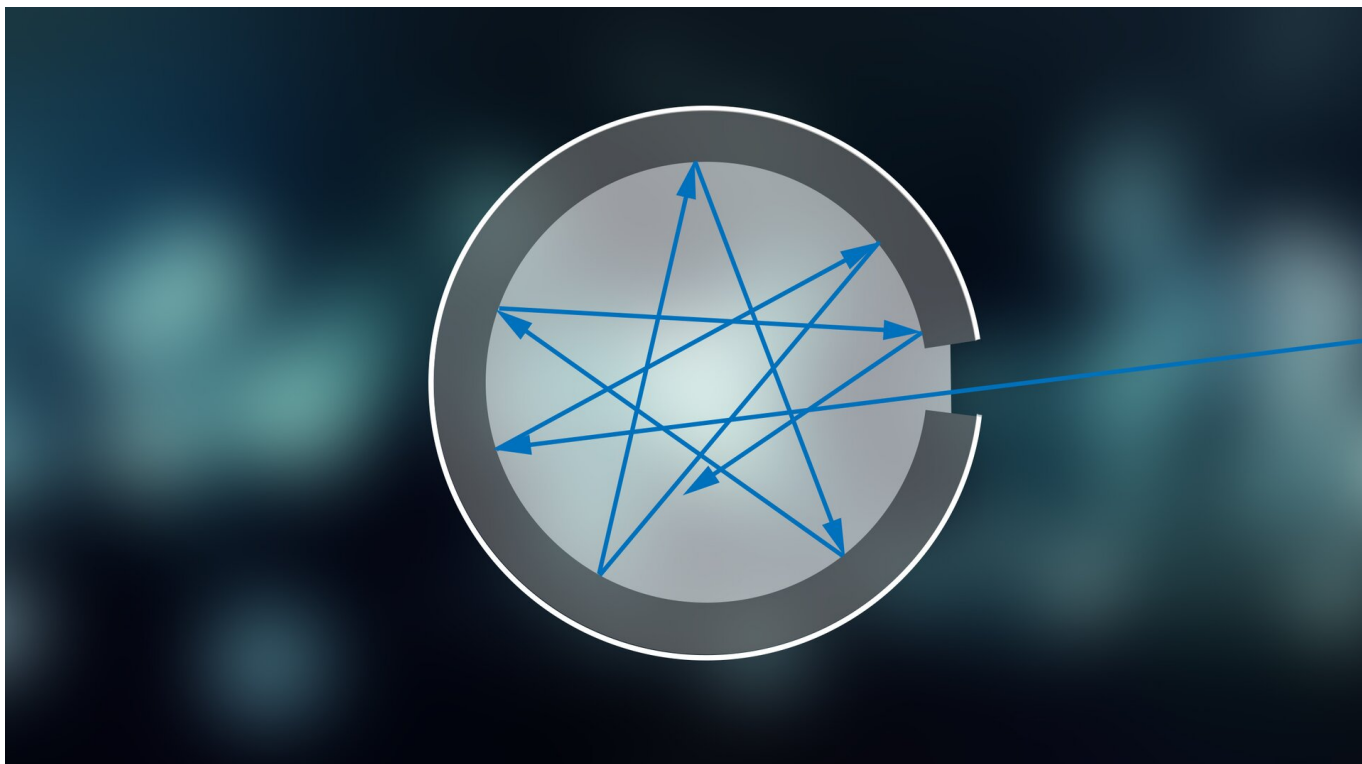




Stała Plancka

- [Wprowadzenie](#)
- [Przeczytaj](#)
- [Film samouczek](#)
- [Sprawdź się](#)
- [Dla nauczyciela](#)



Czy to nie ciekawe ?

Jednym z najbardziej charakterystycznych symboli wykorzystywanych w fizyce jest „ h kreślone”, zapisywane jako $\hbar$. Często stanowi on, obok spadającego jabłka, czy magnesu, symbol graficzny wizualizujący dział fizyki, w tym przypadku mechanikę kwantową. Popularność symbolu oznaczającego stałą Plancka najlepiej świadczy o jej ważności dla fizyki.

Stała Plancka to stała przyrody uznawana za podstawową w świecie kwantowym. Łączy ona energię fotonu z częstotliwością promieniowania w taki sposób, że energia przenoszona przez foton jest iloczynem częstotliwości promieniowania oraz stałej Plancka. Ale to tylko jedno spośród wielu miejsc, w których pojawia się h . Interesuje Cię kilka innych? Czytaj śmiało dalej!

Twoje cele

W tym e-materiale:

- poznasz historię odkryć, które doprowadziły do wprowadzenia stałej Plancka,
- poznasz przykłady modeli fizycznych wykorzystujących stałą Plancka,

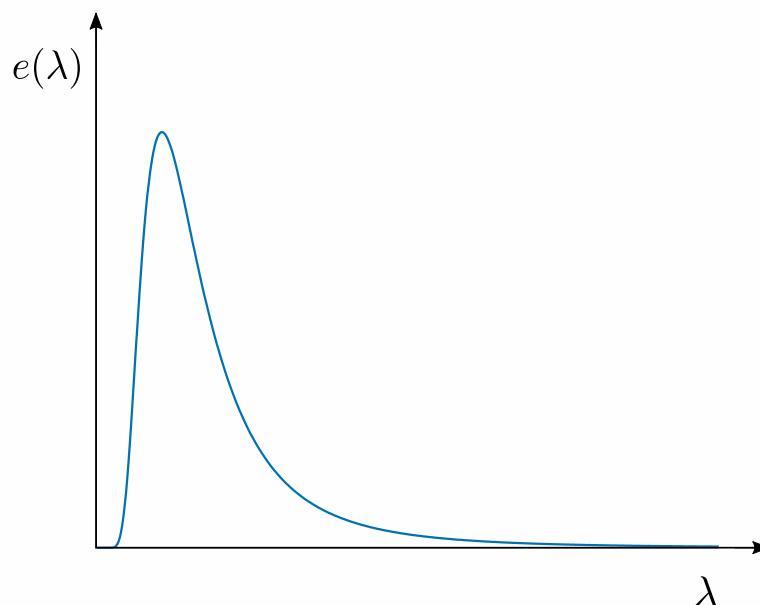
- wyjaśnisz, dlaczego zrezygnowano z doświadczalnego wyznaczania stałej Plancka,
- wyznaczysz stałą Plancka na podstawie napięcia hamowania fotoelektronów.

Przeczytaj

Warto przeczytać

Historia stałej Plancka

Historia [stałej Plancka](#) sięga końcówki XIX wieku. Okazało się wtedy, że opisanie obserwowanego widma promieniowania elektromagnetycznego emitowanego przez rozgrzane obiekty (Rys. 1.) nie dało się pogodzić z obowiązującą wówczas klasyczną fizyką.



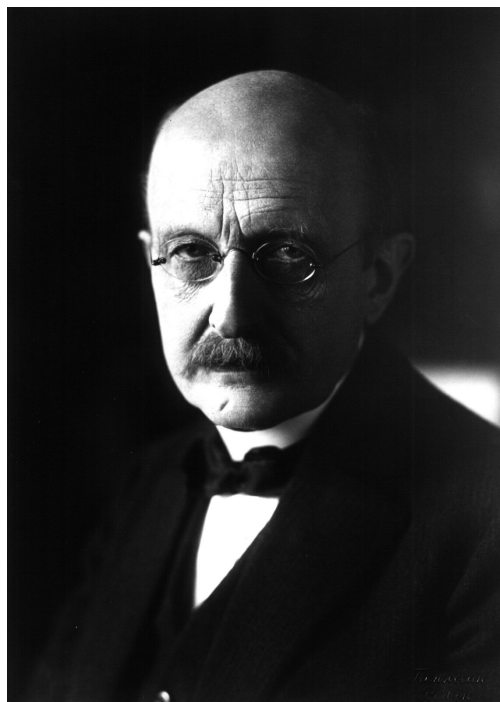
Rys. 1. Widmo promieniowania elektromagnetycznego, czyli zależność natężenia tego promieniowania e od długości fali λ .

Pokazany tu kształt jest charakterystyczny dla materii gęstej, występującej - przykładowo - w stanie skupienia stałym

Widmo to zostało w 1900 r. opisane przez Maxa Plancka w oparciu o założenia, które dały początek fizyce kwantowej. Uczony przyjął, że ścianki [ciała doskonale czarnego](#) składają się z oscylatorów, które mogą emitować i pochłaniać energię porcjami proporcjonalnymi do częstotliwości swoich drgań. Stałą proporcjonalności wyznaczył z danych doświadczalnych i na jego cześć została ona nazwana stałą Plancka.

Uzyskana przez Plancka wartość stałej wynosiła $6,55 \times 10^{-34}$ J·s i różniła się o 1,2% od obecnie przyjętej wartości.

Szczegóły dotyczące pracy i postulatów Plancka możesz znaleźć w e-materiałach „Prawo Plancka” oraz „Kim był Max Karl Planck?”.



Rys. 2. W 1918 roku Max Planck otrzymał Nagrodę Nobla z fizyki „W uznaniu jego zasług, które oddał w rozwoju fizyki przez odkrycie kwantów energii”.

Źródło: https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/a/a7/Max_Planck_%281858-1947%29.jpg

Teorie i prawa wykorzystujące stałą Plancka

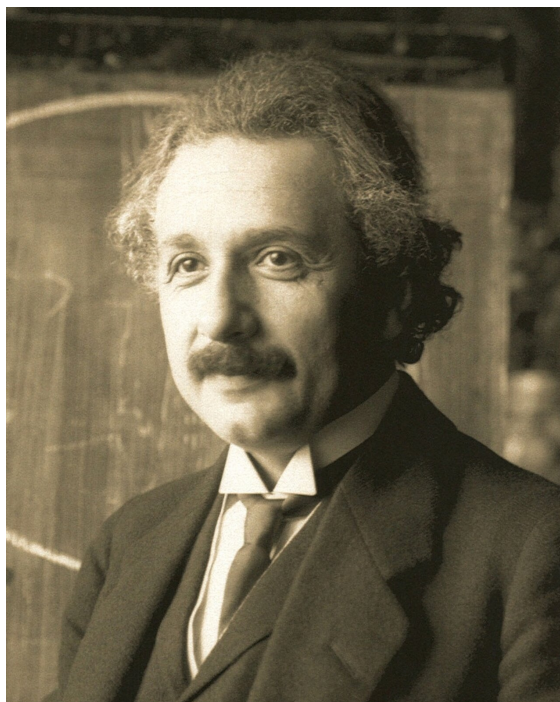
O doniosłości znaczenia **stałej Plancka** świadczy fakt, iż występuje ona w wielu modelach opisujących zjawiska mikroświata. Choć większość z nich nie jest ujęta w szkolnym programie nauczania, to o niektórych warto poczytać.

1. Efekt fotoelektryczny zewnętrzny - energia **fotonów**

Efektom fotoelektrycznym nazywamy zjawisko emisji elektronów z metalu pod wpływem padającego promieniowania elektromagnetycznego. Zgodnie z obserwacjami, energia wybitych elektronów nie zależy od intensywności promieniowania, czyli od amplitudy fali, lecz jedynie od jej częstotliwości. Ponadto istnieje pewna graniczna częstotliwość, poniżej której efekt nie zachodzi. Obserwacji tej nie dało się pogodzić z falowym opisem światła. Wyjaśnienie zjawiska zawdzięczamy Albertowi Einsteinowi. Polegało ono na założeniu, że promieniowanie elektromagnetyczne składa się z kwantów – porcji energii, której wartość jest proporcjonalna do częstotliwości promieniowania.

$$E_f = h \cdot f.$$

Kwanty te nazwano **fotonami**. Stała proporcjonalności, wyznaczona z danych doświadczalnych, okazała się być zgodna z wartością **stałej Plancka**.



Rys. 3. W 1921 Albert Einstein został uhonorowany nagrodą Nobla z fizyki „Za jego zasługi dla fizyki teoretycznej, a szczególnie za odkrycie praw rządzących efektem fotoelektrycznym”.

Źródło: https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/a/af/Einstein1921_by_F_Schmutzer_2.jpg

2. Model Bohra – kwantowy model atomu

Niels Bohr zaproponował pierwszy kwantowy model atomu w 1913 r., modyfikując klasyczny model Rutherforda. W modelu tym naładowane ujemnie elektrony krążyły po orbitach wokół dodatnio naładowanego jądra. Zgodnie jednak z elektrodynamiką klasyczną ładunek poruszający się po okręgu powinien emitować promieniowanie elektromagnetyczne, czyli wytracać swoją energię. W takim modelu elektron powinien spiralnie spadać na jądro, czego oczywiście nie obserwujemy.

Bohr rozwiązał ten problem nawiązując do pracy Plancka. Elektron w atomie Bohra mógł istnieć tylko w dobrze zdefiniowanych stanach „dozwolonych”, określonych za pomocą liczby naturalnej n . Stany te, na mocy postulatu, były stabilne. Z każdym takim dozwolonym stanem (zwanym często orbitą) związana była konkretna wartość energii atomu, wyrażana m.in. za pomocą stałej Plancka. Związek ten, dla atomu wodoru, ma postać:

$$E_n = -\frac{m \cdot e^4}{8\epsilon_0^2 h^2} \cdot \left(\frac{1}{n^2}\right).$$



Rys. 4. Niels Bohr otrzymał nagrodę Nobla z fizyki w 1922 roku „Za jego zasługi w badaniach nad strukturą atomu oraz emitowanego przez niego promieniowania”.

Źródło: https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/6/6d/Niels_Bohr.jpg/728px-Niels_Bohr.jpg

3. Zjawisko Comptona - zderzenia fotonów z elektronami

W kilka lat po odkryciu promieni X zaobserwowano, że wskutek ich zderzeń z elektronami następuje obniżenie energii fotonów w wiązce promieni X. W 1922 roku, po kilkuletnich badaniach nad tym zjawiskiem, Arthur Compton przedstawił jego teoretyczne wyjaśnienie. Przyjął przy tym, że każdy foton ma pęd p odwrotnie proporcjonalny do długości fali λ wiązki promieni X:

$$p = \frac{h}{\lambda}.$$

Przyjął także, że zderzenie pojedynczego fotonu ze swobodnym elektronem jest sprężyste - na podobieństwo zderzenia sztywnych kul - więc obowiązuje w takim zderzeniu zasada zachowania energii kinetycznej oraz - oczywiście - zasada zachowania pędu. Wyprowadzone na tej podstawie wyrażenia doskonale opisywały wyniki pomiarów.



Rys. 5. Arthur Compton został laureatem nagrody Nobla w 1927 r. „Za odkrycie efektu nazwanego jego imieniem”. Miał wtedy 35 lat, a od odkrycia minęło zaledwie pięć lat.

Źródło: https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/c/c3/Arthur_Compton.jpg

4. Zasada nieoznaczoności Heisenberga

Jednym z najbardziej znanych efektów kwantowych, niemających swego odpowiednika w mechanice klasycznej, jest zasada nieoznaczoności lub nieokreśloności. Wprowadzona w 1927 r. przez Wernera Heisenberga głosi, że istnieją pary wielkości fizycznych, których jednoczesny pomiar w obrębie jednego układu nie może być dowolnie precyzyjny. Zasada ta ma postać nierówności i określa - za pomocą stałej Plancka - najmniejszą możliwą wartość iloczynu nieokreśloności tych wielkości. Dla przykładowej takiej pary (współrzędna x położenia, współrzędna p_x pędu), zasadę nieoznaczoności zapisujemy w postaci

$$\Delta x \cdot \Delta p_x \geq \frac{h}{4\pi}.$$

Oznacza to, że jedną z tych wielkości możemy zmierzyć dowolnie dokładnie, z dowolnie małą nieokreślonością Δx bądź Δp_x . Jednak przeprowadzenie takiego pomiaru wpłynie na najmniejszą możliwą wartość nieokreśloności tej drugiej wielkości. Przykład: próba dokładnego ustalenia, w jakiej odległości od jądra atomowego znajduje się elektron, zakończy się utratą informacji o składowej jego pędu w kierunku „do jądra - od jądra”.



Rys. 6. Nagroda Nobla z fizyki w 1932 r. została przyznana 31-letniemu Wernerowi Heisenbergowi „Za wkład w rozwój mechaniki kwantowej...”

Źródło: https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/b/b0/Heisenberg_10.jpg

Nagroda Nobla z fizyki w 1932 r. została przyznana 31-letniemu Wernerowi Heisenbergowi „Za wkład w rozwój mechaniki kwantowej...”.

5. Moment pędu i spin w mechanice kwantowej

Moment pędu, czyli miara ilości ruchu obrotowego, to wielkość znana w fizyce od ponad dwustu lat. W latach dwudziestych XX wieku powstała mechanika kwantowa. Okazało się, że wzorcem wartości momentu pędu na poziomie atomowym - na przykład momentu pędu elektronu w atomie - jest stała Plancka. W każdym dozwolonym stanie, określanym naturalną liczbą 'l', wartość 'L' orbitalnego momentu pędu elektronu w atomie jest proporcjonalna do h :

$$L = \sqrt{l \cdot (l + 1)} \cdot \frac{h}{2\pi}.$$

Na początku lat dwudziestych fizycy wpadli na trop zupełnie nowej cechy elektronów - spinu. Po kilku latach badań i prac teoretycznych okazało się, że spin opisuje własny, wewnętrzny moment pędu elektronu. Ma więc te same jednostki, podlega wspólnej zasadzie zachowania i wyraża się przez stałą Plancka w podobny sposób, jak moment pędu orbitalny. Okazało się także, że wszystkie cząstki na poziomie atomowym i subatomowym mają określony spin.

Nagrodami Nobla za odkrycia związane bezpośrednio z rozwojem mechaniki kwantowej uhonorowani zostali także:

- w 1929 r. Louis de Broglie

- w 1933 r. Paul Dirac i Erwin Schroedinger
- w 1945 r. Wolfgang Pauli
- w 1954 r. Max Born

$$i\hbar \frac{\partial}{\partial t} \psi = \hat{H} \psi$$

Rys. 7. Podstawowe równanie mechaniki kwantowej – równanie Schrödingera

Wyznaczanie wartości stałej Plancka

Wartość [stałej Plancka](#) można wyznaczyć badając widmo promieniowania [ciała doskonale czarnego](#). Po podaniu opisu tego promieniowania, na podstawie dostępnych danych doświadczalnych, tak właśnie obliczył jej wartość Planck.

Inną możliwością jest jej wyznaczenie w oparciu o pomiar energii kinetycznej elektronów wybijanych w zjawisku fotoelektrycznym zewnętrznym.

Ciekawostka

W dzisiejszej praktyce nie są to jednak najdokładniejsze metody. Do niedawna rozwijano i stosowano dużo bardziej wyrafinowane i skomplikowane techniki. Jedna z nich – to przykład – wykorzystuje rentgenografię strukturalną do bardzo precyzyjnego pomiaru rozmiarów tzw. komórki elementarnej w kryształach. Bezpośrednio stosuje się ją do precyzyjnego wyznaczenia stałej Avogadra, ta zaś jest powiązana ze stałą Plancka specyficznym równaniem.

Takie pomiary prowadzono nieprzerwanie do końca drugiej dekady XXI wieku. Gdy podczas Generalnej Konferencji Miar i Wag (CGPM) 16 listopada 2018 roku ustalono, że [stała Plancka](#) określona zostaje jako wartość dokładna, czyli pozbawiona doświadczalnych niepewności, przyjmowano

$$h = 6,626070040(81) \cdot 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s}.$$

Decyzją Konferencji ustalono, że wartość stałej Plancka wynosi:

$$h = 6,62607015 \cdot 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s}.$$

Łatwo więc zauważyć, że zrezygnowano z dokładności opiewającej na dziesięć cyfr znaczących, w tym dwie ostatnie obciążone niepewnością, na rzecz dziewięciu cyfr znaczących, z których wszystkie są pewne.

Określenie **stałej Plancka** jako wielkości bez niepewności wiązało się z potrzebą określenia nowego wzorca kilograma. Uznano, że jednostki miar nie powinny być zdefiniowane za pomocą wybranych przedmiotów, które wraz z upływem czasu mogą ulegać zmianom.

Ciekawostka

Dotychczasowy wzorzec kilograma, czyli platynowo-irydowy walec w Sèvres pod Paryżem, pod wpływem procesów zachodzących na jego powierzchni i we wnętrzu (m. in. reakcje chemiczne, reakcje jądrowe) ulegał nieznacznym, niekontrolowanym zmianom, potwierdzonym pomiarami. Masa tego walca dzisiaj nadmiernie różni się od jego masy sprzed 130 laty.

Zdecydowano, że kilogram zostanie zdefiniowany za pomocą stałych fizycznych, w tym stałej Plancka, których wartości, dzięki zaawansowanym technologiom metrologicznym, są znane z bardzo dużą dokładnością i są – tak sądzimy – niezmiennie w czasie.



Rys. 8. Od maja 2019 r. obowiązuje układ SI, w którym siedem podstawowych jednostek jest zdefiniowanych za pomocą zestawu siedmiu stałych fizycznych, w tym stałej Plancka.

Źródło: https://gum.gov.pl/ftp/jpg/Redefinicja_SI/SI_logo.jpg

Znaczenie stałej Plancka

Zwyczajowo podaje się jednostkę **stałej Plancka** jako džul razy sekunda. Ma więc ona wymiar iloczynu energii i czasu.

Dla podkreślenia, że jest to **stała charakterystyczna dla zjawisk zachodzących w skali atomowej i subatomowej**, często zapisujemy ją korzystając z jednostki energii, charakterystycznej dla tych właśnie zjawisk. Tą jednostką jest elektronowolt.

Definicja: elektronowolt

Jeden elektronowolt (1 eV) jest to energia, jaką uzyskuje dowolna cząstka, naładowana ładunkiem elementarnym (np. elektron), przyspieszona napięciem równym jednemu woltowi.

$$1 \text{ eV} = 1e \cdot 1V \approx 1,602 \cdot 10^{-19} \text{ C} \cdot 1 \text{ V} = 1,602 \cdot 10^{-19} \text{ J}$$

Tak więc $h = 6,63 \cdot 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s} = 4,14 \cdot 10^{-15} \text{ eV} \cdot \text{s}$.

Niech wiązka światła pomarańczowego ma długość fali (w próżni) $\lambda = 600 \text{ nm}$, czyli częstotliwość $f = 5 \cdot 10^{14} \text{ Hz}$. Energia fotonu z takiej wiązki, obliczona z wyrażenia

$$E_f = \frac{hc}{\lambda} \text{ lub } E_f = hf,$$

może być podana jako $3,3 \cdot 10^{-19} \text{ J}$ albo jako 2,1 eV. Prostszy i bardziej komunikatywny jest ten drugi zapis - wystarczy się nieco oswoić ze skalą elektronowoltową dla energii.

Ale stała Plancka nie służy jedynie przeliczaniu częstotliwości czy długości fali elektromagnetycznej na energię fotonu. Wspomnieliśmy wyżej o zjawisku Comptona. Obliczmy pęd pojedynczego fotonu w wiązce promieni X o długości fali $\lambda = 10^{-9} \text{ m}$.

$$p = \frac{h}{\lambda} = \frac{6,63 \cdot 10^{-34}}{10^{-9}} \frac{\text{J} \cdot \text{s}}{\text{m}} = 6,63 \cdot 10^{-25} \frac{\frac{\text{kgm}^2}{\text{s}^2} \cdot \text{s}}{\text{m}} = 6,63 \cdot 10^{-25} \text{ kg} \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

Zwróć uwagę na rachunek jednostek. Wynika z niego, że wymiar stałej Plancka, wyrażony przez jednostki podstawowe układu SI, to kilogram razy metr kwadrat dzielone przez sekundę. Jednostki stałej Plancka to nie tylko dżul razy sekunda, to także iloczyn jednostek długości i pędu, czyli wymiar momentu pędu - to zauważyliśmy już wcześniej.

Czy wartość tego pędu jest duża czy mała? W mikroświecie - całkiem sporo. Proton o masie ok. 10^{-27} kg miałby prędkość rzędu kilkuset metrów na sekundę - jak „przeciętna” cząsteczka tlenu czy azotu w powietrzu w temperaturze pokojowej. Elektron, o masie rzędu 10^{-30} kg , miałby prędkość rzędu kilkuset kilometrów na sekundę.

Twoja zaś prędkość, przy masie kilkudziesięciu kilogramów, miałaby wartość ok. $10^{-27} \frac{\text{m}}{\text{s}}$.

Z taką prędkością daleko nie zajdziesz - Twoje życie raczej nie potrwa dłużej niż $3 \cdot 10^9$ sekund - sprawdź to i oblicz swoje hipotetyczne przemieszczenie w tym czasie.

Nie ulega wątpliwości, że używanie stałej Plancka do opisu zjawisk zachodzących w skali makroskopowej, w skali „ludzkiej”, jest niezbyt wygodne. Stała h przydaje się do opisu zachowania lub struktury pojedynczych cząsteczek chemicznych, komórek elementarnych w kryształach, atomów, protonów, neutronów i elektronów, a także innych cząstek elementarnych.

Słowniczek

Stała Plancka

(ang. Planck constant) – jedna z podstawowych stałych fizycznych łącząca energię **fotonów** z częstotliwością promieniowania elektromagnetycznego. Stała Plancka została początkowo wyznaczona doświadczalnie przez Maxa Plancka w ramach badań nad widmem **ciała doskonale czarnego**, od 2018 roku jest przyjmowana jako dokładna i wynosząca $6,62607015 \cdot 10^{-34} \text{J}\cdot\text{s}$.

foton

(ang. photon) – nazwa pochodzi od greckiego słowa φῶς oznaczającego światło. Foton jest bezmasową cząstką elementarną, przenoszącą kwant (czyli jedną porcję) energii promieniowania elektromagnetycznego. Energia fotonu jest zależna od częstotliwości fali elektromagnetycznej.

ciało doskonale czarne

(ang. black body) – wyidealizowany model ciała, które niezależnie od swojej temperatury absorbuje całe padające na nie promieniowanie elektromagnetyczne oraz emituje promieniowanie o widmie zależnym od jego temperatury.

efekt fotolektryczny zewnętrzny

(ang. Photoelectric effect) – zjawisko wybijania elektronów z powierzchni materiału pod wpływem padającego promieniowania elektromagnetycznego. Zjawisko polega na przekazywaniu całej energii **fotonu** promieniowania elektronowi, zwanemu fotoelektronem. Energia kinetyczna fotoelektronów nie zależy więc od natężenia promieniowania, lecz od jego częstotliwości.

model atomu Bohra

(ang. Bohr model) – pierwszy kwantowy model budowy atomu, wedle którego atom składa się z dodatnio naładowanego jądra oraz krążących wokół niego po orbitach kołowych, ujemnie naładowanych elektronów. Według modelu elektron znajdujący się na określonej orbicie nie emituje promieniowania, ale ma stałą, dobrze zdefiniowaną energię. Zmiana energii elektronu, czyli pochłonięcie lub wyemitowanie kwantu promieniowania, odbywa się skokowo podczas zmiany orbity elektronowej.

Film samouczek

Wyznaczenie stałej Plancka

Polecenie 1

Obejrzyj film samouczek prezentujący jedną z pierwszych metod wyznaczania stałej Plancka. Zwróć uwagę, w jaki sposób wykorzystuje ona zależność $U(f)$, napięcia hamowania elektronów emitowanych w zjawisko fotoelektrycznym zewnętrznym od częstotliwości promieniowania.

Przeanalizuj interpretację obu parametrów liniowej zależności $U(f)$ - współczynnika kierunkowego a oraz wyrazu wolnego b .

Polecenie 2

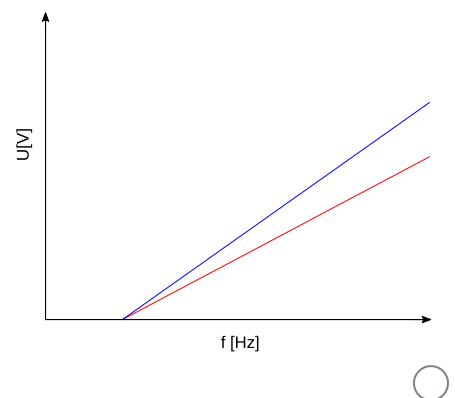
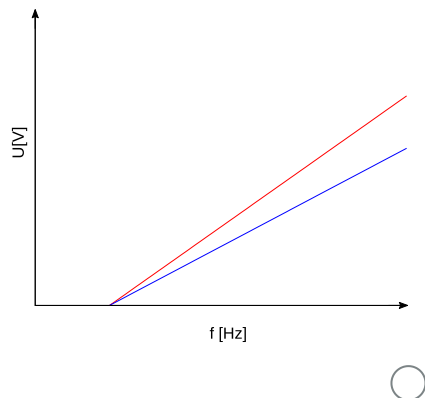
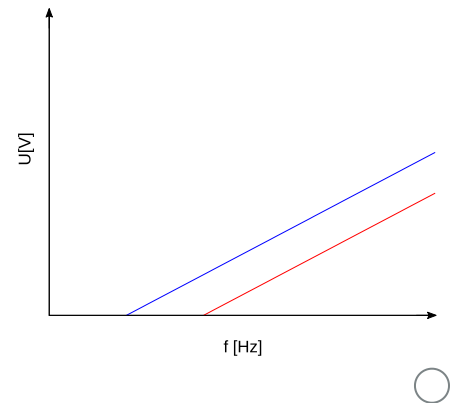
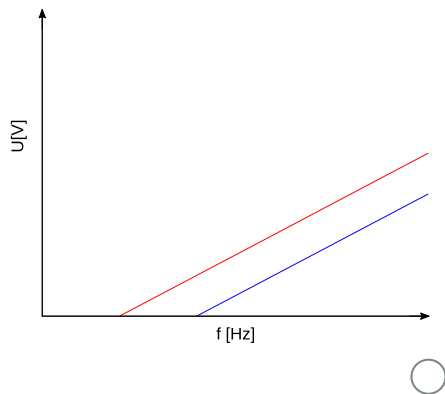
Obejrzyj film ponownie - zwróć uwagę na wyniki pomiarów otrzymane przez Millikana (ok. 0'54"). Wyznacz stałą Plancka oraz pracę wyjścia elektronu z litu, korzystając jedynie z pierwszego i ostatniego punktu danych pomiarowych.

Polecenie 3

Na każdej z ilustracji pokazano czerwoną linię, na której ułożyły się punkty pomiarowe doświadczenia opisanego w filmie.

Wskaż wykres, w którym linia niebieska przedstawia wynik takiego samego doświadczenia, ale przeprowadzonego z fotokatodą z miedzi.

Uwzględnij, że prace wyjścia z miedzi i litu spełniają związek: $W_{\text{Cu}} > W_{\text{Li}}$.



Sprawdź się

Pokaż ćwiczenia:   

Ćwiczenie 1



Wybierz poprawną odpowiedź. Stała Plancka ma wymiar:

☐ pędu

☐ momentu pędu

☐ energii

☐ mocy

Ćwiczenie 2



Zaznacz poprawne stwierdzenie:

☐ stała Plancka została pierwotnie wyznaczona w wyniku badań nad promieniowaniem ciała doskonale czarnego

☐ stała Plancka zależy od prędkości światła w ośrodku

☐ stała Plancka zastąpiła wzorzec kilograma

☐ stała Plancka charakteryzuje procesy występujące w świecie subatomowym

Ćwiczenie 3



Odpowiedz na pytania:

Jaka wielkość jest współczynnikiem proporcjonalności pomiędzy energią fotonów a częstotliwością promieniowania?

Odpowiedź:

Jaka funkcja opisuje napięcie hamowania fotoelektronów w zależności od częstotliwości fali promieniowania wywołującego efekt fotoelektryczny?

Odpowiedź:

Ćwiczenie 4



Wyraż wielkości w podanych jednostkach

a) $2,3 \text{ eV} =$ $\cdot 10^{-19} \text{ J}$

b) $25 \text{ W} =$ $\cdot 10^{19} \text{ eV/s}$

Ćwiczenie 5



Pamiętając, że stała Plancka jest współczynnikiem proporcjonalności pomiędzy energią fotonu a częstotliwością fali, znajdź liczbę fotonów emitowanych w czasie 1 s ze wskaźnika laserowego o częstotliwości fali $5,77 \cdot 10^{14} \text{ Hz}$ i mocy 1 mW.

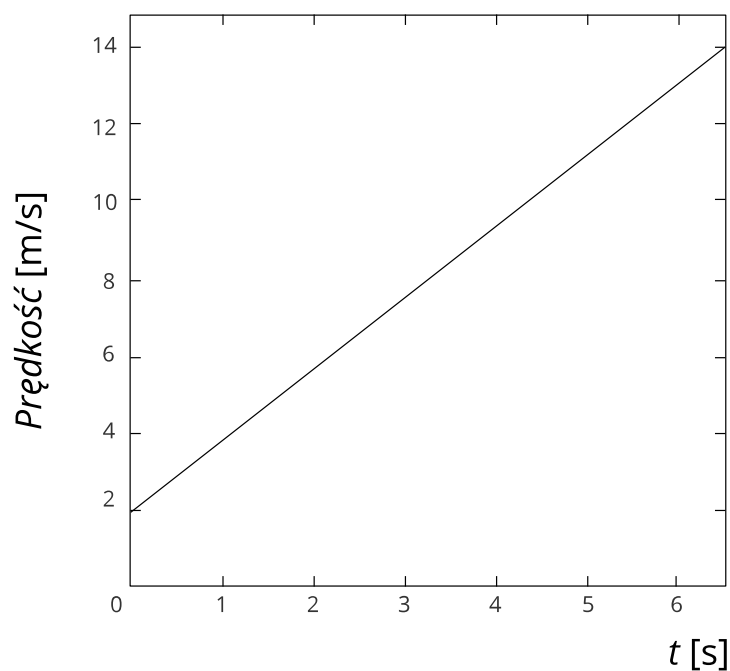
Wpisz w pole właściwą liczbę całkowitą:

Laser emituje $\cdot 10^{14}$ fotonów na sekundę

Ćwiczenie 6



Zapoznaj się z wykresem i odpowiedz na pytania:



Jaką jednostkę posiada współczynnik kierunkowy narysowanej prostej?

Jaką wielkość fizyczną reprezentuje współczynnik kierunkowy prostej?

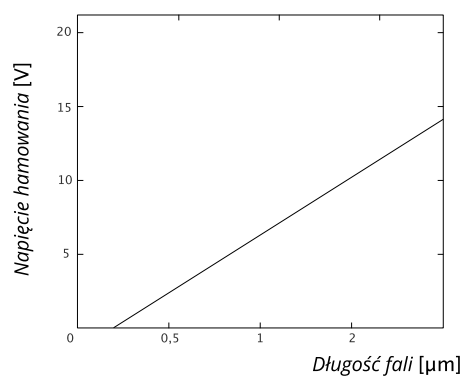
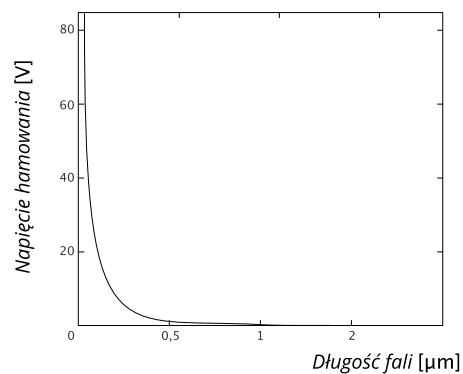
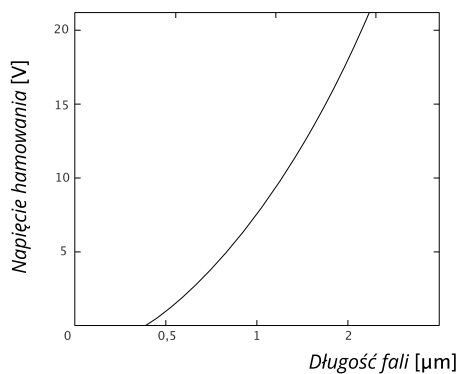
Jaką jednostkę ma wyraz wolny?

Jaką wielkość reprezentuje wyraz wolny?

Ćwiczenie 7



W filmie samouczku przedstawiona jest postać funkcji napięcia hamowania fotoelektronów w funkcji częstotliwości promieniowania wywołującego efekt fotoelektryczny. Wskaż wykres, który najlepiej obrazuje zależność napięcia hamowania od długości fali.



Ćwiczenie 8



Zbadaj, czy dane w poniższej tabeli mogą przedstawiać wynik badania zależności napięcia hamowania U elektronów emitowanych z powierzchni fotokatody oświetlonej światłem o częstotliwości f .

Lp.	$f [10^{14} \text{ Hz}]$	$U [\text{V}]$
1	2,4	1,5
2	3,6	2,0
3	4,8	2,5

Zapisz swoje rozumowanie w przygotowanym polu i porównaj z rozwiązaniem wzorcowym.

Dla nauczyciela

Imię i nazwisko autora:	Aleksandra Fijałkowska
Przedmiot:	Fizyka
Temat zajęć:	Stała Plancka
Grupa docelowa:	III etap edukacyjny, liceum, technikum, rozszerzenie podstawy programowej obu zakresów

**Podstawa
programowa:**

Cele kształcenia - wymagania ogólne

I. Wykorzystanie pojęć i wielkości fizycznych do opisu zjawisk oraz wskazywanie ich przykładów w otaczającej rzeczywistości.

II. Rozwiązywanie problemów z wykorzystaniem praw i zależności fizycznych.

Zakres podstawowy

Treści nauczania - wymagania szczegółowe

I. Wymagania przekrojowe. Uczeń:

7) wyodrębnia z tekstów, tabel, diagramów lub wykresów, rysunków schematycznych lub blokowych informacje kluczowe dla opisywanego zjawiska bądź problemu; przedstawia te informacje w różnych postaciach;

8) rozpoznaje zależność rosnącą bądź malejącą na podstawie danych z tabeli lub na podstawie wykresu; rozpoznaje proporcjonalność prostą na podstawie wykresu;

X. Fizyka atomowa. Uczeń:

5) opisuje zjawiska jonizacji, fotoelektryczne i fotochemiczne jako wywołane tylko przez promieniowanie o częstotliwości większej od granicznej,

Zakres rozszerzony

Treści nauczania - wymagania szczegółowe

I. Wymagania przekrojowe. Uczeń:

7) wyodrębnia z tekstów, tabel, diagramów lub wykresów, rysunków schematycznych lub blokowych informacje kluczowe dla opisywanego zjawiska bądź problemu; przedstawia te informacje w różnych postaciach;

8) rozpoznaje zależność rosnącą bądź malejącą na podstawie danych z tabeli lub na podstawie wykresu; rozpoznaje proporcjonalność prostą na podstawie wykresu;

XI. Fizyka atomowa. Uczeń:

7) opisuje zjawiska jonizacji, fotoelektryczne i fotochemiczne jako wywołane tylko przez promieniowanie o częstotliwości większej od granicznej.

Kształtowane kompetencje kluczowe:	Zalecenie Parlamentu Europejskiego i Rady UE z 2018 r: • kompetencje w zakresie rozumienia i tworzenia informacji, • kompetencje matematyczne oraz kompetencje w zakresie nauk przyrodniczych, technologii i inżynierii, • kompetencje cyfrowe, • kompetencje osobiste, społeczne i w zakresie umiejętności uczenia się.
Cele operacyjne:	Uczeń: 1. zapozna się z wzorem łączącym napięcia hamowania fotoelektronów (U) z częstotliwością promieniowania wywołującego zjawisko fotoelektryczne zewnętrzne (f). 2. wykreśli wykres zależności $U(f)$. 3. wyznaczy z wykresu stałą Plancka.
Strategie nauczania:	IBSE (Inquiry-Based Science Education)
Metody nauczania:	- wykład informacyjny, - burza mózgów.
Formy zajęć:	praca zespołowa
Środki dydaktyczne:	tablica
Materiały pomocnicze:	
PRZEBIEG LEKCJI	
Faza wprowadzająca:	
Nauczyciel krótko podaje podstawowe informacje dotyczące stałej Plancka, zgodnie z częścią Historia Stałej Plancka	
Faza realizacyjna:	
- Nauczyciel opisuje zjawisko fotoelektryczne, zgodnie z częścią „Przeczytaj” oraz prezentuje i krótko objaśnia wzór $U_e = hf - W$. - Nauczyciel przytacza dane z eksperymentu Millikana. - Uczniowie rysują wykres napięcia hamowania w funkcji częstotliwości promieniowania. - Uczniowie przypominają postać funkcji liniowej, pojęcie współczynnika kierunkowego jako nachylenia prostej do osi OX - odwołanie się do wiedzy z matematyki. - Analizują kolejne wyrazy wzoru $U_e = hf - W$, wskazując argumenty i wartości funkcji, czym jest współczynnik kierunkowy i wyraz wolny. - Uczniowie wyznaczają nachylenie wykresu oraz stałą Plancka.	

Faza podsumowująca:	
Uczniowie porównują otrzymaną wielkość z wartością tablicową, analizują źródła rozbieżności.	
Praca domowa:	
Nauczyciel zadaje zadanie 8.	
Wskazówki metodyczne opisujące różne zastosowania danego multimedium:	Film samouczek do wykorzystania przed lekcją lub po lekcji do powtórzenia i utrwalenia wiadomości.