

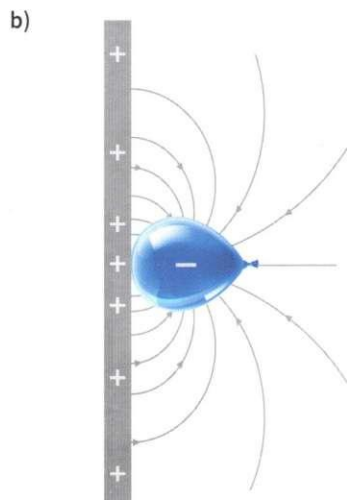
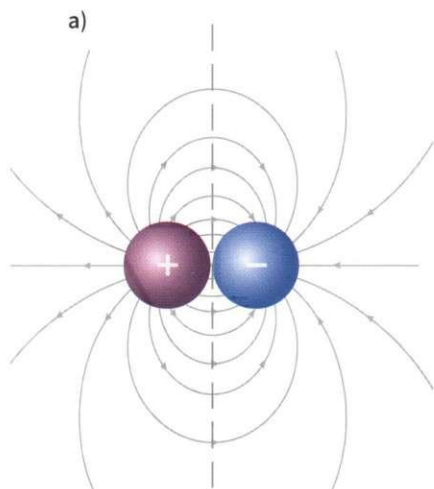
SCENARIUSZ DOŚWIADCZENIA 1. Ładunek elektryczny na balonie

Problem badawczy

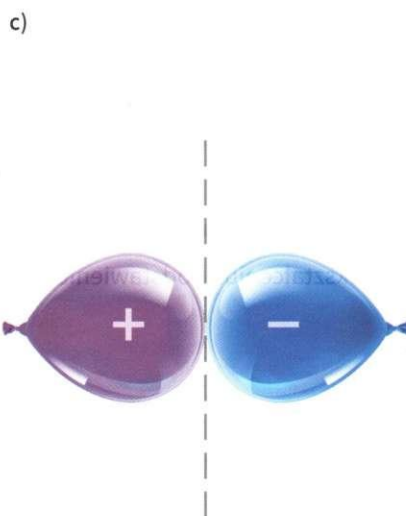
Wyznaczenie wartości ładunku elektrycznego zgromadzonego na potartym balonie

Wstęp

Ładunki elektryczne oddziałują ze sobą za pośrednictwem pola elektrycznego. Pole elektryczne wytworzone przez dwa przeciwne ładunki przedstawione jest na rysunku a. Takie ładunki przyciągają się siłą, którą można wyznaczyć z prawa Coulomba.



Potarty wełnianą tkaniną balon elektryzuje się ujemnie. Jeśli zbliżyć go do dużej metalowej płyty, będzie przez nią przyciągany, gdyż na jej powierzchni w wyniku indukcji pojawi się ładunek elektryczny przeciwnego znaku. Pole elektryczne wytworzone przez balon i płytę wygląda jak na rysunku b – linie pola biegają tak jak po prawej stronie przerywanej linii na rysunku a. Można stąd wywnioskować, że oddziaływanie balonu i płyty jest takie samo jak oddziaływanie dwóch stykających się balonów naładowanych przeciwnym ładunkiem (ryc. c). Dzięki temu, przy założeniu, że balon naelektryzowany jest równomiernie, siłę oddziaływania między balonem i płytą możemy obliczyć z prawa Coulomba:



$$F_e = k \frac{q^2}{r^2}$$

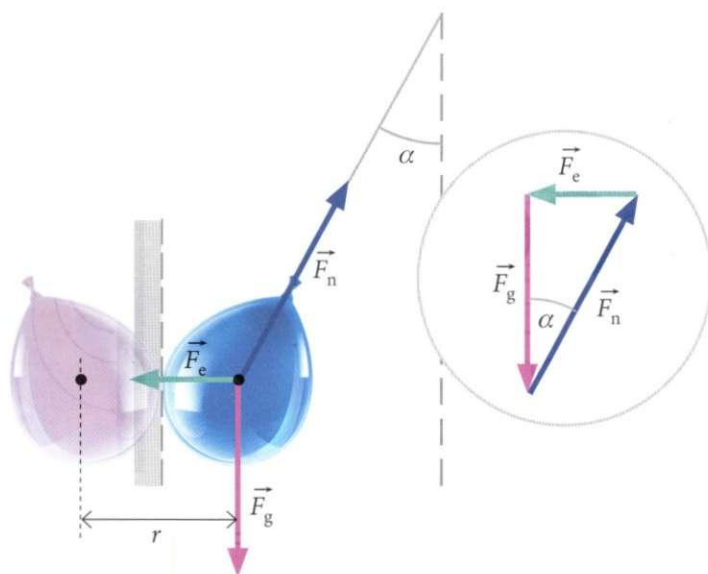
gdzie:

q – ładunek zgromadzony na balonie,

r – odległość między środkami balonu i jego obrazu (czyli średnica balonu).

Naelektryzowany balon zawieszony na nitce w pobliżu pionowej metalowej płyty będzie przez nią przyciągany, wskutek czego nitka nie będzie wisiała pionowo. Gdy balon zetknie się z płytą, będą działały na niego cztery równoważące się siły: elektryczna, ciężkości, naprężenia nitki oraz nacisku. Wraz ze wzrostem kąta, który nitka tworzy z kierunkiem pionowym, maleje siła, jaką płyta naciska na balon. Przy odpowiednio dużym kącie, gdy balon jest na granicy oderwania się od płyty, siła nacisku znika całkowicie, a trzy pozostałe siły się równoważą (ryc. d).

d)



Trójkąt utworzony przez wektory sił w tej sytuacji jest prostokątny. W tym trójkącie:

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{F_e}{F_g}$$

gdzie α jest kątem między siłą ciężkości i siłą naprężenia nitki.

Po przekształceniu i podstawieniu odpowiednich wzorów otrzymujemy:

$$F_e = F_g \cdot \operatorname{tg} \alpha$$

$$k \frac{q^2}{r^2} = mg \cdot \operatorname{tg} \alpha$$

stąd ładunek balonu:

$$q = \sqrt{\frac{mgr^2 \operatorname{tg} \alpha}{k}}$$

Kąt α w trójkącie jest taki sam, jak kąt odchylenia nitki od pionu. Jeśli znamy ten kąt oraz masę i średnicę balonu, możemy wyznaczyć ładunek elektryczny tego balonu.

Założenie, że balon jest równomiernie naelektryzowany, jest dużym uproszczeniem realnej sytuacji, dlatego wynik obliczeń jest jedynie oszacowaniem ładunku zgromadzonego na balonie.

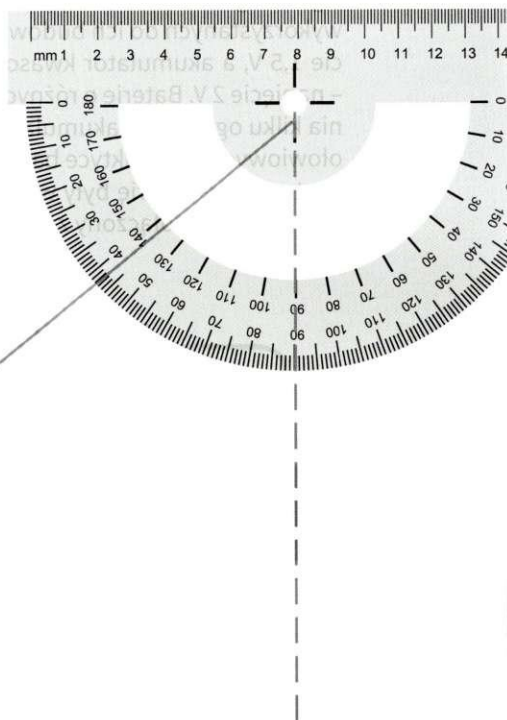
Przyrządy pomiarowe i materiały do przeprowadzenia doświadczenia

- ▶ balon
- ▶ nitka o długości ok. 0,5 m
- ▶ tkanina wełniana
- ▶ kątomierz
- ▶ waga kuchenna

Przebieg doświadczenia

1. Wyznacz masę balonu* (możesz zważyć wiele balonów i podzielić wynik przez ich liczbę).
2. Do napompowanego balonu przymocuj nić.
3. Zmierz średnicę balonu (r we wzorach powyżej).
4. Drugi koniec nitki przymocuj do kątomierza tak, aby możliwy był odczyt kąta, który nitka tworzy z pionem (np. jak na rysunku e).
5. Naelektryzuj balon przez potarcie go ze wszystkich stron tkaniną.
6. Zbliz balon z kątomierzem do pionowej metalowej płyty (może to być ścianka lodówki lub pralki). Balon powinien przylgnąć do płyty.
7. Obserwuj wskazania kątomierza i powoli odsuwaj kątomierz od płyty do momentu, aż balon oderwie się od jej powierzchni. Zanotuj maksymalny kąt, jaki tworzyła nitka z pionem.
8. Czynności z punktów 6. i 7. powtórz co najmniej trzy razy.

e)



Opracowanie wyników doświadczenia

1. Oblicz ładunek balonu dla każdego pomiaru.
2. Oblicz wartość średnią ładunku ze wszystkich pomiarów.

* Masa balonika może być różna, zwykle jest w granicach od 1 g do 3 g.

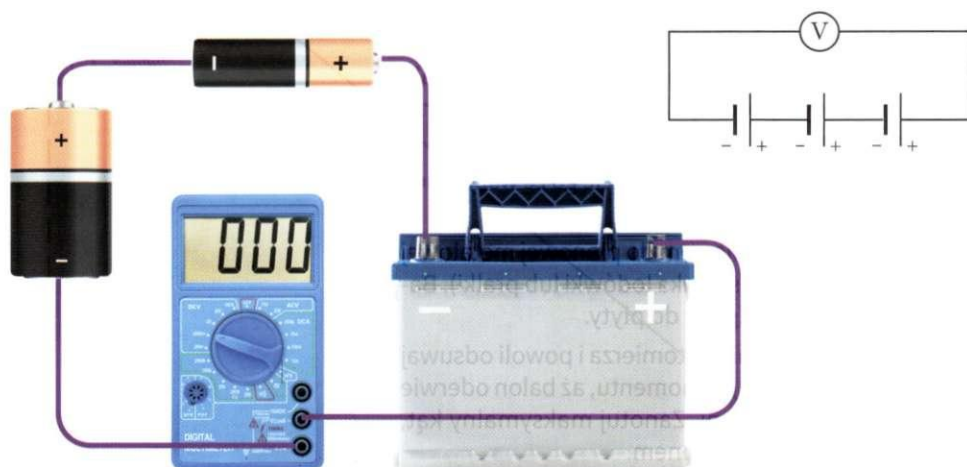
SCENARIUSZ DOŚWIADCZENIA 2. Źródła napięcia połączone szeregowo

Problem badawczy

Pomiar napięcia na układzie baterii połączonych szeregowo

Wstęp

Ogniwa galwaniczne mają określone napięcie w zależności od związków chemicznych wykorzystanych do ich budowy. Na przykład ogniwo Leclanchégo (baterie AA) ma napięcie 1,5 V, a akumulator kwasowo-ołowiowy (stosowany powszechnie w samochodach) – napięcie 2 V. Baterie o różnych napięciach uzyskuje się w wyniku szeregowego połączenia kilku ogniw (np. akumulator samochodowy ma napięcie 12 V i jest złożony z 6 ogniw ołowiowych). W praktyce baterie buduje się z jednego typu ogniw. Ważne jest, aby ogniwa tworzące baterię były wpięte w tę samą stronę, czyli zacisk ujemny jednego ogniwa powinien być połączony z zaciskiem dodatnim drugiego (ryc.).



Hipoteza badawcza

Napięcie na układzie baterii połączonych szeregowo jest równe sumie napięć na poszczególnych bateriach.

Przyrządy pomiarowe i materiały do przeprowadzenia doświadczenia

- ▶ trzy różne baterie
- ▶ woltomierz
- ▶ przewody i końcówki pozwalające połączyć baterie szeregowo

Przebieg doświadczenia

1. Zmierz woltomierzem napięcie na każdej baterii, wyniki zapisz w tabeli.
2. Połącz szeregowo dwie baterie i zmierz napięcie na końcach takiego układu.
3. Zmień kolejność baterii i ponownie zmierz napięcie na końcach układu.

4. Powtórz pomiary dla innej pary baterii.
5. Połącz szeregowo trzy baterie, zmierz napięcie na końcach układu.
6. Zmień kolejność baterii, ponownie zmierz napięcie.

Opracowanie wyników pomiarów

Uzupełnij tabelę.

U_1	U_2	U_3	$U_1 + U_2$	$U_2 + U_3$	$U_1 + U_2 + U_3$

Omówienie wyniku doświadczenia

Zapisz odpowiedzi na poniższe pytania.

1. Czy hipoteza badawcza została potwierdzona?
2. Czy kolejność łączenia baterii ma wpływ na napięcie na końcach układu?

SCENARIUSZ DOŚWIADCZENIA 3. Pierwsze prawo Kirchhoffa

Problem badawczy

Jakie jest natężenie prądu w przewodach elektrycznych mających wspólny węzeł?

Uwaga: Doświadczenie można przeprowadzić pod warunkiem, że ma się dostęp do specjalistycznych przyrządów. Ze względu na możliwość nieumyślnego uszkodzenia sprzętu doświadczenie powinno być wykonywane pod kierunkiem nauczyciela.

Wstęp

Pierwsze prawo Kirchhoffa dotyczy węzłów sieci elektrycznej, czyli miejsc, w których łączy się ze sobą kilka przewodów. Prawo to wynika bezpośrednio z zasady zachowania ładunku elektrycznego, a jego treść brzmi: suma natężeń prądów wpływających do węzła sieci elektrycznej jest równa sumie natężeń prądów z niego wypływających.

W celu zilustrowania tego prawa należy zbudować rozgałęziony obwód elektryczny i zmierzyć jednocześnie natężenie prądu w każdym z przewodów łączących się w danym węźle.

Hipoteza badawcza

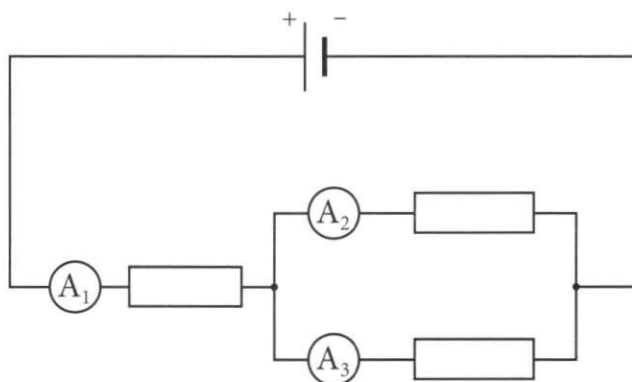
Suma natężeń prądów wpływających do węzła sieci elektrycznej jest równa sumie natężeń prądów wypływających z tego węzła.

Przyrządy pomiarowe i materiały do przeprowadzenia doświadczenia

- ▶ zasilacz laboratoryjny lub bateria
- ▶ trzy amperomierze
- ▶ trzy oporniki (najlepiej o różnych oporach)
- ▶ przewody do połączenia elementów obwodu

Przebieg doświadczenia

1. Zbuduj obwód zgodnie z poniższym schematem.



Uwaga: Nie włączamy zasilacza do sieci ani nie podłączamy baterii do obwodu, dopóki obwód nie będzie sprawdzony i zatwierdzony przez nauczyciela!

2. Włącz zasilanie, odczytaj i zanotuj w tabeli wskazania mierników.
3. Wyłącz zasilanie, zamień miejscami dwa oporniki i ponownie włącz zasilanie. Odczytaj i zanotuj wskazania mierników.
4. Powtórz czynności z punktu 3. dla dwóch innych oporników. Zanotuj wyniki pomiarów w tabeli.

I_1 (A)	I_2 (A)	I_3 (A)

5. Rozmontuj obwód.

Omówienie wyniku doświadczenia

Zapisz odpowiedzi na poniższe pytania.

1. Czy hipoteza badawcza została potwierdzona? Uwzględnij niepewność pomiarową.
2. Oszacuj minimalną niepewność pomiaru natężenia prądu, przy której wyniki pomiarów są zgodne z I prawem Kirchhoffa.

SCENARIUSZ DOŚWIADCZENIA 4. Wypadkowe pole magnetyczne Ziemi i magnesu

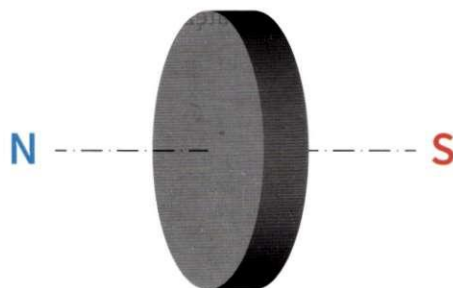
Problem badawczy

Jak będą linie pola magnetycznego w pobliżu magnesu?

Wstęp

Pole magnetyczne przedstawiamy za pomocą linii pola, czyli linii ciągłych z określonym zwrotem, wyznaczonym przez północny biegun kompasu (kompas w polu magnetycznym ustawia się wzdłuż linii pola). Gdy chcemy poznać bieg linii pola w danym obszarze, należy dokonać obserwacji w wielu punktach tego obszaru i dopiero na tej podstawie wyznaczyć obraz pola.

Celem ćwiczenia jest narysowanie linii pola magnetycznego w obszarze o promieniu kilkudziesięciu centymetrów wokół magnesu. Do doświadczenia można wykorzystać magnes sztabkowy lub w kształcie pastylki (ryc.), wymontowany ze starego głośnika.

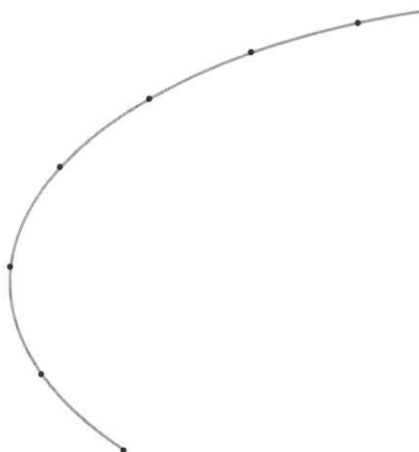
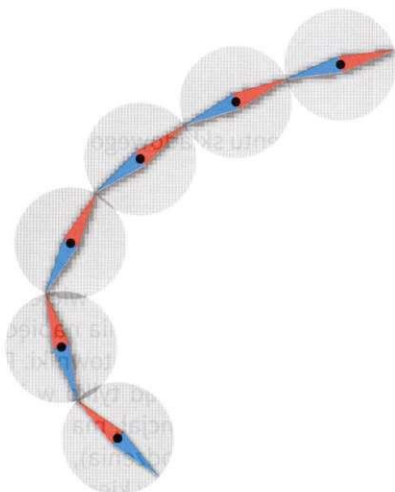


Przyrządy i materiały do przeprowadzenia doświadczenia

- ▶ kompas
- ▶ arkusz papieru formatu A1 (np. arkusz papieru pakowego)
- ▶ magnes
- ▶ ołówek

Przebieg doświadczenia

1. Umieścić magnes na środku arkusza tak, aby jego bieguny leżały na linii wschód–zachód. Nie zmieniać położenia arkusza i magnesu podczas całego doświadczenia.
2. Umieścić kompas przy krawędzi arkusza. Zaznaczyć na arkuszu punkty, w których znajdują się końce igły kompasu.
3. Przesunąć kompas tak, aby jeden z końców igły znalazł się w miejscu poprzednio zajmowanym przez drugi koniec (ryc.).
4. Ponownie zaznaczyć położenie końców igły i znów przesunąć kompas – jak w punkcie 3.



Kolejne położenia kompasu i uzyskana linia pola magnetycznego

5. Gdy dojdiesz z kompasem do magnesu, przez zaznaczone punkty poprowadź gładką linię (bez załamań). W ten sposób wyznaczysz jedną z linii pola magnetycznego.
6. Ustal i zaznacz zwrot uzyskanej linii.
7. Ustaw kompas w innym miejscu arkusza (ale przy jego krawędzi) i wyznacz kolejną linię pola (powtórz punkty od 2. do 6.).
8. Wyznacz tyle linii pola magnetycznego, aby w każdym miejscu arkusza można było bez wątpliwości ustalić ustawienie igły kompasu.

Omówienie wyniku doświadczenia

Zapisz odpowiedzi na poniższe pytania.

1. Jaki jest bieg linii pola magnetycznego w tym doświadczeniu?
2. W jakiej odległości od magnesu jego wpływ na wskazania kompasu staje się nieistotny?
3. Czy w badanym obszarze są miejsca, w których znoszą się pola magnetyczne Ziemi i magnesu? Uzasadnij odpowiedź.

SCENARIUSZ DOŚWIADCZENIA 5. Dioda

Problem badawczy

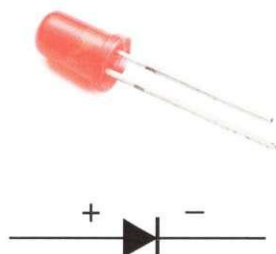
Sprawdzenie działania diody półprzewodnikowej jako elementu składowego prostowników oraz jako źródła światła

Wstęp

Najczęściej używane prądnice są źródłem napięcia przemiennego. Jednak wiele urządzeń, zwłaszcza tych zawierających układy elektroniczne, wymaga zasilania napięciem stałym. Do zamiany napięcia przemiennego na stałe wykorzystuje się prostowniki. Podstawowym elementem prostownika jest dioda, która przepuszcza prąd tylko w jedną stronę. W zależności od tego, która elektroda diody ma wyższy potencjał, ma ona albo bardzo mały opór elektryczny (czyli jest włączona w kierunku przewodzenia), albo bardzo duży, co praktycznie uniemożliwia przepływ prądu (jest włączona w kierunku zapobiegawym). Dzięki temu w obwodzie z diodą, zasilanym napięciem przemiennym, prąd płynie tylko w tych momentach, gdy kierunek pola elektrycznego jest zgodny z kierunkiem przewodzenia diody. W przeciwną stronę prąd nie płynie.

W obwodzie z diodą nie płynie jednak prąd stały. Prąd płynie tylko w jednym kierunku, ale jego natężenie się zmienia. Jeżeli elementem prostującym jest dioda świecąca, jej świecenie jest wskaźnikiem przepływu prądu. Diody świecące najczęściej mają nierówne końcówki. Prąd przez diodę płynie wtedy, gdy jej dłuższa „nóżka” ma wyższy potencjał (jest podłączona do „+”).

Celem ćwiczenia jest określenie kierunku przepływu prądu w obwodzie z diodami, gdy źródłem napięcia jest prądnica rowerowa (dynamo).



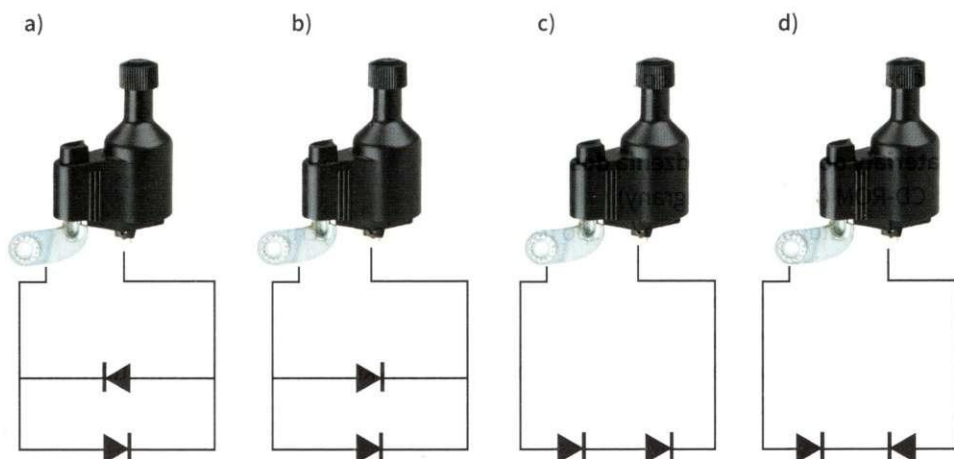
Dynamo rowerowe i dioda świecąca

Przyrządy i materiały do przeprowadzenia doświadczenia

- ▶ prądnica rowerowa (dynamo)
- ▶ dwie diody świecące
- ▶ miedziany drut o średnicy 1–2 mm i długości ok. 10 cm
- ▶ przewody umożliwiające połączenie elementów ze sobą

Przebieg doświadczenia

1. Owiń i zaciśnij drut wokół wirnika dynamo. Końcówkę drutu uformuj w niedużą korbkę, umożliwiającą precyzyjne i równe kręcenie wirnikiem.
2. Połącz dwie diody równolegle, z kierunkiem przewodzenia w przeciwną stronę, i podłącz do prądnicy (ryc. a). Zaobserwuj, jak świecą diody w czasie kręcenia wirnikiem prądnicy. Jak zmienia się ich świecenie, gdy zmienia się częstotliwość obrotów wirnika?



3. Podłącz dwie diody równolegle, z takim samym kierunkiem przewodzenia, i podłącz do prądnicy (ryc. b). Zaobserwuj świecenie diod, porównaj jej ze świeceniem przy wcześniejszym połączeniu.
4. Połącz diody szeregowo (jedna za drugą), z kierunkiem przewodzenia w tę samą stronę (ryc. c). Zaobserwuj ich świecenie.
5. Połącz diody szeregowo, z kierunkiem przewodzenia w przeciwną stronę (ryc. d). Pokręć prądnicą i zwróć uwagę na efekt.

Omówienie wyniku doświadczenia

Zapisz odpowiedzi na poniższe pytania.

1. Czy istnieje korelacja między częstotliwością wirowania wirnika a świeceniem diod? Jeżeli tak, to jaka?
2. Opisz i wyjaśnij różnice w świeceniu diod w każdym z obwodów.

SCENARIUSZ DOŚWIADCZENIA 6. Widma

Problem badawczy

Jakie są różnice w widmach ogólnie dostępnych źródeł światła?

Wstęp

W naszym otoczeniu mamy wiele różnych źródeł światła. W źródłach termicznych świecącym elementem może być drucik wolframowy rozgrzany do bardzo wysokiej temperatury – tak świecą tradycyjne żarówki i żarówki halogenowe. W innych źródłach światło emituje np. luminofor, czyli substancja pobudzana do świecenia innym promieniowaniem, np. światłem niebieskim lub nadfioletem – tak świecą lampy LED i świetlówki. Dla naszych oczu światło pochodzące z różnych źródeł może wyglądać podobnie. Różnicę zobaczymy dopiero wtedy, gdy rozłożymy to światło na poszczególne barwy, czyli uzyskamy widmo światła.

Do obserwacji widm służy spektroskop.

Materiały do przeprowadzenia doświadczenia

- ▶ CD-ROM (może być nagrany)
- ▶ rurka o długości ok. 30 cm (np. po rękownikach papierowych)
- ▶ taśma klejąca
- ▶ gładki, sztywny papier
- ▶ nożyczki, nożyk do papieru
- ▶ różne źródła światła: żarówka halogenowa (lub zwykła), żarówka LED, świetlówka, laser, świeczka

Budowa spektroskopu

Najważniejszą częścią spektroskopu jest element rozszczepiający światło na poszczególne barwy. Do tego celu można wykorzystać CD-ROM.

1. Z kartonu wytnij dwa koła o średnicy rurki. W jednym kole zrób szczelinę o szerokości ok. 0,5 mm, a w drugim – kwadratowe okienko, przez które będziesz patrzeć.
2. Fragment płyty należy oczyścić, tak aby był przezroczysty. Można to zrobić poprzez naklejenie na zadrukowaną część płyty mocnej taśmy klejącej i energiczne zerwanie taśmy.
3. Z oczyszczonej części płyty wytnij fragment nieco większy niż okienko w kartonowym kole. Na boku wyciętego fragmentu warto zaznaczyć kreską kierunek przebiegu rowków. Nie widzimy ich, ale wiemy, że tłoczone są koncentrycznie wokół środka płyty.
4. Do koła z okienkiem przyklej fragment płyty, który ma utworzyć swego rodzaju szybę.
5. Zamocuj przygotowane koła do końców rurki w taki sposób, aby kierunek rowków na płycie zgadzał się z kierunkiem szczeliny po drugiej stronie rurki (ryc.).
6. Spektroskop jest gotowy. Jego szczelinę skieruj na źródło światła (tylko nie bezpośrednio na laser!) i patrz od strony końca z fragmentem płyty. Pośrodku pola widzenia będzie widać szczelinę, a po obu jej stronach w pewnej odległości widoczne będzie widmo światła.



Przebieg doświadczenia

Za pomocą spektroskopu uzyskaj widma światła pochodzącego z różnych źródeł, takich jak:

- żarówka halogenowa (lub zwykła)
- Słońce (wystarczy światło padające z okna, nie wolno kierować spektroskopu prosto w Słońce!)
- lampa LED
- świetlówka
- ekran telewizora
- laser (patrzemy na plamkę światła laserowego na kartce)
- płomień świeczki
- płomień świeczki po wsypaniu do niej kryształków soli kuchennej

Opracowanie wyników doświadczenia

Udokumentuj swoje obserwacje. W tym celu możesz zrobić rysunki lub zdjęcia obserwowanych widm.

Omówienie wyników doświadczenia

Zapisz odpowiedzi na poniższe pytania.

1. Które obserwowane źródła światła były źródłami termicznymi? Czy mają one widmo ciągłe?
2. Czy udało się zaobserwować widmo ciągłe dla pozostałych źródeł światła? Czy ich widmo było takie samo jak źródeł termicznych?
3. Które z obserwowanych źródeł światła ma widmo liniowe?

TEKST 1. Tryboluminescencja

Ciekawe zjawisko fizyczne można zaobserwować, nawet otwierając zwykły list (ale taki tradycyjny, w kopercie, nie e-mail). Zdarza się, że odklejany pasek papieru z tylnej części koperty emituje niebieskie błyski. Podobne świecenie można zaobserwować również, odklejając z rolki niektóre rodzaje taśmy klejącej. Obserwowane zjawisko nazywane jest tryboluminescencją.

Tryboluminescencja jest jednym z rodzajów luminescencji – zjawiska polegającego na świeceniu substancji wskutek wzbudzenia jej atomów czynnikami zewnętrznymi, np. promieniowaniem ultrafioletowym lub strumieniem rozprzeczonych elektronów. Wyróżnia się kilka rodzajów luminescencji, w zależności od tego, co pobudza substancję do świecenia. Jeśli świecenie zachodzi w wyniku reakcji chemicznych, mówimy o chemiluminescencji. Przykładem może tu być reakcja utleniania fosforu białego. W przypadku elektroluminescencji czynnikiem wzbudzającym są rozprzeczone elektrony, przyspieszone w polu elektrycznym. Sonoluminescencja jest z kolei wywołana dźwiękami. Czasami wyróżnia się jeszcze bioluminescencję, czyli emitowanie światła przez organizmy żywe, jednak w rzeczywistości zazwyczaj jest to chemiluminescencja.



Ryc. 1. Lampa jarzeniowa świeci w wyniku luminescencji

(...) W przypadku tryboluminescencji świecenie substancji wywołane jest czynnikiem mechanicznym – może to być np. tarcie lub uderzenie, stąd też pochodzi nazwa zjawiska – od greckiego *tribein* – trzeć i łacińskiego *lumen* – światło. Nazwę tę zaproponowali Wiedemann i Schmidt w 1888 roku.

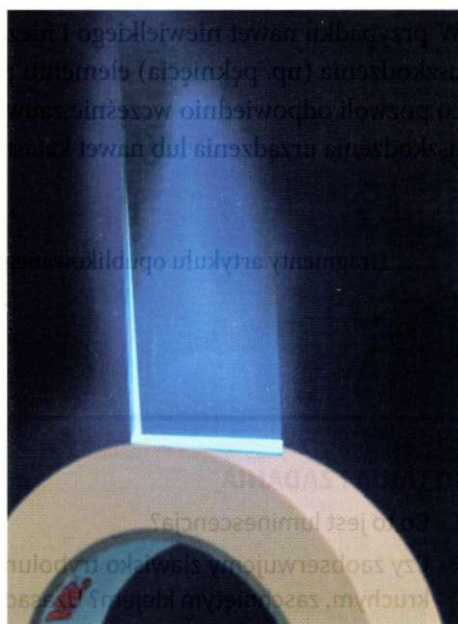
Przykładem występowania zjawiska tryboluminescencji jest wspomniane na początku niebieskie świecenie odklejonego paska papieru lub taśmy klejącej. Gdy gwałtownym ruchem odrywamy sklezione paski papieru lub sklezione kawałki taśmy klejącej, cząsteczki

kleju są bardzo silnie rozciągane. Niektóre z nich odrywają się od jednej ze sklejonych powierzchni, a inne są rozrywane. Mogą również zostać zerwane wiązania chemiczne w cząsteczkach kleju.

W wyniku tych procesów dochodzi do separacji (czyli rozdzielenia) ładunków elektrycznych, a jeśli proces zachodzi szybko i dużo ładunków zostaje rozdzielonych, to powstałe silne pole elektryczne może spowodować wyrwanie elektronów z materiału i ich rozpędzenie w stronę ładunków dodatnich. Takie elektrony zderzają się np. z atomami azotu w powietrzu znajdującym się w powstałych w wyniku rozrywania szczelinach. Jeśli elektrony mają dostatecznie dużą energię, to powodują wzbudzenie azotu. Atomy azotu, wracając do niższych poziomów energetycznych, emitują błyski – głównie promieniowanie w zakresie ultrafioletowym (czyli niewidzialne), ale również w niebieskiej i fioletowej części zakresu widzialnego. Mechanizm ten, zaproponowany przez H. Longchambona w latach dwudziestych XX wieku, został potwierdzony doświadczalnie poprzez obserwację widma emitowanego światła – zawierało ono silne linie emisyjne azotu.

Zauważono również, że niektóre rodzaje taśmy klejącej rozwijanej w próżni emitują błyski promieniowania rentgenowskiego o czasie trwania rzędu nanosekund (ryc. 2). Odkrycie to było na tyle ciekawe, że zostało opublikowane w renomowanym czasopiśmie naukowym „Nature”.

Niestety, nie każdy rodzaj kleju i taśmy klejącej umożliwia zajście możliwego do zaobserwowania zjawiska tryboluminescencji. Aby się to udało, klej musi zawierać długie i elastyczne cząsteczki polimerów. Zjawisko tryboluminescencji, mimo że trudne do zaobserwowania, zostało odkryte już kilka wieków temu. Jako pierwszy opisał je w 1605 roku filozof Francis Bacon. Zauważył on świecenie kruszonego cukru trzcinowego. Swoje obserwacje opisał w dziele *The Advancement of Learning*. Warto spróbować samodzielnie wykonać taki eksperyment. Jeśli bardzo mocno uderzymy młotkiem kostkę zwykłego cukru spożywczego (chemicznie rzecz ujmując: sacharozy $C_{12}H_{22}O_{11}$), można zaobserwować krótkie błyski światła niebieskiego lub zielonego. Aby się to udało, w pomieszczeniu musi panować całkowita ciemność, wzrok musi przyzwyczać się do ciemności, a cukier musi być całkowicie suchy. Świecenie zgniatanego cukru częściowo



Ryc. 2. Zdjęcie promieniowania X emitowanego przez odklejaną taśmę klejącą, wykonane specjalną kamerą przez Juana Escobara i współpracowników (Uniwersytet Kalifornijski, Los Angeles)*

* <https://www.scienceabc.com/pure-sciences/what-is-triboluminescence.html>

tłumaczy się podobnie, jak opisane wcześniej świecenie odklejanej taśmy klejącej, czyli świeceniem gazu pod wpływem mikrowyładowań elektrycznych. Drugi mechanizm polega na świeceniu wzbudzonego tryboluminoforu, czyli kruszonego lub pocieranego kryształu. Mechanizm ten, nazywany tryboluminescencją emisyjną, nie został jeszcze do końca poznany i wyjaśniony. Jednym z rozważanych objaśnień jest fotoluminescencja odkształcanego materiału, spowodowana wzbudzeniem promieniowania ultrafioletowego powstałego w wyniku opisanego już wyladowania elektrycznego w powietrzu. Drugi rozważany mechanizm to bezpośrednie świecenie deformowanego materiału pod wpływem przemieszczanych elektronów.

Okazuje się, że tryboluminescencję wykazuje wiele różnych substancji krystalicznych, między innymi diament, kwarc, fluoryt CaF_2 czy blenda cynkowa ZnS . Barwy emitowanego światła są zróżnicowane, np. diament świeci na niebiesko i czerwono, a kwarc na żółtopomarańczowo.

(...) Zjawisko tryboluminescencji przez długi czas było traktowane jedynie jako naukowa ciekawostka, nie do końca zresztą poznana. Ostatnio prowadzone są badania nad praktycznym wykorzystaniem tego zjawiska. Obiecujące wydaje się np. zastosowanie go do wykrywania wad w materiałach kompozytowych. Elementy takie można pokryć odpowiednią powłoką wykonaną z materiału wykazującego tryboluminescencję. W przypadku nawet niewielkiego i niezauważalnego „gołym okiem” mechanicznego uszkodzenia (np. pęknięcia) elementu powłoka zaświeci się w miejscu uszkodzenia, co pozwoli odpowiednio wcześniej zauważyć usterkę i być może uniknąć całkowitego uszkodzenia urządzenia lub nawet katastrofy.

Witold Zawadzki

(fragmenty artykułu opublikowanego w czasopiśmie „Neutrino”, nr 44, wiosna 2019)

PYTANIA I ZADANIA

1. Co to jest luminescencja?
2. Czy zaobserwujemy zjawisko tryboluminescencji przy otwieraniu koperty zaklejonej kruchym, zaschniętym klejem? Uzasadnij odpowiedź.
3. Jaki czynnik pobudza do świecenia atomy azotu znajdujące się w pobliżu odklejanej taśmy klejącej?
4. Jaka jest barwa światła emitowanego przez kruszony diament, a jaka – światła emitowanego przez kruszony kwarc?
5. Jakie mogą być zastosowania zjawiska tryboluminescencji?

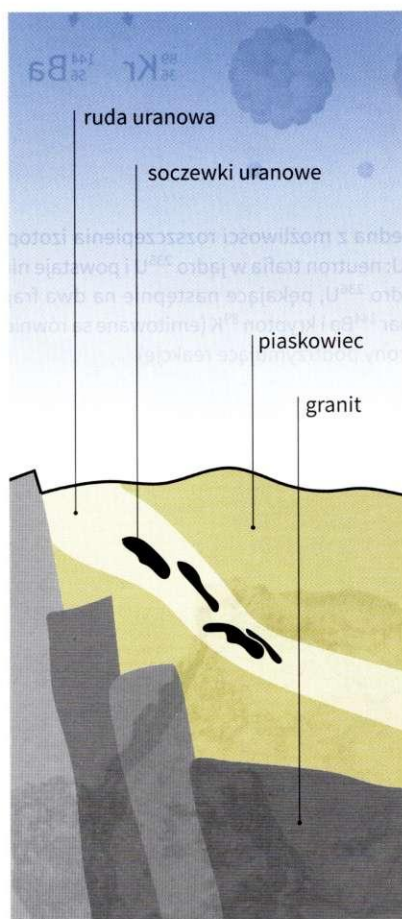
TEKST 2. Naturalny reaktor jądrowy

Maj na południu Francji bywa upalny, ale pracownicy zakładów wzbogacania uranu w Pierrelatte czuli się jak we wnętrzu reaktora. Rutynowe badanie próbek rudy z gabońskiej kopalni w rejonie Oklo wykazało zmniejszoną zawartość uranu-235. Zamiast 0,72% – jak w wypadku każdej rudy uranowej na świecie – analizy dawały wyniki w granicach 0,60%. Stałość składu izotopowego pierwiastków jest dogmatem chemii i fizyki (występują co prawda drobne wahania zależne od czynników naturalnych, ale nie tego rzędu) i takie sytuacje po prostu nie mają prawa się zdarzyć. Oceniono, że w całym transporcie brakuje około 200 kg izotopu uranu-235 (co wystarcza na zbudowanie kilku bomb atomowych). Ponieważ był rok 1972, sam środek zimnej wojny, zrozumiałe, że w Pierrelatte panowała wtedy nerwowa atmosfera.

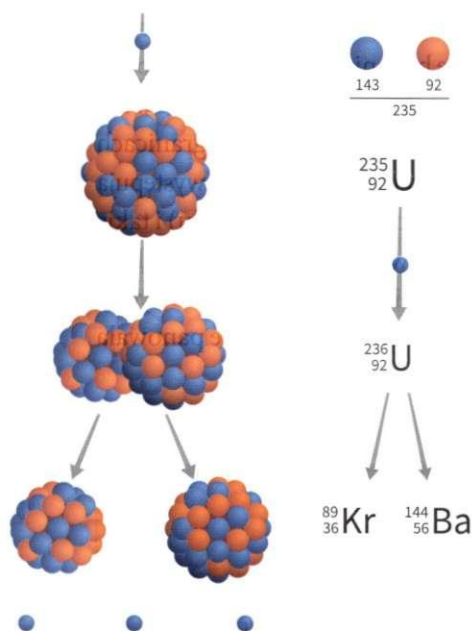
Wizja lokalna

Śledztwo podjęli funkcjonariusze francuskiej Komisji Energii Atomowej (*Commissariat à l'énergie atomique*, w skrócie CEA). W toku dochodzenia pojawiła się kolejna zagadka. W próbkach wykryto różny od naturalnego skład izotopowy neodymu i rutenu. To zdecydowanie nie była typowa ruda uranu. Najbardziej przypominała... zużyte paliwo z reaktora jądrowego (w nim właśnie znajdują się znaczące ilości niektórych izotopów neodymu i rutenu). Postanowiono zbadać sprawę bezpośrednio w kopalni. Pracownicy CEA pobrali próbki ze złoża i potwierdzili wyniki z francuskich laboratoriów. Dodatkowo w minerałach znaleziono pęcherzyki ksenonu, rzadkiego gazu szlachetnego, i to o dokładnie takim składzie izotopowym, jaki powstaje w wyniku rozszczepienia uranu w reaktorze. Wtajemniczeni (z oczywistych względów nie rozpowszechniano wiadomości o zaginionym uranie) niewątpliwie odetchnęli z ulgą. Zagadka jak dla agenta 007 stała się zagadką dla naukowców. Skąd wzięło się zużyte paliwo jądrowe w pokładach piaskowca sprzed 2 mld lat?

Rozwiązanie problemu podał francuski fizyk Francis Perrin. Ruda naprawdę była wypalonym materiałem rozszczepialnym, ale sam reaktor to nie dzieło rąk ludzkich (...).



Ryc. 1. Przekrój przez złożo w Oklo: soczewki uranowe, w których zachodziła reakcja rozszczepienia, pokłady piaskowca, żyła rudy uranowej, skała granitowa



Ryc. 2. Jedna z możliwości rozszczepienia izotopu uranu ^{235}U : neutron trafia w jądro ^{235}U i powstaje nie trwałe jądro ^{236}U , pękające następnie na dwa fragmenty – bar ^{144}Ba i krypton ^{89}Kr (emitowane są również trzy neutrony podtrzymujące reakcję)



Ryc. 3. Próbką rudy uranu zawierającej jego minerały: żółty uranofan i ciemny uraninit

Reaktor by matka natura

(...) Rzeka Ogowe, przepływająca przez rejon Okło, wymywała związki uranu ze skał. W jej zastoiskach (gdzie jest mniej tlenu) osadzały się one na dnie. Stopniowo przykrywała je warstwa innych osadów, przekształcających się w piaskowiec. Złoże w Okło ma postać żył o grubości do jednego metra, z gniazdami o średnicy kilku metrów, w których zawartość uranu dochodzi do 60%. Równocześnie miejscowe warunki geologiczne sprawiły, że w skałach znajduje się niewiele pierwiastków pochłaniających neutrony. Natomiast funkcję moderatora pełniła woda przesączająca się do złoża przez szczeliny skalne. Neutrony zaś pochodzą z promieniotęczenia kosmicznego, nielicznych samorzutnych rozszczepień jąder uranu oraz oddziaływania promieni emitowanych przez uran na jądra atomów innych pierwiastków.

(...) Odpowiednie rozmiary złoża i wysoka koncentracja uranu w skałach są potrzebne, aby zapobiec ucieczkom neutronów poza obszar działania reaktora. Jądro atomowe, w które musi trafić neutron, jest 10 tys. razy mniejsze niż rozmiary atomu. Dlatego należy zapewnić długą drogę (w skali atomowej oczywiście), na której lecąca cząstka ma szansę spotkać jądro uranu. Spośród naturalnych izotopów uranu tylko uran-235 łatwo ulega rozszczepieniu, dlatego zawartość przekraczająca 3% jest niezbędna do uzyskania wydajnej reakcji. W reaktorach stosuje się specjalnie przygotowane paliwo jądrowe zawierające potrzebną ilość tego izotopu (uran wzbogacony). Pierwiastki pochłaniające neutrony są stosowane do kontrolowania przebiegu reakcji rozszczepienia. Zapobiegają nadmiernemu wzrostowi ich liczby, co prowadziłoby do przyspieszenia reakcji i niebezpieczeństwa stopienia rdzenia reaktora. W przypadku uranu-235 najbardziej

efektywna reakcja rozszczepienia zachodzi w odniesieniu do tzw. neutronów termicznych. Są to neutrony, których energia ruchu jest zbliżona do energii ruchu cząstek w temperaturze pokojowej. Jako moderatorów używa się wody, ciężkiej wody lub grafitu (...).

Wrzący kocioł

Badania w rejonie Oklo oraz pobliskim Bangombe pozwoliły wykryć kilkanaście miejsc, w których zachodziły reakcje rozszczepienia. Oszacowano, że reaktory działały od 100 tys. do nawet 500 tys. lat i zużyły w tym czasie 5–6 t uranu (potem nie było już wystarczającej ilości materiału rozszczepialnego w złożu). W wypadku najkrótszego czasu pracy daje to moc wynoszącą około 100 kW (wystarczy do zasilenia 50 żelazek czy czajników elektrycznych). Dla porównania: pierwszy reaktor skonstruowany przez człowieka w 1942 roku miał w chwili uruchomienia moc zaledwie 0,5 W (nie zaświeciłaby się nawet żarówka rowerowa), a tylko raz osiągnął 200 W. Moderatorem neutronów była woda, dostająca się do złoża uranu. Obliczono, że reaktor pracował w cyklu 3-godzinny. W ciągu 30 min woda nagrzewała się do temperatury znacznie przekraczającej 100°C (pod ciśnieniem panującym w szczelinach skalnych), a następnie wytryskiwała na zewnątrz w postaci gejzerów pary. Brak moderatora w złożu przerywał reakcję, a otaczające skały stopniowo stygły. Po 2,5 godz. temperatura spadała na tyle, że ciekła woda znowu dostawała się do wnętrza reaktora i cały cykl powtarzał się od początku. Całość przypominała wrzący kocioł pod ciśnieniem, a widoki były podobne do tych, jakie dziś można zobaczyć w Yellowstone czy na Islandii. I tak dzień po dniu, przez tysiące lat, choć naukowcy sądzą również, że reaktory działały tylko podczas pory deszczowej.



Ryc. 4. 200 tys. dolarów w rękach! Tyle jest warte 4,5 kg uranu wzbogaconego w izotop ^{235}U

Można pozazdrościć bezawaryjności pracy w tak długim czasie. Reaktory nie uległy stopieniu w wyniku przegrzania ani nie wybuchły (...). Złoże w Oklo pozwoliło również inaczej spojrzeć na problem związany z bezpieczeństwem składowanych odpadów promieniotwórczych. Badania w Gabonie dowiodły, że produkty rozszczepienia (pierwotnie wytworzone izotopy promieniotwórcze nie dotrwały do chwili obecnej, chodzi o ich trwałe produkty rozpadu) praktycznie nadal znajdują się w miejscu powstania. Tak więc to wyjątkowe doświadczenie (o czasie trwania 2 mld lat!) pokazało, że nawet pozostawione same sobie odpady promieniotwórcze nie muszą stanowić zagrożenia dla środowiska. Gabońskie reaktory to jedyne tego rodzaju obiekty na Ziemi. Co jednak nie oznacza, że i w innych miejscach nie zaszła podobna kombinacja warunków jak w Oklo. Światowy przemysł energetyczny potrzebuje coraz więcej uranu, zatem badania jeszcze nieznanymi złóż prawdopodobnie pozwolą go odkryć. Ale będzie to tylko potwierdzenie, że nawet w przypadku tak zaawansowanej technologii, jaką są reaktory jądrowe, natura był pierwsza.

Krzysztof Orliński

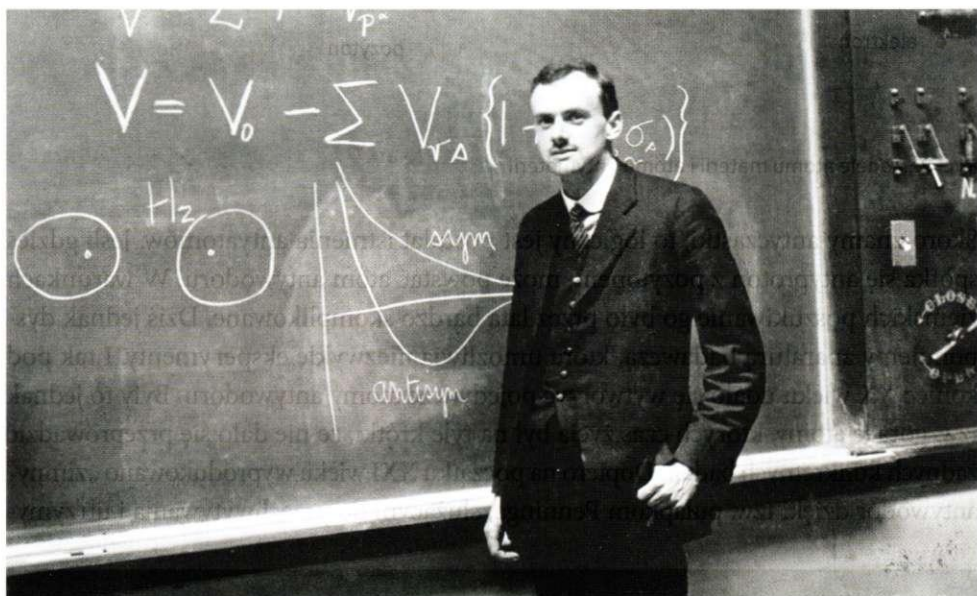
(fragmenty artykułu opublikowanego w czasopiśmie „Wiedza i Życie”, maj 2016,
© POLITYKA sp. z o.o. S.K.A. 2016–2021)

PYTANIA I ZADANIA

1. Jaka jest zawartość uranu ^{235}U w naturalnych złóżach występujących na Ziemi?
2. Jaka jest zawartość uranu ^{235}U w złożu w Oklo?
3. Jaka substancja stanowiła moderator w naturalnym reaktorze w Oklo?
4. Jakie były kolejne etapy pracy naturalnego reaktora w Oklo?
5. Gdy reaktor w Oklo rozpoczynał swoją pracę, zawartość izotopu ^{235}U w złożu była równa ok. 3,7%. Wyjaśnij, dlaczego obecnie zawartość tego izotopu w typowych złóżach wynosi ok. 0,7%.

TEKST 3. Niezwykła antymateria

Wielu czytelników spotkało się z pojęciem antymaterii w rozmaitych książkach fantastycznonaukowych, część zapewne pamięta też książkę Dana Browna oraz film *Anioły i demony*, w których antymateria skradziona z CERN-u służy do szantażu w Watykanie. To wszystko jest oczywiście fikcją literacką, ale realna antymateria jest bliżej nas, niż nam się wydaje. Jeśli mamy w domu np. banany, mamy też antymaterię. Wynika to z tego, że potas-40, będący naturalnym izotopem promieniotwórczym obecnym w tych owocach, czasami rozpada się, emitując dodatni elektron (pozyton), który jest właśnie antycząstką. Nie wyrządzi on nam jednak żadnej szkody, bo bardzo szybko spotyka się ze zwykłym ujemnym elektronem i ulega anihilacji (unicestwieniu).



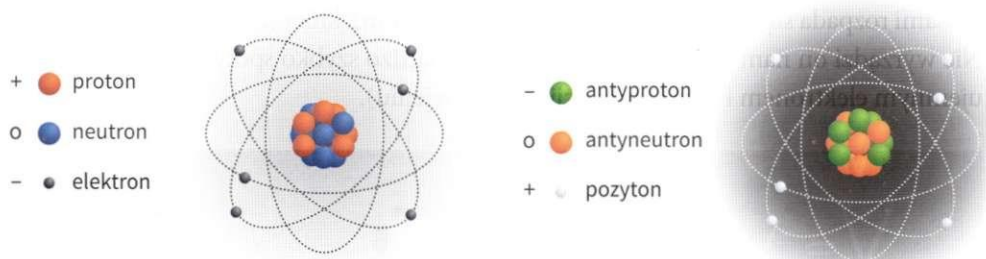
Ryc. 1. Paul Dirac prezentuje kwantowo-mechaniczny model atomu wodoru

Dirac

Fizyk brytyjski Paul Adrien Maurice Dirac w wieku zaledwie 26 lat wyprowadził w 1928 roku znane każdemu specjalście nauk ścisłych równanie opisujące zachowanie elektronu, znane dziś jako równanie Diraca. Rozwiązanie tego równania dawało dwa wyniki, ale jeden z nich był związany z ujemną energią, a więc z fizycznego punktu widzenia nie miał sensu. Młody uczony zauważył jednak, że wszystko będzie się zgadzało ze zdrowym rozsądkiem, jeśli opisywana cząstka będzie miała ładunek dodatni. W tamtym czasie koncepcję tę przyjęto jako zwykłą ciekawostkę matematyczną, ale już w 1932 roku amerykański fizyk Carl David Anderson wykonał doświadczenie, w którym – wykorzystując docierające do Ziemi promieniowanie kosmiczne – jednoznacznie wykazał istnienie takiej cząstki. Nazwano ją antyelektronem (pozytonem) (...).

Antyświat

Odkrycie pozytonu było impulsem do poszukiwania następnych antycząstek, choć trochę to potrwało. W 1955 roku odkryto antyproton (o ładunku ujemnym), a rok później – antyneutron. Dziś znamy dziesiątki antycząstek. W zasadzie każda cząstka elementarna ma swój lustrzany odpowiednik. Jest tylko jeden znaczący wyjątek – foton. W jego przypadku fizycy uznają, że cząstka i antycząstka są identyczne (...).



Ryc. 2. Modele atomu materii i atomu antymaterii

Skoro znamy antycząstki, to logiczny jest postulat istnienia antyatomów. Jeśli gdzieś spotka się antyproton z pozytonem, może powstać atom antywodoru. W warunkach ziemskich poszukiwanie go było przez lata bardzo skomplikowane. Dziś jednak dysponujemy aparaturą badawczą, która umożliwia niezwykle eksperymenty. I tak pod koniec XX wieku udało się wytworzyć pojedyncze atomy antywodoru. Były to jednak tzw. gorące atomy, których czas życia był na tyle krótki, że nie dało się przeprowadzić żadnych konkretnych badań. Dopiero na początku XXI wieku wyprodukowano „zimny” antywodor dzięki tzw. pułapkom Penninga, służącym do przechwytywania i utrzymywania



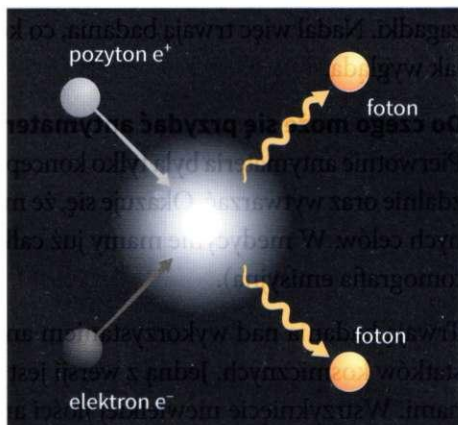
Ryc. 3. Aparatura do badania antymaterii w CERN

wania cząstek naładowanych. Laboratorium CERN w Genewie doniosło w latach 2002 i 2004 o otrzymaniu sporej liczby antyatomów – w najnowszych eksperymentach były to już miliony. Ulepszenie techniki pułapkowania pozwala teraz uzyskać po kilka atomów o czasie życia wynoszącym nawet kilkanaście minut. Umożliwiło to m.in. zbadanie ich widma. Ma ono identyczne parametry jak widmo zwykłego atomu wodoru. Fizycy mogli odetchnąć, ponieważ było to zgodne z teorią. Gdyby widmo okazało się inne, trzeba by przekonstruować sporą część teorii fizycznych.

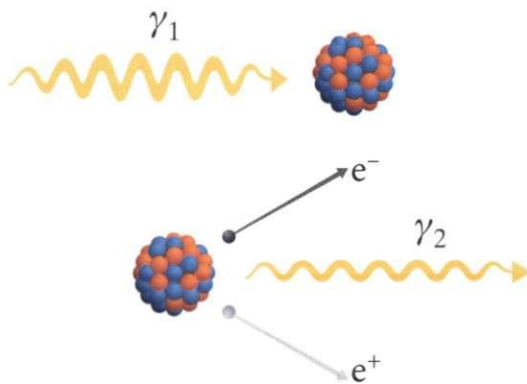
Anihilacja i kreacja

Tak jak wspomniałem wyżej, spotkanie cząstek z antycząstkami jest zjawiskiem bardzo gwałtownym. Naukowcy obserwują je od lat. Pierwsze były oczywiście zderzenia elektronu i pozytonu. W wyniku takiego spotkania cząstki przestają istnieć, a ich masa zostaje przekształcona w kwanty światła (fotony), które odlatują w przeciwnych kierunkach. Sumaryczna energia tych kwantów wynika ze znanego wzoru Einsteina $E = mc^2$. Warto pamiętać, że w takiej reakcji powstają najczęściej dwa fotony. Wynika to z jednej z podstawowych zasad fizyki, a mianowicie z zasady zachowania pędu. Jest to najprostszy przypadek anihilacji (...).

Niesamowicie fascynujący jest z kolei proces odwrotny, nazywany kreacją par. Jeśli foton (przypominam, to cząstka nieposiadająca masy) ma wystarczająco dużo energii i na swojej drodze spotka dodatkową cząstkę, która przejmie nadmiar energii i pędu, możliwe jest przekształcenie go w parę cząstka–antycząstka, która rozbiegnie się w różnych kierunkach. Tu również kluczowy jest wzór Einsteina – materia nie powstaje z niczego, uzyskujemy ją z energii fotonu (...).



Ryc. 4. Anihilacja pary elektron-pozyton



Ryc. 5. Kreacja par elektron-pozyton z fotonu. Foton (γ_1) napotyka atom lub cząsteczkę, którym przekazuje część pędu

Co się stało z antymaterią z Wielkiego Wybuchu?

Zgodnie z aktualnymi poglądami na powstanie Wszechświata w chwili Wielkiego Wybuchu powinno powstać dokładnie tyle samo materii i antymaterii. Tyle że w takim przypadku zaraz potem nastąpiłaby anihilacja i Wszechświat składałby się wyłącznie z fotonów. Widać więc, że gdzieś musiała wystąpić drobna asymetria, która spowodowała, że nie ma tam gdzieś daleko antyświata składającego się wyłącznie z antymaterii. Według obliczeń teoretycznych wystarczy bardzo niewielka przewaga materii nad antymaterią (1 cząstka na miliard), by wszystko pasowało do obecnego modelu. Już od jakiegoś czasu fizycy wiedzą, że istnieją bardzo subtelne różnice w zachowaniu się antymaterii w stosunku do „zwykłej” materii, ale one nie przybliżają uczonych do wyjaśnienia tej wielkiej zagadki. Nadal więc trwają badania, co konkretnie spowodowało, że świat wygląda tak, jak wygląda.

Do czego może się przydać antymateria?

Pierwotnie antymateria była tylko koncepcją teoretyczną. Dziś jednak potrafimy ją badać zdalnie oraz wytwarzać. Okazuje się, że można ją także wykorzystać do bardzo praktycznych celów. W medycynie mamy już całkiem popularne urządzenia PET (pozytonowa tomografia emisyjna).

Trwają badania nad wykorzystaniem antymaterii jako paliwa, szczególnie do napędu statków kosmicznych. Jedną z wersji jest tu napęd impulsowy katalizowany antyprotonami. Wstrzyknięcie niewielkiej ilości antyprotonów w podkrytyczną masę uranu czy plutonu może spowodować zainicjowanie reakcji rozpadu (takiego jak w bombie jądrowej). Szacuje się, że do wywołania pojedynczej eksplozji wystarczy 1 μg antyprotonów. Innym projektem jest klasyczna anihilacja, w której cała masa spoczynkowa materii i antymaterii przekształca się w energię kinetyczną. Niestety, w tym przypadku wielkim problemem technicznym pozostaje skierowanie tej energii w konkretną stronę, dlatego ten pomysł jest nadal bardzo daleki od realizacji (...).

Mirosław Dworniczak

(fragmenty artykułu opublikowanego w czasopiśmie „Wiedza i Życie”, marzec 2018,
© POLITYKA sp. z o.o. S.K.A. 2016–2021)

PYTANIA I ZADANIA

1. Co to jest antycząstka?
2. Podaj nazwę cząstki, która jest antycząstką elektronu.
3. Podaj przykład przedmiotu ze swojego otoczenia emitującego antycząstki.
4. Ile fotonów powstaje podczas anihilacji elektronu i pozytonu?
5. Podaj przykład urządzenia wykorzystującego antymaterię.

ROZDZIAŁ 1. (s. 14)

1. Silniej, bo zniknie siła odpychania między ładunkami ujemnymi.
3. $n \approx 3,8 \cdot 10^{13}$
4. Tak, po zbliżeniu naelektryzowanego ciała ładunek przez nie odpychany odpłynie na paski.
5. Elektron może być, pozyton nie może. Wynika to z zasady zachowania ładunku.

ROZDZIAŁ 2. (s. 19)

2. Dodatnio – np. silikonem, ujemnie – np. wełną.
3. Jest przewodnikiem, gdyż jony mają ładunek elektryczny i swobodę ruchu.
4. Kozłowanie powoduje, że podczas każdego odbicia piłka styka się z parkietem innym fragmentem, co zwiększa powierzchnię styku.
5. a) Pozostanie przy płytce.
b) Piłka by się rozładowała i zawisłaby swobodnie.

ROZDZIAŁ 3. (s. 25)

1. $F = 3,6 \cdot 10^{-4} \text{ N}$
3. $F = 1,62 \text{ N}$
5. $F = 9 \cdot 10^9 \text{ N}$. Około 900 tys. ton.

ROZDZIAŁ 4. (s. 31)

2. Najsilniejsze jest między ładunkami, a najsłabsze jest daleko od obu ładunków.
5. Wskazówka: przeanalizuj siły działające na każdy z ładunków dipola.

ROZDZIAŁ 5. (s. 37)

1. Jony dodatnie w dół, ujemne w górę. Ich ruch jest ciągle zakłócany przez zderzenia z cząsteczkami powietrza, więc nie jest jednostajnie przyspieszony.
2. Nie, gdyż nie byłoby napięcia między jej końcami.
3. 0,0024 mm
4. a) Poruszały się w przeciwne strony.
b) Każda cząstka uzyskiwała energię ok. $1,3 \cdot 10^{-17} \text{ J}$.
c) Elektron, ponieważ ma mniejszą masę.
5. Nie jest to niebezpieczne, gdyż energia elektryczna i przepływający ładunek są bardzo małe.

ROZDZIAŁ 6. (s. 44)

2. Ażurowa stalowa konstrukcja mostu jest klatką Faradaya, choć niedoskonałą ze względu na duże odstępy między metalowymi elementami.
3. W izolatorze ładunki nie mogą się przemieszczać, więc nasze ciało nie jest uziemione.
4. Ponieważ przy ostrzach pole elektryczne jest silniejsze.
5. Jest równe zeru, bo nasze ciało jest przewodnikiem.

ROZDZIAŁ 7. (s. 50)

1. Nie zmieni się.
2. Większe napięcie i energia są w kondensatorze z większym ładunkiem.
3. $q = -3,4 \text{ mC}$
4. $q = 6,75 \text{ mC}$
5. Kondensator B.

ROZDZIAŁ 8. (s. 57)

1. Nie był to skuteczny sposób. Fala dźwiękowa nie ma istotnego wpływu na zmiany pola elektrycznego w atmosferze. Mogło to być niebezpieczne dla dzwonników. Wieże, w których montowano dzwony, były z reguły najwyższymi punktami w okolicy.
2. Są tam elektrony swobodne oraz jony dodatnie.
3. Nie, brakuje odprowadzenia ładunku do ziemi.
4. $q = 24 \text{ C}$
5. $C \approx 1,7 \text{ F}$

POWTÓRZENIE DZIAŁU ELEKTROSTATYKA (s. 62)

1. $q = +2 \text{ nC}$
2. Nastąpiło przemieszczenie ładunków w wyniku indukcji elektrostatycznej. Na większą kulę przepłynął ładunek ujemny, a na mniejszej pozostał ładunek dodatni.
3. B
4. 1 F, 2 P, 3 P
5. $E_k \approx 11 \text{ μJ}$
6. C 2
7. Były ok. 6,9 razy większe.
8. a) $q \approx 19 \text{ mC}$
b) $t \approx 4,5 \text{ s}$
c) $q \approx 9,6 \text{ mC}$
9. Nie zmieni się.
10. Naelektryzowane ujemnie krople wody są cięższe od naelektryzowanych dodatnio kryształków lodu. Krople wody gromadzą się w niższych warstwach chmury, kryształki w wyższych.

ROZDZIAŁ 9. (s. 73)

1. Nie jest naelektryzowany.
2. Trzy.
3. Nie.
4. $t \approx 3,3 \text{ s}$
5. Natężenie wynosi ok. 12 A, więc w każdej sekundzie przepływa ok. $7,5 \cdot 10^{19}$ elektronów.

ROZDZIAŁ 10. (s. 81)

1. $I = 2,25 \text{ mA}$
2. Opornik R_1 ok. 2,5 razy.
3. Opór się nie zmienia.
4. $U = 45 \text{ V}$
5. Wskazówka: przypomnij sobie, jak zależą opór przewodnika i opór półprzewodnika od temperatury.

ROZDZIAŁ 11. (s. 87)

1. Nie, będzie dwa razy większe.
2. energia światła słonecznego $\rightarrow$ energia pola elektrycznego wytworzonego przez fotoniowo w obwodzie $\rightarrow$ energia wiązań chemicznych
3. $P \approx 900 \text{ W}$

4. Podczas ogrzewania wody.
5. ok. 8,6 zł

ROZDZIAŁ 12. (s. 92)

1. Nie, amperomierz pokaże natężenie prądu płynącego przez opornik.
2. $I \approx 0,43 \text{ A}$
3. Przez żarówkę 2 popłynie prąd o dwa razy większym natężeniu.
4. Wskazówka: ustal, jakie jest napięcie na każdej z żarówek.
5. $R_1 = 150 \, \Omega$, $R_2 = 300 \, \Omega$

ROZDZIAŁ 13. (s. 98)

1. $I \approx 13 \text{ A}$
2. Nie, natężenie prądu w obwodzie byłoby większe niż 10 A.
3. Bezpiecznik przeciążeniowy nie pozwala na to, by przez obwód płynął prąd o zbyt dużym natężeniu, bezpiecznik różnicowoprądowy odcina zasilanie w przypadku wypływu prądu z sieci elektrycznej.
5. Wskazówka: porównaj sumę natężeń prądów płynących przez wszystkie podłączone urządzenia z wartością podaną na bezpieczniku.

POWTÓRZENIE DZIAŁU PRĄD ELEKTRYCZNY (s. 100)

1. b) $U = 4,5 \text{ V}$
2. 1 P, 2 P, 3 P
3. A, C
4. $R = 120 \, \Omega$
5. Większy opór ma czajnik, ok. 1,5 raza.
6. B 1
7. $I_3 = 60 \text{ mA}$
8. Na oporniku R_1 – ok. 1,5 raza większa.
9. ok. 29 zł
10. Nie można. W obwodzie płynie prąd o natężeniu ok. 7,6 A, po podłączeniu żelazka natężenie prądu byłoby równe ok. 12,8 A.

ROZDZIAŁ 14. (s. 109)

1. W prawo (względem zdjęcia).
2. Na górze jest biegun północny, na dole – południowy.
3. Wskazówka: narysuj linie pola magnesu sztabkowego. W miejscu, w którym linie pola „wchodzą” do kawałka żelaza, powstaje biegun S.
4. Wskazówka: igła magnetyczna ustawia się zgodnie z liniami pola magnetycznego.
5. Pomarańczowym.

ROZDZIAŁ 15. (s. 115)

1. W prawo.
2. A – biegunem północnym w prawo, B – w lewo.
3. A – zgodne, B – przeciwne.
4. W A i C lub w B i D.
5. Wskazówka: w momencie włączenia młoteczek uderza w lewy element dźwięczący.

ROZDZIAŁ 16. (s. 122)

- W lewo.
 - Przed rysunek.
 - W dół.
 - Nie działa.
 - W prawo.
 - Ukośnie w prawo w dół.
- Koniec B.
- Zgodnie z ruchem wskazówek zegara.
- Na boki ramki równoległe do linii pola siła nie działa, na pozostałe działa siła 0,0005 N.
 - Ramka się obróci.
- Przyciągają się.

ROZDZIAŁ 17. (s. 129)

- c
- Prędkość cząstek się zmniejszała.
- $v \approx 4800 \text{ m/s}$
- Po torze 1 – cząstka o ładunku dodatnim, po torze 2 – o ładunku ujemnym. Większą masę miała cząstka ujemna.

ROZDZIAŁ 18. (s. 135)

- Na biegunie północnym – prawie pionowo w dół, na sawannie – prawie poziomo w prawo.
- Nie, gdyż pole magnetyczne nie zmienia wartości prędkości cząstek naładowanych.
- Wskazówka: pole magnetyczne Ziemi przechwytywa cząstki naładowane wysoko nad atmosferą.
- Tak, załogę ISS osłania ziemskie pole magnetyczne.

ROZDZIAŁ 19. (s. 142)

- Gdy ruch odbywał się z większą prędkością.
- Prąd popłynie zgodnie z ruchem wskazówek zegara.
- Nie, w obu przypadkach magnes jest nieruchomy względem zwojnicy.
- Wskazówka: pole magnetyczne zwojnicy jest podobne do pola magnetycznego magnesu.
- W sytuacji c.

ROZDZIAŁ 20. (s. 147)

- W przypadkach b i c.
- W stronę przeciwną niż przedstawiona w treści zadania.
- W sytuacji a.
- Przez pierwsze dwie sekundy i od szóstej sekundy.
- Wskazówka: prąd płynie, gdy w zwojnicy zmienia się pole magnetyczne.

ROZDZIAŁ 21. (s. 154)

- Wskazówka: praca siły jest sposobem przekazu energii do zasilania urządzenia.
- Tak, wymaga większego wysiłku, patrz zadanie 1.
- Nie, byłoby to niezgodne z zasadą zachowania energii.
- Wskazówka: elektrownia wiatrowa zamienia energię kinetyczną mas powietrza na energię elektryczną.

5. Nie, w takiej sytuacji siła Lorentza nie spowoduje powstania napięcia między końcami ramki.

ROZDZIAŁ 22. (s. 159)

1. $P = 4 \text{ W}$, napięcie znamionowe: od 220 V do 240 V.
2. $I_{\text{sk}} \approx 2,8 \text{ A}$; $f \approx 125 \text{ Hz}$
3. $U_{\text{sk}} = 24,3 \text{ V}$, $U_{\text{max}} \approx 34,4 \text{ V}$
4. $U_{\text{sk}} \approx 11,3 \text{ V}$, $f = 100 \text{ Hz}$
5. $P = 3680 \text{ W}$

ROZDZIAŁ 23. (s. 167)

1. $n_1 = 2300$
2. $U_2 = 0$, gdyż transformator nie działa na prąd stały.
3. Tylko niektóre linie pola zwojnicy n_1 przechodzą przez zwojnicę n_2 .
4. Wskazówka: gdy zmieni się moc w uzwojeniu wtórnym, to zmieni się również moc w uzwojeniu pierwotnym.
5. $I \approx 950 \text{ A}$

POWTÓRZENIE DZIAŁU ELEKTROMAGNETYZM (s. 170)

2. 1 F, 2 P, 3 P
3. B, C
4. Od A do B.
5. Równoległe w pobliżu równika, prostopadłe w pobliżu biegunów.
6. 1 P, 2 F, 3 P
7. a, c
8. W t_2 oraz t_3 .
9. $P \approx 140 \text{ W}$
10. $I_{\text{sk}} = 45 \text{ A}$, $I_{\text{max}} \approx 64 \text{ A}$

ROZDZIAŁ 24. (s. 181)

1. Od ok. 10^{12} Hz do 10^{14} Hz .
2. Od ok. $4,3 \cdot 10^{14} \text{ Hz}$ do $7,5 \cdot 10^{14} \text{ Hz}$.
3. Nie, farba na banknotach pod wpływem nadfioletu emituje światło.
4. $\frac{1}{2}\lambda \approx 6,1 \text{ cm}$
5. a) Nie, bo wirus jest mniejszy od długości fal świetlnych.
b) Krótkofalowa część nadfioletu i promienie X.

ROZDZIAŁ 25. (s. 192)

1. Gwiazda o barwie niebieskiej.
2. Widma tych pierwiastków są takie same jak widma pierwiastków na Ziemi.
3. Wodór i hel.
4. a) Nie – w świetle dziennym mogą pojawić się barwy niewidoczne przy sztucznym.
b) W odcieniach czerwieni. W części zielononiebieskiej widma tych świetlówek brakuje więcej barw niż w części czerwonej.
5. $\lambda \approx 2,4 \mu\text{m}$. Większość emisji jest w podczerwieni.

ROZDZIAŁ 26. (s. 199)

1. $E_f \approx 3,1 \text{ eV}$, $E_c \approx 1,8 \text{ eV}$
2. Czerwonego.
5. $n \approx 5 \cdot 10^{18}$

ROZDZIAŁ 27. (s. 208)

1. 6
2. O energii 7 eV nie, gdyż energia tego fotonu nie wystarczy do przejścia elektronu na drugi poziom; o energii 14 eV tak, gdyż atom zostanie zjonizowany.
3. $E_n - E_k \approx 2,2 \text{ eV}$
4. $\lambda \approx 485 \text{ nm}$
5. a) W podczerwieni.
b) W nadfiolecie.

ROZDZIAŁ 28. (s. 215)

1. W atomie tlenu cztery, w atomie bromu osiemnaście.
3. German, bo ma mniejszą przerwę energetyczną.
4. Jest izolatorem.

ROZDZIAŁ 29. (s. 221)

1. W energię wewnętrzną całego złącza.
2. Wskazówka: długość fali promieniowania związana jest z energią fotonu. Zastanów się, od czego zależy energia emitowanego fotonu.
3. Fotony światła niebieskiego mają większą energię od fotonów światła zielonego lub czerwonego, zatem luminofor może je „zamienić” na fotony światła wielu innych barw.
4. Wskazówka: obydwa fotony nie mogą być w zakresie światła, gdyż suma ich energii musi być równa energii fotonu pochłanianego przez luminofor.

ROZDZIAŁ 30. (s. 228)

1. Nie, gdyż między kanałem i bramką jest izolator.
2. Diody połączone są przeciwnie.
3. Około 2,5 V oraz 4 V.
4. Nie jest.
5. W zakresie mniej więcej od 5 V do 6 V.

ROZDZIAŁ 31. (s. 236)

1. Należy zwiększyć częstotliwość promieniowania.
2. W obwodzie oświetlonym światłem niebieskim. Liczba fotonów światła niebieskiego jest 10 razy większa.
3. $\lambda_{gr} \approx 1400 \text{ nm}$
4. Aby zaszło zjawisko fotochemiczne, fotony muszą mieć energię większą od granicznej.
5. Energia padających fotonów jest równa najwyżej 4,1 eV, czyli zjawisko fotoelektryczne nie zachodzi.

POWTÓRZENIE DZIAŁU FIZYKA ATOMOWA (s. 239)

1. ok. 2,39
2. 1 F, 2 P, 3 P

- $f_{\text{gr}} \approx 4 \cdot 10^{15} \text{ Hz}$; do nadfioletu.
- Od ok. 240 GHz do ok. 390 THz.
- Jest izolatorem, gdyż przerwa energetyczna jest wyraźnie większa niż w przypadku półprzewodników.
- A, B, D
- A, D
- Nie wywoła takiego efektu, ponieważ to nie moc lampy ma znaczenie, lecz częstotliwość promieniowania.
- Świeci tylko prawa dioda.
- Natężenie prądu zmieni się (wzrośnie) o ok. 4,8 A.

ROZDZIAŁ 32. (s. 246)

- Liczba protonów – liczba w dolnym indeksie, liczba neutronów – różnica liczb w górnym i dolnym indeksie.
- Ca – sześć izotopów, Au – jeden izotop, Mg – trzy izotopy, P – jeden izotop, O – trzy izotopy.
- $m \approx 3,27 \cdot 10^{-22} \text{ g}$, liczba atomów to ok. $9,2 \cdot 10^{21}$.
- $R \approx 7,4 \cdot 10^{-15} \text{ m}$
- $10^{-10}\%$

ROZDZIAŁ 33. (s. 253)

- $${}_{88}^{226}\text{Ra} \xrightarrow{\alpha} {}_{86}^{222}\text{Rn} \qquad {}_3^8\text{Li} \xrightarrow{\beta} {}_4^8\text{Be}$$

$${}_{94}^{240}\text{Pu} \xrightarrow{\alpha} {}_{92}^{236}\text{U} \qquad {}_{84}^{210}\text{Po} \xrightarrow{\alpha} {}_{82}^{206}\text{Pb}$$

$${}_{89}^{229}\text{Ac} \xrightarrow{\beta} {}_{90}^{229}\text{Th} \qquad {}_{74}^{183}\text{W} \xrightarrow{\gamma} {}_{74}^{183}\text{W}$$

$${}_{50}^{117}\text{Sn} \xrightarrow{\gamma} {}_{50}^{117}\text{Sn} \qquad {}_{11}^{24}\text{Na} \xrightarrow{\beta} {}_{12}^{24}\text{Mg}$$
- ${}^{58}\text{Mn}$, ${}^{64}\text{Co}$, ${}^{44}\text{K}$, ${}^3\text{H}$, ${}^{138}\text{Cs}$
- Wskazówka: uran jest α -promieniotwórczy.
- $\alpha, \beta, \alpha, \beta, \alpha, \alpha, \alpha, \beta, \alpha, \alpha, \beta$
- b) Około 50 zliczeń.
c) Badane było promieniowanie β , promieniowanie α ma w powietrzu znacznie krótszy zasięg.

ROZDZIAŁ 34. (s. 261)

- Ca – ok. 4 dni, P – ok. 14 dni
- Zawierała dwukrotnie więcej tego izotopu, czyli o 100% więcej.
- Małe, krótszy czas połowicznego rozpadu powoduje, że szybciej ubywa lekkiego izotopu.
- a) 2 lata
b) 2006, 16%, 0,5%
- b) $T_{1/2} = 32 \text{ h}$
c) ok. 130 h

ROZDZIAŁ 35. (s. 267)

- ok. 24%
- α

3. Nie, lecz mogła im grozić choroba popromienna.
4. ok. 0,04 mSv
5. ok. 0,2 mSv

ROZDZIAŁ 36. (s. 276)

1. Izotopy o krótkim czasie połowicznego rozpadu w skałach dawno się rozpadły.
2. Blacha – β , gdyż α nie przeniknie przez blachę, folia – α , gdyż tak cienka warstwa nie osłabi promieniowania β . Promieniowanie γ jest tak przenikliwe, że nie nadaje się do tych celów.
3. Około 7500 lat.
4. Głębokość wnikania promieniowania α jest bardzo mała.
5. ok. $3,4 \cdot 10^{15}$ cząstek

ROZDZIAŁ 37. (s. 280)

1. $E_w \approx 1800 \text{ MeV}$
2. Z uranu.
3. Jądro litu.
4. Wydziela się.
5. Jest ponad 350 tys. razy większa.

ROZDZIAŁ 38. (s. 285)

1. Dla jądra wodoru ${}^3_1\text{H}$, gdyż ma większą energię wiązania.
2. $\Delta m \approx 3,2 \cdot 10^{-27} \text{ kg}$
3. a) $\Delta m \approx 2,658 \cdot 10^{-28} \text{ kg}$
b) $E_w \approx 149,5 \text{ MeV}$
4. Neutron może się rozpaść w ten sposób, bo ma masę (czyli także energię spoczynkową) większą od sumy mas (energii spoczynkowych) protonu i elektronu.
5. Jądro plutonu.

ROZDZIAŁ 39. (s. 290)

1. ${}^{239}_{94}\text{Pu} + {}^1_0\text{n} \rightarrow {}^{143}_{56}\text{Ba} + {}^{94}_{38}\text{Sr} + 3{}^1_0\text{n}$
2. $E \approx 205 \text{ MeV}$
3. Jest mniejsza.
4. Większość neutronów powstałych w wybuchu nie spowodowała rozszczepienia i opuściła próbkę.
5. Cięższy izotop uranu silnie pochłania neutrony.

ROZDZIAŁ 40. (s. 295)

1. ${}^{238}_{92}\text{U}$
3. ${}^{238}_{92}\text{U} + {}^1_0\text{n} \rightarrow {}^{239}_{92}\text{U} \xrightarrow{\beta} {}^{239}_{93}\text{Np} \xrightarrow{\beta} {}^{239}_{94}\text{Pu}$
5. Około 7 razy więcej, czyli 350 ton.

ROZDZIAŁ 41. (s. 301)

1. 1 – kopalnia uranu, 2 – fabryka wzbogacania uranu, 3 – elektrownia jądrowa, 4 – składowisko odpadów promieniotwórczych, 5 – zakłady przetwarzania rudy uranowej
3. Wskazówka: przeanalizuj fragment o paliwie jądrowym.

4. Jest nierealne, weź pod uwagę bezpieczeństwo pasażerów.
5. ok. 1900 kg

ROZDZIAŁ 42. (s. 308)

1. Wskazówka: jaka temperatura jest niezbędna do reakcji syntezy?
2. ${}^2_1\text{H} + {}^3_1\text{H} \rightarrow {}^4_2\text{He} + {}^1_0\text{n}$
3. Wskazówka: porównaj liczby masowe jąder wyjściowych i produktów reakcji.
4. 4,1 MeV
5. ok. 40 μg

ROZDZIAŁ 43. (s. 316)

1. gwiazda ciągu głównego, czerwony olbrzym, biały karzeł
2. Prawdopodobnie nie, rozmiary Słońca na tym etapie nie przekroczą promienia orbity Ziemi.
3. Słońce by zmalało, gdyż zmniejszałoby się ciśnienie w jego wnętrzu i grawitacja by je ścisnęła.
4. $d \approx 1,4 \cdot 10^{10} \text{ kg/m}^3$
5. $F_g = 1,7 \cdot 10^8 \text{ N}$, ok. 220 tys. razy więcej niż na Ziemi.

ROZDZIAŁ 44. (s. 324)

1. Nie.
2. Nie, bo nie zmienia się oddziaływanie grawitacyjne między tą gwiazdą a Układem Słonecznym.
3. $R_g \approx 2 \cdot 10^{13} \text{ m}$
4. $d \approx 6 \cdot 10^{16} \text{ kg/m}^3$, ok. 6 mln razy większa od gęstości białych karłów.
5. a) Podczas zderzenia wydzielila się energia.
b) $E = 7,2 \cdot 10^{47} \text{ J}$

POWTÓRZENIE DZIAŁU FIZYKA JĄDROWA (s. 327)

1. a) 19
b) 20, 21, 22
2. ${}^{218}_{84}\text{Po} \xrightarrow{\alpha} {}^{214}_{82}\text{Pb} \xrightarrow{\beta^-} {}^{214}_{83}\text{Bi} \xrightarrow{\beta^-} {}^{214}_{84}\text{Po}$
3. a) $T_{1/2} \approx 1,2 \text{ roku}$
b) $m \approx 2,3 \text{ mg}$
4. 1 F, 2 F, 3 P
5. Około 11,5 tys. lat temu.
6. C
7. 1 F, 2 F, 3 P
8. Nie, w jądrach berylu i helu jest w sumie za mało nukleonów.
9. Nie, biały karzeł to ostatni etap ewolucji gwiazd o małej masie, z których nie mogą powstać czarne dziury.
10. 1 P, 2 F, 3 F

Tabela 1. Stałe fizyczne i astronomiczne

współczynnik w prawie Coulomba	$k \approx 9 \cdot 10^9 \frac{\text{N} \cdot \text{m}^2}{\text{C}^2}$
ładunek elementarny	$e \approx 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ C}$
prędkość światła w próżni	$c \approx 3 \cdot 10^8 \frac{\text{m}}{\text{s}}$
stała Plancka	$h \approx 6,63 \cdot 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s}$
masa elektronu	$m_e \approx 9,11 \cdot 10^{-31} \text{ kg}$
masa protonu	$m_p \approx 1,673 \cdot 10^{-27} \text{ kg}$
masa neutronu	$m_n \approx 1,675 \cdot 10^{-27} \text{ kg}$
jednostka masy atomowej	$u \approx 1,661 \cdot 10^{-27} \text{ kg}$
masa Słońca	$m_s \approx 2 \cdot 10^{30} \text{ kg}$
stała grawitacji	$G \approx 6,67 \cdot 10^{-11} \frac{\text{N} \cdot \text{m}^2}{\text{kg}^2}$

Tabela 2. Przedrostki do wielokrotności i podwielokrotności jednostek

Przedrostek	Skrót	Mnożnik
peta	P	$10^{15} = 1\,000\,000\,000\,000\,000$
tera	T	$10^{12} = 1\,000\,000\,000\,000$
giga	G	$10^9 = 1\,000\,000\,000$
mega	M	$10^6 = 1\,000\,000$
kilo	k	$10^3 = 1000$
hekto	h	$10^2 = 100$
deka	da	$10^1 = 10$
–	–	$10^0 = 1$
decy	d	$10^{-1} = 0,1$
centy	c	$10^{-2} = 0,01$
mili	m	$10^{-3} = 0,001$
mikro	μ	$10^{-6} = 0,000\,001$
nano	n	$10^{-9} = 0,000\,000\,001$
piko	p	$10^{-12} = 0,000\,000\,000\,001$
femto	f	$10^{-15} = 0,000\,000\,000\,000\,001$

1		1,0079		¹ H 99,99%				2		9,0122		⁹ Be 100%			
1		₁H						2		₄Be					
		wodór						2		beryl					
2		6,941		⁷ Li 7,59%		⁶ Li 92,41%		2		24,305		²⁴ Mg 78,99%		²⁵ Mg 10,00%	
2		₃Li						2		₁₂Mg				²⁶ Mg 11,01%	
		lit						2		magnez					
3		22,990		²³ Na 100%				2		40,078		⁴⁰ Ca 96,941%		⁴² Ca 0,647%	
3		₁₁Na						2		₂₀Ca				⁴³ Ca 0,135%	
		sód						2		wapń				⁴⁴ Ca 2,086%	
4		39,098		³⁹ K 93,26%		⁴⁰ K 0,01%		2		44,956		⁴⁵ Sc 100%		2	
4		₁₉K				⁴¹ K 6,73%		2		₂₁Sc				2	
		potas						2		skand				2	
5		85,468		⁸⁵ Rb 72,17%		⁸⁷ Rb 27,83%		2		88,906		⁸⁹ Y 100%		2	
5		₃₇Rb						2		₃₉Y				2	
		rubid						2		itr				2	
6		132,905		¹³³ Cs 100%				2		137,327		¹³⁰ Ba 0,11%		¹³² Ba 0,10%	
6		₅₅Cs						2		₅₆Ba				¹³⁴ Ba 2,42%	
		cez						2		bar				¹³⁵ Ba 6,59%	
7		223,020		²²³ Fr				2		226,025		²²³ Ra		²²⁴ Ra	
7		₈₇Fr						2		₈₈Ra				²²⁶ Ra	
		frans						2		rad				²²⁸ Ra	
8		227,028		²²⁷ Ac				2		227,028		²²⁷ Ac			
8		₈₉Ac						2		₈₉Ac					
		aktyn						2		aktyn					
9		265,117		²⁶⁵ Rf				2		265,117		²⁶⁵ Rf			
9		₁₀₄Rf						2		₁₀₄Rf					
		rutherford						2		rutherford					

metale
niemetale

¹ W przypadku pierwiastków, dla których istnieją tylko izotopy otrzymane sztucznie, po
² W układzie okresowym wypisano tylko niektóre izotopy otrzymane sztucznie. W labo

UKŁAD OKRESOWY PIERWIASTKÓW

konfiguracja elektronowa
na powłokach KLMNOPQ

masa atomowa¹

K	2	238,03	233U
L	8		234U 0,005%
M	18		235U 0,72%
N	32		236U
O	21		238U 99,27%
P	9		
Q	2		

izotopy naturalne i ich procentowa zawartość
w skorupie ziemskiej
izotopy otrzymane sztucznie²

uran — nazwa pierwiastka

liczba atomowa — symbol pierwiastka

5	6	7	8	9	10	11	12
2 51,996 24Cr chrom	2 54,938 25Mn mangan	2 55,845 26Fe żelazo	2 58,933 27Co kobalt	2 58,693 28Ni nikiel	2 63,546 29Cu miedź	2 65,38 30Zn cynk	
2 95,96 42Mo molibden	2 97,907 (98) 43Tc technet	2 101,07 44Ru ruten	2 102,906 45Rh rod	2 106,42 46Pd pallad	2 107,868 47Ag srebro	2 112,41 48Cd kadm	
2 183,84 74W wolfram	2 186,207 75Re ren	2 190,23 76Os osm	2 192,217 77Ir iryd	2 195,084 78Pt platyna	2 196,967 79Au złoto	2 200,59 80Hg rtęć	
2 271,133 106Sg seaborg	2 272,138 107Bh bohr	2 270,135 108Hs has	2 276,151 109Mt meitner	2 281,162 110Ds darmstadt	2 280,164 111Rg roentgen	2 285,17 112Cn kopernicj	

2 140,907 59Pr prazeodym	2 144,242 60Nd neodym	2 144,913 (145) 61Pm promet	2 150,36 62Sm samar	2 151,964 63Eu europ	2 157,25 64Gd gadolin	2 158,925 65Tb terb	
2 231,036 91Pa protaktyn	2 238,029 92U uran	2 237,048 (237) 93Np neptun	2 244,064 (244) 94Pu pluton	2 243,061 (243) 95Am ameryk	2 247,070 (247) 96Cm kiur	2 247,070 (247) 97Bk berkelej	

podano masę najbardziej stabilnego izotopu, a w nawiasie — liczbę masową tego izotopu.
w laboratoriach wytwarza się dużo więcej izotopów.

										18	
										2	4,0026
										3	He 0,001%
										4	He 99,99%
										2He	
										hel	
13		14		15		16		17		18	
2	10,811	2	12,011	2	14,007	2	15,999	2	18,998	2	20,180
3	¹⁰ B 19,9%	4	¹² C 98,93%	5	¹⁴ N 99,64%	6	¹⁶ O 99,76%	7	¹⁹ F 100%	8	²⁰ Ne 90,48%
	¹¹ B 80,1%		¹³ C 1,07%		¹⁵ N 0,36%		¹⁷ O 0,04%				²¹ Ne 0,27%
			¹⁴ C				¹⁸ O 0,2%				²² Ne 9,25%
5B		6C		7N		8O		9F		10Ne	
bor		węgiel		azot		tlen		fluor		neon	
2	26,982	2	28,086	2	30,974	2	32,065	2	35,453	2	39,948
8	²⁷ Al 100%	8	²⁸ Si 92,22%	8	³¹ P 100%	8	³² S 94,99%	8	³⁵ Cl 75,76%	8	³⁶ Ar 0,34%
3		4	²⁹ Si 4,69%	5		6	³³ S 0,75%	7	³⁷ Cl 24,24%	8	³⁸ Ar 0,06%
			³⁰ Si 3,09%				³⁴ S 4,25%				⁴⁰ Ar 99,60%
							³⁶ S 0,01%				
13Al		14Si		15P		16S		17Cl		18Ar	
glin		krzem		fosfor		siarka		chlor		argon	
2	69,723	2	72,64	2	74,922	2	78,96	2	79,904	2	83,798
8	⁶⁹ Ga 60,11%	8	⁷⁰ Ge 20,38%	8	⁷⁵ As 100%	8	⁷⁴ Se 0,89%	8	⁷⁸ Se 50,69%	8	⁷⁸ Kr 0,35%
18	⁶⁷ Zn 4,10%	18	⁷² Ge 27,31%	18		18	⁷⁶ Se 9,37%	18	⁸¹ Br 49,31%	18	⁸⁰ Kr 2,28%
3	⁶⁸ Zn 19,02%	4	⁷³ Ge 7,76%	5		6	⁷⁷ Se 7,63%	7		8	⁸² Kr 11,59%
	⁷⁰ Zn 0,63%		⁷⁶ Ge 36,72%				⁷⁸ Se 23,77%				⁸³ Kr 11,59%
			⁷⁶ Ge 7,83%				⁸⁰ Se 49,61%				⁸⁴ Kr 56,98%
							⁸² Se 8,73%				⁸⁶ Kr 17,27%
31Ga		32Ge		33As		34Se		35Br		36Kr	
gal		german		arsen		selen		brom		krypton	
2	114,818	2	118,710	2	121,760	2	127,60	2	126,904	2	131,293
8	¹¹³ In 4,29%	8	¹¹² Sn 0,97%	8	¹²¹ Sb 57,21%	8	¹²⁰ Te 0,09%	8	¹²⁷ I 100%	8	¹²⁴ Xe 0,09%
18	¹¹⁵ In 95,71%	18	¹¹⁴ Sn 0,66%	18	¹²³ Sb 42,79%	18	¹²² Te 2,55%	18		18	¹²⁶ Xe 0,09%
			¹¹⁶ Sn 0,34%				¹²³ Te 0,89%			18	¹²⁸ Xe 1,91%
			¹¹⁷ Sn 14,54%				¹²⁴ Te 4,74%			18	¹²⁹ Xe 26,40%
			¹¹⁷ Sn 7,69%				¹²⁵ Te 7,07%			18	¹³⁰ Xe 4,07%
			¹¹⁸ Sn 24,22%				¹²⁶ Te 16,84%			18	¹³¹ Xe 21,23%
			¹¹⁹ Sn 8,59%				¹²⁸ Te 31,74%			18	¹³² Xe 26,91%
			¹²⁴ Sn 5,79%				¹³⁰ Te 34,08%			18	¹³⁴ Xe 10,44%
49In		50Sn		51Sb		52Te		53I		54Xe	
ind		cyna		antymon		tellur		jod		ksenon	
2	204,383	2	207,2	2	208,98	2	209,982 (209)	2	210,987 (210)	2	222,017 (222)
8	²⁰³ Tl 29,52%	8	²⁰⁴ Pb 1,4%	8	²⁰⁹ Bi 100%	8	²⁰⁹ Po	8	²¹⁰ At	8	²¹⁸ Rn
18	²⁰⁵ Tl 70,48%	18	²⁰⁶ Pb 24,1%	18	²¹⁰ Pb 22,1%	18	²¹⁰ Po	18	²¹¹ At	18	²²⁰ Rn
32		32	²⁰⁸ Pb 52,4%	32		32		32		32	²²² Rn
18		18		18		18		18		18	
3		4		5		6		7		8	
81Tl		82Pb		83Bi		84Po		85At		86Rn	
tal		ołów		bismut		polon		astat		radon	
2	285,106	2	286,101	2	286,103	2	286,101	2	285,106	2	286,101
8		8		8		8		8		8	
18		18		18		18		18		18	
32		32		32		32		32		32	
18		18		18		18		18		18	
3		4		5		6		7		8	
113Nh		114Fl		115Mc		116Lv		117Ts		118Og	
nihon		flerow		moscow		liwermor		tenes		oganeson	
2	162,50	2	164,93	2	167,259	2	168,934	2	173,054	2	174,97
8	¹⁵⁶ Dy 0,06%	8	¹⁶⁵ Ho 100%	8	¹⁶² Er 0,14%	8	¹⁶⁹ Tm 100%	8	¹⁶⁶ Yb 0,13%	8	¹⁷⁵ Lu 97,41%
18	¹⁵⁶ Dy 0,09%	18		18	¹⁶⁴ Er 1,60%	18		18	¹⁷⁰ Yb 3,04%	18	¹⁷⁶ Lu 2,59%
28	¹⁶⁰ Dy 2,33%	28		28	¹⁶⁶ Er 33,50%	28		28	¹⁷¹ Yb 14,28%	28	
8	¹⁶¹ Dy 18,89%	8		8	¹⁶⁷ Er 22,87%	8		8	¹⁷² Yb 21,83%	8	
8	¹⁶² Dy 25,48%	8		8	¹⁶⁸ Er 26,98%	8		8	¹⁷³ Yb 16,13%	8	
2	¹⁶³ Dy 24,89%	2		2	¹⁷⁰ Er 14,91%	2		2	¹⁷⁴ Yb 31,83%	2	
	¹⁶⁴ Dy 28,26%								¹⁷⁶ Yb 12,76%		
66Dy		67Ho		68Er		69Tm		70Yb		71Lu	
dysproz		holm		erb		tul		iterb		lutet	
2	251,080 (251)	2	252,083	2	257,095	2	258,098 (258)	2	259,101	2	262,109
8	²⁴⁹ Cf 100%	8	²⁵² Es	8	²⁵⁷ Fm	8	²⁵⁸ Md	8	²⁵⁹ No	8	²⁶² Lr
18	²⁵⁰ Cf	18		18		18	²⁶⁰ Md	18		18	
28	²⁵¹ Cf	28		28		28		28		28	
8	²⁵² Cf	8		8		8		8		8	
2		2		2		2		2		2	
98Cf		99Es		100Fm		101Md		102No		103Lr	
kaliforn		einstein		ferm		mendelew		nobel		lorens	
2		2		2		2		2		2	
8		8		8		8		8		8	
18		18		18		18		18		18	
28		28		28		28		28		28	
8		8		8		8		8		8	
2		2		2		2		2		2	