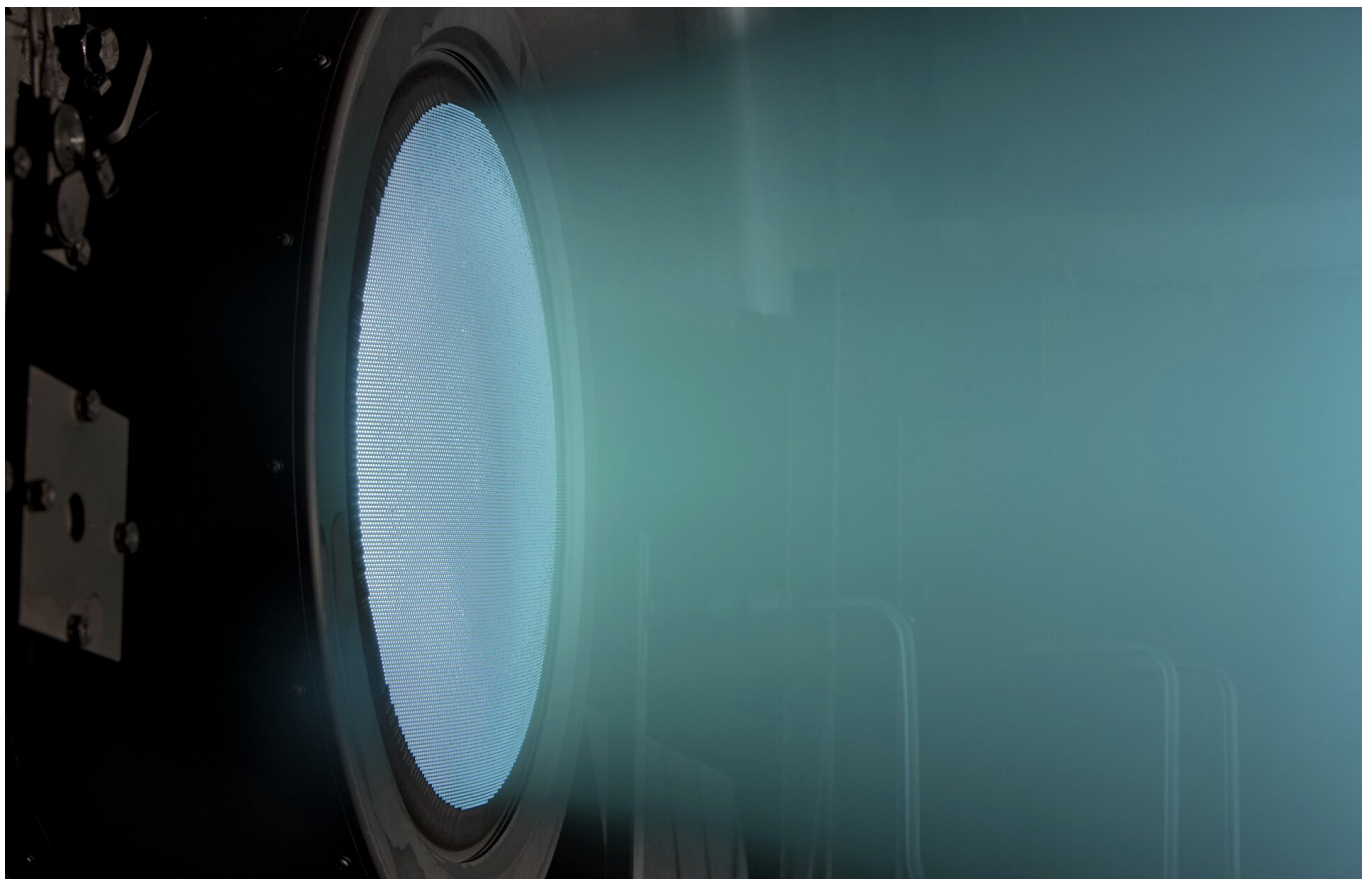
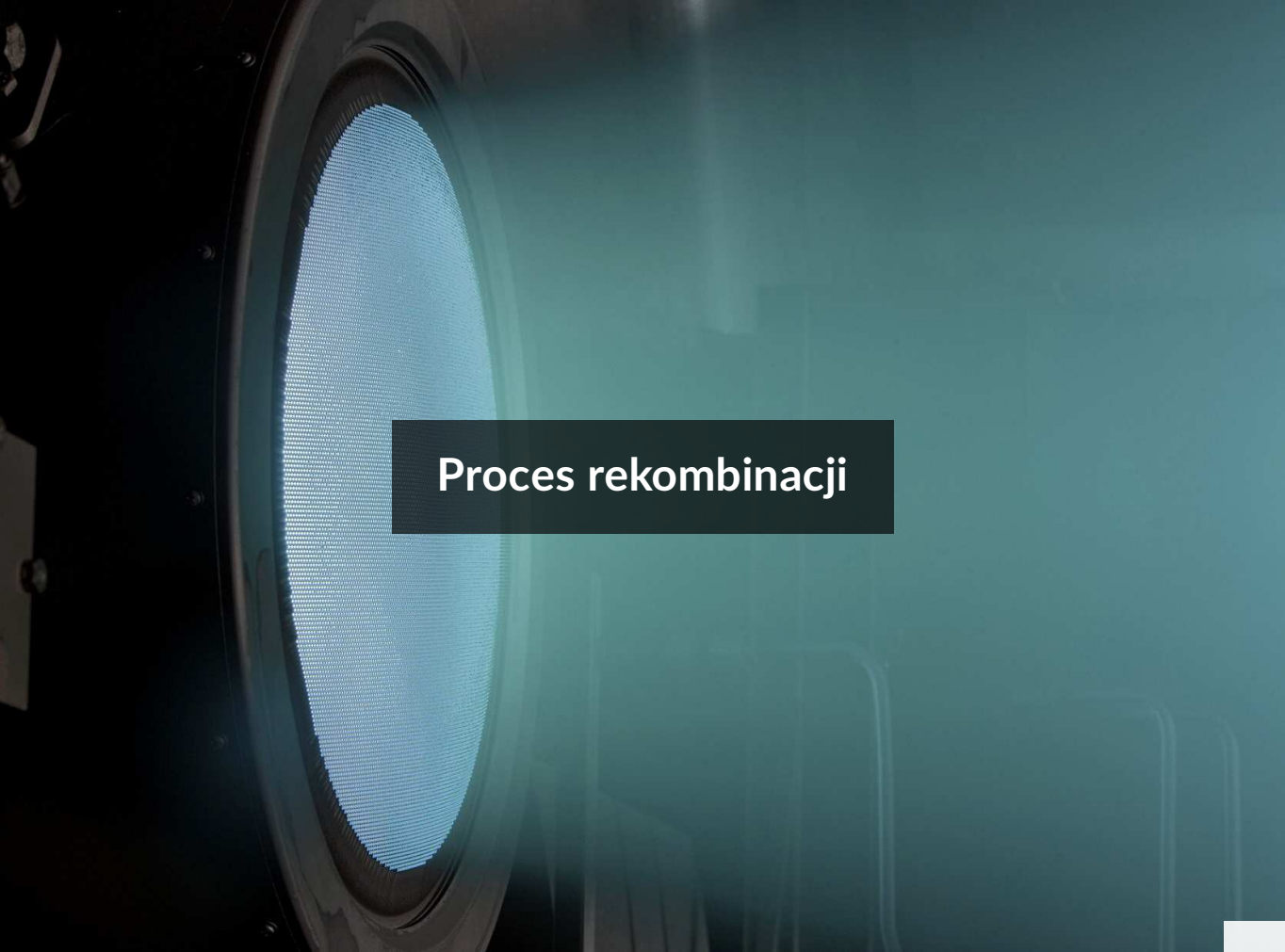




Proces rekombinacji

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



Proces rekombinacji

Czy to nie ciekawe?

Co mają ze sobą wspólnego lasery półprzewodnikowe oraz ogniwa fotowoltaiczne? A plazma w kuli plazmowej i Wszechświat sto tysięcy lat po Wielkim Wybuchu? Wszędzie tam istotną rolę grają zjawiska rekombinacji. Rekombinacja jest pojęciem, które ma kilka znaczeń, zależnych od nauki, w której występuje. Dzięki temu e-materiałowi poznasz wszystkie te znaczenia oraz dowiesz się, w jakich przykładowych zjawiskach występuje proces rekombinacji.

Twoje cele

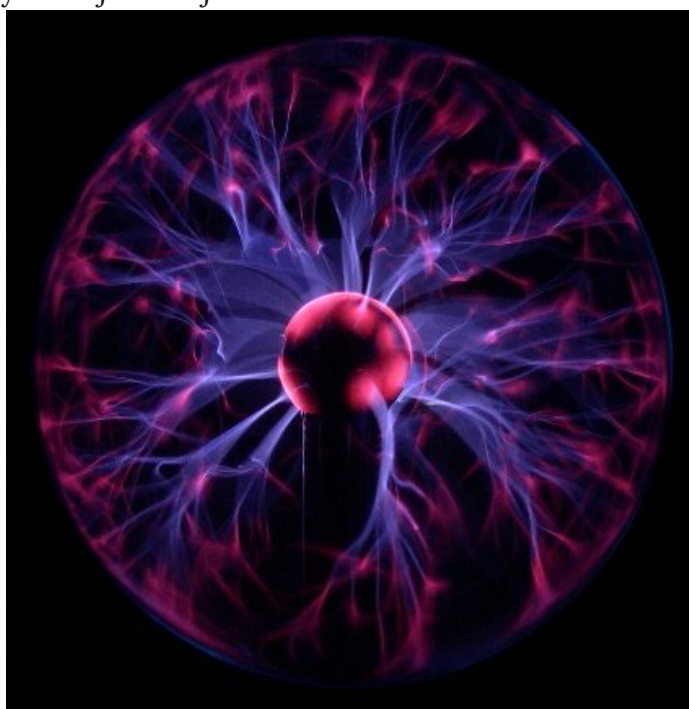
- dowiesz się, czym jest proces rekombinacji, w odniesieniu do fizyki, chemii i kosmologii,
- poznasz zjawiska, w których występuje proces rekombinacji,
- zrozumiesz zasadę działania laserów półprzewodnikowych i ogniw fotowoltaicznych,
- zastosujesz zdobytą wiedzę do rozwiązywania zadań i problemów.

Przeczytaj

Warto przeczytać

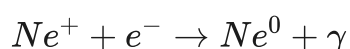
Rekombinacja jest zjawiskiem polegającym na łączeniu się cząstek o przeciwnych ładunkach i utworzeniu cząstki obojętnej elektrycznie. Pojęcie rekombinacji pojawia się w różnych zagadnieniach fizyki, [kosmologii](#) i chemii. Opiszemy je pokrótce poniżej.

O procesie rekombinacji możemy mówić na przykład w przypadku plazmy. Plazma, to czwarty stan materii (oprócz stałego, ciekłego i gazowego), a jej cechą charakterystyczną jest istnienie zjonizowanych atomów i swobodnych elektronów. Jonizacja atomów ma miejsce na skutek działania temperatury lub pola elektrycznego (więcej informacji na temat tego procesu znajdziesz np. w e-materiale „Na czym polega zjawisko jonizacji?”). W takim układzie może dojść do procesu odwrotnego – jon może połączyć się z elektronem, tworząc obojętny atom. Procesowi temu towarzyszy emisja fotonu. Rekombinacja w tym znaczeniu jest pojęciem odwrotnym do jonizacji.



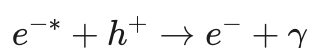
Rys. 1. Plazma nie jest niczym egzotycznym. Można ją wytworzyć (i obserwować jej świecenie) w prostej zabawce – kuli plazmowej. Źródło: https://pl.wikipedia.org/wiki/Plazma#/media/Plik:Plasma-lamp_2.jpg, autor: Luc Viatour, CC BY-SA 3.0

Przykładowe równanie rekombinacji w plazmie neonowej moglibyśmy zapisać jako:



gdzie γ oznacza wyemitowany foton.

Nieco inny mechanizm rekombinacji występuje w materiałach półprzewodnikowych – jest to grupa materiałów stanowiąca podstawę istnienia różnorodnych urządzeń, do których zaliczamy wszelkie układy elektroniczne, detektory, ogniwa fotowoltaiczne i niektóre typy laserów. Do półprzewodników zaliczamy na przykład german i krzem. Półprzewodniki nie należą do materiałów dobrze przewodzących prąd elektryczny. Jednakże, oświetlenie ich światłem o odpowiedniej długości fali lub przyłożenie odpowiednio silnego pola elektrycznego powoduje dostarczenie elektronom w materiale energii, która powoduje ich przejście do stanu wzbudzonego. Nie jest to jonizacja – gdyż elektron nie opuszcza materiału, lecz jedynie przechodzi na wyższy poziom energetyczny. W miejscu, które elektron opuścił, powstaje tzw. dziura elektronowa. Wzbudzone elektrony mogą brać udział w przepływie prądu elektrycznego – w ten sposób, przy wykorzystaniu ogniw fotowoltaicznych, możemy przekształcać energię promienistą od Słońca na energię elektryczną. Wzbudzony elektron może też oddawać swoją energię poprzez rekombinację z dziurami elektronowymi. W takim procesie energia elektronu zamieniana jest na foton – na tej zasadzie działają lasery półprzewodnikowe. Przykładowa reakcja rekombinacji dziury i elektronu ma postać:



gdzie symbolem e^{-*} oznaczyliśmy elektron wzbudzony (o wyższej energii), a symbolem h^{+} – dziurę elektronową (od ang. *hole* – dziura).

Co mają ze sobą wspólnego laser i ogniwo fotowoltaiczne? Do działania obydwu niezbędne jest zjawisko *rekombinacji*.



Rys. 2a. Laser. Źródło: <http://www.fiztaszki.pl/node/77>

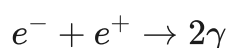


Rys. 2b. Ogniw fotowoltaiczne. Źródło:

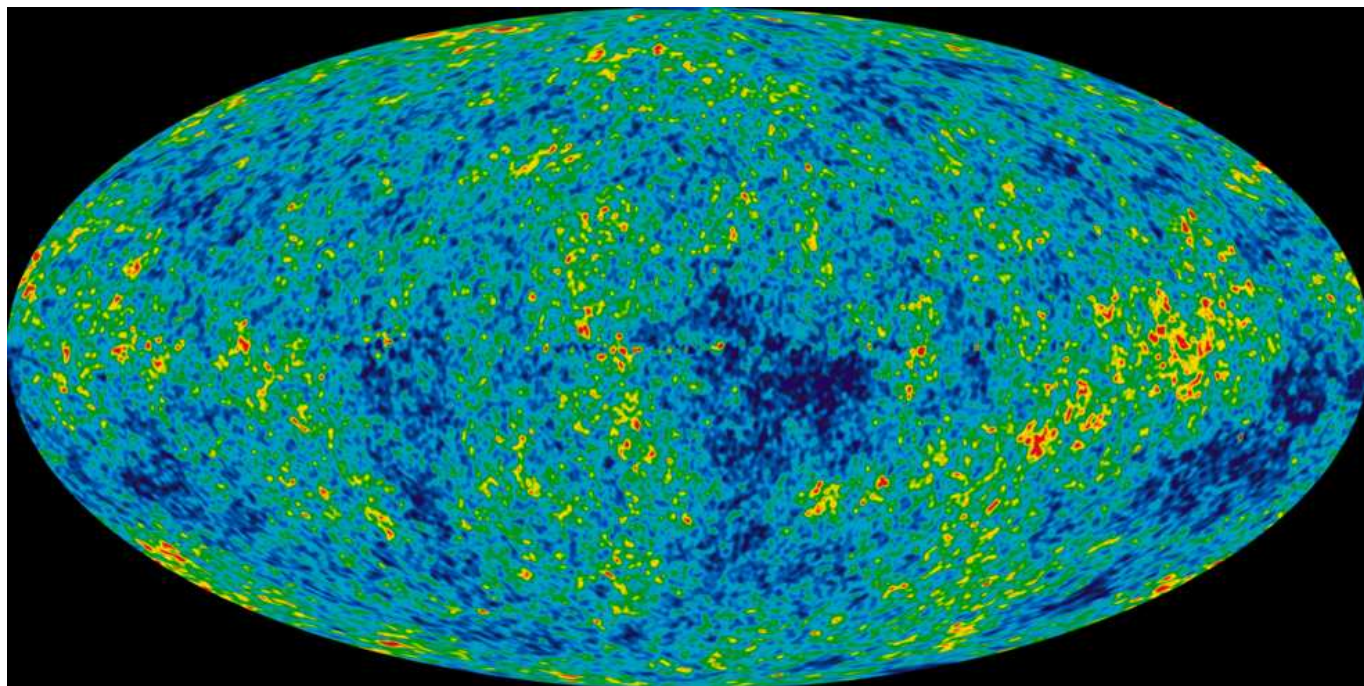
<https://kb.pl/porady/ogniwa-sloneczne-rodzaje-sprawnosc-ceny-opinie-porady/>

Inne znaczenie rekombinacji związane jest z reakcjami między materią i antymaterią. Czym jest antymateria? Cząstki antymaterii posiadają takie same właściwości jak cząstki materii, z jedną różnicą – ładunek elektryczny ma przeciwny znak (lecz nadal tę samą wartość). I tak na przykład, antycząstką dla elektronu (e^-) jest dodatnio naładowany pozyton (e^+).

W procesie rekombinacji między materią i antymaterią w 99.8% przypadków powstają dwa fotony (w pozostałych 0.2% – jeden lub trzy). Równanie reakcji przy dwóch powstających fotonach możemy zapisać jako:



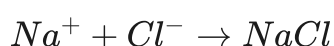
Reakcję cząstki ze swoją antycząstką nazywamy też **anihilacją**. Bardzo intensywne zjawiska tak rozumianej rekombinacji miały miejsce w początkowych etapach życia Wszechświata. Poczynając od około jednej sekundy po Wielkim Wybuchu istniejące elektrony połączyły się z pozytonami wypełniając istniejący ówczesnie Wszechświat promieniowaniem. Tak zwana era promieniowania trwała do ok. 100 000 lat po Wielkim Wybuchu. Wtedy zaczęła zachodzić rekombinacja rozumiana jako przeciwieństwo jonizacji. Istniejące wówczas protony i jądra helu wychwyciły swobodne elektrony, tworząc obojętne atomy wodoru i helu, z których następnie mogły powstać gwiazdy i ich układy, czyli galaktyki.



Rys. 3. Pozostałością po erze promieniowania jest tzw. mikrofalowe promieniowanie tła. Na zdjęciu przedstawiono obraz tego promieniowania uzyskany za pomocą detektora czułego na promieniowanie mikrofalowe. Niejednorodności widoczne na ekranie wskazują na to, że młody Wszechświat składał się z obszarów o różnej gęstości. Źródło:

<https://www.nasa.gov/feature/making-sense-of-the-big-bang-wilkinson-microwave-anisotropy-probe>

Jeszcze inna definicja rekombinacji występuje w chemii. Tam jest ona odwrotnością dysocjacji. Dysocjacja, to proces rozkładu danej substancji w roztworze na jony. Na przykład chlorek sodu NaCl (czyli popularna, znana nam sól kuchenna) rozpuszczony w wodzie tworzy jony Na^+ oraz Cl^- . Gdy w roztworze znajduje się dużo jonów, procesy dysocjacji i rekombinacji mogą zachodzić równolegle. Równanie rekombinacji w tym przypadku byłoby następujące:



Czy coś łączy te wszystkie procesy? Jak widzisz, niezależnie od tego, czy mówimy o fizyce, kosmologii czy chemii, rekombinacja w każdym przypadku prowadzi do usunięcia z danego obszaru cząstek o różnych ładunkach i powstania cząstki obojętnej elektrycznie.

Słowniczek

kosmologia

(ang.: *cosmology*, od greckiego *kósmos*: porządek, ład Wszechświata + *lógos*: słowo, nauka) nauka zajmująca się opisem Wszechświata w bardzo dużej skali, starająca się odpowiedzieć na pytania o jego powstanie i ewolucję.

anihilacja

(ang.: *annihilation*, od łacińskiego *annihilatio* – unicestwienie) proces, w którym cząstka i jej antycząstka po zetknięciu się ze sobą znikają (ulegają unicestwieniu), a ich masa

zostaje przekształcona na energię i wyemitowana w postaci fotonów.

izotopy

(*ang.: isotopes, od greckiego ἴσος + τόπος: równy + miejsce*) atomy o tej samej liczbie atomowej Z (zajmujące zatem to samo miejsce w układzie okresowym pierwiastków), lecz o różnej liczbie masowej A . Innymi słowy, są to atomy tego samego pierwiastka o różnej liczbie neutronów.

Film samouczek

Proces rekombinacji

W filmie samouczku rozważa się dwa przeciwne do siebie procesy: jonizacji atomów oraz rekombinacji jonów i elektronów. Omówiona jest także ich zależność od różnych czynników takich, jak temperatura, gęstość materii oraz energia jonizacji atomów.

[Film dostępny na portalu epodreczniki.pl](#)

Zapoznaj się z audiodeskrypcją samouczka.

Polecenie 1

Uzasadnij przebieg rodziny wykresów zależności zawartości jonów w funkcji temperatury przy rosnącej energii jonizacji, przedstawiony w ostatniej scenie samouczka. Zapisz swoje argumenty w przygotowanym polu i porównaj z wyjaśnieniem wzorcowym.

Polecenie 2

Obejrzyj ponownie fragment filmu, w którym mowa jest o wpływie gęstości plazmy na przebieg zależności zawartości jonów w funkcji temperatury. Rozstrzygnij, czy w stałej temperaturze wzrost gęstości spowoduje przesunięcie równowagi w kierunku jonizacji, czyli produkcji jonów i elektronów czy może w kierunku rekombinacji, czyli produkcji atomów? Uzasadnij swoje rozstrzygnięcie a następnie porównaj z odpowiedzią wzorcową.

Sprawdź się

Pokaż ćwiczenia:   

Ćwiczenie 1



Pojęcie rekombinacji może dotyczyć:

- ☐ zjawisk fizycznych, chemicznych lub kosmologicznych
- ☐ tylko zjawisk fizycznych i chemicznych
- ☐ tylko zjawisk fizycznych
- ☐ tylko zjawisk kosmologicznych

Ćwiczenie 2



Wskaż wszystkie poprawne odpowiedzi.

- ☐ Rekombinacja może być odwrotnością jonizacji.
- ☐ Rekombinacja może być odwrotnością dysocjacji.
- ☐ Proces rekombinacji może być odwrotnością anihilacji.
- ☐ Proces rekombinacji może być procesem odwrotnym do procesu emisji fotonu.

Ćwiczenie 3



Uzupełnij poprawnie zdania.

Proces rekombinacji polega na połączeniu się cząstek tych samych / przeciwnych znaków, aby utworzyć cząstkę obojętną / naładowaną. Rekombinacji mogą ulec na przykład swobodne elektrony / obojętne atomy oraz jony dodatnie / jony ujemne obecne w zjonizowanej plazmie.

Ćwiczenie 4



Uzupełnij poprawnie zdania.

W procesie rekombinacji zachodzącej we wczesnej fazie istnienia Wszechświata {#elektrony} / {fotony} łączyły się ze swoimi antycząstkami {#pozytonami} / {antyfotonami}. Znak ładunku elektrycznego antycząstki jest {taki sam} / {#przeciwny}, jak odpowiadającej jej cząstki. W wyniku rekombinacji powstawały zwykle {#dwa fotony} / {dwa elektrony}. Foton {jest} / {#nie jest} obdarzony wypadkowym ładunkiem elektrycznym.

Ćwiczenie 5



Zaznacz zjawiska, w których dochodzi do procesu rekombinacji.

☐ W wyniku zderzenia protonu z antyprotonem powstają trzy fotony.

☐ Po rozpuszczeniu w wodzie siarczanu miedzi powstają swobodne jony Cu^{2+} oraz SO_4^{2-} .

☐ W wyniku zderzenia się protonu z neutronem powstaje jądro deuteru (izotopu wodoru).

☐ Po włączeniu napięcia, laser półprzewodnikowy zaczyna świecić.

Ćwiczenie 6



Podczas pracy lasera półprzewodnikowego, w którym materiałem aktywnym optycznie jest arsenek galowo-glinowy (GaAlAs) elektron, który uprzednio został wzbudzony, może rekombinować z dziurą elektronową, oddając przy tym energię o wartości 1.8 eV.

Wyznacz długość fali lasera zawierającego arsenek galowo-glinowy, jeśli w procesie rekombinacji powstaje tylko jeden foton. Wynik zaokrąglaj do pełnych nanometrów.

$\lambda =$ nm.

Ćwiczenie 7



Podczas pracy lasera półprzewodnikowego, w którym materiałem aktywnym optycznie jest arsenek galowo-glinowy (GaAlAs) elektron, który uprzednio został wzbudzony, może rekombinować z dziurą elektronową, oddając przy tym energię o wartości 1.8 eV.

Na jaki kolor będzie świecił taki laser?

Laser będzie miał kolor .

Ćwiczenie 8



W procesie anihilacji, masa biorących w nim udział cząstek zamieniana jest na energię fotonów, zgodnie ze słynnym wzorem Einsteina: $E = mc^2$, gdzie c jest prędkością światła w próżni. Wyznacz energię pojedynczego fotonu powstającego w procesie anihilacji elektronu i pozytonu, jeśli w procesie powstają dwa identyczne fotony. Masa elektronu (i pozytonu) wynosi $m = 9,1 \cdot 10^{-31}$ kg. Wynik zaokrąglaj do pełnych elektronowoltów.

$E_f =$ eV.

Dla nauczyciela

Imię i nazwisko autora:	Przemysław Michalski
Przedmiot:	fizyka
Temat zajęć:	Różne oblicza rekombinacji
Grupa docelowa:	III etap edukacyjny, liceum, technikum, zakres podstawowy i rozszerzony
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: 15) wyodrębnia zjawisko z kontekstu, nazywa je oraz wskazuje czynniki istotne i nieistotne dla jego przebiegu. 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: 19) wyodrębnia zjawisko z kontekstu, nazywa je oraz wskazuje czynniki istotne i nieistotne dla jego przebiegu. XI. Fizyka atomowa. Uczeń: 7) opisuje zjawiska jonizacji, fotoelektryczne i fotochemiczne jako wywołane tylko przez promieniowanie o częstotliwości większej od granicznej.

Kształtowane kompetencje kluczowe:	Zalecenia 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. zdefiniuje pojęcie rekombinacji w odniesieniu do chemii, kosmologii i różnych dziedzin fizyki; 2. wymieni przykładowe zjawiska i urządzenia wykorzystujące proces rekombinacji; 3. wyjaśni zasadę działania kuli plazmowej; 4. zastosuje zdobyte wiadomości do rozwiązywania zadań i problemów.
Strategie nauczania:	blended learning
Metody nauczania:	pogadanka, eksperyment
Formy zajęć:	praca indywidualna, praca w grupach
Środki dydaktyczne:	komputer, projektor
Materiały pomocnicze:	kula plazmowa
PRZEBIEG LEKCJI	
Faza wprowadzająca:	
Nauczyciel zaciekawia uczniów wprowadzając różnorodne przykłady zjawisk i obiektów, które działają w oparciu o proces rekombinacji: np. laserów półprzewodnikowych i ogniw fotowoltaicznych; kuli plazmowej i ery rekombinacji plazmy we wczesnym Wszechświecie. Nauczyciel informuje, że wszystkie z tych zjawisk mają wspólny mianownik – rekombinację.	
Faza realizacyjna:	

Nauczyciel rysuje „drzewo”, którego pniem jest rekombinacja. Z drzewa wyrastają konary odpowiadające różnym jej znaczeniom: rekombinacji w półprzewodniku, rekombinacji w plazmie, anihilacji, rekombinacji chemicznej. Uczniowie dzielą się na grupy i każda z nich opisuje jeden z „konarów”. Opis powinien zawierać odpowiednie równania reakcji. Podczas pracy uczniowie mogą korzystać ze zdobytych wcześniej wiadomości, Internetu oraz treści e-materiału. Następnie każda grupa umieszcza swój „konar” na tablicy i krótko omawia wyniki pracy.

Nauczyciel, przy pomocy wybranych uczniów, przeprowadza eksperyment z kulą plazmową, prezentując wygląd zjonizowanego gazu.

Uczniowie oglądają film samouczek dołączony do e-materiału.

Faza podsumowująca:

Uczniowie zadają pytania, nauczyciel wyjaśniania wątpliwości.

Uczniowie weryfikują swoją wiedzę, rozwiązując, w parach, zadania 1-5 z zestawu ćwiczeń.

Praca domowa:

Nauczyciel prosi uczniów o samodzielne opracowanie procesu rekombinacji w znaczeniu anihilacji – w tym opisanie zamiany masy w energię i wyjaśnienia wzoru Einsteina.

Wskazówki metodyczne opisujące różne zastosowania danego multimedium

Film samouczek można także wykorzystać do samodzielnej pracy uczniów w metodzie flipped classroom.