

FIZYKA ATOMOWA

- Fale elektromagnetyczne
- Widmo promieniowania
- Określanie składu chemicznego
- Budowa atomu

- Mechanizm emisji promieniowania
- Kwantowa natura promieniowania
- Emisja fotonu
- Zjawisko fotoelektryczne

WSTĘP

https://pl.wikipedia.org/wiki/Fizyka_atomowa

https://pl.wikipedia.org/wiki/Dmitrij_Mendelejew

https://pl.wikipedia.org/wiki/Uk%C5%82ad_okresowy_pierwiastk%C3%B3w

Materia, która nas otacza zbudowana jest z atomów. Choć są tak małe, a przestrzeń pomiędzy nimi jest wielką pustką, to procesy w nich i pomiędzy nimi zachodzące skutkują tym, co obserwujemy na co dzień. Dzięki odkryciom świata atomów stało się możliwe zbudowanie wielu urządzeń: lasery, telewizory plazmowe, mikroprocesory, czujniki ruchu, aparaty fotograficzne... Najważniejsze jest jednak to, że coraz bardziej rozumiemy świat i Wszechświat.

Jak to się stało, że nie możemy dostrzec atomów gołym, ani nawet uzbrojonym w najlepszy mikroskop okiem, a udało się ludziom „wymyślić”, jak jest zbudowany?

Pierwsze przesłanki dał naukowcom **Mendelejew**, który w połowie XIX wieku odkrył prawa okresowości pierwiastków i poukładał je, zgodnie z ich własnościami. Wtedy też fizycy zdali sobie sprawę, że atomy nie mogą być tą najprostszą i najmniejszą formą materii, jak powszechnie uważano, lecz powinny być zbudowane z jeszcze prostszych cegiełek, które nadają im określone własności chemiczne i fizyczne.

W 1838 roku **Michael Faraday** przepuszczał prąd przez rurę wypełnioną gazem o odkrył dziwne świecenie. W 1896 roku **John Thomson** udowodnił, że promienie katodowe z eksperymentu Faradaya mają naturę cząstkową - odkrył elektron.

Istnienie jądra atomowego zostało stwierdzone w 1911 roku, kiedy to **Ernest Rutherford** bombardował cząstkami alfa folię ze złota i wykrył, że większość z nich przechodzi przez materię bez problemu, a tylko niektóre z nich odchylają się lub nawet odbijają. Na tej podstawie wysnuł wniosek, że cała masa (i dodatni ładunek) atomu skupiona jest w jednym miejscu. Przy okazji okazało się, że materia jest „pusta”.

Proton został odkryty w 1914 roku przez **Ernesta Marsdena**. Na odkrycie neutronu trzeba było czekać do 1932 roku, kiedy to wyniki swoich prac opublikował **James Chadwick**. Gdy już wydawało się, że to może być koniec, pojawiły się kolejne badania i odkrycia nowych „cegiełek”, z których składa się nasz świat.

Świat atomowy jest niezwykle mały. Rozmiary pojedynczych atomów, to około 10^{-10} m, a idąc głębiej dochodzimy do granicy 10^{-25} m w przypadku najmniejszych cząstek, które udało nam się pomierzyć. I co jest charakterystyczne i wspólne dla tych niby odległych od siebie „światów”. Odległości pomiędzy obiektami kosmicznymi są ogromne, a pomiędzy nimi znajduje się przeogromna pustka. Identycznie jest w świecie atomów i cząstek, z których są zbudowane (oczywiście w odpowiedniej skali): odległości pomiędzy jądrami atomowymi są ogromne, a pomiędzy nimi krążą elektrony i znajduje się równie ogromna pustka.

TABLICA MENDELEJEWA

<http://www.naukowiec.org/mendelejew.html>

FIZYKA ATOMU - SGGW

<http://wyrownajpoziom.sggw.pl/fizyka/>

FIZYKA ATOMOWA – AGH

http://zasoby1.open.agh.edu.pl/dydaktyka/fizyka/c_od_atomu_do_atomu/index.html

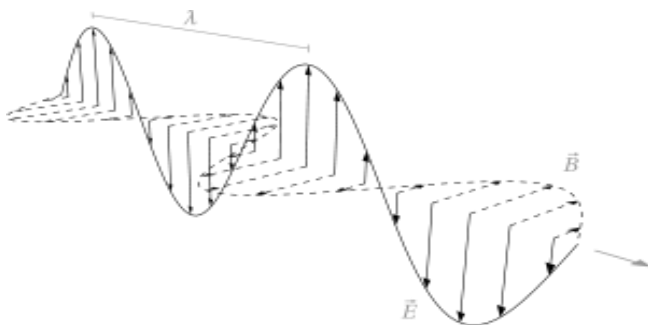
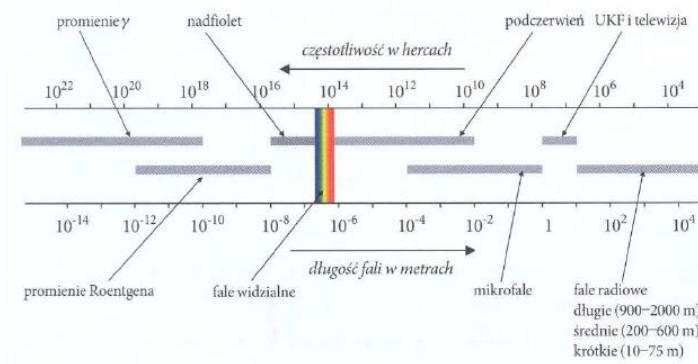
http://zasoby1.open.agh.edu.pl/dydaktyka/fizyka/c_fizyka_at_i_kw/wyklady.html

FALE ELEKTROMAGNETYCZNE

https://pl.wikipedia.org/wiki/Promieniowanie_elektromagnetyczne

Jesteśmy otoczeni promieniowaniem. Fale radiowe, gdy oglądasz telewizję i słuchasz radia, promieniowanie podczerwone daje przyjemnie ciepło, światło widzialne, dzięki któremu widzimy, promieniowanie nadfioletowe, dzięki któremu się opalamy, promieniowanie rentgenowskie wykorzystywane w medycynie.

Wszystkie te rodzaje promieniowania mają tę samą naturę. Są to fale elektromagnetyczne.



Fala elektromagnetyczna, to rozchodzący się w przestrzeni szereg zaburzeń pola elektrycznego i związanego z nim pola magnetycznego. Zaburzenia rozchodzą się z prędkością światła. Źródłem fali elektromagnetycznej może być prąd zmienny płynący w przewodniku.

To sprawia, że w przyrodzie znajduje się ogromna ilość obiektów emitujących fale. Każdy atom, którego składniki obdarzone są ładunkami w ciągłym ruchu również emituje fale. Zdecydowana większość materii w kosmosie to jony (cząstki obdarzone ładunkiem elektrycznym) – one również są źródłem fal, które docierają do Ziemi.

Do opisu fal używamy dwóch wielkości: częstotliwość i długość fali. **Częstotliwość f , to ilość zaburzeń mijających dany punkt w ciągu sekundy. Długość fali λ , to odległość pomiędzy kolejnymi zaburzeniami.** Te dwie wielkości wiąże ze sobą zależność:

$$\lambda \cdot f = c$$

gdzie $c = 3 \cdot 10^8 \frac{m}{s}$ jest prędkością światła.

FAŁA ELEKTROMAGNETYCZNA

<http://open.agh.edu.pl/course/view.php?id=100>
animacja 14

FAŁA ELEKTROMAGNETYCZNA

http://fizyka.zamkor.pl/aplety/programy_fizyka_liceum/fala_el_mag/fala_el_mag.htm

Podsumowanie

- Fala elektromagnetyczna to rozchodzące się w przestrzeni zmienne pole elektryczne i związane z nim zmienne pole magnetyczne.
- Wszystkie fale elektromagnetyczne rozchodzą się z prędkością światła.
- Fale radiowe odbiera się za pomocą anten i wykorzystuje do przekazywania informacji.
- W radarach wykorzystuje się promieniowanie mikrofalowe.
- Energia niesiona przez promieniowanie podczerwone po pochłonięciu przez materię zamienia się na ciepło.
- Różne długości fali światła postrzegamy jako różne kolory.
- Duże dawki promieniowania nadfioletowego i rentgenowskiego są szkodliwe dla organizmów. Na niewielkie dawki promieniowania jesteśmy uodpornieni.
- Przenikliwość promieniowania rentgenowskiego wykorzystuje się w diagnostyce.
- Wszechświat bada się, wykorzystując wszystkie rodzaje fal elektromagnetycznych.

Wykorzystanie fal elektromagnetycznych

https://pl.wikipedia.org/wiki/Fale_radiowe

<https://pl.wikipedia.org/wiki/Mikrofale>

<https://pl.wikipedia.org/wiki/Podczerwie%C5%84>

https://pl.wikipedia.org/wiki/%C5%9Awiat%C5%82o_widzialne

<https://pl.wikipedia.org/wiki/Ultrafiolet>

https://pl.wikipedia.org/wiki/Promieniowanie_rentgenowskie

https://pl.wikipedia.org/wiki/Promieniowanie_gamma

W zależności od częstotliwości fali może ona wywoływać różne skutki, gdy oddziałuje z materią, która nas otacza. Podzielono więc cały zakres widma elektromagnetycznego na kilka części.

Fale radiowe – najmniejsze częstotliwości, które człowiek jest w stanie zagospodarować. Wytwarza je prąd przemienny, który przepływa przez dowolny przewodnik (antena nadawcza). Jeśli w ten sposób wytworzona fala elektromagnetyczna napotka na swojej drodze kolejny przewodnik (antena odbiorcza), to wzbudza w nim prąd. Po wzmocnieniu, możemy przesyłać na odległość obraz i dźwięk, i dzięki temu mamy radio, telewizję, telefony komórkowe i WiFi, a astronomie mogą obserwować kosmos.

Mikrofale wytwarzają specjalne lampy elektronowe, które bardzo dobrze rozchodzą się w powietrzu i odbijają się od wszelkiego rodzaju stałych przeszkód. Wykorzystuje się je w radarach. Nieco inny zakres fal mikrofalowych wykorzystuje się w kuchenkach mikrofalowych, dzięki temu, że częstotliwość fal odpowiada częstotliwości drgań cząsteczek wody. Pobudzone do drgań powodują, że wzrasta temperatura sporządzonych z nich dań.

Promieniowanie podczerwone emitowane jest przez ciała ciepłe i gorące. Fale podczerwone powodują drgania cząstek ciał stałych i cieczy (tylko na powierzchni) i wzrost ich temperatury. Dzięki promieniowaniu podczerwonemu, możemy się na przykład ogrzać przy ognisku. Promieniowanie podczerwone nie powoduje ogrzania gazów.

Światło, czyli promieniowanie widzialne, jest bardzo wąskim zakresem fal ($0,4\mu\text{m} - 0,7\mu\text{m}$) i

jego działanie jest bardzo podobne do promieniowania podczerwonego. Dlatego jest wyróżnione, że nasze oczy są niezwykle czułe na ten zakres. Potrafimy je rozróżnić, a nasz mózg interpretuje je jako kolory.

Promieniowanie nadfioletowe (ultrafiolet, promienie UV) ma długość fali porównywalną z rozmiarami pojedynczych atomów. Ten rodzaj fal potrafi nas opalić – powoduje pociemnienie skóry. Źródłem nadfioletu są obiekty o bardzo wysokiej temperaturze: łuk elektryczny, błyskawica i Słońce. Zbyt duża dawka nadfioletu jest zabójcza dla wszelkich organizmów żywych i dlatego wykorzystuje się je w szpitalach do wyjaławiania pomieszczeń. Z jednej strony zbyt duża dawka jest zabójcza dla życia, ale znowu osłabione promieniowanie (np. przez atmosferę ziemską) jest niezbędne dla życia – powoduje wytwarzanie witaminy D.

Promieniowanie rentgenowskie (X) odkryte przez Wilhelma Roentgena (1895) wytwarzane jest w specjalnych pampach, w których rozpedzone elektrony zderzają się z metalową powierzchnią. To promieniowanie zmieniło medycynę, a wykorzystywane jest też do wszelkiego rodzaju badań, które pozwalają poznać strukturę wnętrza, bez naruszania samego obiektu. Promieniowanie to przenika przez prawie wszystkie substancje i jest w różnym stopniu przez nie pochłaniane.

Promieniowanie gamma (γ) powstaje w wyniku procesów jądrowych. Bardzo mała długość fali powoduje, że promieniowanie to jest materia zupełnie je przepuszcza. Gruba ołowiana blacha lub kilkumetrowa warstwa ziemi jest wystarczającą zaporą.

PROMIENIOWANIE I CZĄSTKI

http://phet.colorado.edu/sims/html/molecules-and-light/latest/molecules-and-light_en.html

WIDMO PROMIENIOWANIA

[https://pl.wikipedia.org/wiki/Widmo_\(spektroskopia\)](https://pl.wikipedia.org/wiki/Widmo_(spektroskopia))

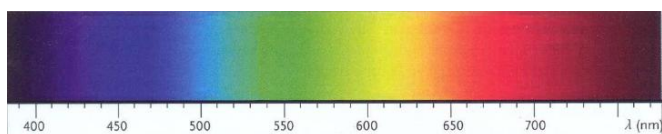
https://pl.wikipedia.org/wiki/Widmo_absorpcyjne

https://pl.wikipedia.org/wiki/Promieniowanie_cieplne

https://pl.wikipedia.org/wiki/Linie_spektralne

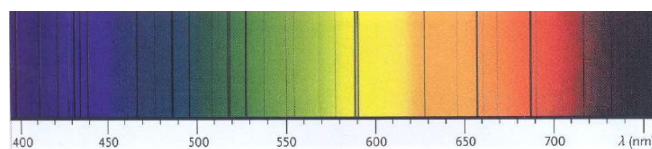
Źródłami światła mogą być ciała rozgrzane (Słońce, łuk elektryczny), ale także obiekty zimne (ekran telewizora, zorza polarna). Światło obiektów rozgrzanych powstaje dzięki drganiom cząstek tych obiektów. Światło obiektów zimnych powstaje w wyniku procesów zachodzących w samych atomach. Różnice dostrzeżemy wtedy, gdy światło zostanie rozszczepione (np. na pryzmacie lub siatce dyfrakcyjnej) i uzyskamy tzw. **widmo promieniowania**.

Wszystkie **źródła rozgrzane (termiczne)** mają podobne widmo – kolorową wstęgę, w której kolory łagodnie przechodzą od fioletowego do czerwonego. Okazało się też, że o im wyższa temperatura, tym w widmie przeważa kolor niebieski nad czerwonym. Czerwone, czyli chłodniejsze, np. rozżarzony gwóźdź, niebieskie zaś, to bardziej gorące – np. błyskawica. Astronomowie wykorzystują tę zależność do określania temperatury gwiazd.

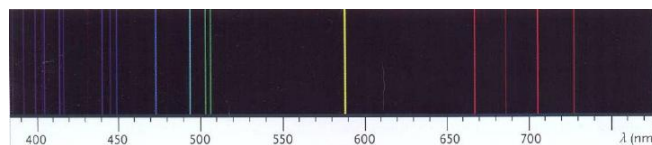


Źródła nietermiczne mają widmo nieciągłe, składające się z szeregu kolorowych linii, w którym brakuje pewnych kolorów. Takie widmo

dają też gazy pobudzone do świecenia. I co ciekawe, okazało się, że każdy pierwiastek ma swój charakterystyczny układ linii. Dzięki temu można na przykład określić skład chemiczny gwiazd.



Okazało się również, że można określić skład materii ciał, które nie emitują własnego światła – wystarczy je oświetlić innym źródłem promieniowania termicznego. W widmie takiego ciała pojawiają się wówczas ciemne prążki, odpowiadające liniom widmowym pierwiastków, z których zbudowany jest oświetlany przedmiot. Takie widmo nazywamy **widmem absorpcyjnym**.



Analiza widmowa składu chemicznego jest niezwykle ważne we współczesnych badaniach. Prawie całą wiedzę o Wszechświecie uzyskujemy dzięki analizie widma.

WIDMO ABSORPCYJNE

<http://cmf.p.lodz.pl/efizyka/mod/resource/view.php?id=683>

WIDMA ATOMOWE

<http://cmf.p.lodz.pl/efizyka/mod/resource/view.php?id=684>

FALA ELEKTROMAGNETYCZNA

<http://phet.colorado.edu/en/simulation/radiating-charge>

OKREŚLANIE SKŁADU CHEMICZNEGO?

https://pl.wikipedia.org/wiki/Seria_widmowa

Widma promieniowania różnych materiałów, głównie podgrzanych potrafiono uzyskiwać już w połowie XIX wieku. Ale jak dokładnie wyznaczyć i opisać to w sposób matematyczny wzorem?

W 1885 roku **Johann Balmer** zbadał widmo wodoru i stwierdził istnienie pięciu linii o różnych długościach fal. Przewidując istnienie pomiędzy nimi jakiegoś związku, wymyślił wzór. Po odkryciu kolejnych widm i linii udało się ustalić bardziej ogólną postać wzoru:

$$\frac{1}{\lambda} = R \cdot Z^2 \left(\frac{1}{n_1^2} - \frac{1}{n_2^2} \right)$$

gdzie:

R - stała Rydberga $R = 1,0974 \cdot 10^7 \frac{1}{m}$

Z – liczba atomowa pierwiastka

λ - długość fali,

n_1 i n_2 - liczby całkowite - numery linii

Podsumowanie

- Widmo to zależność natężenia promieniowania od długości fali.
- Źródła termiczne mają widmo ciągłe.
- Stosunek natężenia światła niebieskiego do czerwonego w widmie ciągłym jest związany z temperaturą źródła.

Okazało się po wielu eksperymentach, że każdy pierwiastek ma charakterystyczne linie widmowe. Dzięki temu można było wyznaczyć bardzo dokładnie skład chemiczny badanego materiału. Podobnie, jak kiedyś w przypadku Kopernika i Keplera (budowa Układu Słonecznego) nie wiedziano jeszcze dlaczego tak jest, ale już na podstawie badań wymyślony został wzór opisujący bardzo dokładnie ten fragment świata.

Pod koniec XIX wieku uczeni wiedzieli, że świecące ciała stałe i pobudzone do świecenia gazy wysyłają promieniowanie, które można badać za pomocą widma. Nie rozumieli jednak, dlaczego atomy nie wysyłają fal o wszystkich długościach, lecz jedynie konkretne (prążki). Poszukiwania rozwiązania problemu trwały 30 lat.

- Źródła nietermiczne („zimne”) mają widma nieciągłe.
- Atomy danego pierwiastka mają swoje charakterystyczne widmo liniowe.
- Widmo absorpcyjne pozwala wyznaczyć skład chemiczny nieświecącej materii

ŚWIATŁO I ATOM

<http://phet.colorado.edu/en/simulation/optical-quantum-control>

DLACZEGO GAZY ŚWIECĄ

<http://phet.colorado.edu/en/simulation/discharge-lamps>

BUDOWA ATOMU

https://pl.wikipedia.org/wiki/Ernest_Rutherford

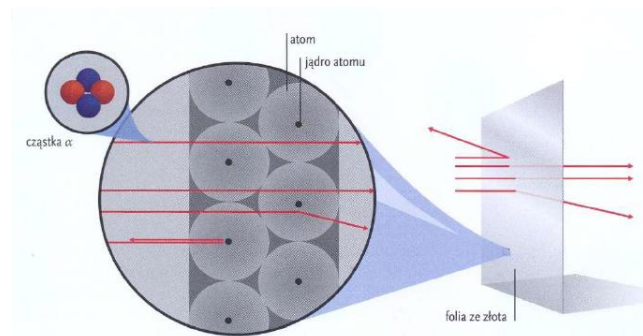
https://pl.wikipedia.org/wiki/J%C4%85dro_atomowe

https://pl.wikipedia.org/wiki/Eksperyment_Rutherforda

Jak małe są atomy? W przypadku Wszechświata posługiwaliśmy się odległościami mierzonymi nie w kilometrach, ale w latach świetlnych i mieliśmy do czynienia z rzędami wielkości 10^{25} m.

Atomy są tak małe, że nie potrafimy ich dostrzec nawet za pomocą wyrafinowanych mikroskopów. Całą wiedzę czerpiemy jedynie z obserwacji pośrednich i dzięki pomysłowości wielu naukowców, którzy zajmowali się badaniem materii w ciągu ostatnich 100 lat.

Przełomowego odkrycia dokonał **Ernst Rutherford**, który w 1909 roku bombardował cienką folię ze złota jądrami helu (cząstki alfa). Wyniki badań okazały się sensacyjne. Do tej pory wyobrażano sobie, że atom, to jakby kulka ciasta. Okazało się, że folia zupełnie nie zatrzymuje cząstek alfa, ale je prawie w całości przepuszcza. Wyglądało to tak jakby rzucać kamieniami w ścianę, a one by bez problemu przelatowały na drugą stronę. Tylko nieliczne cząstki alfa było nieznacznie odchyłone, a kilka z nich sprawiło uczonemu nie lada niespodziankę – zostało odrzuconych do tyłu. Wyjaśnienie zjawiska okazało się przełomowe dla dalszych badań.



Trzeba było przyjąć, że wewnątrz atomu, jest puste, a tylko jego środek zajmuje niezwykle masywne i dodatnio naładowane jądro. Były znane już ujemnie naładowane elektrony, więc przyjęto, że odpowiednia ich ilość krąży wokół jądra. Późniejsze badania pozwoliły ustalić, że elektrony krążą po orbitach, zajmując tylko określone miejsca. Bardzo ważne zaś okazały się elektrony krążące na ostatnich orbitach (elektrony walencyjne), które mają istotny wpływ na chemiczne właściwości pierwiastków.

Proton został odkryty w 1914 roku przez Ernesta Marsdena. Na odkrycie neutronu trzeba było czekać do 1932 roku, kiedy to wyniki swoich prac opublikował James Chadwick. Gdy już wydawało się, że to może być koniec, pojawiły się kolejne badania i odkrycia nowych „cegiełek”, z których składa się nasz świat.

DOŚWIADCZENIE RUTHEFORDA

<http://phet.colorado.edu/en/simulation/rutherford-scattering>

BUDOWA ATOMU

<http://phet.colorado.edu/en/simulation/build-an-atom>

<http://www.fizyka-kompendium.pl/budowaatomu.php>

http://fizyka.zamkor.pl/aplety/programy_fizyka_liceum/bohr/bohrh.htm

FIZYKA ATOMOWA I JĄDROWA

http://e-doswiadczenia.mif.pg.gda.pl/e_doswiadczenia-pl

MODEL ATOMU WODORU

<http://phet.colorado.edu/en/simulation/hydrogen-atom>

<http://cmf.p.lodz.pl/efizyka/mod/resource/view.php?id=139>

MECHANIZM EMISJI PROMIENIOWANIA

https://pl.wikipedia.org/wiki/Model_atomu_Bohra

Elektrony w atomie pełnią niezwykle ważną rolę. Są naładowane ujemnie. Są przyciągane przez dodatnio naładowane jądro. Krążą po orbitach.

I od razu nasuwa się analogia w postaci grawitacyjnego przyciągania obiektów kosmicznych. Tyle że oddziaływania grawitacyjne w przypadku tak małych mas są praktycznie zerowe, więc mechanizm który trzymał cały ten mikroskopijny świat „w całości” musiał być nieco inny.

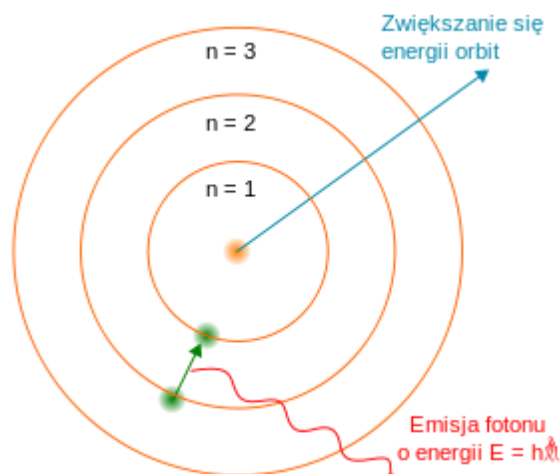
Nie można jednoznacznie określić, gdzie znajduje się elektron, ale można wyznaczyć energię elektronu: kinetyczną (ruch elektronu) i potencjalną (przyciąganie przez jądro). Okazało się, że ta energia może przyjmować tylko określone wartości. Mówimy, że elektrony mogą zajmować tylko określone **poziomy energetyczne**. **Stan podstawowy** – o najniższej możliwej energii i **stany wzbudzone**, gdy elektrony zajmują orbity położone dalej od jądra i energia zostanie im dostarczona.

Taki wzbudzony elektron, na wyższej orbicie, jest niestabilny i po pewnym czasie wraca na orbitę poprzednią, wypromieniowując energię w postaci fali elektromagnetycznej. I to zjawisko można zaobserwować badając widma promieniowania.

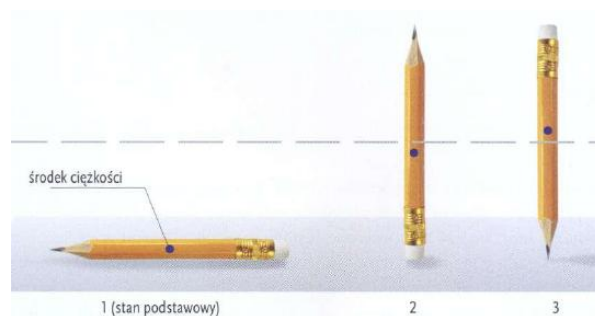
Na podstawie doświadczenie Rutherforda, duński uczoney **Niels Bohr** opracował w 1913 roku model budowy atomu wodoru, którego ogólna koncepcja, z różnymi modyfikacjami obowiązuje do dzisiaj.

Podsumowanie

- Atom składa się z bardzo małego jądra, w którym skupiona jest prawie cała masa atomu, i elektronów tworzących chmurę elektronową.
- Elektrony w atomie mogą mieć tylko określone wartości energii, które nazywamy poziomami energetycznymi atomu.
- Stan elektronu o najniższej dozwolonej energii to stan podstawowy; stany wzbudzone to stany energii wyższej.



W bardzo prosty sposób można zobrazować poziomy energetyczne, analizując różne położenia ołówka. Wyobraźmy sobie, że określony stan energetyczny reprezentuje środek ciężkości ołówka. Stan podstawowy (stabilny) to taki, gdzie ołówek leży na stole. Stany wzbudzone (niestabilne, po dostarczeniu energii) – ołówek ustawiono pionowo. Powrotowi ołówka do stanu stabilnego towarzyszy wypromieniowanie energii (tutaj w postaci fali dźwiękowej).



- Atom emituje promieniowanie, gdy elektron przechodzi ze stanu o energii wyższej do stanu energii niższej, a wypromieniowana energia jest równa różnicy energii między tymi stanami.
- Z danych zamieszczonych w układzie okresowym pierwiastków możemy uzyskać informacje budowie atomów wszystkich pierwiastków.

ODDZIAŁYWANIE FOTONU Z ATOMEM

http://fizyka.zamkor.pl/aplety/programy_fizyka_liceum/atomphoton/index.html

KWANTOWA NATURA PROMIENIOWANIA

https://pl.wikipedia.org/wiki/Albert_Einstein

<https://pl.wikipedia.org/wiki/Foton>

https://pl.wikipedia.org/wiki/Mechanika_kwantowa

Einstein

Elektrony w atomie mogą zajmować tylko określone stany energetyczne, co powoduje wypromieniowywanie fali elektromagnetycznej o ściśle określonych energiach. Jako pierwszy zauważył i spróbował wyjaśnić to zjawisko, nikomu wcześniej nie znany fizyk na świecie – **Albert Einstein**.

W 1905 roku opublikował trzy artykuły, które zmieniły zupełnie naukę. Prace te wywołały początkowo ogromny opór świata nauki – trudno

Foton

Einstein uzmysłowił sobie, że dużo łatwiej będzie wytłumaczyć niezrozumiałe do tej pory zjawiska emisji energii i przemiany światła, jeśli przyjmie się, że energia wypromieniowywana jest nie w sposób ciągły (jak sobie do tej pory wyobrażano, jak fala elektromagnetyczna), ale jak wiązka cząstek, jak porcje energii, które dzisiaj nazywamy **fotonami**.

Foton nie istnieje w spoczynku lecz porusza się z prędkością światła. Można zmienić jego kierunek prędkości lub odebrać mu energię. Co ciekawsze, strumień fotonów może zachowywać

Energia fotonu

W swojej pierwszej pracy Einstein podał podstawowy wzór na energię fotonu:

$$E = h \cdot f$$

gdzie: E - energia fotonu, f - częstotliwość fali, h – stała Plancka $h = 6,63 \cdot 10^{-34} \text{J} \cdot \text{s}$

Jeśli połączymy wzór Einsteina z podstawowym wzorem ruchu falowego $\lambda \cdot f = c$ otrzymamy:

$$E = \frac{h \cdot c}{\lambda}$$

Podsumowanie

- Albert Einstein zmienił nasze pojmowanie przestrzeni i czasu, a także energii i światła.
- Fale elektromagnetyczne składają się z fotonów.
- Foton to niepodzielna cząstka elementarna, nieistniejąca w spoczynku,
- Energia fotonu jest wprost proporcjonalna do częstotliwości fali.

było wyobrazić sobie, że świat może być inny niż to sobie do tej pory wyobrażali naukowcy.

Pierwszy artykuł dotyczył światła (**dualizm korpuskularno falowy**), drugi dotyczył czasu i przestrzeni (**szczególna teoria względności**), a w trzecim sformułował jeden z najważniejszych wzorów współczesnej nauki $E=mc^2$.

Kolejne prace dotyczyły **ogólnej teorii względności (grawitacja jako zakrzywienie czasoprzestrzeni)**, która do dziś uważana jest za jedno z największych osiągnięć ludzkiego umysłu.

się jak zwyczajna fala, więc też jak światło. Stąd prosty wniosek, że strumień fotonów może podlegać odbiciu, załamaniu i dyfrakcji, jak typowe światło.

Takie zachowanie fotonu było zupełnie sprzeczne z dotychczasowym postrzeganiem światła. Jednak matematyczna teoria (**mechanika kwantowa**), która szczegółowo opisuje takie zachowanie jest zupełnie poprawna. Podaje ona precyzyjnie kiedy światło zachowuje się jak fala, a w jakich warunkach przejawia własności strumienia cząstek.

z którego wynika, że energia fotonu zależy tylko od długości fali. Im fala krótsza, tym większą energię niosą fotony.

Elektronowolt

Energia fotonu bardzo mała energia, dlatego w praktyce uczeni posługują się jednostkami o nazwie **elektronowolt (eV)**. Przelicznik jest następujący:

$$1eV = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{J}$$

$$1\text{J} = 6,26 \cdot 10^{18} eV$$

ZADANIA

Słońce najbardziej intensywnie promieniuje na długości fali 500 nm. jaka jest energia fotonów tego światła?

$$\begin{aligned}1 \text{ nm} &= 1 \cdot 10^{-9} \text{ m} \\500 \text{ nm} &= 500 \cdot 10^{-9} \text{ m} = 5 \cdot 10^{-7} \text{ m} \\E &= \frac{h \cdot c}{\lambda} = \frac{6,63 \cdot 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s} \cdot 3 \cdot 10^8 \frac{\text{m}}{\text{s}}}{5 \cdot 10^{-7} \text{ m}} = \frac{6,63 \cdot 3 \cdot 10^{-34} \cdot 10^8 \text{ J} \cdot \text{s} \cdot \frac{\text{m}}{\text{s}}}{5 \cdot 10^{-7} \text{ m}} = 3,987 \cdot 10^{-19} \text{ J}\end{aligned}$$

Ile elektronowoltów wysyła w ciągu sekundy mały wskaźnik laserowy o mocy 0,3 J emitujący światło o długości fali 650 nm?

Energia jednego fotonu emitowana przez wskaźnik

$$E = \frac{h \cdot c}{\lambda} = 3,06 \cdot 10^{-19} \text{ J}$$

Ilość fotonów obliczymy dzieląc energię emitowaną wskaźnik przez energię fotonu

$$n = \frac{0,3 \text{ J}}{3,06 \cdot 10^{-19} \text{ J}} \approx 1 \cdot 10^{18}$$

To naprawdę ogromna liczba fotonów: miliard miliardów fotonów

EMISJA FOTONU

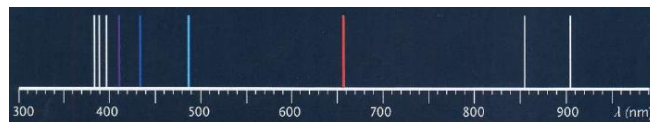
W poprzedniej części omówiony został wzór wymyślony przez Balmera, opisujący długości fal dla poszczególnych prążków. Uczony nie znał natury zjawiska i nie wiedział, dlaczego tak się dzieje, ale wzór bardzo dobrze pasował do otrzymywanych wyników. Dopiero Einstein potrafił matematycznie opisać i wytłumaczyć powiązanie stanów energetycznych z liniami widmowymi.

Z podstawowego wzoru Einsteina i zasady zachowania energii wynika, że **foton musi mieć dokładnie tyle samo energii ile traci elektron przy przeskoku na niższą orbitę:**

$$E = h \cdot f$$

lub dla konkretnych orbit (poziomów energetycznych n i k):

$$E_n - E_k = h \cdot f = h \cdot \frac{c}{\lambda}$$



Rysunek przedstawia Widmo atomu wodoru widziane w świetle widzialnym, podczerwieni i nadfiolecie

Podsumowanie

- Gdy elektron przechodzi z poziomu energetycznego n na poziom k , to emituje foton o energii równej różnicy energii między tymi poziomami.
- Częstotliwość emitowanej fali elektromagnetycznej można obliczyć ze wzoru: $E_n - E_k = h \cdot f$

- Ten sam wzór obowiązuje dla fotonu zaabsorbowanego (pochłoniętego) przez atom.

ZADANIA

Jaką długość fali emituje atom wodoru, gdy elektron przejdzie z poziomu trzeciego na drugi?

Energie na tych poziomach są równe:

$$E_2 = 5,4 \cdot 10^{-19} \text{ J} \text{ i } E_3 = 2,4 \cdot 10^{-19} \text{ J}$$

Oblicz długość dla przejścia z poziomu trzeciego na drugi w atomie wodoru, wykorzystując wzór Balmera

$$\frac{1}{\lambda} = R \cdot Z^2 \left(\frac{1}{n_1^2} - \frac{1}{n_2^2} \right)$$

$$R = 1,0974 \cdot 10^7 \frac{1}{\text{m}}, Z=1, n_1=2, n_2=3$$

Po obliczeniu: $\lambda = 656 \text{ nm}$.

FIZYKA KWANTOWA – wykład

<http://www.fizyka-kompedium.pl/elementymechanikikwantowej.php>

KWANTOWY MOMENT PĘDU

http://phet.colorado.edu/sims/stern-gerlach/stern-gerlach_pl.html

FALOWE WŁASNOŚCI MATERII

<http://phet.colorado.edu/en/simulation/legacy/davisson-germer>

KURPUSKULARNA NATURA ŚWIATŁA I MATERII

http://e-doswiadczenia.mif.pg.gda.pl/e_doswiadczenia-pl

ZJAWISKO FOTOELEKTRYCZNE

https://pl.wikipedia.org/wiki/Efekt_fotoelektryczny

https://pl.wikipedia.org/wiki/Max_Planck

<https://pl.wikipedia.org/wiki/Kwant>

Jeśli metalową płytkę oświetlimy światłem nadfioletowym, to elektryzuje się dodatnio. Zjawisko to znane było już w 1887 roku, ale nikt nie potrafił wyjaśnić jego natury. Nadfiolet jest falą elektromagnetyczną i jako taki nie przenosi ładunku elektrycznego. Płytkę zaś jest elektrycznie obojętna choć zawiera ogromne ilości elektronów i dodatnio naładowanych jąder.

Pewna ilość elektronów nie jest związana z żadnym konkretnym jądrem i krąży dość swobodnie po metalicznej płytce – **elektrony swobodne**. Jeśli dostarczymy elektronom swobodnym określonej energii, to będą mogły uciec z płytki, przez co naelektryzuje się dodatnio.

Okazało się jednak, że elektrony nie zachowują się tak, jak myśleli uczeni: im większa energia, tym więcej elektronów i tym szybciej będą uciekać. Okazało się, że elektrony zachowywały się dziwnie.

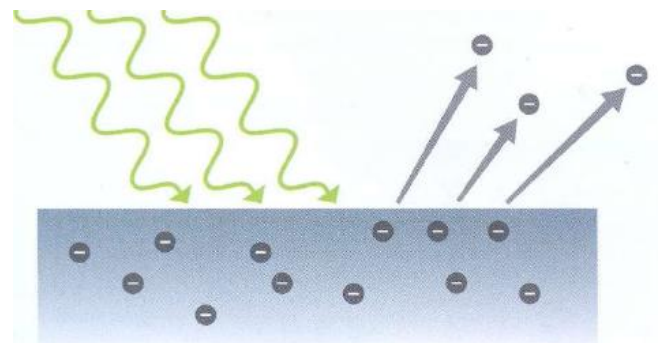
Po dalszych badaniach okazało się, że **elektrony nie uciekają poniżej pewnej minimalnej wartości energii**, oraz że **prędkość elektronów zupełnie nie zależy od dostarczanej energii (nadfiolet), ale tylko od częstotliwości promieniowania**.

Nie można było wytłumaczyć zjawiska, gdy zakładało się tylko falową naturę światła. Do rozwiązania problemu przyczynił się pomysł z 1900 roku niemieckiego fizyka Maxa Plancka i geniusz Einsteina. **Planck** wprowadził pojęcie **kwantu** i stwierdzenie, że **promieniowanie elektromagnetyczne przenosi energię porcjami**.

Opisuje to wzór:

$$E = h \cdot f$$

Korzystając z pomysłu Plancka Einstein w prosty sposób wyjaśnił w 1905 roku zjawisko fotoelektryczne. Przyjął po prostu, że **światło to strumień fotonów, których energie mogą pochłaniać elektrony**. Swobodny elektron pochłania jeden foton energii, po czym „wyskakuje” z metalu. Im większe natężenie światła (liczba fotonów), tym więcej fotonów jest wybijanych (jeden foton wybija jeden elektron). Jeśli energia fotonu jest zbyt mała (mniejsza niż tzw. **praca wyjścia**), to foton nie wybije elektronu. A skoro częstotliwość fali elektromagnetycznej związana jest tylko z energią, więc proste wytłumaczenie prędkości wybijanych elektronów (ich energia kinetyczna). Za to wytłumaczenie zjawiska Einstein otrzymał Nagrodę Nobla.



ZJAWISKO FOTOELEKTRYCZNE

<http://open.agh.edu.pl/course/view.php?id=100>
animacja 22

<http://phet.colorado.edu/en/simulation/photoelectric>

http://fizyka.zamkor.pl/aplety/programy_fizyka_gimnazjum/EfektFotoelektr/EfektFotoelektr.htm

<http://cmf.p.lodz.pl/efizyka/mod/resource/view.php?id=138>

Podsumowanie

- Zjawisko fotoelektryczne polega na wybijaniu elektronów z metalu przez promieniowanie elektromagnetyczne.
- Częstotliwość graniczna to minimalna częstotliwość fali elektromagnetycznej niezbędna do wybicia elektronu z metalu.
- Dla danego metalu maksymalna energia kinetyczna wybitych elektronów zależy tylko od częstotliwości padającego promieniowania.
- Fotoelement to część obwodu elektrycznego zmieniająca swoje właściwości pod wpływem padającego na nią światła.