B_2 , q , m , $(2r)_{35\text{Cl}} = 50 \text{ cm}$

a) Szukane: wzór na v

Rozwiązanie:

W skrzyżowanych polach siła elektryczna (działająca na jon dodatni) $q\vec{E}$ jest zwrócona w prawo, a siła magnetyczna $q\vec{v} \times \vec{B}_1$ w lewo. Jeśli siły te się równoważą, jony przechodzą przez pola bez odchylenia.

$$q\vec{E} + q\vec{v} \times \vec{B}_1 = \vec{0} \quad qE = qvB_1 \quad \Rightarrow \quad v = \frac{E}{B_1}$$

b) Szukane: wzór na r

Rozwiązanie:

Siła magnetyczna jest siłą dośrodkową:

$$\frac{mv^2}{r} = qvB_2 \quad \Rightarrow \quad r = \frac{mv}{qB_2}$$

Po podstawieniu $v = \frac{E}{B_1}$ otrzymujemy:

$$r = \frac{mE}{qB_2B_1}$$

c) Szukane: $\frac{(2r)_{^{37}\text{Cl}}}{(2r)_{^{35}\text{Cl}}}$; $(2r)_{^{37}\text{Cl}} - (2r)_{^{35}\text{Cl}}$

Rozwiązanie:

$$\frac{(2r)_{^{37}\text{Cl}}}{(2r)_{^{35}\text{Cl}}} = \frac{m_{^{37}\text{Cl}}}{m_{^{35}\text{Cl}}} \approx \frac{37}{35}$$

$$\frac{(2r)_{^{37}\text{Cl}}}{50 \text{ cm}} \approx \frac{37}{35} \quad \Rightarrow \quad (2r)_{^{37}\text{Cl}} \approx \frac{50 \cdot 37}{35} \text{ cm}$$

$$(2r)_{^{37}\text{Cl}} \approx 53 \text{ cm}$$

$$(2r)_{^{37}\text{Cl}} - (2r)_{^{35}\text{Cl}} \approx 3 \text{ cm}$$

d) Silniejsze zaczerwienie świadczy o tym, że w naturalnym chlorze większość stanowią jony o mniejszej masie.

Odpowiedź: Wartość prędkości jonów i promień zakreslanego półokręgu są wyrażone wzorami:

$$v = \frac{E}{B_1} \quad r = \frac{mE}{qB_2B_1}$$

Stosunek odległości śladów od szczeliny wlotowej wynosi $\frac{37}{35}$, a ślady pozostawione na kliszy są od siebie odległe w przybliżeniu o 3 cm.

Przykład ✚ ➡ ułatwi rozwiązanie wszystkich zadań w rozdziale 20

Czas połowicznego rozpadu izotopu galu ^{67}Ga wynosi 78 godzin.

a) Oblicz, jaką część początkowej liczby jąder:

- ulegnie rozpadowi po 19,5 godziny;
- pozostanie po 100 godzinach.

b) Na podstawie wykresu $N(t)$ (bez wykonywania obliczeń) odpowiedz na pytanie, czy po 39 godzinach od chwili początkowej rozpadnie się mniej czy więcej niż 25% początkowej liczby jąder. Uzasadnij odpowiedź.

a)

- Dane: $T = 78 \text{ h}$; $t = 19,5 \text{ h}$

Szukane: część jąder, która ulegnie rozpadowi

Rozwiązanie:

Po czasie t pozostanie N jąder gału, czyli w czasie t ulegnie rozpadowi $N_0 - N$ jąder, co będzie stanowiło $\frac{N_0 - N}{N_0}$ początkowej liczby jąder.

Z prawa rozpadu:

$$N = \frac{N_0}{2^{\frac{t}{T}}} \Rightarrow \frac{N}{N_0} = \frac{1}{2^{\frac{t}{T}}}$$

$$\frac{N_0 - N}{N_0} = 1 - \frac{N}{N_0} = 1 - \frac{1}{2^{\frac{t}{T}}}$$

$$\frac{N_0 - N}{N_0} = 1 - \frac{1}{2^{\frac{100}{78}}} = 1 - \frac{1}{2^{\frac{1}{0.78}}} \approx 1 - 0,84 = 0,16$$

- Dane: $T = 78$ h; $t = 100$ h

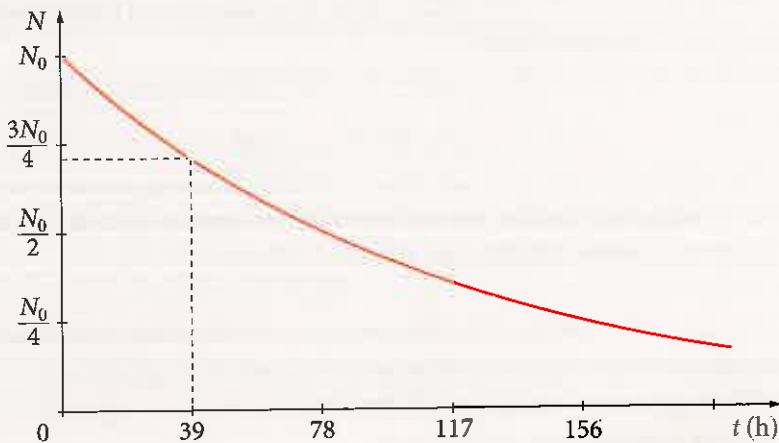
Szukane: $\frac{N}{N_0}$

Rozwiązanie:

$$\frac{N}{N_0} = \frac{1}{2^{\frac{t}{T}}}$$

$$\frac{N}{N_0} = \frac{1}{2^{\frac{100}{78}}} \approx \frac{1}{2^{1,282}} \approx \frac{1}{2,43} \approx 0,41$$

b)



Po 39 godzinach rozpadnie się więcej niż 25% jąder.

Uzasadnienie:

39 godzin to połowa czasu połowicznego rozpadu. Z wykresu $N(t)$ wynika, że szybkość rozpadu maleje z upływem czasu, dlatego w pierwszej połowie czasu połowicznego rozpadu rozpadnie się więcej niż $\frac{1}{4}$ początkowej liczby jąder (a w drugiej połowie – mniej niż $\frac{1}{4}$).

Przykład 8 ➔ ułatwi rozwiązanie wszystkich zadań w rozdziale 20

Próbka materiału promieniotwórczego zawiera 10^{15} atomów. Czas połowicznego rozpadu wynosi 1 godzinę.

a) Oblicz początkową aktywność tej próbki. Jak aktywność będzie się zmieniała wraz z upływem czasu?

b) Odpowiedz na pytanie:

Czy liczba rozpadów w czasie pierwszej minuty będzie 60 razy większa od liczby rozpadów w czasie pierwszej sekundy?

Uzasadnij odpowiedź.

c) Oblicz liczbę rozpadów w czasie pierwszej minuty, aby sprawdzić słuszność swojej odpowiedzi.

Dane: $N_0 = 10^{15}$; $T = 1$ h

a) Szukane: A_0

Rozwiązanie:

Aktywność początkowa to liczba rozpadów w czasie pierwszej sekundy.

$$N_0 - N(t) = N_0 - \frac{N_0}{2^{\frac{t}{T}}}$$

$$\begin{aligned} N_0 - N(1 \text{ s}) &= 10^{15} \left(1 - \frac{1}{2^{\frac{1}{3600}}} \right) \approx 10^{15} \left(1 - \frac{1}{2^{0,000278}} \right) \approx 10^{15} \left(1 - \frac{1}{1,000193} \right) \approx \\ &\approx 10^{15} (1 - 0,9998) = 10^{15} \cdot 2 \cdot 10^{-4} \approx 2 \cdot 10^{11} \end{aligned}$$

W czasie pierwszej sekundy rozpadło się $2 \cdot 10^{11}$ jąder, czyli:

$$A_0 \approx 2 \cdot 10^{11} \text{ Bq}$$

W miarę upływu czasu aktywność będzie się zmniejszać.

b) Liczba rozpadów w czasie pierwszej minuty będzie mniejsza od:

$$60 \cdot 2 \cdot 10^{11} = 120 \cdot 10^{11}$$

bo w każdej następnej sekundzie liczba rozpadów będzie coraz mniejsza.

c) Dane: $t = 1$ min

Szukane: $N_0 - N(1 \text{ min})$

Rozwiązanie:

$$\begin{aligned} N_0 - \frac{N_0}{2^{\frac{t}{T}}} &\approx 10^{15} \left(1 - \frac{1}{2^{0,01667}} \right) \approx 10^{15} \left(1 - \frac{1}{1,01162} \right) \approx 10^{15} (1 - 0,9885) = \\ &= 10^{15} \cdot 0,0115 \end{aligned}$$

$$N_0 - N(1 \text{ min}) \approx 115 \cdot 10^{11} < 120 \cdot 10^{11}$$

Odpowiedź: Aktywność początkowa wynosi około $2 \cdot 10^{11}$ Bq, liczba rozpadów w czasie pierwszej minuty jest równa w przybliżeniu $1,15 \cdot 10^{13}$.

Przykład 9 ➔ ułatwi rozwiązanie wszystkich zadań w rozdziale 21

Oblicz energię wiązania jądra deuteru ${}^2_1\text{H}$, którego masa jest równa 2,013553 u. Wynik podaj w J i w MeV. Masa protonu jest równa 1,007276 u, a masa neutronu to 1,008665 u.

Dane: $m_p = 1,007276$ u; $m_n = 1,008665$ u; masa ${}^2_1\text{H} = 2,013553$ u

Szukane: E_w

Rozwiązanie:

Zgodnie z definicją:

$$E_w = c^2 \cdot \Delta m = c^2(m_p + m_n - m_{{}^2_1\text{H}})$$

Podstawiamy dane liczbowe oraz korzystamy ze związku: $1 \text{ u} = 1,66 \cdot 10^{-27} \text{ kg}$.

$$\begin{aligned} E_w &= 9 \cdot 10^{16} \frac{\text{m}^2}{\text{s}^2} (1,007276 + 1,008665 - 2,013553) \cdot 1,66 \cdot 10^{-27} \text{ kg} = \\ &= 9 \cdot 10^{16} \cdot 0,002388 \cdot 1,66 \cdot 10^{-27} \text{ J} \approx 0,035677 \cdot 10^{-11} \text{ J} \\ E_w &\approx 3,5677 \cdot 10^{-13} \text{ J} \end{aligned}$$

$$E_w \approx \frac{3,5677 \cdot 10^{-13}}{1,6 \cdot 10^{-13}} \text{ MeV} \approx 2,23 \text{ MeV}$$

Uwaga: Jeśli chcemy energię wiązania obliczyć w megaelektronowoltach, możemy postąpić następująco:

$$E_w = 0,00239 \text{ u} \cdot c^2 \quad \text{gdzie} \quad 1 \text{ u} = 931,5 \frac{\text{MeV}}{c^2}$$

$$E_w = 0,00239 \cdot 931,5 \text{ MeV} \approx 2,23 \text{ MeV}$$

Odpowiedź: Energia wiązania jądra deuteru jest równa około $3,57 \cdot 10^{-13} \text{ J}$, czyli 2,23 MeV.

Przykład 10 ➔ ułatwi rozwiązanie zadań 23.1–23.3 i 23.8

Neutron termiczny po wnikięciu do jądra uranu ${}^{235}\text{U}$ dzieli go na dwa fragmenty (produkty rozszczepienia) z wydzielaniem dwóch lub trzech neutronów.

a) Napisz równanie reakcji, której produkty rozszczepienia to rubid ${}^{93}_{37}\text{Rb}$ i cez ${}^{141}_{55}\text{Cs}$. Oblicz energię wydzieloną podczas rozszczepienia i wyraż ją w J i MeV. Skorzystaj z tabeli mas atomowych na s. 93 oraz informacji, że $1 \text{ u} = 1,66 \cdot 10^{-27} \text{ kg}$.

b) Napisz równanie reakcji rozszczepienia, w której jeden z fragmentów to izotop strontu ${}^{94}_{38}\text{Sr}$, jeśli wiadomo, że podczas tej reakcji zostają uwolnione dwa neutrony. Oblicz energię wyzwoloną podczas reakcji. Skorzystaj z tabeli oraz informacji, że masa 1 u jest równoważna energii 931,5 MeV.

W obu przypadkach pomiń energie kinetyczne uranu i neutronu przed reakcją.

a) Dane: ${}^{93}_{37}\text{Rb}$; ${}^{141}_{55}\text{Cs}$; masy atomowe izotopów w tabeli

Szukane: równanie reakcji; E

Rozwiązanie:



Wyzwolona energia jądrowa jest różnicą energii spoczynkowych uranu i neutronu oraz cząstek powstających po rozszczepieniu.

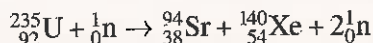
$$E = m_{\text{U}}c^2 + m_{\text{n}}c^2 - (m_{\text{Rb}}c^2 + m_{\text{Cs}}c^2 + 2m_{\text{n}}c^2) = c^2(m_{\text{U}} - (m_{\text{Rb}} + m_{\text{Cs}} + m_{\text{n}}))$$

$$\begin{aligned} E &= 9 \cdot 10^{16} \frac{\text{m}^2}{\text{s}^2} (235,043920 - (92,921570 + 140,919630 + 1,008665)) \cdot 1,66 \cdot 10^{-27} \text{ kg} = \\ &= 9 \cdot 10^{16} (235,043920 - 234,849865) \cdot 1,66 \cdot 10^{-27} \text{ J} = \\ &= 9 \cdot 0,194055 \cdot 1,66 \cdot 10^{-11} \text{ J} \approx 2,899 \cdot 10^{-11} \text{ J} \\ E &\approx \frac{2,899 \cdot 10^{-11}}{1,6 \cdot 10^{-13}} \text{ MeV} \approx 1,81 \cdot 10^2 \text{ MeV} = 181 \text{ MeV} \end{aligned}$$

b) Dane: ${}^{94}_{38}\text{Sr}$; masy atomowe izotopów w tabeli; $1 \text{ u} \cdot c^2 = 931,5 \text{ MeV}$

Szukane: równanie reakcji; E

Rozwiązanie:



$$E = c^2(m_{\text{U}} - (m_{\text{Sr}} + m_{\text{Xe}} + m_{\text{n}}))$$

$$\begin{aligned} E &= c^2 \cdot 1 \text{ u} (235,043920 - (93,915362 + 139,921650 + 1,008665)) = \\ &= 931,5(235,043920 - 234,845677) \text{ MeV} = 931,5 \cdot 0,198243 \text{ MeV} \approx 185 \text{ MeV} \end{aligned}$$

Odpowiedź: Energie jądrowe wyzwolone w kolejnych reakcjach (według zapisanych równań) są równe w przybliżeniu $2,90 \cdot 10^{-11} \text{ J} \approx 181 \text{ MeV}$ i 185 MeV .

Przykład 11 ➡ ułatwi rozwiązanie zadania 24.1

W pojedynczym rozszczepieniu jądra uranu ${}^{235}\text{U}$ wyzwala się energia równa w przybliżeniu 200 MeV . Oszacuj masę uranu, której rozszczepienie pozwoliłoby uzyskać energię $50\,000 \text{ kWh}$.

Dane: $E_1 = 200 \text{ MeV}$; $E = 50\,000 \text{ kWh}$

Szukane: m_{U} (masa uranu)

Rozwiązanie:

$E = E_1 \cdot N$, gdzie N jest liczbą jąder uranu, które musiałyby ulec rozszczepieniu, aby otrzymać żadaną energię.

Aby powiązać liczbę jąder (atomów) N uranu z masą izotopu, skorzystamy z proporcji:

$$\frac{N}{N_A} = \frac{m}{M} \quad \text{gdzie } M \text{ to masa 1 mola}$$

$$N = \frac{N_A m_U}{M_U}$$

Wobec tego:

$$E = E_1 \frac{N_A m_U}{M_U}$$

Po przekształceniu ostatniego wzoru otrzymamy:

$$m_U = \frac{E M_U}{N_A E_1}$$

Energię E wyrazimy w megaelektronowoltach.

$$E = 5 \cdot 10^4 \text{ kWh} = 5 \cdot 10^4 \cdot 3,6 \cdot 10^6 \text{ J} = 18 \cdot 10^{10} \text{ J} = \frac{18 \cdot 10^{10}}{1,6 \cdot 10^{-13}} \text{ MeV} =$$

$$= 11,25 \cdot 10^{23} \text{ MeV}$$

$$m_U = \frac{11,25 \cdot 10^{23} \text{ MeV} \cdot 235 \frac{\text{g}}{\text{mol}}}{6,02 \cdot 10^{23} \frac{1}{\text{mol}} \cdot 200 \text{ MeV}} = \frac{11,25 \cdot 235}{1204} \text{ g}$$

$$m_U \approx 2,2 \text{ g}$$

Uwaga: Masę izotopu uranu możemy obliczyć również w inny sposób, jeżeli wykorzystamy informację, że masa atomowa uranu jest równa 235 u.

$$m_U = N \cdot 235 \text{ u} = \frac{E}{E_1} \cdot 235 \text{ u} = \frac{11,25 \cdot 10^{23} \text{ MeV}}{200 \text{ MeV}} \cdot 235 \cdot 1,66 \cdot 10^{-27} \text{ kg} \approx 2,2 \text{ g}$$

Odpowiedź: Masa uranu, który musiałby ulec rozszczepieniu, wynosi około 2,2 g.

Przykład 12 ➔ ułatwi rozwiązanie zadań 25.8–25.11

Pewna gwiazda znajduje się na ciągu głównym w punkcie 1. Oblicz, jak zmienia się rozmiary gwiazdy, jeśli w wyniku ewolucji znajdzie się ona w obszarze olbrzymów w punkcie 2. Współrzędne punktów na diagramie Hertzsprunga–Russella:

$$1. \left(T_1 = 11\,000 \text{ K}, \frac{L_1}{L_\odot} = 10^{\frac{3}{2}} \right)$$

$$2. \left(T_2 = 6000 \text{ K}, \frac{L_2}{L_\odot} = 10^3 \right)$$

Wskazówka: Skorzystaj z prawa Stefana–Boltzmann.

Dane: współrzędne gwiazd na diagramie H–R

Szukane: $\frac{R_2}{R_1}$ (stosunek promieni gwiazd)

Rozwiązanie:

Jasność absolutna gwiazdy jest wprost proporcjonalna do jej mocy promieniowania.

$$\frac{L}{L_{\odot}} = \frac{P}{P_{\odot}}$$

Wobec tego dla gwiazd położonych na diagramie H-R w punktach 1 i 2:

$$\frac{P_1}{P_{\odot}} = 10^{\frac{3}{2}} = \sqrt{1000} = 10\sqrt{10}$$

$$\frac{P_2}{P_{\odot}} = 10^3 = 1000$$

$$\frac{P_2}{P_1} = \frac{100}{\sqrt{10}}$$

Z prawa Stefana-Boltzmann:

$$P = \varepsilon \sigma S T^4$$

a zatem:

$$\frac{P_2}{P_1} = \frac{4\pi R_2^2}{4\pi R_1^2} \cdot \frac{T_2^4}{T_1^4}$$

skąd:

$$\frac{R_2^2}{R_1^2} = \frac{P_2}{P_1} \cdot \frac{T_1^4}{T_2^4}$$

Podstawiamy dane liczbowe:

$$\frac{R_2^2}{R_1^2} = \frac{100}{\sqrt{10}} \cdot \frac{(11 \cdot 10^3)^4}{(6 \cdot 10^3)^4} = \frac{100}{\sqrt{10}} \cdot \frac{11^4}{6^4} \approx \frac{100}{3,1623} \cdot \frac{14\,641}{1296}$$

$$\frac{R_2^2}{R_1^2} \approx 357 \quad \Rightarrow \quad \frac{R_2}{R_1} \approx 19$$

Odpowiedź: Promień gwiazdy w wyniku ewolucji wzrośnie około 19 razy (a jej objętość około 6900 razy).

17 Promieniowanie jądrowe i jego właściwości

Zadanie 17.1

Oceń prawdziwość poniższych zdań. Wskaż P, jeśli zdanie jest prawdziwe, albo F, jeśli jest fałszywe.

1.	Już w czasach starożytnych Demokryt z Abdery przedstawił pogląd, że cała materia jest zbudowana z niepodzielnych elementów.	P	F
2.	Maria Skłodowska-Curie odkryła właściwości promieniotwórcze uranu.	P	F
3.	Henri Becquerel w 1896 roku odkrył, że promieniowanie związków uranu jonizuje powietrze i zaczernia kliszę fotograficzną.	P	F
4.	Maria i Piotr Curie stwierdzili, że promieniotwórczość jest właściwością jądra atomu pierwiastka promieniotwórczego.	P	F

Zadanie 17.2

Oceń prawdziwość poniższych zdań. Wskaż P, jeśli zdanie jest prawdziwe, albo F, jeśli jest fałszywe.

1.	Promieniowanie jonizujące jonizuje atomy ośrodka, w którym się rozchodzi.	P	F
2.	Jonizacja to zjawisko polegające na oderwaniu protonu od atomu lub cząsteczki.	P	F
3.	Do promieniowania jonizującego materię zalicza się tylko promieniowanie X.	P	F
4.	Wszystkie rodzaje promieniowania jądrowego mają właściwości jonizujące.	P	F

Zadanie 17.3

Oceń prawdziwość poniższych zdań. Wskaż P, jeśli zdanie jest prawdziwe, albo F, jeśli jest fałszywe.

1.	Promieniowanie γ to promieniowanie o bardzo małej długości fali, czyli strumień fotonów o małej energii.	P	F
2.	Cząstki β^- to elektrony, mają więc ujemny ładunek równy ładunkowi elementarnemu.	P	F
3.	Promieniowanie α stanowi strumień jąder helu.	P	F
4.	Dwa rodzaje promieniowania – α i β – ulegają odchyleniu w polu elektrycznym i magnetycznym.	P	F
5.	Promieniowanie γ ulega odchyleniu tylko w polu magnetycznym.	P	F

Zadanie 17.4

Uzupełnij zdanie właściwym stwierdzeniem, wybranym spośród 1–4, oraz jego poprawnym uzasadnieniem, wybranym spośród A–D.

Na kartce rozłożonej na dłoni

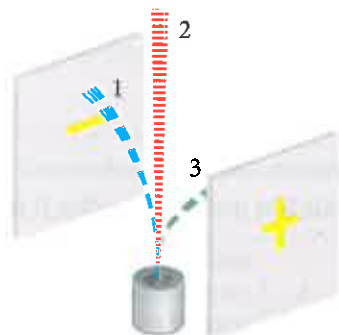
1.	można bezpiecznie przenieść źródło promieniowania alfa,	ponieważ	A.	każde promieniowanie jest niebezpieczne w takiej odległości od ciała ludzkiego.
2.	można bezpiecznie przenieść źródło promieniowania beta,		B.	jest to promieniowanie najsilniej pochłaniane – zostaje pochłonięte nawet przez naskórek.
3.	można bezpiecznie przenieść źródło promieniowania gamma,		C.	jest to promieniowanie, które najslabiej oddziałuje z materią.
4.	nie można bezpiecznie przenieść żadnego źródła promieniowania,		D.	promieniowanie złożone z naładowanych cząstek jest bardziej niebezpieczne niż promieniowanie gamma.

Zadanie 17.5

Uzupełnij brakujące podpisy.

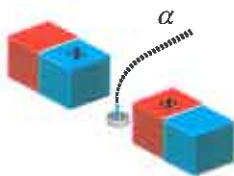
W jednorodnym polu elektrycznym umieszczono pojemnik z radioaktywnym pierwiastkiem, z którego jest emitowane promieniowanie α , β i γ . Zaznaczone na rysunku wiązki odpowiadają promieniowaniu:

1. _____
2. _____
3. _____

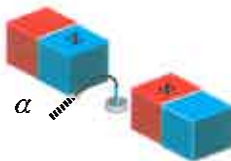
**Zadanie 17.6**

Zaznacz rysunek, który poprawnie przedstawia odchylenie w polu magnetycznym wiązki promieniowania jądrowego.

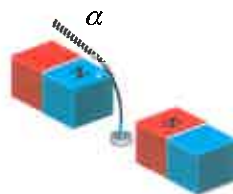
a) promieniowanie alfa



A.

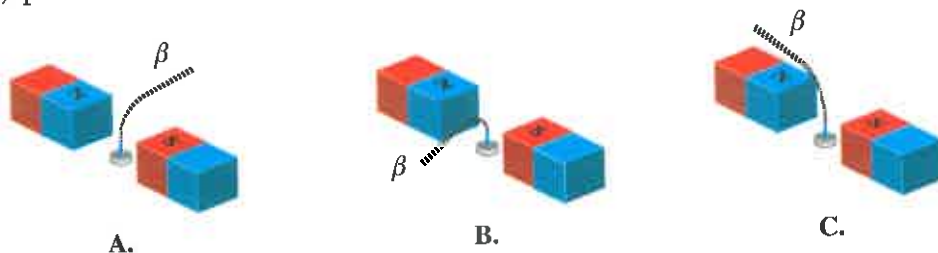


B.



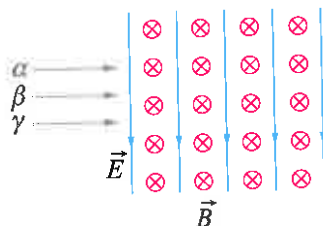
C.

b) promieniowanie beta

**Zadanie 17.7**

Przez skrzyżowane (jednorodne) pola elektryczne i magnetyczne przepuszczano wiązki promieniowania alfa, beta i gamma, jak przedstawiono na rysunku.

Wartość natężenia pola elektrostatycznego jest równa 3 kV/m, a wartość indukcji magnetycznej to 0,2 mT.



Skorzystaj z tych informacji i oceń prawdziwość poniższych zdań. Wskaż P, jeśli zdanie jest prawdziwe, albo F, jeśli fałszywe.

1.	Jeśli cząstki alfa o pewnej energii kinetycznej nie odchyłają się od pierwotnego kierunku, to cząstki beta o tej samej energii kinetycznej również przejdą przez skrzyżowane pola bez zmiany kierunku.	P	F
2.	Cząstki naładowane o szybkości 15 tys. km/s nie będą się odchylały w obszarze skrzyżowanych pól.	P	F
3.	Tylko promieniowanie gamma może przejść przez obszar skrzyżowanych pól bez zmiany kierunku.	P	F
4.	Przy tej samej energii kinetycznej cząstki alfa będą miały mniejszą szybkość niż cząstki beta.	P	F

18 Jądro atomowe i jego budowa

Zadanie 18.1

Oceń prawdziwość podanych dokończeń zdania. Wskaż P, jeśli dokończenie jest prawdziwe, albo F, jeśli jest fałszywe.

Siły jądrowe

1.	są dalekozasięgowe, gdyż ich wartość maleje powoli wraz ze wzrostem odległości między nukleonami.	P	F
2.	dominują nad siłami elektrostatycznymi dla odległości porównywalnych z rozmiarami jądra.	P	F
3.	nie rozróżniają nukleonów: dwa protony lub dwa neutrony oddziałują takimi samymi siłami jądrowymi.	P	F
4.	są różne dla oddziaływania dwóch protonów oraz oddziaływania protonu z neutronem.	P	F
5.	stanowią najsilniejsze oddziaływania w przyrodzie.	P	F

Zadanie 18.2

Uzupełnij tabelę.

Izotop	^{238}Pu	^{186}Bi	^{14}C	^{123}I	^{131}I	^{184}W
Liczba protonów						
Liczba elektronów						
Liczba neutronów						
Liczba nukleonów						

Zadanie 18.3

Do każdego początku zdania spośród 1–4 na temat cech jąder atomowych dobierz poprawne dokończenie, wybrane spośród A–D.

1.	Masa atomu w stosunku do masy jądra	jest	A.	taka sama.
2.	Objętość atomu w stosunku do objętości jądra		B.	niewiele większa.
3.	Liczba protonów w jądrze w stosunku do liczby elektronów w atomie		C.	wielokrotnie większa.
4.	Liczba protonów w stosunku do liczby neutronów w jądrze atomowym danego pierwiastka		D.	taka sama lub mniejsza.

Zadanie 18.4

Promień jądra atomu można oszacować ze wzoru:

$$r = 1,2 \text{ fm} \cdot \sqrt[3]{A}$$

gdzie A jest liczbą masową. Oszacuj:

- promień jądra ^{235}U ,
- gęstość materii jądrowej.

Zadanie 18.5

Połącz pojęcia 1–5 z ich definicjami A–E.

- liczba masowa
 - masa jądra atomowego
 - liczba atomowa
 - energia wiązania jądra
 - izotopy pierwiastka
- minimalna energia potrzebna do rozbicia jądra na poszczególne nukleony
 - liczba protonów w jądrze
 - jądra tego samego pierwiastka różniące się liczbą neutronów
 - łączna liczba protonów i neutronów w jądrze
 - suma mas protonów i neutronów pomniejszona o deficyt masy

Zadanie 18.6

Oblicz najmniejszą odległość, na którą mogą się zbliżyć do nieruchomego jądra złota (np. związanego w sieci krystalicznej) cząstki alfa o energii 7 MeV. Rozważ zderzenie centralne i sprężyste.

Zadanie 18.7

Promieniowanie alfa może być rozpraszane na jądrach pierwiastków, o ile jego energia nie jest zbyt duża. Powyżej pewnej wartości energii cząstki alfa wnikają do jąder i dochodzi do ich przemiany.

Promień jądra cyny oszacowano na 6 fm ($1 \text{ fm} = 10^{-15} \text{ m}$). Oblicz, jaką maksymalną energię może mieć rozpraszana cząstka α , aby nie wywołać przemiany jądrowej.

Zadanie 18.8

Masę różnych izotopów pierwiastków można bardzo dokładnie wyznaczać w urządzeniach zwanych spektrografami masowymi, w których jony danego pierwiastka są najpierw przyspieszane w polu elektrostatycznym, a następnie ich tory są zakrzywiane w polu magnetycznym, po czym następuje ich rejestracja np. na kliszy fotograficznej. Umożliwia to pomiar promienia okręgu, po którym porusza się dany jon. Wyprowadź wzór na masę cząstki na podstawie znajomości jej ładunku q , energii E , do której została przyspieszona w polu elektrostatycznym, promienia okręgu r oraz wartości B indukcji pola magnetycznego.

Zadanie 18.9

Zastosowanie spektrografu masowego pozwoliło na odkrycie izotopów pierwiastków, np. ^{20}Ne i ^{22}Ne . Oblicz promienie torów tych dwóch izotopów w polu magnetycznym o indukcji 0,05 T, jeśli zostały wcześniej przyspieszone w polu elektrostatycznym o różnicy potencjałów 4,8 kV. Przyjmij, że masy izotopów są odpowiednio równe 19,99 u i 21,99 u oraz że atomy neonu zostały jednokrotnie zjonizowane.

19 Rozpady promieniotwórcze**Zadanie 19.1**

Wskaż poprawne dokończenie zdania.

Rozpad promieniotwórczy to

- A. rozdzielenie jądra substancji promieniotwórczej na poszczególne składniki (protony i neutrony).
- B. wysłanie z jądra substancji promieniotwórczej cząstki α , β lub kwantu γ .
- C. wysłanie z jądra substancji promieniotwórczej tylko cząstki α lub β .
- D. podział jądra substancji promieniotwórczej na dwie porównywalne części.

Zadanie 19.2

Oceń prawdziwość poniższych zdań. Wskaż P, jeśli zdanie jest prawdziwe, albo F, jeśli jest fałszywe.

1.	W wyniku rozpadu α liczba protonów w jądrze atomowym zwiększa się o dwa.	P	F
2.	W przemianach jąder atomowych spełnione są zasady zachowania liczby nukleonów i ładunku.	P	F
3.	W wyniku rozpadu β^- liczba protonów w jądrze zwiększa się o jeden.	P	F
4.	Nie jest możliwe, aby po jednym rozpadzie α i jednym rozpadzie β jądra atomu pewnego pierwiastka powstało jądro tego samego pierwiastka.	P	F

Zadanie 19.3

Izotop promieniotwórczy $^{232}_{90}\text{Th}$ emituje cząstkę α , przechodząc w izotop radu, a następnie ten emituje cząstkę β^- . Napisz równania reakcji i oblicz liczbę neutronów w jądrze otrzymanego izotopu aktynu.

Zadanie 19.4

Jądro izotopu ołowiu $^{214}_{82}\text{Pb}$ emituje elektron. Napisz równanie reakcji rozpadu i podaj liczbę nukleonów w powstałym jądrze bizmutu.

Zadanie 19.5

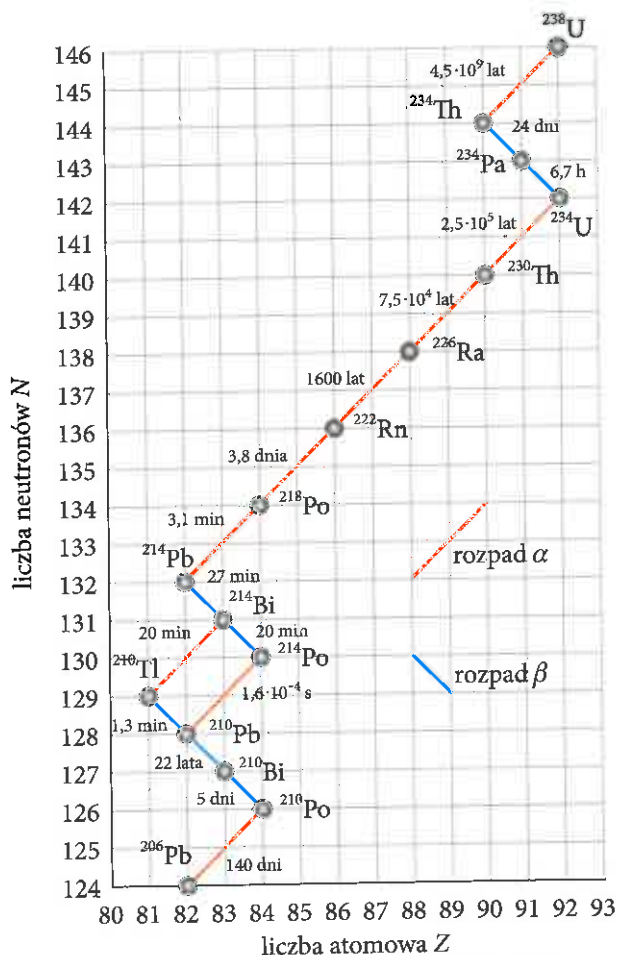
Oblicz, ile cząstek α i β^- zostaje wyemitowanych w wyniku kolejnych przemian promieniotwórczych, rozpoczynających się od izotopu ołowiu ^{208}Pb , a kończących się na izotopie rtęci ^{200}Hg .

Zadanie 19.6

Izotop protaktynu ^{231}Pa ulega przemianie β^- , a izotop radu ^{226}Ra – przemianie α . Oblicz różnicę liczb masowych izotopów powstałych w tych przemianach.

Zadanie 19.7

Na rysunku poniżej przedstawiono szereg uranowo-radowy.



Ile rozpadów następuje podczas przejścia izotopu ^{234}Th w izotop ^{210}Pb ? Zapisz równania reakcji rozpadów.

Zadanie 19.8

Jądro radioaktywnego pierwiastka przekształciło się w jądro $^{224}_{88}\text{Ra}$ w wyniku następujących kolejno dwóch rozpadów beta i rozpadu alfa. Podaj nazwę radioaktywnego pierwiastka i zapisz równania reakcji kolejnych rozpadów.

Zadanie 19.9

W niżej zapisanych równaniach reakcji rozpadu izotopów pierwiastków wskaż błędy dotyczące ich symboli, a następnie zapisz je poprawnie. Uzupełnij równania o symbole innych cząstek emitowanych podczas rozpadu. Skorzystaj z układu okresowego pierwiastków.

1. $^{234}_{90}\text{Pa} \rightarrow ^{234}_{91}\text{Ta} + ^0_{-1}\text{e}$
2. $^{241}_{95}\text{Am} \rightarrow ^{237}_{93}\text{U} + ^4_2\text{He}$
3. $^{213}_{84}\text{Po} \rightarrow ^{209}_{82}\text{Po} + ^4_2\text{He}$
4. $^{210}_{81}\text{Tl} \rightarrow ^{210}_{82}\text{Pb} + ^0_1\text{e}$
5. $^{40}_{19}\text{K} \rightarrow ^{40}_{18}\text{Ar} + ^0_{-1}\text{e}$

Zadanie 19.10

Energia wyzwolana podczas reakcji rozpadu alfa jądra polonu: $^{213}_{84}\text{Po} \rightarrow ^{209}_{82}\text{Pb} + ^4_2\text{He}$ jest równa sumie energii kinetycznych jąder ołowiu i helu. Wyprowadź wzory na energie kinetyczne jąder ołowiu i helu, przy założeniu, że jądro polonu przed rozpadem spoczywało. Przyjmij, że znasz masy jąder m_{Pb} i m_{He} oraz energię E wyzwoloną podczas reakcji.

Zadanie 19.11

Spoczywające początkowo jądro izotopu polonu $^{218}_{84}\text{Po}$ ulega przemianie promieniotwórczej: $^{218}_{84}\text{Po} \rightarrow ^{214}_{82}\text{Pb} + ^4_2\text{He}$. Wyprowadź wzór na energię kinetyczną emitowanej cząstki alfa oraz oblicz tę energię, jeżeli energia kinetyczna powstałego jądra ołowiu wynosi 74,76 keV.

20**Prawo rozpadu promieniotwórczego****Zadanie 20.1**

Wskaż poprawne dokończenie zdania.

Jądra wszystkich izotopów danego pierwiastka mają

- A. różne liczby atomowe Z i takie same liczby masowe A .
- B. takie same liczby atomowe Z i różne liczby masowe A .
- C. różne zarówno liczby atomowe Z , jak i masowe A .
- D. takie same liczby atomowe Z i masowe A .

Zadanie 20.2

Czas połowicznego rozpadu pewnego izotopu jest równy 2 h. Oblicz, w jakim czasie rozpadnie się $7/8$ początkowej liczby jąder.

Zadanie 20.3

W czasie 5 godzin rozpadowi uległo 75% początkowej liczby jąder izotopu promieniotwórczego. Oblicz czas połowicznego rozpadu tego izotopu.

Zadanie 20.4

Po 25 godzinach w próbce pozostało 25% początkowej liczby jąder pewnego izotopu. Oblicz czas połowicznego rozpadu tego izotopu.

Zadanie 20.5

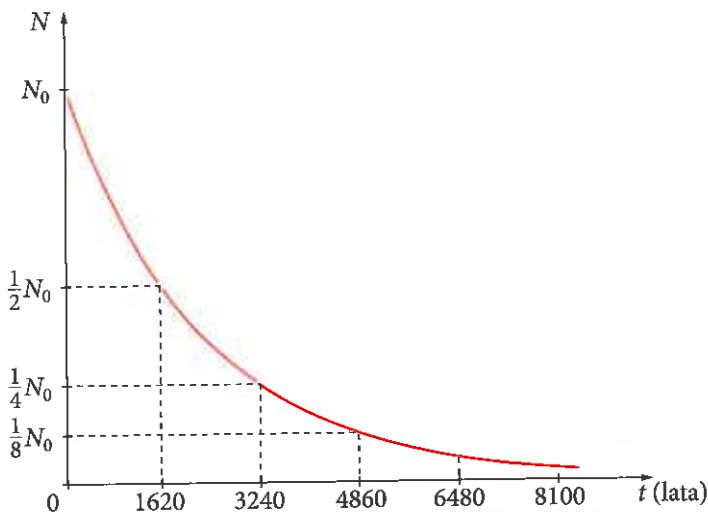
Badana próbka zawiera 0,02 g izotopu jodu ^{131}I . Czas połowicznego rozpadu izotopu ^{131}I wynosi 8 dni. Oblicz masę izotopu w tej próbce przed 64 dniami.

Zadanie 20.6

Czas połowicznego rozpadu dla izotopu ^3_1H wynosi 12 lat. Oblicz, jaki procent początkowej masy izotopu ^3_1H uległ rozpadowi po 36 latach.

Zadanie 20.7

Rysunek przedstawia wykres zależności od czasu liczby jąder pozostałych w próbce dla izotopu $^{226}_{88}\text{Ra}$.



Odczytaj z wykresu:

- czas połowicznego rozpadu,
- czas, po którym w próbce pozostanie $1/16$ początkowej liczby jąder.

Zadanie 20.8

Próbka zawiera 2 mg izotopu $^{214}_{84}\text{Po}$, dla którego czas połowicznego rozpadu jest równy $1,6 \cdot 10^{-4}$ s. Narysuj wykres zależności masy ^{214}Po pozostałej w próbce od czasu. Zaznacz na wykresie co najmniej sześć punktów.

Zadanie 20.9

Głównym źródłem promieniowania jonizującego, na które jesteśmy narażeni, jest promieniotwórczy radon. Szacuje się, że aktywność radonu ^{222}Rn , który pojawia się w budynkach mieszkalnych w wyniku rozpadu ^{226}Ra , może wynosić nawet 1000 Bq/m^3 .

- Zapisz równania reakcji powstawania radonu oraz reakcji rozpadu alfa jądra radonu.
- Oszacuj, ile rozpadów zachodzi w ciągu godziny w mieszkaniu o powierzchni 40 m^2 i wysokości 2,5 m. Przyjmij, że średnia aktywność na jednostkę objętości jest równa 500 Bq/m^3 .

Zadanie 20.10

Utwórz trzy prawdziwe zdania. Każdemu z punktów 1–3 przyporządkuj odpowiednie dokończenie, wybrane spośród A–C.

Jeśli masa pierwiastka promieniotwórczego w próbce pięciokrotnie zmaleje, to

1.	jego czas połowicznego rozpadu	A.	pięć razy wzrośnie.
2.	aktywność próbki	B.	pięć razy zmaleje.
3.	zdolność przenikania promieniowania emitowanego przez próbkę przez warstwę absorbentu	C.	nie ulegnie zmianie.

Zadanie 20.11

Czas połowicznego rozpadu węgla ^{14}C wynosi około 5700 lat. Na podstawie zawartości tego izotopu w szczątkach zwierząt możemy określić, kiedy żyły.

- Oblicz, ile razy zawartość izotopu ^{14}C w szczątkach zwierzęcia, które żyło 80 000 lat temu, zmalała do chwili obecnej.
- Oblicz, po jakim czasie od śmierci zwierzęcia w jego szczątkach pozostanie $0,125 \mu\text{g}$ tego izotopu, jeśli w chwili śmierci zawartość izotopu wynosiła $16 \mu\text{g}$.
- Narysuj wykres zależności masy $^{14}_6\text{C}$ izotopu węgla pozostałego w szczątkach zwierzęcia od czasu. Wyskaluj odpowiednio osie, zaznacz co najmniej pięć punktów.

Zadanie 20.12

Niedawno portale internetowe doniosły o znalezieniu idealnie zachowanych w wiecznej zmarzlinie młodych lwów. Na podstawie datowania metodą węgla ^{14}C oszacowano wiek jednego z nich na 43 000 lat, a drugiego na 28 000 lat. Czas połowicznego rozpadu ^{14}C wynosi 5730 lat. Oblicz w każdym z opisanych przypadków stosunek liczby jąder węgla w próbce do liczby początkowej i wyraż go w procentach.

Zadanie 20.13

W czujniku dymu używa się źródła ^{241}Am , emitującego promieniowanie alfa, o czasie połowicznego rozpadu 432 lata. Aktywność źródła wynosi 7,4 kBq. Odpowiedz na pytania.

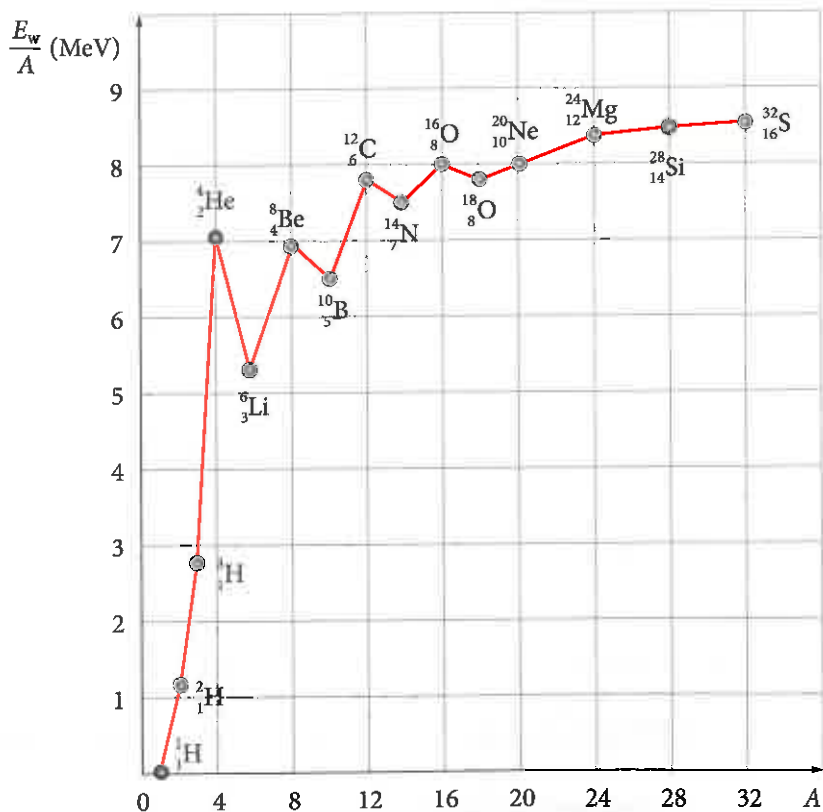
1. Dlaczego montowanie czujników pod sufitem nie jest niebezpieczne dla ludzi?
2. Po jakim czasie aktywność ameryku spadnie o 75%?
3. Czy na podstawie odpowiedzi na pytanie 2 możemy wnioskować, że spadek aktywności o 25% nastąpi po 216 latach?
4. Jaka będzie masa ameryku, który zostanie po tym czasie w próbce, jeśli jej masa początkowa wynosiła 30 mg? Jaki jest to procent masy początkowej?

21 Energia wiązania

Zadanie 21.1

Skorzystaj z fragmentu wykresu zależności energii wiązania przypadającej na jeden nukleon od liczby masowej i wskaż szczególnie trwałe jądra wśród zaznaczonych (tzw. jądra magiczne). Odpowiedz na pytanie:

Co wyróżnia te jądra?



Zadanie 21.2

Oblicz deficyt masy i energię wiązania jądra tlenu $^{16}_8\text{O}$ oraz energię wiązania przypadającą na jeden nukleon w tym jądrze. Masa jądra $^{16}_8\text{O}$ jest równa 15,9905 u. Deficyt masy wyraż w jednostkach masy atomowej, a energię wiązania w megaelektronowoltach. Przyjmij, że masa protonu $m_p = 1,0073$ u, a masa neutronu $m_n = 1,0087$ u.

Zadanie 21.3

Masa jądra izotopu węgla $^{12}_6\text{C}$ wynosi 11,9967 u. Przyjmij, że masa protonu $m_p = 1,0073$ u, a masa neutronu $m_n = 1,0087$ u. Oblicz:

- deficyt masy jądra $^{12}_6\text{C}$; wyraż tę wielkość w jednostkach masy atomowej i w kilogramach;
- energię, którą należy dostarczyć, aby rozdzielić to jądro na poszczególne protony i neutrony; wyraż energię w dżulach i megaelektronowoltach;
- energię przypadającą na jeden nukleon w jądrze tego izotopu.

Zadanie 21.4

Porównaj energie wiązania na nukleon dwóch izotopów chloru $^{35}_{17}\text{Cl}$ i $^{37}_{17}\text{Cl}$ (oblicz iloraz tych energii). Masy izotopów chloru odczytaj z tabeli na s. 93.

Zadanie 21.5

Energia wiązania jądra litu ^7_3Li jest równa 39,2 MeV. Oblicz deficyt masy oraz masę jądra litu; wynik podaj w jednostkach masy atomowej. Przyjmij, że masa protonu $m_p = 1,0073$ u, a masa neutronu $m_n = 1,0087$ u.

Zadanie 21.6

Energia wiązania na jeden nukleon dla izotopu berylu $^{10}_4\text{Be}$ wynosi 6,5 MeV. Oblicz energię wiązania i masę jądra izotopu berylu.

Zadanie 21.7

Tabela przedstawia energie wiązania oraz energie wiązania przypadające na jeden nukleon dla wybranych izotopów.

Izotop	^2_1H	^3_1H	^4_2He	^7_3Li	$^{10}_4\text{Be}$	$^{37}_{17}\text{Cl}$	$^{94}_{36}\text{Kr}$	$^{120}_{50}\text{Sn}$	$^{235}_{92}\text{U}$
E_w (MeV)	2,22	8,46	28,3				791,5		
$\frac{E_w}{A}$ (MeV)				5,60	6,49	8,57		8,50	7,59

- Uzupełnij tabelę.
- Narysuj wykres zależności energii wiązania przypadającej na jeden nukleon od liczby nukleonów.

22 Reakcje jądrowe. Kreacja i anihilacja

Zadanie 22.1

Uzupełnij zapis poniższych równań reakcji jądrowych.

- ${}_1^1\text{p} + {}_7^{14}\text{N} \rightarrow \dots + {}_1^3\text{H}$
- ${}_7^{14}\text{N} + {}_2^4\text{He} \rightarrow {}_6^{12}\text{C} + \dots$
- $\dots + {}_8^{16}\text{O} \rightarrow {}_9^{19}\text{F} + {}_1^1\text{p}$
- ${}_0^1\text{n} + {}_{92}^{235}\text{U} \rightarrow {}_{40}^{98}\text{Zr} + \dots + 2{}_0^1\text{n}$
- $\dots + {}_2^4\text{He} \rightarrow {}_6^{12}\text{C} + 3{}_0^1\text{n}$
- ${}_{13}^{27}\text{Al} + \dots \rightarrow {}_{15}^{30}\text{P} + {}_0^1\text{n}$
- ${}_{15}^{32}\text{P} \rightarrow \dots + {}_{-1}^0\text{e} + \bar{\nu}_e$

Zadanie 22.2

Uzupełnij zapis poniższych równań reakcji rozpadu izotopów pierwiastków.

- ${}_{92}^{238}\text{U} \rightarrow \dots + {}_2^4\text{He}$
- $\dots \rightarrow {}_{88}^{223}\text{Ra} + {}_{-1}^0\text{e} + \bar{\nu}_e$
- ${}_{91}^{231}\text{Pa} \rightarrow \dots + {}_2^4\text{He}$
- $\dots \rightarrow {}_{84}^{214}\text{Po} + {}_{-1}^0\text{e} + \bar{\nu}_e$
- ${}_{89}^{227}\text{Ac} \rightarrow \dots + {}_2^4\text{He}$

Zadanie 22.3

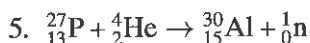
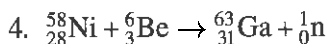
Uzupełnij zapis poniższych równań reakcji jądrowych.

- $\dots + {}_2^4\text{He} \rightarrow {}_6^{12}\text{C} + {}_0^1\text{n}$
- $\dots + {}_0^1\text{n} \rightarrow {}_6^{12}\text{C} + {}_1^3\text{H}$
- ${}_2^4\text{He} + {}_8^{16}\text{O} \rightarrow \dots + {}_1^1\text{p}$
- ${}_0^1\text{n} + {}_{92}^{235}\text{U} \rightarrow {}_{37}^{90}\text{Rb} + \dots + 2{}_0^1\text{n}$
- $\dots + {}_2^4\text{He} \rightarrow {}_{15}^{30}\text{P} + {}_0^1\text{n}$

Zadanie 22.4

W niżej zapisanych równaniach reakcji jądrowych wskaż błędnie podane symbole izotopów, a następnie zapisz je poprawnie. Skorzystaj z układu okresowego pierwiastków.

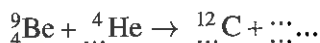
- ${}_0^1\text{n} + {}_{80}^{198}\text{Hg} \rightarrow {}_{79}^{198}\text{Ta} + {}_1^1\text{p}$
- ${}_0^1\text{n} + {}_{91}^{235}\text{U} \rightarrow {}_{56}^{139}\text{Zr} + {}_{36}^{94}\text{Kr} + 3{}_0^1\text{n}$
- ${}_6^{12}\text{C} + {}_2^4\text{Hg} \rightarrow {}_8^{16}\text{O}$



Zadanie 22.5

W latach trzydziestych ubiegłego wieku odkryto, że jądra berylu bombardowane cząstkami alfa emitują przenikliwe promieniowanie, które nazywano promieniowaniem berylowym. Jego natura początkowo nie była znana – do czasu, kiedy J. Chadwick wykazał, że promieniowanie to wybija protony z umieszczonej w pobliżu parafiny, fizycy sądzili, że jest to promieniowanie rentgenowskie.

Uzupełnij równanie reakcji (wpisz brakujące liczby masowe i atomowe) i określ, czym było promieniowanie berylowe (wpisz symbol cząstki w wykrópkowane miejsce).



Oceń prawdziwość poniższych zdań, związanych z cząstkami odkrytymi w tej reakcji. Wskaż P, jeśli zdanie jest prawdziwe, albo F, jeśli jest fałszywe.

1.	W wyniku bombardowania jąder berylu przez cząstki α nie mogło powstać promieniowanie rentgenowskie, ponieważ w reakcji wybijania protonów z parafiny nie byłaby spełniona zasada zachowania liczby nukleonów.	P	F
2.	Cząstki naładowane są łatwiejsze do identyfikacji niż cząstki neutralne ze względu na ich oddziaływanie z polem elektrycznym i magnetycznym.	P	F
3.	Materię mogą jonizować zarówno cząstki naładowane, jak i neutralne.	P	F
4.	Doświadczenie Rutherforda pozwoliło na odkrycie, że jądro atomowe składa się z protonów i neutronów.	P	F

Zadanie 22.6

Oblicz energię wydzieloną podczas reakcji: ${}_4^9\text{Be} + {}_2^4\text{He} \rightarrow {}_6^{12}\text{C} + {}_0^1\text{n}$. Masy atomowe izotopów odczytaj z tabeli na s. 93.

Zadanie 22.7

Jądro uranu ${}_{92}^{235}\text{U}$ rozpada się na jądro toru ${}_{90}^{231}\text{Th}$ i cząstkę alfa.

a) Zapisz równanie reakcji rozpadu.

b) Oblicz energię wyzwalaną podczas reakcji rozpadu. Skorzystaj z tabeli mas atomowych na s. 93.

Zadanie 22.8

Reakcja rozpadu radu przebiega następująco: ${}_{88}^{226}\text{Ra} \rightarrow {}_{86}^{222}\text{Rn} + {}_2^4\text{He}$. Podczas tej reakcji wyzwala się energia 4,87 MeV. Wyprowadź wzór na masę rozpadającego się jądra radu i oblicz jej wartość wyrażoną w jednostkach masy atomowej. Skorzystaj z tabeli na s. 93.

Zadanie 22.9

Uzupełnij zdanie właściwym stwierdzeniem, wybranym spośród 1–2, oraz jego poprawnym uzasadnieniem, wybranym spośród A–B.

Koszt energii fotonu kreacja pary elektron–pozyton może nastąpić tylko

1.	w próżni,	bo tylko wtedy	A.	mogą być zachowane zarówno pęd, jak i energia układu.
2.	w pobliżu jądra atomu,		B.	może być spełniona zasada zachowania ładunku.

Zadanie 22.10

Oblicz i wyraż w nanometrach maksymalną długość fali fotonu, który mógłby spowodować kreację pary elektron–pozyton.

Zadanie 22.11

Oszacuj energię kwantu γ , który w akcie reakcji wytworzy parę elektron–pozyton o szybkościach równych $0,1c$. Wyraż tę energię w J i MeV.

Zadanie 22.12

Elektron i pozyton o łącznej energii kinetycznej $0,1$ MeV anihilują. Oblicz:

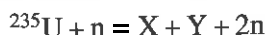
- wartość pędu każdego z powstających fotonów;
- długość fali każdego fotonu.

23 Reakcje rozszczepienia

Zadanie 23.1

Skorzystaj z układu okresowego pierwiastków i odpowiedz na pytanie:

Czy w niżej zapisanym równaniu reakcji rozszczepienia



mogłyby powstać izotopy:

- ^{139}Cs i ^{95}Rb ,
- ^{121}In i ^{113}Ru ?

Uzasadnij odpowiedź.

Zadanie 23.2

Przy rozszczepieniu jądra uranu $^{235}_{92}\text{U}$ uwalniana jest energia około 200 MeV.

- Oblicz, jaka to część energii spoczynkowej jądra uranu.
- Oblicz energię wyzwalaną podczas rozszczepienia $0,1$ mola czystego uranu ^{235}U . Wyraż tę energię w kWh.

Zadanie 23.3

Oblicz energię uwalnianą w procesie rozszczepienia jądra uranu $^{235}_{92}\text{U}$ i plutonu $^{239}_{94}\text{Pu}$ w poniższych reakcjach.

- a) $^1_0\text{n} + ^{235}_{92}\text{U} \rightarrow ^{90}_{38}\text{Sr} + ^{144}_{54}\text{Xe} + 2^1_0\text{n}$
 b) $^1_0\text{n} + ^{235}_{92}\text{U} \rightarrow ^{87}_{35}\text{Br} + ^{146}_{57}\text{La} + 3^1_0\text{n}$
 c) $^1_0\text{n} + ^{239}_{94}\text{Pu} \rightarrow ^{144}_{56}\text{Ba} + ^{94}_{38}\text{Sr} + 2^1_0\text{n}$
 d) $^1_0\text{n} + ^{239}_{94}\text{Pu} \rightarrow ^{130}_{51}\text{Sb} + ^{107}_{43}\text{Tc} + 3^1_0\text{n}$

Skorzystaj z informacji, że jednostka masy atomowej jest równoważna energii 931,5 MeV. Pomiń początkową energię kinetyczną jądra uranu i neutronu.

Zadanie 23.4

Oceń prawdziwość poniższych zdań. Wskaż P, jeśli zdanie jest prawdziwe, albo F, jeśli jest fałszywe.

1.	W reaktorze jądrowym nie może nastąpić wybuch jądrowy odpowiadający wybuchowi bomby atomowej, ponieważ rozszczepialny uran stanowi tylko 4% paliwa.	P	F
2.	W przypadku bomby atomowej rozszczepialny uran $^{235}_{92}\text{U}$ stanowi powyżej 90% paliwa.	P	F
3.	Gwałtowną reakcję łańcuchową można wywołać przez zetknięcie dwóch brył dowolnego pierwiastka, z których każda ma masę bliską masie krytycznej.	P	F
4.	Masa krytyczna to minimalna masa izotopu rozszczepialnego, potrzebna do zainicjowania reakcji łańcuchowej.	P	F

Zadanie 23.5

Oceń prawdziwość podanych dokończeń zdania. Wskaż P, jeśli dokończenie jest prawdziwe, albo F, jeśli jest fałszywe.

Jednym z warunków koniecznych zajścia w próbce reakcji łańcuchowej jest to, aby:

1.	znajdowała się w niej wystarczająca liczba jąder izotopu ulegających rozszczepieniu.	P	F
2.	masa próbki materiału rozszczepialnego była większa od masy krytycznej.	P	F
3.	masa próbki była prawie równa masie krytycznej.	P	F
4.	jądra izotopu ulegające rozszczepieniu stanowiły 1/4 całkowitej liczby jąder.	P	F

Zadanie 23.6

Utwórz cztery prawdziwe zdania. Do każdego faktu 1–4 dobierz jego przyczynę, wybraną spośród A–E.

1. Jądra powstające w wyniku rozszczepienia ulegają rozpadom β^- ,
2. Temperatura próbki podczas reakcji rozszczepienia wzrasta,
3. Suma energii kinetycznych fragmentów rozszczepienia i neutronów jest większa od energii kinetycznej ciężkiego jądra i neutronu,
4. W próbce materiału rozszczepialnego o masie mniejszej od masy krytycznej większość neutronów powstających w procesie rozszczepienia ucieka na zewnątrz,

ponieważ

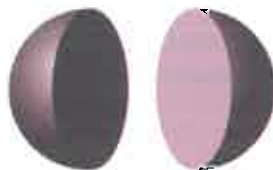
- A. ich szybkości średnie są bardzo duże.
- B. jej powierzchnia jest duża w stosunku do objętości.
- C. atomy izotopów powstających w wyniku rozszczepienia mają olbrzymią średnią energię kinetyczną.
- D. mają nadmiar liczby neutronów w stosunku do liczby protonów.
- E. suma energii spoczynkowych produktów reakcji jest mniejsza od sumy energii spoczynkowych cząstek przed reakcją.

Zadanie 23.7

Próbkę materiału rozszczepialnego mającą kształt kuli o promieniu R podzielono na dwie półkule (rys. 1 i 2).



Rys. 1



Rys. 2

- a) Oblicz stosunek powierzchni do objętości próbki w przypadkach 1 i 2.
- b) Sformułuj wniosek na temat liczby neutronów wylatujących z próbek na zewnątrz.

Zadanie 23.8

Jądro uranu na skutek pochłonięcia neutronu uległo rozszczepieniu:



- a) Oblicz energię uwolnioną podczas reakcji i wyraż ją w MeV. Pomiń początkową energię kinetyczną jądra uranu i neutronu. Przyjmij, że jednostka masy atomowej 1 u jest równoważna 931,5 MeV.
- b) Wyjaśnij, w jakiej formie jest uwalniana ta energia.

24 Energetyka jądrowa. Wykorzystanie energii jądrowej

Zadanie 24.1

Energia uwalniana w pojedynczej reakcji rozszczepienia jądra uranu ^{235}U wynosi około 200 MeV.

- Oblicz liczbę jąder w 1 g czystego uranu ^{235}U .
- Oszacuj energię, która zostałaby uwolniona podczas rozszczepienia wszystkich jąder zawartych w 1 g czystego uranu ^{235}U i wyraż ją w J i kWh.
- Oszacuj masę węgla kamiennego, który należałoby spalić, aby uzyskać taką samą ilość energii. Przyjmij, że ciepło spalania węgla jest równe 34 MJ/kg.

Zadanie 24.2

Oceń prawdziwość poniższych zdań. Wskaż P, jeśli zdanie jest prawdziwe, albo F, jeśli jest fałszywe.

1.	W reaktorze jądrowym w sposób ciągły wykorzystuje się energię wyzwalaną w procesach rozszczepienia.	P	F
2.	Moderator w akceleratorze służy do przyspieszania neutronów termicznych.	P	F
3.	Paliwo w reaktorze jądrowym stanowią pręty wykonane np. ze wzbogaconego uranu.	P	F
4.	Do spowalniania neutronów w reaktorze jądrowym stosuje się np. wodę, ciężką wodę lub grafit.	P	F
5.	W celu regulowania mocy reaktora stosuje się pręty kontrolne, wykonane najczęściej z substancji odbijającej neutrony.	P	F

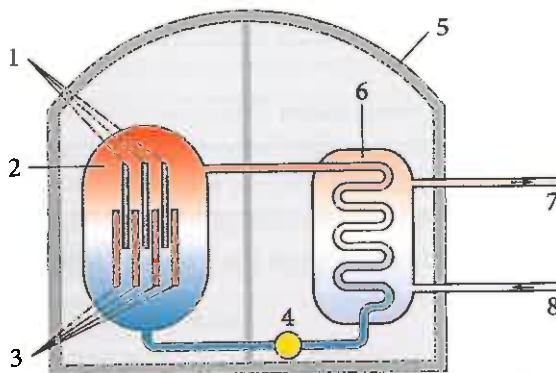
Zadanie 24.3

Oceń prawdziwość poniższych zdań. Wybierz P, jeśli zdanie jest prawdziwe, albo F, jeśli jest fałszywe.

1.	O mocy reaktora jądrowego decydują liczba i wielkość elementów paliwowych.	P	F
2.	Moderator w reaktorze jądrowym służy do przyspieszania neutronów.	P	F
3.	Wsuwanie prętów pochłaniających neutrony zwiększa liczbę rozszczepień zachodzących w ciągu 1 sekundy.	P	F
4.	Powstające w reaktorach radioaktywne produkty rozszczepienia jąder uranu stanowią poważny problem, ponieważ są silnie promieniotwórcze.	P	F
5.	Promieniowanie wokół elektrowni węglowych, pochodzące z dostających się do atmosfery pyłów, może być większe od promieniowania współczesnych elektrowni jądrowych.	P	F

Zadanie 24.4

Rysunek przedstawia schemat reaktora jądrowego.



Do ponumerowanych na rysunku części reaktora dopasuj wymienione poniżej nazwy.

- | | |
|-----------------------|---------------------|
| A. wymiennik ciepła | E. pręty kontrolne |
| B. wyjście do turbiny | F. pompa |
| C. pręty paliwowe | G. skorupa ochronna |
| D. moderator | H. dopływ wody |

Zadanie 24.5

Obecnie są prowadzone prace nad wykorzystaniem izotopu ^{232}Th w energetyce jądrowej – m.in. ze względu na to, że jest go na Ziemi znacznie więcej niż stosowanego rozszczepialnego uranu. Tor nie jest materiałem rozszczepialnym, ale bombardowany neutronami staje się nietrwałym izotopem, który ulega dwóm rozpadom beta, w wyniku czego powstaje rozszczepialny izotop uranu ^{233}U . Dzięki użyciu tego izotopu powstaje znacznie mniej odpadów promieniotwórczych o krótszych czasach połowicznego rozpadu. Zapisz cykl reakcji prowadzących do powstania uranu ^{233}U z toru ^{232}Th z uwzględnieniem liczb masowych i atomowych.



25

Reakcje termojądrowe. Ewolucja gwiazd**Zadanie 25.1**

Utwórz pięć zdań prawdziwych. Do każdego początku zdania 1–5 dobierz jego właściwe zakończenie, wybrane spośród A–G.

1. W gwiazdach podczas syntezy dwóch protonów w jądro deuteru...
2. Gwiazdy o masach porównywalnych z masą Słońca...
3. W masywnych gwiazdach, w których wnętrzu panują bardzo wysokie temperatury, ...
4. W procesie ewolucji gwiazd o ekstremalnie dużych masach...
5. Liczba lekkich jąder na Słońcu, które stopniowo będą ulegać syntezie, ...

- A. zachodzą reakcje z udziałem węgla, tlenu i azotu.
- B. powstają także pozyton i neutrino.
- C. wystarczy na około 10^5 lat.
- D. wystarczy na około $5 \cdot 10^9$ lat.
- E. wędrują na diagramie H–R wzdłuż ciągu głównego w górę tym szybciej, im większa jest ich masa.
- F. powstają gwiazdy neutronowe albo czarne dziury.
- G. powstają białe karły lub czerwone olbrzymy.

Zadanie 25.2

Oceń prawdziwość podanych dokończeń zdania. Wskaż P, jeśli dokończenie jest prawdziwe, albo F, jeśli jest fałszywe.

Źródłem energii słonecznej są reakcje

1.	rozpadów promieniotwórczych α , β i γ .	P	F
2.	spalania wodoru i metanu.	P	F
3.	syntezy termojądrowej lekkich pierwiastków.	P	F
4.	rozszczepienia ciężkich jąder.	P	F

Zadanie 25.3

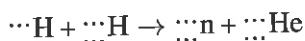
Oceń prawdziwość poniższych zdań. Wskaż P, jeśli zdanie jest prawdziwe, albo F, jeśli jest fałszywe.

1.	We wnętrzu gwiazd zachodzą reakcje fuzji lekkich jąder.	P	F
2.	Energia wiązania jądra helu stanowi 50% jego energii spoczynkowej.	P	F
3.	Źródłem energii Słońca są reakcje syntezy jąder helu w jądro wodoru.	P	F
4.	Reakcje syntezy jądrowej zachodzą przy niskim ciśnieniu i temperaturze rzędu milionów stopni.	P	F
5.	Fuzja termojądrowa polega na łączeniu się lekkich jąder w warunkach wysokiego ciśnienia i wysokiej temperatury.	P	F

Zadanie 25.4

Synteza deuteru z trytem uważana jest za źródło energii przyszłości.

- a) Uzupełnij schemat wspomnianej reakcji liczbami atomowymi i masowymi.



- b) Oblicz energię wydzieloną w każdej takiej reakcji, podaj ją w megaelektronowoltach i dżulach. Przyjmij, że masie 1 u odpowiada energia 931 MeV.

Zadanie 25.5

Wyjaśnij, dlaczego reakcje syntezy termojądrowej przeprowadzane w laboratoriach muszą zachodzić w znacznie wyższej temperaturze niż we wnętrzu Słońca.

Zadanie 25.6

Oceń prawdziwość poniższych zdań, dotyczących wykorzystywania reakcji rozszczepienia i termojądrowych do produkcji energii. Wskaż P, jeśli zdanie jest prawdziwe, albo F, jeśli jest fałszywe.

1.	Zapasy paliwa dostępne na Ziemi dla reakcji termojądrowych wystarczą na dłużej niż dla reakcji rozszczepienia.	P	F
2.	Tylko w reakcjach rozszczepienia wykorzystuje się zamianę masy na energię.	P	F
3.	Im cięższe jądra, tym mniejsza energia wiązania przypadająca na jeden nukleon.	P	F
4.	Zarówno reakcje fuzji, jak i rozszczepienia przeprowadzane w reaktorach mogą rozwinąć się w reakcje łańcuchowe.	P	F
5.	W reaktorach fuzyjnych powstaje znacznie mniej odpadów promieniotwórczych niż w reaktorach wykorzystujących reakcje rozszczepienia.	P	F

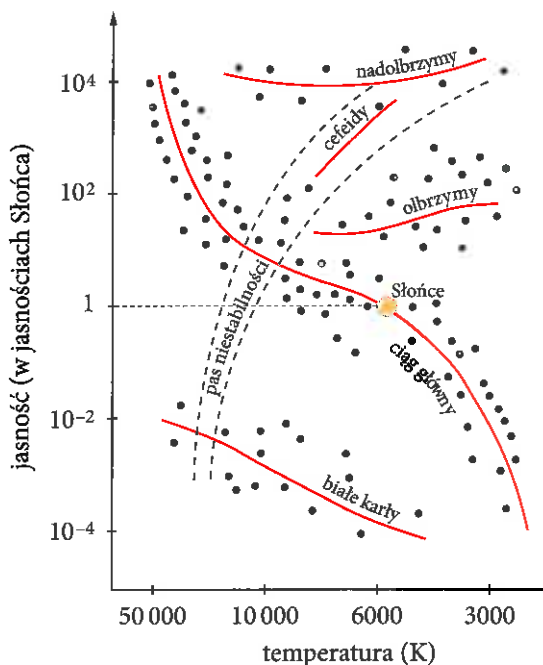
Zadanie 25.7

Oceń prawdziwość poniższych zdań. Wskaż P, jeśli zdanie jest prawdziwe, albo F, jeśli jest fałszywe.

1.	Moc promieniowania i jasność gwiazd ciągu głównego są związane z temperaturą ich powierzchni.	P	F
2.	Gwiazdy o podobnych rozmiarach mające wyższą temperaturę wysyłają więcej energii w jednostce czasu.	P	F
3.	Gwiazdy ciągu głównego o czterokrotnie wyższej temperaturze mają około dwa razy większą moc promieniowania.	P	F
4.	Białe karły mimo stosunkowo wysokiej temperatury mają małą moc promieniowania, bo ich powierzchnie są bardzo małe.	P	F
5.	Energia wyzwolona we wnętrzu gwiazdy wskutek reakcji termojądrowych jest transportowana na zewnątrz przez promieniowanie lub konwekcję.	P	F

Zadanie 25.8

Na rysunku przedstawiono diagram Hertzsprunga–Russella, który ilustruje związek między jasnością i temperaturą powierzchni gwiazd. Na ciągu głównym zaznaczono położenie Słońca.



Skorzystaj z diagramu i rozstrzygnij, w którym obszarze znajdują się następujące gwiazdy:

- Aldebaran – z gwiazdozbioru Byka, o mocy promieniowania 150 razy większej od mocy promieniowania Słońca i o temperaturze powierzchni 4100 K;
- Regulus – z gwiazdozbioru Lwa, o mocy promieniowania 350 razy większej od mocy promieniowania Słońca i o temperaturze powierzchni 12 000 K;
- Syriusz B – z gwiazdozbioru Wielkiego Psa, o mocy promieniowania stanowiącej 0,0024 mocy promieniowania Słońca i o temperaturze powierzchni 25 200 K.

Zadanie 25.9

Utwórz dwa prawdziwe zdania. Każdemu z punktów 1–2 przyporządkuj odpowiednie dokończenie, wybrane spośród A–D.

1.	W prawej górnej części diagramu Hertzsprunga–Russella są zgrupowane gwiazdy mające	A.	niską temperaturę powierzchni i małą moc promieniowania.
		B.	wysoką temperaturę powierzchni i dużą moc promieniowania.
2.	W lewej dolnej części diagramu Hertzsprunga–Russella są zgrupowane gwiazdy mające	C.	wysoką temperaturę powierzchni i małą moc promieniowania.
		D.	niską temperaturę powierzchni i dużą moc promieniowania.

Zadanie 25.10

Skorzystaj z diagramu Hertzsprunga–Russella zamieszczonego w zadaniu 25.8 i oszacuj, w jakim przedziale zawiera się moc promieniowania gwiazd leżących:

- na ciągu głównym,
- w obszarze białych karłów.

Moc promieniowania Słońca wynosi $3,82 \cdot 10^{26}$ W.

Zadanie 25.11

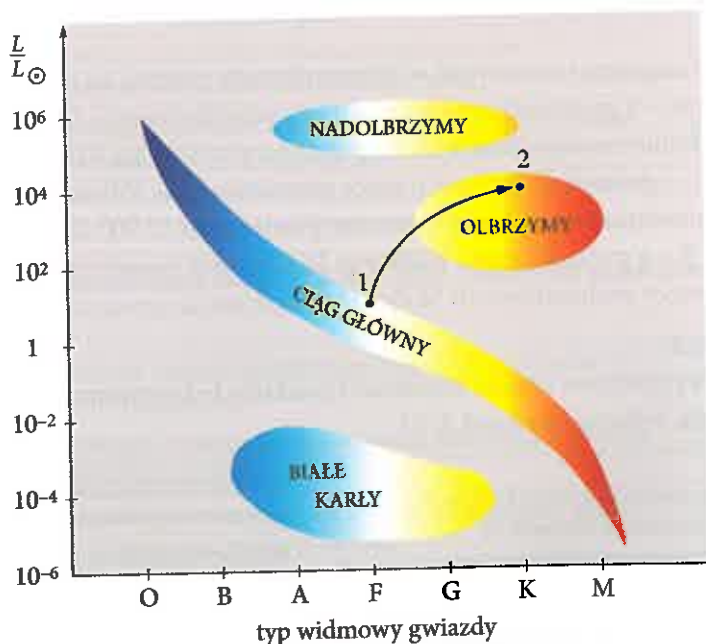
W tabeli podano typy widmowe gwiazd i odpowiadające im temperatury powierzchni gwiazd.

Typ widmowy gwiazdy	O	B	A	F	G	K	M
Temperatura powierzchni (K)	40 000	25 000	11 000	7500	6000	5000	3500

Moc promieniowania Słońca wynosi $3,82 \cdot 10^{26}$ W.

Pewna gwiazda znajduje się na ciągu głównym w położeniu 1, zaznaczonym na rysunku. Skorzystaj z prawa Stefana–Boltzmann'a oraz powyższych informacji.

- Oblicz, jak zmieniają się rozmiary gwiazdy w stosunku do obecnych, przy założeniu, że w wyniku ewolucji znajdzie się ona w obszarze olbrzymów, w punkcie 2 wskazanym na diagramie.



- Oszacuj, o ile wzrośnie moc promieniowania gwiazdy w wyniku ewolucji.

Zadanie 25.12

Wiadomo, że szybkość, z którą należy wyrzucić ciało z powierzchni kuli o promieniu R i masie M , aby uciekło do nieskończoności (czyli wartość drugiej prędkości kosmicznej), wyraża się wzorem:

$$v = \sqrt{\frac{2GM}{R}}$$

Z tego wzoru obliczamy promień czarnej dziury po podstawieniu $v = c$.

- Oblicz promień czarnej dziury o masie równej potrójnej masie Słońca ($M_{\odot} = 2 \cdot 10^{30}$ kg).
- Wyprowadź wzór na średnią gęstość² czarnej dziury i oszacuj jej wartość w przypadku opisanym w punkcie a) zadania.

26 Promieniowanie jonizujące a organizmy

Zadanie 26.1

Oceń prawdziwość poniższych zdań. Wskaż P, jeśli zdanie jest prawdziwe, albo F, jeśli jest fałszywe.

1.	Jednostką dawki pochłoniętej jest 1 Gy.	P	F
2.	Jednostką energii stosowaną w fizyce jądrowej jest jeden grej.	P	F
3.	Dawki pochłonięte przez różne organizmy, nawet jeśli ich energie są takie same, powodują różne skutki biologiczne.	P	F
4.	Siwert jest jednostką dawki skutecznej promieniowania.	P	F
5.	Dawkę skuteczną promieniowania można podawać w jednostkach aktywności źródła promieniotwórczego.	P	F

Zadanie 26.2

Dawka pochłonięta przez ciało o masie 45 kg jest równa 5 mGy. Oblicz energię promieniowania pochłoniętą przez to ciało.

Zadanie 26.3

Energia pochłonięta przez człowieka o masie 60 kg wynosi 0,24 mJ. Oblicz dawkę pochłoniętą.

² Średnia gęstość czarnej dziury nie jest precyzyjnym pojęciem. Czarna dziura nie wypełnia jednorodnie całej sfery Schwarzschilda. Powstawanie czarnej dziury to raczej zapadanie się obiektu do punktu (osobliwości).

Zadanie 26.4

Oceń prawdziwość poniższych zdań. Wskaż P, jeśli zdanie jest prawdziwe, albo F, jeśli jest fałszywe.

1.	Szkodliwe działanie promieniowania jonizującego na organizm ludzki jest spowodowane gwałtownym wzrostem temperatury ciała w wyniku pochłonięcia zbyt dużej dawki.	P	F
2.	Mieszkaniec Polski w ciągu roku otrzymuje (łącznie z naturalnych i sztucznych źródeł) średnią dawkę promieniowania około 3,5 mSv.	P	F
3.	Różnego rodzaju promieniowanie o takiej samej energii pochłonięte przez człowieka powoduje różne skutki.	P	F
4.	Sumaryczna zawartość izotopu promieniotwórczego węgla ^{14}C w organizmie żywym maleje z czasem według prawa rozpadu.	P	F

Zadanie 26.5

Połącz z sobą odpowiednie pojęcia z kolumn I i II.

Kolumna I		Kolumna II	
1.	bomba termojądrowa	A.	badanie PET
2.	detekcja promieniowania	B.	siwert
3.	pomiar dawki promieniowania	C.	dozometr
4.	dawka skuteczna	D.	reakcje syntezy
5.	dawka pochłonięta	E.	radioterapia protonowa
6.	naturalne źródło promieniowania	F.	grej
7.	medycyna nuklearna	G.	licznik Geigera–Müllera
8.	radioznacznik	H.	promieniowanie kosmiczne

Odpowiedzi do zadań

Dział 1. Dualna natura promieniowania i materii

Nr strony	Nr zadania	Odpowiedź
1. Fale elektromagnetyczne		
27	1.1	1F, 2P, 3F, 4P, 5F
27	1.2	D
27	1.3	C
27	1.4	$\nu_f \approx 7,7 \cdot 10^{14} \text{ Hz}$; $\nu_{cz} \approx 3,8 \cdot 10^{14} \text{ Hz}$
28	1.5	a) $\nu \approx 4,7 \cdot 10^{14} \text{ Hz}$; b) $\lambda \approx 421 \text{ nm}$
28	1.6	1B
28	1.7	B, C
28	1.8	1F, 2F, 3P, 4P, 5F
29	1.9	1B, C; 2D, E; 3A
29	1.10	1A, 2B, 3C, 4A, 5B, 6B, 7D, 8A
29	1.11	3B
30	1.12	C
30	1.13	C
30	1.14	D
30	1.15	$\nu \approx 1780 \text{ Hz}$
30	1.16	$L = \frac{1}{4\pi^2 \nu^2 C} = 2,6 \text{ }\mu\text{H}$
30	1.17	a) $\nu \approx 192 \text{ kHz}$; b) $\nu \approx 96 \text{ kHz}$
31	1.18	Wzrosłnie $\sqrt{3}$ razy.
31	1.19	a) $\nu \approx 583 \text{ kHz}$; b) Zmalaże w przybliżeniu o 116 m.
31	1.20	1F, 2F, 3F, 4P
31	1.21	$L_2 = 1 \text{ }\mu\text{H}$
31	1.22	Pojemność musiała wzrosnąć około 1,3 razy.
31	1.23	$\lambda \approx 9,4 \text{ m}$
31	1.24	$LC = \frac{\lambda^2}{4\pi^2 c^2} \approx 6,34 \cdot 10^{-13} \text{ s}^2$

Nr strony	Nr zadania	Odpowiedź
32	1.25	klocka, sprężyny; współczynnik samoindukcji L ; odwrotność pojemności $1/C$
32	1.26	a) $E_p = \frac{kx^2}{2}$; b) $E = \frac{Q^2}{2C}$
32	1.27	$I_{\max} = 0,5 \text{ A}$
32	1.28	a) natężenie prądu I ; b) $\frac{kA^2}{2} = \frac{mv_{\max}^2}{2}$; $\frac{Q_{\max}^2}{2C} = \frac{LI_{\max}^2}{2}$
2. Pomiar wartości prędkości światła		
33	2.1	1P, 2P, 3F, 4P
33	2.2	1A, 2B, 2C
34	2.3	W przypadku zwierciadła kulistego wklęsłego każdy promień świetlny odbity od zwierciadła Z_1 w punkcie będącym środkiem krzywizny zwierciadła Z_2 pada na to zwierciadło prostopadłe (pod kątem 0°) i po odbiciu wraca po tej samej prostej.
34	2.4	około 24 Hz
34	2.5	1P, 2F, 3F, 4P, 5F
3. Dyfrakcja i interferencja światła		
35	3.1	1P, 2F, 3P, 4F, 5P
35	3.2	a) $y = \frac{\lambda x}{d}$; b) Odległość y wzrośnie we wszystkich przypadkach. c) $y = 2 \text{ mm}$
35	3.3	a) $\Delta y = \frac{2\lambda x}{d}$; c) $\Delta y_{cz} \approx 5,2 \text{ mm}$; $\Delta y_z \approx 4,7 \text{ mm}$
36	3.4	a) $\alpha \approx 9^\circ$; b) $\lambda \approx 395 \text{ nm}$
36	3.5	$\lambda = 750 \text{ nm}$
36	3.6	$\lambda \approx 390 \text{ nm}$
36	3.7	$\lambda' \approx 650 \text{ nm}$
36	3.8	a) $d = 4000 \text{ nm}$; b) $\alpha_1 \approx 8,5^\circ$; $\alpha_2 \approx 17,2^\circ$; c) $n = 5$; d) $\alpha_n \approx 47,5^\circ$
37	3.9	1P, 2P, 3P, 4F
37	3.10	1P, 2F, 3F, 4P
37	3.11	a) $\alpha_p \approx 33,4^\circ$; b) $\alpha_w \approx 38,2^\circ$
37	3.12	a) $a = 5 \text{ }\mu\text{m}$; b) $d_1 \approx 6,4 \text{ cm}$; c) $n = 11$; e) $d'_1 \approx 4,8 \text{ cm}$; f) $n_{\max} = 7$
38	3.13	$d_1 \approx 111 \text{ nm}$; $d_2 \approx 333 \text{ nm}$

Nr strony	Nr zadania	Odpowiedź
38	3.14	a) $n_1 \approx 1,3$; b) $d_2 = 3d_1 = 403,5 \text{ nm}$; $d_3 = 5d_1 = 672,5 \text{ nm}$
39	3.15	a) $\lambda \approx 585 \text{ nm}$, czyli w świetle odbitym dominuje barwa żółta. b) W miarę upływu czasu warstwa staje się coraz cieńsza, długość dominującej fali w świetle odbitym maleje – barwa przesuwana się w stronę fioletu.
4. Zdolność rozdzielcza przyrządów optycznych		
39	4.1	C
39	4.2	a) $y \approx 0,4 \text{ mm}$; b) $y \approx 0,3 \text{ mm}$
39	4.3	$y \approx 26,4 \text{ m}$
39	4.4	$D \approx 35 \text{ m}$
40	4.5	a) $8,2 \text{ cm}$; $17,6 \text{ cm}$; 30 cm ; b) rosnącą
5. Polaryzacja światła		
40	5.1	1F, 2P, 3P, 4F, 5P
40	5.2	$\alpha \approx 53,2^\circ$
40	5.3	$\beta \approx 37,5^\circ$
40	5.4	$\gamma \approx 36,9^\circ$
41	5.5	$\alpha \approx 48,4^\circ$
41	5.6	a) $n \approx 2,14$; b) $\alpha_B \approx 65,0^\circ$
41	5.7	c) $\alpha = 45^\circ$; d) cztery razy
42	5.8	a) $E = E_0 \frac{\sqrt{3}}{4}$; b) $\frac{I}{I_0} = \frac{3}{16}$
43	5.10	$c = 32 \text{ g/100 cm}^3$
43	5.11	$l = 7,2 \text{ cm}$
6. Zjawisko fotoelektryczne zewnętrzne		
43	6.1	a) $\lambda \approx 414 \text{ nm}$; b) $E_{\text{sf}} \approx 2,1 \text{ eV}$
43	6.2	1P, 2P, 3F, 4P, 5F, 6P
44	6.3	1F, 2P, 3P, 4F, 5P, 6P
44	6.4	a) C; b) D
44	6.5	$\nu \approx 1,1 \cdot 10^{15} \text{ Hz}$; $\lambda \approx 276 \text{ nm}$
44	6.6	$E_{k\text{max}} \approx 7,5 \cdot 10^{-20} \text{ J} \approx 0,47 \text{ eV}$

Nr strony	Nr zadania	Odpowiedź
45	6.7	a) $p_{f\min} \approx 2,31 \cdot 10^{-27} \frac{\text{kg} \cdot \text{m}}{\text{s}}$ b) $p_f \approx 3,31 \cdot 10^{-27} \frac{\text{kg} \cdot \text{m}}{\text{s}}$; $p_e \approx 7,41 \cdot 10^{-25} \frac{\text{kg} \cdot \text{m}}{\text{s}}$
45	6.8	a) $W = 4,65 \text{ eV} \approx 7,4 \cdot 10^{-19} \text{ J}$; b) $v \approx 7,4 \cdot 10^5 \text{ m/s}$
45	6.9	$\lambda \approx 204 \text{ nm}$
45	6.10*	c) $h \approx 7,3 \cdot 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s}$; $W \approx 2,81 \text{ eV}$; lit d) $\Delta h \approx 0,4 \cdot 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s}$; $\frac{\Delta h}{h} \approx 6\%$; $\Delta W \approx 0,05 \text{ eV}$; $\frac{\Delta W}{W} \approx 2\%$ Uwaga: Odpowiedzi mogą być nieco inne w zależności od dopasowania prostych.
46	6.11	a) $v_1 \approx 2,7 \cdot 10^5 \text{ m/s}$; $v_2 \approx 0,67 \cdot 10^5 \text{ m/s}$ b) $W \approx 7,6 \cdot 10^{-19} \text{ J} \approx 4,8 \text{ eV}$
46	6.12	$W \approx 1,9 \text{ eV}$
46	6.13	$W \approx 3,43 \cdot 10^{-19} \text{ J}$
46	6.14	$U \approx 0,87 \text{ V}$
47	6.15	a) $\lambda \approx 650 \text{ nm}$; b) $v \approx 6,5 \cdot 10^5 \text{ m/s}$; c) $U \approx 1,2 \text{ V}$
47	6.16	a) $\lambda \approx 199 \text{ nm}$; b) $W = 7,52 \cdot 10^{-19} \text{ J} = 4,70 \text{ eV}$
47	6.17	a) $W \approx 7,52 \cdot 10^{-19} \text{ J} \approx 4,70 \text{ eV}$; b) $\lambda \approx 211 \text{ nm}$
47	6.18	a) $P_{\min} = \frac{4hcI}{\lambda e}$; b) $P_{\min} \approx 18 \mu\text{W}$
47	6.19	b) $h \approx 6,6 \cdot 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s}$; $W \approx 7,44 \cdot 10^{-19} \text{ J} = 4,65 \text{ eV}$; c) $h_{\max} \approx 7,0 \cdot 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s}$; $h_{\min} \approx 6,2 \cdot 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s}$; $\Delta h \approx 0,4 \cdot 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s}$; $\frac{\Delta h}{h} \approx 6,1\%$ d) $\lambda_{\text{gr}} \approx 264 \text{ nm}$
48	6.20*	a) Płytkę osiągnie maksymalny potencjał, gdy szybkość opuszczających ją elektronów będzie najmniejszą szybkością potrzebną do ich ucieczki do nieskończoności. b) $V_p \approx 0,4 \text{ V}$
7. Promieniowanie ciał. Widma		
48	7.1	$T_1 \approx 7250 \text{ K}$; $T_2 \approx 3630 \text{ K}$
48	7.2	$\lambda \approx 9360 \text{ nm}$
48	7.3	a) $\frac{E_2}{E_1} \approx 5$; b) $\Delta\lambda \approx 540 \text{ nm}$; c) $\frac{\Delta\lambda}{\lambda} \approx 33\%$
49	7.4	1P, 2F, 3P, 4P

Nr strony	Nr zadania	Odpowiedź
49	7.5	a) $P \approx 3,82 \cdot 10^{26} \text{ W}$; b) $T = \sqrt[4]{\frac{sr^2}{\sigma R_S^2}} \approx 5770 \text{ K}$; c) $\lambda \approx 500 \text{ nm}$
50	7.6	a) $\frac{P}{P_0} \approx 1,24$; b) $k = \frac{S_1}{S} \approx 0,645$
50	7.7	a) zmaleje, wzrośnie; b) $s \approx 6,56 \cdot 10^2 \frac{\text{J}}{\text{m}^2 \cdot \text{s}}$; Założenia: Nie zmienia się: średnica Słońca, średnica Ziemi, odległość Ziemi od Słońca. c) $\lambda \approx 580 \text{ nm}$
50	7.8	1E, 2B, 3D, 4C, 5A, 6F
51	7.9	A2, B4
51	7.10	1F, 2P, 3P, 4P
51	7.11	1P, 2F, 3P, 4F
8. Model Bohra budowy atomu wodoru		
52	8.1	1P, 2F, 3F, 4F, 5P
52	8.2	a) przejście z orbity 3 na orbitę 2 b) przejścia z wszystkich orbit dalszych na orbitę 1
53	8.3	$n = 6$
53	8.4	a) $\lambda \approx 1460 \text{ nm}$; b) $\lambda \approx 2280 \text{ nm}$
53	8.5	$n = 4$
53	8.6	$\Delta L \approx 2,1 \cdot 10^{-34} \frac{\text{kg} \cdot \text{m}^2}{\text{s}}$
53	8.7	$r_1 = \frac{h^2}{4\pi^2 k m e^2} \approx 0,053 \text{ nm}$
53	8.8	$E_2 \approx -3,4 \text{ eV}$; $E_3 \approx -1,51 \text{ eV}$; $E_4 \approx -0,85 \text{ eV}$; $E_6 \approx -0,38 \text{ eV}$
53	8.9	a) $\Delta E_{p, 4 \rightarrow 2} \approx -5,10 \text{ eV}$; b) $\Delta E_{k, 4 \rightarrow 2} \approx 2,55 \text{ eV}$
53	8.10	a) $\Delta E_{5 \rightarrow 3} \approx 0,97 \text{ eV}$; b) $\Delta E_{6 \rightarrow 2} \approx 3,02 \text{ eV}$
53	8.11	a) $p_{4 \rightarrow 3} \approx 3,53 \cdot 10^{-28} \frac{\text{kg} \cdot \text{m}}{\text{s}}$; b) $p_{5 \rightarrow 2} \approx 15,4 \cdot 10^{-28} \frac{\text{kg} \cdot \text{m}}{\text{s}}$
54	8.12	$n = 5$
54	8.13	$n = 6$
54	8.14	a) $\Delta E_{1 \rightarrow 4} \approx 12,75 \text{ eV}$; b) $\Delta E_{3 \rightarrow 5} \approx 0,97 \text{ eV}$
54	8.15	$n = 5$
54	8.16	a) $\lambda_{6 \rightarrow 2} \approx 410 \text{ nm}$; b) $\lambda_{5 \rightarrow 1} \approx 95 \text{ nm}$

Nr strony	Nr zadania	Odpowiedź
54	8.17	drugiej
54	8.18	a) $\nu_{4 \rightarrow 1} \approx 3,1 \cdot 10^{15}$ Hz; b) $\nu_{5 \rightarrow 4} \approx 7,4 \cdot 10^{13}$ Hz
54	8.19	$n = 6$
55	8.20	$\lambda_{\min} \approx 91$ nm Następuje rekombinacja jonu wodoru (jon chwytą elektron i przechodzi do stanu podstawowego).
55	8.21	$n \approx 60$; $\lambda_{61 \rightarrow 60} \approx 1,01$ cm; $\lambda_{60 \rightarrow 59} \approx 0,96$ cm
55	8.22*	a) $\rho = \frac{3e}{4\pi r_1^3} \approx 2,57 \cdot 10^{11}$ C/m ³ c) $T = 2\pi \sqrt{\frac{mr_1^3}{ke^2}} \approx 1,5 \cdot 10^{-16}$ s
9. Promieniowanie rentgenowskie		
56	9.1	1F, 2F, 3P, 4P, 5P
56	9.2	1F, 2P, 3P, 4F
56	9.3	$\lambda \approx 3,00$ nm; $E_f \approx 0,414$ keV
56	9.4	$p \approx 1,1 \cdot 10^{-23} \frac{\text{kg} \cdot \text{m}}{\text{s}}$
57	9.5	C
58	9.7	b) $v \approx 2,1 \cdot 10^7$ m/s; c) $U \approx 1240$ V
58	9.8	$U \approx 79$ kV
58	9.9	$\lambda \approx 20,8$ pm
59	9.10	$p \approx 2,7 \cdot 10^{-23} \frac{\text{kg} \cdot \text{m}}{\text{s}}$; $\lambda \approx 0,025$ nm
59	9.11	$v \approx 2,1 \cdot 10^7$ m/s
59	9.12	$t \approx 96$ s = 1,6 min
59	9.13	1P, 2F, 3F, 4P
59	9.14	D
60	9.15	$n = 3$
60	9.16	$d \approx 0,28$ nm
60	9.17	$\alpha \approx 23^\circ$
60	9.18	1F, 2P, 3P, 4F

Nr strony	Nr zadania	Odpowiedź
60	9.19	$\lambda \approx 0,45 \text{ pm}$
60	9.20	$\cos \theta = 1 - \frac{m_e c}{h} \cdot \Delta \lambda \approx 0,63; \theta \approx 51^\circ$
61	9.21	1P, 2F, 3P, 4F, 5P
10. Fale materii		
61	10.1	1F, 2P, 3P, 4F, 5F
61	10.2	$\lambda = 1,3 \cdot 10^{-35} \text{ m} = 1,3 \cdot 10^{-11} \text{ ym}$
61	10.3	$p \approx 7,71 \cdot 10^{-24} \frac{\text{kg} \cdot \text{m}}{\text{s}}; E_k \approx 3,3 \cdot 10^{-17} \text{ J}$
61	10.4	$\lambda \approx 0,0397 \text{ nm}$
62	10.5	$\lambda_1 = 20\lambda_2$
62	10.6	a) Zmaleje cztery razy. b) Wzrośnie $\sqrt{2}$ razy. c) Zmaleje dwa razy.
62	10.7	$U \approx 41 \text{ kV}$
62	10.8	$m \approx 3,34 \cdot 10^{-27} \text{ kg}$; deutron
62	10.9	$2R \approx 0,84 \text{ m}$
62	10.10	a) $U \approx 11,4 \text{ V}$; b) $p \approx 1,82 \cdot 10^{-24} \frac{\text{kg} \cdot \text{m}}{\text{s}}; \lambda \approx 0,36 \text{ nm}$
62	10.11	a) $a \approx 2,9 \cdot 10^{10} \text{ m/s}^2$; b) $\frac{ \Delta \lambda }{\lambda_0} \approx 8\%$
63	10.12	A, B
63	10.13	1P, 2P, 3P
63	10.14	1P, 2P, 3F, 4P, 5P

Dział 2. Elementy szczególnej teorii względności

Nr strony	Nr zadania	Odpowiedź
11. Szybkość światła w różnych inercjalnych układach odniesienia		
77	11.1	1F, 2P, 3P, 4F
77	11.2	1F, 2P, 3P
77	11.3	1B
78	11.4	A
78	11.5	B

Nr strony	Nr zadania	Odpowiedź
79	11.6	Położenia Bartka zmierzone przez Jacka (x'_0 i x') nie są jednakowe. Odstęp czasu $\Delta t'$ to nie jest czas własny trwania zjawiska, ponieważ w tym czasie Bartek w układzie odniesienia Jacka przesunął się o $v\Delta t'$, czyli otwarcie i zamknięcie książki w układzie U' odbywało się w różnych miejscach.
80	11.7	$\Delta t \approx 1,9 \mu\text{s}$
80	11.8	a) $-\vec{v}$; b) Czasem własnym jest czas Δt_r , bo podczas mijania współrzędna położenia każdej planety w układzie związanym z raketą jest taka sama (może to być np. $x = 0$). c) $\Delta t_r = \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}} \cdot \Delta t_A$; d) $v \approx 0,866c$
80	11.9	1F, 2F, 3P, 4P, 5P, 6F
12. Zjawisko Dopplera dla fal elektromagnetycznych		
81	12.1	1F, 2P, 3F, 4P, 5F
82	12.2	A1, B4, C6, D6, E5, F5, G3, H2
83	12.3	D: $\nu' = 5,91 \cdot 10^{14} \text{ Hz}$; F: $\nu' = 6,09 \cdot 10^{14} \text{ Hz}$; H: $\nu' \approx 5,95 \cdot 10^{14} \text{ Hz}$
83	12.4	a) $\nu = 19,2 \text{ MHz}$; b) Fala jest w przybliżeniu dłuższa o 0,6 m.
13. Maksymalna szybkość przekazu informacji		
83	13.1	Zdanie jest fałszywe.
83	13.2	1P, 2P, 3F, 4F
84	13.3	1F, 2P, 3P, 4P, 5F
84	13.4	$v_1 = (5/7)c \approx 0,71c \approx 2,14 \cdot 10^8 \text{ m/s}$
84	13.5	$v_{\text{wzgl}} \approx 0,98c = 2,94 \cdot 10^8 \text{ m/s}$
14. Pęd relatywistyczny		
84	14.1	1P, 2P, 3F, 4F
85	14.2	1. $p_{\text{kl}} = 0,25mc$; $p_{\text{rel}} \approx 0,26mc$; $p_{\text{rel}}/p_{\text{kl}} \approx 1,04$ 2. $v = 0,35c$; $p_{\text{rel}} \approx 0,37mc$; $p_{\text{rel}}/p_{\text{kl}} \approx 1,06$ 3. $v \approx 0,40c$; $p_{\text{kl}} \approx 0,40mc$; $p_{\text{rel}}/p_{\text{kl}} \approx 1,10$ 4. $v \approx 0,45c$; $p_{\text{kl}} \approx 0,45mc$; $p_{\text{rel}} \approx 0,50mc$
85	14.3	a) $p_{\text{kl}} \approx 6,83 \cdot 10^{-23} \frac{\text{kg} \cdot \text{m}}{\text{s}}$; $p_{\text{rel}} \approx 7,06 \cdot 10^{-23} \frac{\text{kg} \cdot \text{m}}{\text{s}}$ b) $b = \frac{p_{\text{rel}} - p_{\text{kl}}}{p_{\text{rel}}} = 1 - \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}$; $b \approx 3,3\%$
85	14.4	a) $p = 4,4 \cdot 10^{-19} \frac{\text{kg} \cdot \text{m}}{\text{s}}$; b) $v = \frac{qB}{2\pi m} \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}$; c) $\nu \approx 1,4 \cdot 10^6 \text{ Hz}$

Nr strony	Nr zadania	Odpowiedź
85	14.5	a) $\frac{v}{c} = \frac{p}{\sqrt{m^2 c^2 + p^2}} \approx 0,16$; b) $R \approx 0,39 \text{ m}$; c) $t = \frac{T}{2} \approx 2,55 \cdot 10^{-8} \text{ s}$
85	14.6	$\lambda \approx 3,2 \cdot 10^{-12} \text{ m}$
15. Masa i energia w fizyce relatywistycznej		
86	15.1	1C
86	15.2	a) $U \approx 3 \cdot 10^8 \text{ V}$; b) $v \approx 0,80c$
86	15.3	1F, 2P, 3F, 4F, 5F, 6P
87	15.4	1P, 2F, 3P
87	15.5	2A
87	15.6	$\frac{E}{E_k} = 2,5$
87	15.7	b) $E = 1,25mc^2$
87	15.8	$\frac{v}{c} = \frac{2\sqrt{6}}{5} \approx 0,98$
87	15.9	$v \approx 220\,000 \text{ km/s}$
88	15.10	a) około 60 razy; b) $\frac{v}{c} = \sqrt{1 - \left(\frac{mc^2}{E_k + mc^2}\right)^2} \approx 0,9999$
88	15.11	a) $\Delta E_k \approx 6,3 \cdot 10^{-11} \text{ J}$; b) $\Delta E \approx 6,3 \cdot 10^{-11} \text{ J}$; c) $\frac{\Delta E_k}{E_{k,1}} \approx 167\%$; $\frac{\Delta E}{E_1} \approx 33\%$
88	15.12	b) $t \approx 90 \mu\text{s}$; c) $E \approx 21 \text{ GeV}$
88	15.13	a) $p(\gamma) = mc\sqrt{\gamma^2 - 1}$; b) $p = mc\sqrt{\left(\frac{E_k}{E_s} + 1\right)^2 - 1}$; c) $p \approx 1,3 \cdot 10^{-21} \frac{\text{kg} \cdot \text{m}}{\text{s}}$
16. Związek między energią i pędem cząstki. Energia i masa układu cząstek		
89	16.1	$E_k = c(\sqrt{p^2 + m^2 c^2} - mc) \approx 135 \text{ MeV}$
89	16.2	a) $p_{kl} = \sqrt{2E_k m} \approx 5,4 \cdot 10^{-22} \frac{\text{kg} \cdot \text{m}}{\text{s}}$ b) $p_{\text{rel}} = \frac{\sqrt{E_k(E_k + 2mc^2)}}{c} \approx 7,6 \cdot 10^{-22} \frac{\text{kg} \cdot \text{m}}{\text{s}}$ c) $\frac{p_{\text{rel}} - p_{kl}}{p_{\text{rel}}} \cdot 100\% \approx 29\%$
89	16.3	$m \approx 3,34 \cdot 10^{-27} \text{ kg}$; $v \approx 1,50 \cdot 10^8 \text{ m/s}$
89	16.4	1, 2, 3, 6, 7

Nr strony	Nr zadania	Odpowiedź
89	16.5	$p_u = \frac{2nh\nu}{c}$; $E_u = 2nh\nu$; $m_u = 0$
89	16.6	$p_u = 0$; $E_u = 2nh\nu$; $m_u = \frac{2nh\nu}{c^2}$
90	16.7	$p_u = \frac{h}{c}(n_1\nu_1 - n_2\nu_2)$; $\vec{p}_u$ ma zwrot zgodny ze zwrotem osi x $E_u = h(n_1\nu_1 + n_2\nu_2)$; $m_u = \frac{2h}{c^2}\sqrt{n_1n_2\nu_1\nu_2}$
90	16.8	a) $E_s \approx 1,504096 \cdot 10^{-10}$ J; b) W przybliżeniu o $1,4 \cdot 10^{-6}\%$.

Dział 3. Fizyka jądrowa

Nr strony	Nr zadania	Odpowiedź						
17. Promieniowanie jądrowe i jego właściwości								
106	17.1	1P, 2F, 3P, 4P						
106	17.2	1P, 2F, 3F, 4P						
106	17.3	1F, 2P, 3P, 4P, 5F						
107	17.4	1B						
107	17.6	a) A; b) B						
108	17.7	1F, 2P, 3F, 4P						
18. Jądro atomowe i jego budowa								
109	18.1	1F, 2P, 3P, 4F, 5P						
109	18.2	Izotop	$^{238}_{94}\text{Pu}$	$^{186}_{83}\text{Bi}$	$^{14}_6\text{C}$	$^{123}_{53}\text{I}$	$^{131}_{53}\text{I}$	$^{184}_{74}\text{W}$
		L. protonów	94	83	6	53	53	74
		L. elektronów	94	83	6	53	53	74
		L. neutronów	144	103	8	70	78	110
		L. nukleonów	238	186	14	123	131	184
109	18.3	1B, 2C, 3A, 4D						
110	18.4	a) $r \approx 7,4 \text{ fm}$; b) $\rho \approx 2,3 \cdot 10^{17} \text{ kg/m}^3 = 2,3 \cdot 10^{14} \text{ ton/m}^3$						
110	18.5	1D, 2E, 3B, 4A, 5C						
110	18.6	$d_{\min} \approx 3,3 \cdot 10^{-14} \text{ m} = 33 \text{ fm}$						
110	18.7	$E_{\max} \approx 24 \text{ MeV}$						

Nr strony	Nr zadania	Odpowiedź
110	18.8	$m = \frac{B^2 q^2 r^2}{2E}$
111	18.9	$r_1 \approx 89,3 \text{ cm}; r_2 \approx 93,6 \text{ cm}$
19. Rozpady promieniotwórcze		
111	19.1	C
111	19.2	1F, 2P, 3P, 4P
111	19.3	${}^{232}_{90}\text{Th} \rightarrow {}^{228}_{88}\text{Ra} + \alpha; {}^{228}_{88}\text{Ra} \rightarrow {}^{228}_{89}\text{Ac} + {}^0_{-1}\text{e} + \bar{\nu}_e; n = 139$
111	19.4	${}^{214}_{82}\text{Pb} \rightarrow {}^{214}_{83}\text{Bi} + {}^0_{-1}\text{e} + \bar{\nu}_e; n = 214$
112	19.5	$2\alpha, 2\beta$
112	19.6	$n = 9$
112	19.7	Obserwujemy 10 rozpadów (6 rozpadów α i 4 rozpady β).
113	19.8	${}^{228}_{88}\text{Ra} \rightarrow {}^{228}_{89}\text{Ac} + {}^0_{-1}\text{e} + \bar{\nu}_e$ ${}^{228}_{89}\text{Ac} \rightarrow {}^{228}_{90}\text{Th} + {}^0_{-1}\text{e} + \bar{\nu}_e$ ${}^{228}_{90}\text{Th} \rightarrow {}^{224}_{88}\text{Ra} + {}^4_2\text{He}$
113	19.9	1. ${}^{234}_{90}\text{Th} \rightarrow {}^{234}_{91}\text{Pa} + {}^0_{-1}\text{e} + \bar{\nu}_e$ 2. ${}^{241}_{95}\text{Am} \rightarrow {}^{237}_{93}\text{Np} + {}^4_2\text{He}$ 3. ${}^{213}_{84}\text{Po} \rightarrow {}^{209}_{82}\text{Pb} + {}^4_2\text{He}$ 4. ${}^{210}_{81}\text{Tl} \rightarrow {}^{210}_{82}\text{Pb} + {}^0_{-1}\text{e} + \bar{\nu}_e$ 5. ${}^{40}_{19}\text{K} \rightarrow {}^{40}_{18}\text{Ar} + {}^0_{-1}\text{e} + \nu_e$
113	19.10	$E_{k\text{ He}} = \frac{m_{\text{Pb}} \cdot E}{m_{\text{Pb}} + m_{\text{He}}}; E_{k\text{ Pb}} = \frac{m_{\text{He}} \cdot E}{m_{\text{Pb}} + m_{\text{He}}}$
113	19.11	$E_{k\alpha} = \frac{m_{\text{Pb}}}{m_{\alpha}} \cdot E_{k\text{ Pb}} \approx 4 \text{ MeV}$
20. Prawo rozpadu promieniotwórczego		
113	20.1	B
114	20.2	$t = 3T_{1/2} = 6 \text{ h}$
114	20.3	$T_{1/2} = 2,5 \text{ h}$
114	20.4	$T_{1/2} = 12,5 \text{ h}$
114	20.5	$m = 5,12 \text{ g}$
114	20.6	87,5%
114	20.7	a) $T_{1/2} = 1620 \text{ lat}$; b) $t = 6480 \text{ lat}$

Nr strony	Nr zadania	Odpowiedź
115	20.9	b) około $1,8 \cdot 10^8$
115	20.10	1C, 2B, 3C
115	20.11	a) Około 16 800 razy, ale współczesna technika nie umożliwia pomiaru tak małej zawartości izotopu, więc metoda nie nadaje się do pomiaru tak długich odstępów czasu. b) Po czasie $t = 39\,900$ lat.
115	20.12	$N/N_0 \approx 0,55\%$; $N/N_0 \approx 3,38\%$
116	20.13	2. po 864 latach; 3. nie; 4. $m \approx 21,2$ mg (71%)
21. Energia wiązania		
116	21.1	${}^4\text{He}$, ${}^8\text{Be}$, ${}^{12}\text{C}$, ${}^{16}\text{O}$; parzysta liczba protonów i neutronów
117	21.2	$\Delta m \approx 0,138$ u; $E_w \approx 128$ MeV; $\frac{E_w}{A} \approx 8,01$ MeV
117	21.3	a) $\Delta m \approx 0,0993$ u $\approx 1,65 \cdot 10^{-28}$ kg b) $E_w \approx 1,48 \cdot 10^{-11}$ J $\approx 92,4$ MeV c) $E_w/A \approx 7,71$ MeV
117	21.4	$\frac{E_{({}^{37}_{17}\text{Cl})}}{E_{({}^{35}_{17}\text{Cl})}} \approx 1,008$
117	21.5	$\Delta m = 0,042$ u; $m_j \approx 7,015$ u
117	21.6	$E_w = 65$ MeV; $m_j \approx 10,01$ u
22. Reakcje jądrowe. Krecja i anihilacja		
118	22.1	1. ${}^{12}_7\text{N}$; 2. ${}^6_3\text{Li}$; 3. ${}^4_2\text{He}$; 4. ${}^{136}_{52}\text{Te}$; 5. ${}^{11}_4\text{Be}$; 6. ${}^4_2\text{He}$; 7. ${}^{32}_{16}\text{S}$
118	22.2	1. ${}^{234}_{90}\text{Th}$; 2. ${}^{223}_{87}\text{Fr}$; 3. ${}^{227}_{89}\text{Ac}$; 4. ${}^{214}_{83}\text{Bi}$; 5. ${}^{223}_{87}\text{Fr}$
118	22.3	1. ${}^9_4\text{Be}$; 2. ${}^{14}_7\text{N}$; 3. ${}^{19}_9\text{F}$; 4. ${}^{144}_{55}\text{Cs}$; 5. ${}^{27}_{13}\text{Al}$
118	22.4	1. ${}_0^1\text{n} + {}^{198}_{80}\text{Hg} \rightarrow {}^{198}_{79}\text{Au} + {}^1_1\text{p}$ 2. ${}_0^1\text{n} + {}^{235}_{92}\text{U} \rightarrow {}^{139}_{56}\text{Ba} + {}^{94}_{36}\text{Kr} + 3{}_0^1\text{n}$ 3. ${}^{12}_6\text{C} + {}^4_2\text{He} \rightarrow {}^{16}_8\text{O}$ 4. ${}^{58}_{28}\text{Ni} + {}^6_3\text{Li} \rightarrow {}^{63}_{31}\text{Ga} + {}^1_0\text{n}$ 5. ${}^{27}_{13}\text{Al} + {}^4_2\text{He} \rightarrow {}^{30}_{15}\text{P} + {}^1_0\text{n}$
119	22.5	1P, 2P, 3P, 4F
119	22.6	$E \approx 5,7$ MeV
119	22.7	a) ${}^{235}_{92}\text{U} \rightarrow {}^{231}_{90}\text{Th} + {}^4_2\text{He}$; b) $E \approx 4,7$ MeV
119	22.8	$m({}^{226}_{88}\text{Ra}) = \frac{E}{c^2} + m({}^{222}_{86}\text{Rn}) + m_\alpha \approx 226,02540$ u

Nr strony	Nr zadania	Odpowiedź
120	22.9	2A
120	22.10	$\lambda \approx 1,22 \cdot 10^{-3} \text{ nm}$
120	22.11	$E_f \approx 1,65 \cdot 10^{-13} \text{ J} \approx 1,03 \text{ MeV}$
120	22.12	a) $p \approx 3 \cdot 10^{-22} \frac{\text{kg} \cdot \text{m}}{\text{s}}$; b) $\lambda \approx 2,21 \cdot 10^{-12} \text{ m}$
23. Reakcje rozszczepienia		
120	23.1	a) tak; b) nie
120	23.2	a) $E/E_s \approx 9 \cdot 10^{-4}$; b) $E \approx 5,3 \cdot 10^5 \text{ kWh}$
121	23.3	a) $E \approx 176 \text{ MeV}$; b) $E \approx 168 \text{ MeV}$; c) $E \approx 191 \text{ MeV}$; d) $E \approx 195 \text{ MeV}$
121	23.4	1P, 2P, 3F, 4P
121	23.5	1P, 2P, 3F, 4F
122	23.6	1D, 2C, 3E, 4B
122	23.7	a) $\frac{S_1}{V} = \frac{3}{R}$; $\frac{S_2}{V} = \frac{4,5}{R}$ b) W próbce na rys. 2 więcej neutronów ucieka na zewnątrz.
122	23.8	a) $E \approx 172 \text{ MeV}$
24. Energetyka jądrowa. Wykorzystanie energii jądrowej		
123	24.1	a) $N \approx 2,56 \cdot 10^{21}$; b) $E \approx 8,19 \cdot 10^{10} \text{ J} \approx 22\,700 \text{ kWh}$; c) $m_w \approx 2400 \text{ kg}$
123	24.2	1P, 2F, 3P, 4P, 5F
123	24.3	1P, 2F, 3F, 4F, 5P
124	24.4	1E, 2D, 3C, 4F, 5G, 6A, 7B, 8H
124	24.5	${}_{90}^{232}\text{Th} + {}_0^1\text{n} \rightarrow {}_{90}^{233}\text{Th}$; ${}_{90}^{233}\text{Th} \rightarrow {}_{91}^{233}\text{Pa} + {}_0^0\text{e} + \bar{\nu}_e$; ${}_{91}^{233}\text{Pa} \rightarrow {}_{92}^{233}\text{U} + {}_0^0\text{e} + \bar{\nu}_e$
25. Reakcje termojądrowe. Ewolucja gwiazd		
125	25.1	1B, 2E, 3A, 4F, 5D
125	25.2	1F, 2F, 3P, 4F
125	25.3	1P, 2F, 3F, 4F, 5P
126	25.4	b) $E \approx 17,6 \text{ MeV} \approx 2,8 \cdot 10^{-12} \text{ J}$
126	25.6	1P, 2F, 3F, 4F, 5P
126	25.7	1P, 2P, 3F, 4P, 5P
127	25.8	a) obszar olbrzymów; b) obszar gwiazd ciągu głównego c) obszar białych karłów

Nr strony	Nr zadania	Odpowiedź
127	25.9	1D, 2C
128	25.10	a) $P_{\min} = 3,8 \cdot 10^{22} \text{ W}$, $P_{\max} = 3,8 \cdot 10^{30} \text{ W}$ b) $P_{\min} = 3,8 \cdot 10^{22} \text{ W}$; $P_{\max} = 3,8 \cdot 10^{24} \text{ W}$
128	25.11	a) $R_2/R_1 \approx 70$; b) $\Delta P = P_2 - P_1 \approx 3,8 \cdot 10^{30} \text{ W}$
129	25.12	a) $R = \frac{2GM}{c^2} = \frac{6GM_{\odot}}{c^2} \approx 8,9 \text{ km}$ b) $\rho = \frac{3}{32\pi} \cdot \frac{c^6}{G^3 M^2} = \frac{1}{96\pi} \cdot \frac{c^6}{G^3 M_{\odot}^2} \approx 2 \cdot 10^{18} \text{ kg/m}^3$
26. Promieniowania jonizujące a organizmy		
129	26.1	1P, 2F, 3P, 4P, 5F
129	26.2	$E = 225 \text{ mJ}$
129	26.3	$4 \mu\text{Gy}$
130	26.4	1F, 2P, 3P, 4F
130	26.5	1D, 2G, 3C, 4B, 5F, 6H, 7E, 8A

Źródła ilustracji i fotografii

Okładka: (Słońce) B.A.E. Inc./Alamy Stock Photo/BE&W

Tekst główny: s. 49 (Słońce) Dennis Hallinan/Alamy Stock Photo/BE&W; s. 66 (chłopiec z piłkami, chłopiec–obserwator) Viorel Sima/Shutterstock.com, (chłopiec bokiem x2) Josep Curto/Shutterstock.com; s. 78 (chłopiec–obserwator) Viorel Sima/Shutterstock.com, (kosmonauta x2) iurii/Shutterstock.com; s. 80 (chłopiec–obserwator x2) Viorel Sima/Shutterstock.com, (kosmonauta) iurii/Shutterstock.com; s. 81 (układ podwójny gwiazd) Witold Polesiuk/WSiP; s. 124 (schemat reaktora) Sławomir Skryśkiewicz, (elektrownia jądrowa) Aerovista Luchtfotografie/Shutterstock.com

pozostałe ilustracje

Autorzy: Katarzyna Mentel, Hanna Michalska-Baran, MathMaster Studio Jakub Galicki

NOWOŚĆ

Maturalnie, że zdasz!



Zamawiaj publikacje w sklepie internetowym WSiP!
sklep.wsip.pl



**WYDAWNICTWA
SZKOLNE
i PEDAGOGICZNE**

wsip.pl
sklep.wsip.pl
infolinia: 801 220 555



orke.pl

ISBN 978-83-02-20567-5



9 788302 205675