

Jak definiujemy foton i jego energię?

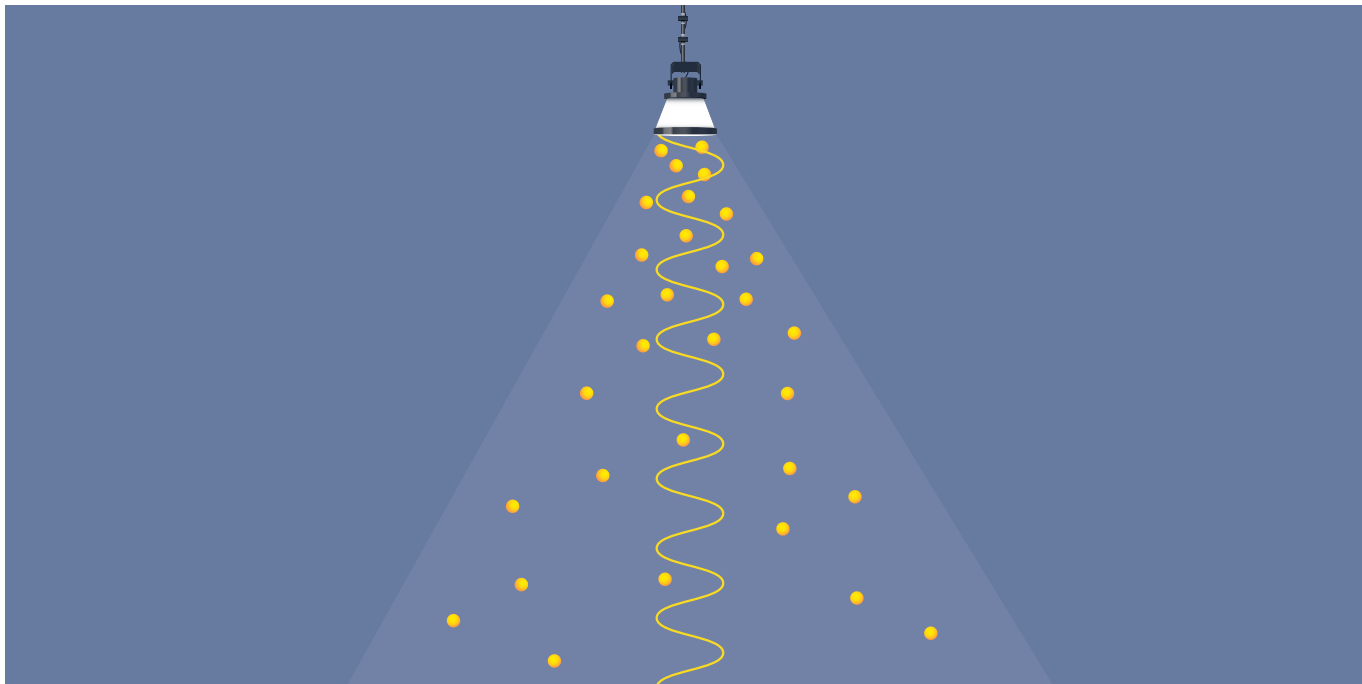
- Wprowadzenie
- Przeczytaj
- Grafika interaktywna
- Sprawdź się
- Dla nauczyciela



0834 Jak definiujemy foton i jego energię?

Czy to nie ciekawe?

Badanie własności fal elektromagnetycznych z przełomu XIX i XX przyniosło wiele obserwacji, których nie dało się wytłumaczyć na gruncie teorii falowej Maxwella. Pośród dylematów ówczesnych fizyków znalazło się między innymi widmo emisyjne termicznych źródeł światła (np. klasycznej żarówki), o którym możesz poczytać w materiale pt. „Promieniowanie ciała doskonale czarnego”, czy też zjawisko fotoelektryczne zewnętrzne, czyli emisja elektronów z metali pod wpływem padającego promieniowania elektromagnetycznego, szerzej opisane w materiale „Efekt fotoelektryczny zewnętrzny”. Zjawisk tych nie dało się wyjaśnić traktując promieniowanie elektromagnetyczne jako falę.



Rys. A. Światło jako fala i wiązka fotonów.

Falowy opis światła, ugruntowany w ówczesnej nauce oraz potwierdzony przez szereg doświadczeń i teorię, musiał zostać skonfrontowany z obserwacjami wskazującymi, że światło zachowuje się nie tylko jak fala, ale również jak zbiór cząstek. Max Planck, wyjaśniając rozkład widmowy promieniowania ciała doskonale czarnego, wprowadził pojęcie porcji energii, którą nazwał kwantem. Koncepcję tę rozwinął Albert Einstein stwierdzając, że fala elektromagnetyczna, np. składa się z cząstek (tzw. kwantów) światła.

Twoje cele

W tym e-materiale:

- dowiesz się, że promieniowanie elektromagnetyczne składa się z bezmasowych cząstek zwanych fotonami, które przenoszą ściśle określoną porcję, czyli kwant energii,
- porównasz energię fotonu emitowanego przez laser helowo-neonowy z typowymi wartościami energii z mikro- i makroświata,
- przeanalizujesz energię fotonów pochodzących z różnych obszarów widma promieniowania elektromagnetycznego.

Przeczytaj

Warto przeczytać

[Fotonem](#) nazywamy cząstkę przenoszącą porcję energii (kwant energii) promieniowania elektromagnetycznego. Nazwę zaproponował amerykański fizykochemik Gilbert Newton Lewis. Miała ona opisywać foton jako cząstkę transportującą energię promienistą. Według naukowca foton miał być pochłaniany i emitowany przez materię.

Dziś foton jest definiowany jako cząstka elementarna o zerowej masie spoczynkowej i ściśle określonej energii. Fotony należące do różnych obszarów widma promieniowania elektromagnetycznego mają energie różniące się od siebie nawet o kilka rzędów wielkości. Dla danej częstotliwości fali elektromagnetycznej energia ta jest iloczynem [stałej Plancka](#) h i częstotliwości fali f :

$$E = h \cdot f$$

Występująca we wzorze stała Plancka jest stałą fizyczną charakterystyczną dla mikroświata. Zgodnie z ustaleniami z 16 listopada 2018 Generalnej Konferencji Miar i Wag (CGPM) jej wartość określona jest dokładnie, czyli bez niepewności, i wynosi

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

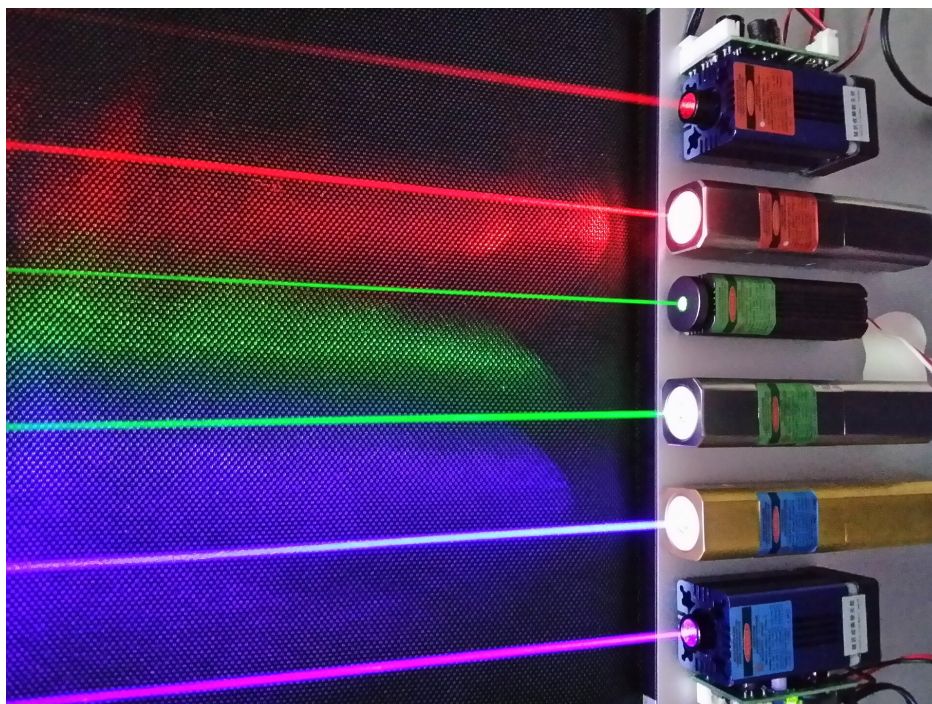
Jednostką energii fotonu jest dżul (J), jednak bardzo często używa się alternatywnej jednostki – elektronowolta (eV). Jeden elektronowolt to energia, jaką zyskuje elektron przyspieszany napięciem równym 1 woltowi (V). Aby przeliczyć 1 eV na dżule wystarczy pomnożyć wartość ładunku elementarnego e , czyli $1,602 \cdot 10^{-19} \text{ C}$, przez jeden wolt: $1 \text{ eV} = 1,602 \cdot 10^{-19} \text{ J}$.

Stałą Plancka można zatem wyrazić w eV·s. Wynosi ona ok. $4,14 \cdot 10^{-15} \text{ eV} \cdot \text{s}$.

Zgodnie z wyrażeniem $f = c/\lambda$ łączącym częstotliwość promieniowania elektromagnetycznego i długość jego fali w próżni, energię fotonu można wyrazić przez

$$E = hc/\lambda.$$

(Literą c oznaczamy prędkość światła w próżni, równą w przybliżeniu $3 \cdot 10^8$ m/s.)



Rys. 1. Największą energię mają fotony światła fioletowego, a najmniejszą światła czerwonego.

Źródło: , dostępny w internecie: <https://commons.wikimedia.org/wiki/File:LASER.jpg> [dostęp 21.02.2022 r.], licencja: CC BY 2.5.

Jak duża jest energia fotonu? Wyznaczmy dla przykładu energię fotonów emitowanych z helowo-neonowego wskaźnika laserowego o długości fali 633 nm.

$$E = 6,63 \cdot 10^{-34} \text{ Js} \cdot \frac{3 \cdot 10^8 \text{ m/s}}{633 \cdot 10^{-9} \text{ m}} = 3,14 \cdot 10^{-19} \text{ J}.$$

Wartość tę można zapisać w dużo wygodniejszej formie w elektronowoltach:

$$E = \frac{3,14 \cdot 10^{-19} \text{ J}}{1,602 \cdot 10^{-19} \text{ J/eV}} = 1,96 \text{ eV}.$$

Typowe energie w makroświecie - np. energia kinetyczna piłki upuszczonej z wysokości 1 m, tuż przed uderzeniem w chodnik - mają wartość rzędu 1 J, a więc rzędu 10^{19} eV. Energie fotonów są istotnie mniejsze. Porównajmy 1 J z energią procesu charakterystycznego dla mikroświata, np. energią wydzielaną podczas pełnego spalania jednej cząsteczki metanu w tlenie. Energia spalania metanu wynosi 891,6 kJ/mol, co po podzieleniu przez stałą Avogadra, czyli w przeliczeniu na jedną cząsteczkę, wynosi

$$E = (891,6 \text{ kJ/mol}) / (6,02 \cdot 10^{23} \text{ 1/mol}) = 14,8 \cdot 10^{-19} \text{ J} = 9,2 \text{ eV.}$$

Otrzymana wartość jest, jak widać, tego samego rzędu, co energia fotonu emitowanego przez laser helowo-neonowy.

Należy pamiętać, że energie fotonów zależą od częstotliwości promieniowania elektromagnetycznego, która może przyjmować wartości od pojedynczych kHz dla fal radiowych do wielkości rzędu 10^{24} Hz dla promieniowania gamma. Energie fotonów mogą więc przyjmować wartości od ok. 10^{-12} eV do 10^9 eV.

Słowniczek

foton

(ang. photon) – nazwa pochodzi od greckiego słowa $\varphi\omega\varsigma$ oznaczającego światło. Foton jest cząstką elementarną przenoszącą kwant (czyli jedną porcję) energii promieniowania elektromagnetycznego. Energia fotonu jest ściśle określona i uzależniona od częstotliwości fali elektromagnetycznej.

stała Plancka

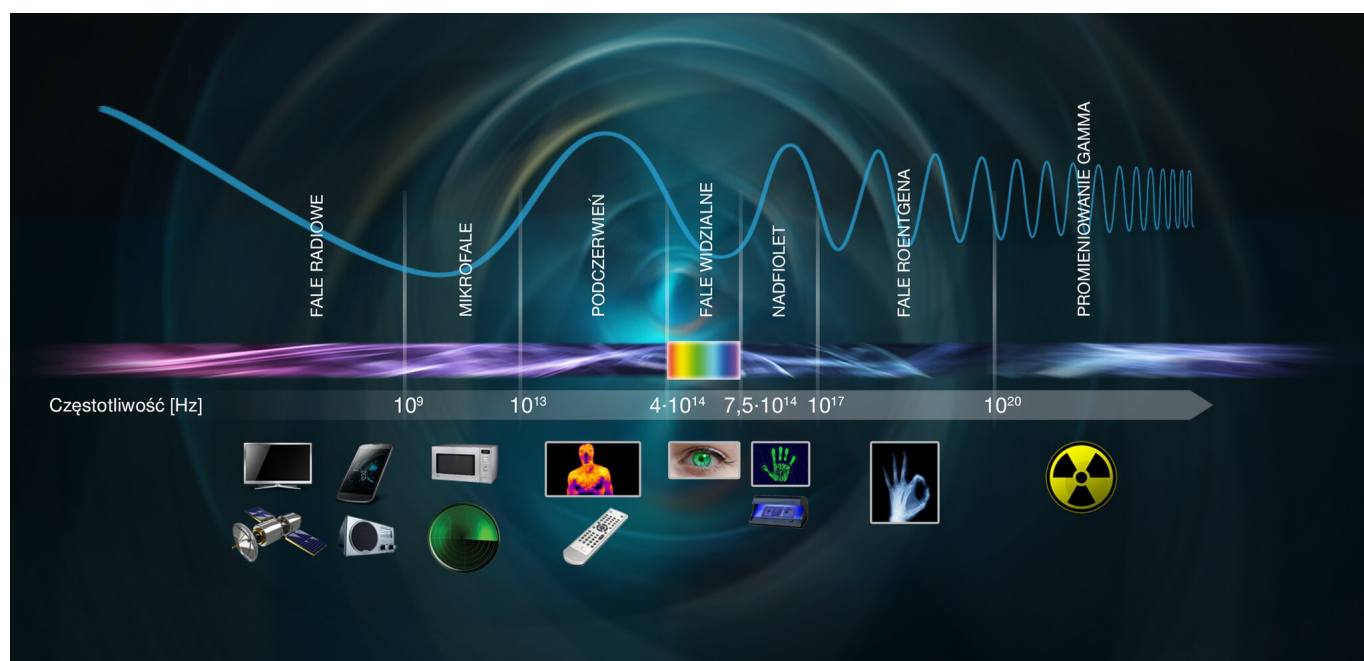
(ang. Planck constant) – jedna z podstawowych stałych fizycznych łącząca energię fotonów z częstotliwością promieniowania elektromagnetycznego. Istnienie takiej stałej zostało zapostulowane przez Plancka w ramach badań nad widmem ciała doskonale czarnego, a jej wartość oszacowana z ówczesnych danych doświadczalnych. Od 2018 roku jest przyjmowana jako dokładna i wynosząca $h = 6,62607015 \cdot 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s}$

Grafika interaktywna

Foton i jego energia

Grafika interaktywna przedstawia widmo promieniowania elektromagnetycznego z zaznaczonymi charakterystycznymi zakresami – fale radiowe, mikrofałe, podczerwień, światło widzialne, nadfiolet, promieniowanie X oraz promieniowania gamma.

Wybierz interesujący Cię zakres widma i odczytaj odpowiadające mu częstotliwości promieniowania, długości fali w próżni oraz energie fotonów.



Źródło: Politechnika Warszawska Wydział Fizyki, licencja: CC BY 4.0.

Polecenie 1

Sprawdź, jakiemu typowi promieniowania odpowiadają fotony o najwyższej energii.

Polecenie 2

Odczytaj, jakie są energie fotonów należących do światła widzialnego.

Sprawdź się

Pokaż ćwiczenia:   

Ćwiczenie 1



Wskaż zdanie prawdziwe. Energia fotonu

- nie zależy od długości fali promieniowania
- rośnie wraz ze wzrostem częstotliwości promieniowania
- zależy od masy spoczynkowej fotonu i jest opisywana wzorem Einsteina
 $E = mc^2$
- rośnie wraz ze wzrostem długości fali promieniowania

Ćwiczenie 2



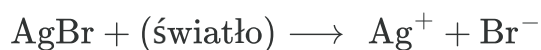
Jak zmieni się energia fotonów promieniowania elektromagnetycznego, jeśli jego częstotliwość zmaleje dziesięciokrotnie?

- Zmaleje 2 razy
- Wzrośnie 2 razy
- Wzrośnie 10 razy
- Zmaleje 10 razy

Ćwiczenie 3

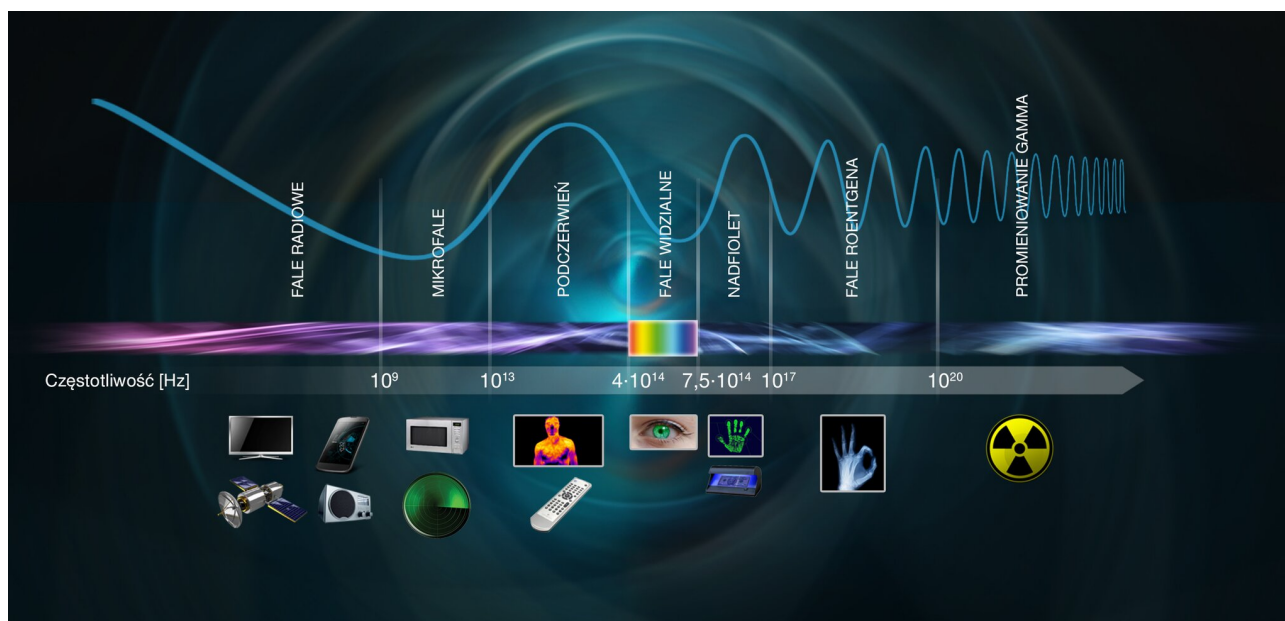


Do niedawna bardzo popularne, a obecnie w dobie fotografii cyfrowej już niezwykle rzadko używane, analogowe klisze fotograficzne pokryte są emulsją światłoczułą. Jest to zawiesina bromku srebra w żelatynie. Pod wpływem światła padającego na kliszę rozpada się wiązanie bromku srebra, wskutek czego powstaje niewielka liczba jonów srebra:



Jony te stanowią załówek rozkładu bromku srebra do wolnego srebra i bromu, co odbywa się w procesie wywoływania. Efektem wywoływania jest powstanie obrazu srebrowego w miejscach, w których na emulsję padło odpowiednio dużo światła. Taki obraz nazywamy negatywowym, ponieważ sfotografowane jasne obiekty są reprezentowane przez ciemne, srebrowe plamy na obrazie.

Zakładając, że energia wiązania AgBr wynosi 1,04 eV, określ, jaki typ fali elektromagnetycznej może naświetlić kliszę fotograficzną. Skorzystaj przy tym z załączonej grafiki.



promieniowanie UV

fale radiowe

mikrofales

Ćwiczenie 4



Uporządkuj rodzaje promieniowania według rosnącej energii fotonów.

światło widzialne



promieniowanie gamma



mikrofale



fale radiowe



Ćwiczenie 5



Oblicz energię fotonu promieniowania elektromagnetycznego o:

a) długości fali w próżni $\lambda = 550 \text{ nm}$ (światło zielone)

b) częstotliwości $f = 99,1 \text{ MHz}$ (Program trzeci Polskiego Radia w Warszawie).

Wyraź ją w zadanych jednostkach podając wartość z dokładnością do dwóch miejsc po przecinku.

Odpowiedź:

a) eV

b) μeV

Ćwiczenie 6



Znajdź długość fali świetlnej oraz określ jej kolor, wiedząc że energia fotonów wynosi $2,11 \text{ eV}$. Wyniki podaj z dokładnością do 1 nm .

Długość fali: nm

Kolor:

Ćwiczenie 7



Wyznacz liczbę fotonów światła o długości fali w próżni $\lambda = 532 \text{ nm}$, emitowanego w czasie $t = 1 \text{ s}$ przez zielony wskaźnik laserowy o mocy $P = 3 \text{ mW}$.

Odpowiedź: Laser emituje $\cdot 10^{15}$ fotonów na sekundę

Ćwiczenie 8



Laser barwnikowy, czyli laser wykorzystujący organiczne barwniki jako ośrodek czynny, może być nastawiany w szerokim zakresie długości fal. Wskutek zmiany ustawień lasera zwiększono długość emitowanej fali o $k = 10\%$. Oblicz, o ile procent zmieni się energia fotonów. Wynik podaj z dokładnością do 1%.

Odpowiedź: Energia fotonów zmaleje o %.

Dla nauczyciela

Imię i nazwisko autora:	Aleksandra Fijałkowska
Przedmiot:	Fizyka
Temat zajęć:	Jak definiujemy foton i jego energię?
Grupa docelowa:	III etap edukacyjny, liceum, technikum, zakres rozszerzony
Podstawa programowa:	<p>Cele kształcenia - wymagania ogólne</p> <p>I. Wykorzystanie pojęć i wielkości fizycznych do opisu zjawisk oraz wskazywanie ich przykładów w otaczającej rzeczywistości.</p> <p>Zakres rozszerzony</p> <p>Treści nauczania - wymagania szczegółowe</p> <p>I. Wymagania przekrojowe. Uczeń:</p> <p>1) przedstawia jednostki wielkości fizycznych, opisuje ich związki z jednostkami podstawowymi; przelicza wielokrotności i podwielokrotności;</p> <p>3) prowadzi obliczenia szacunkowe i poddaje analizie otrzymany wynik;</p> <p>XI. Fizyka atomowa. Uczeń:</p> <p>2) opisuje dualizm korpuskularno-falowy światła; wyjaśnia pojęcie fotonu oraz jego energii.</p>
Kształtowane kompetencje kluczowe:	<ul style="list-style-type: none">• 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:	<p>Uczeń:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. wyjaśni, że foton jest cząstką przenoszącą porcje energii promieniowania elektromagnetycznego; 2. porówna wartości energii fotonów dla różnych rodzajów promieniowania elektromagnetycznego; 3. wyznaczy energie fotonów światła zielonego i fal radiowych.
Strategie nauczania:	IBSE (Inquiry-Based Science Education)
Metody nauczania:	Pogadanka
Formy zajęć:	Praca indywidualna
Środki dydaktyczne:	Projektor i komputer lub tablety do dyspozycji uczniów
Materiały pomocnicze:	Widmo fal elektromagnetycznych
PRZEBIEG LEKCJI	
Faza wprowadzająca:	<p>Wprowadzenie uczniów do dualnej natury promieniowania elektromagnetycznego na podstawie światła widzialnego. Przypomnienie o zjawisku interferencji jako przykładu falowej natury światła oraz o efekcie fotoelektrycznym, którego nie sposób wyjaśnić na gruncie teorii falowej.</p>
Faza realizacyjna:	

Nauczyciel wprowadza pojęcia fotonu, jako cząstki elementarnej transportującej pojedynczą porcję energii promieniowania elektromagnetycznego. Ważne jest podkreślenie faktu, że energia składa się ze skończonych porcji - kwantów.

Nauczyciel przedstawia wzór $E = hf$ na energię fotonu w zależności od częstotliwości (zgodnie z częścią „Przeczytaj”), wyjaśnia znaczenie symboli użytych we wzorach.

Nauczyciel wprowadza jednostkę elektronowolt jako alternatywną jednostkę energii.

Uczeń zapoznaje się z grafiką interaktywną oraz energiami fotonów w różnych obszarach widma promieniowania elektromagnetycznego zgodnie z poleceniami z materiału interaktywnego.

Uczeń wykorzystuje wzór $E = hf$ do wyznaczenia energii fotonu promieniowania radiowego o częstotliwości $f = 92,4$ MHz

Nauczyciel wprowadza wzór $E = hc/\lambda$ na energię fotonu w funkcji długości fali w próżni.

Uczeń wyznacza energię fotonów emitowanych przez laserowy wskaźnik helowo-neonowy (wskaźnik czerwony) i porównuje ją z energiami fotonów dla światła widzialnego w grafice interaktywnej.

Faza podsumowująca:

W ramach zastosowania zdobytej wiedzy uczniowie rozwiązują zadania 2, 3, 5 i 8 z części „Sprawdź się”.

Nauczyciel ocenia pracę uczniów rozwiązujących zadania dając im informację zwrotną odnośnie ich wiedzy i umiejętności.

Praca domowa:

W ramach pracy domowej nauczyciel zadaje pracę pisemną w postaci zadań 1, 4 i 7 z części „Sprawdź się”.

Wskazówki metodyczne opisujące różne zastosowania danego multimedium:

Grafika interaktywna może zostać wykorzystana do zaprezentowania jaką energię przyjmują fotony z różnych zakresów widma promieniowania elektromagnetycznego. Ponadto grafika ugruntowuje wiedzę uczniów o samym widmie i rodzajach promieniowania elektromagnetycznego.

