

Fizyczne podstawy współczesnej informatyki

dr inż. Eunika Zielony

Kontakt: eunika.zielony@pwr.edu.pl

p. 231a, bud. A-1

WYKŁADY: <https://zielony.wppt.pwr.edu.pl/>

TERMINY WYKŁADÓW

	LUTY	MARZEC					KWIECIEŃ				MAJ				CZERWIEC				LIPIEC		
PN	24	3	10	17	24	31	7	14	21	28	5	12	19	26	2	9 Cz/P	16	23	30	7	14
WT	25	4	11	18	25	1	8	15	22	29	6	13	20	27	3	10	17	24 Pt/P	1	8	15
ŚR	26	5	12	19	26	2	9	16	23	30	7	14	21	28	4	11	18 Pt/N	25 Cz/N	2	9	
CZ	27	6	13	20	27	3	10	17	24	1	8	15	22 Cz/P	29	5	12	19	26	3	10	
PT	28	7	14	21	28	4	11	18	25	2	9	16	23 Pt/P	30	6	13	20	27	4	11	
SO	1	8	15	22	29	5	12	19	26	3	10	17	24	31	7	14	21	28	5	12	
N	2	9	16	23	30	6	13	20	27	4	11	18	25	1	8	15	22	29	6	13	
P - PARZYSTY N - NIEPARZYSTY	N	P	N	P	N	P	N	P	N	P	N	P	N	P	N	P	N	P	N	P	N

Dnia **07-go marca** zajęcia rozpoczynają się o **08:15** i trwają tylko 1 godz. lekcyjną!

25. 04. 2025 – test zaliczeniowy !!!
09. 05. 2025 – poprawa testu

Fizyczne podstawy współczesnej informatyki

1. Liczba godzin w semestrze: **15 godz.**
2. Liczba punktów ECTS: **1**

TREŚCI PROGRAMOWE		
Forma zajęć - wykład		Liczba godzin
Wy1	Wprowadzenie – omówienie tematyki wykładu. Zapoznanie się z zasadami zaliczenia kursu.	1
Wy2 / Wy3	Materiały półprzewodnikowe. Półprzewodniki. Prąd elektryczny w półprzewodnikach. Złącze p-n i jego właściwości. Technologie półprzewodnikowe. Budowa i zasada działania wybranych przyrządów półprzewodnikowych i ich zastosowanie (dioda półprzewodnikowa, fotodioda, tranzystor polowy).	4
Wy4	Elementy elektryczności. Pole elektryczne - wielkości charakteryzujące pole. Prąd elektryczny. Przewodniki w polu elektrycznym. Pojemność elektryczna. Techniki pojemnościowe i ich zastosowania w ekranach dotykowych. Pamięć elektrostatyczna. Struktura komórki pamięci DRAM.	2
Wy5	Elementy magnetyzmu. Pole magnetyczne - wielkości charakteryzujące pole. Pole magnetyczne wywołane przepływem prądu. Indukcja elektromagnetyczna. Magnetyzm materii. Materiały diamagnetyczne, paramagnetyczne i ferromagnetyczne. Zastosowania miękkich i twardych ferromagnetyków. Zapis, przechowanie i odczyt informacji w nośnikach magnetycznych / dyskach twardych.	2
Wy6	Fale elektromagnetyczne. Skala fal elektromagnetycznych. Rozchodzenie się fali. Zjawisko całkowitego wewnętrznego odbicia i jego zastosowanie. Zasady radio łączności. Modulacja AM i FM. Radiowa transmisja danych. Zasada działania bezprzewodowych sieci komputerowych opartych na komunikacji radiowej. Przykłady zastosowań fal radiowych: komunikacja satelitarna, zdalne sterowanie np. pojazdami itp.	2
Wy7/ Wy8	Test zaliczeniowy. Poprawa testu zaliczeniowego	4
Suma godzin		15

Fizyczne podstawy współczesnej informatyki

LITERATURA OBOWIĄZKOWA:

1. D. Halliday, R. Resnick, J. Walker, „*Podstawy fizyki*”, tom 2 - 4, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa, 2012.
2. A. Rogalski „*Podstawy fizyki dla elektroników*”, WNT, Warszawa, 2002.
3. P. Hewitt „*Fizyka wokół nas*”, PWN, Warszawa, 2018.
4. **Materiały do wykładu, dostępne na stronie: <https://zielony.wppt.pwr.edu.pl>**
5. K. Wojtuszkiewicz, „*Urządzenia techniki komputerowej*”; cz. 2, PWN SA, Warszawa, 2007.
6. M. Soiński, „*Materiały magnetyczne w technice*”, Centralny Ośrodek Szkolenia i Wydawnictw, SEP, Warszawa, 2001.

LITERATURA UZUPEŁNIAJĄCA:

E-materiały związane z tematyką wykładu, umieszczone w internecie.

Fizyczne podstawy współczesnej informatyki

WYMAGANIA WSTĘPNE W ZAKRESIE WIEDZY, UMIEJĘTNOŚCI I INNYCH KOMPETENCJI

1. Ma podstawową wiedzę w zakresie fizyki klasycznej oraz współczesnej, a także elementów mechaniki kwantowej.
2. Posiada podstawową wiedzę z zakresu budowy, działania i architektury komputera, urządzeń mobilnych, czy systemów teleinformatycznych.
3. Zna podstawowe metody i narzędzia gromadzenia i przetwarzania informacji (danych).

CELE PRZEDMIOTU

- C1 Poszerzenie wiedzy w zakresie wybranych zagadnień z fizyki klasycznej, uwzględniającej jej aspekty aplikacyjne, z działów elektromagnetyzmu oraz fal elektromagnetycznych.
- C2 Nabycie podstawowej wiedzy, uwzględniającej jej aspekty aplikacyjne z zakresu fizyki półprzewodników i współczesnych technologii półprzewodnikowych.
- C3 Poszerzenie wiedzy z zakresu fizycznych podstaw działania wybranych przyrządów a także systemów informatycznych, służących do bezprzewodowej transmisji danych oraz ich rejestracji, gromadzenia i przetwarzania.
- C4 WYROBIENIE UMIEJĘTNOŚCI ANALIZY ZJAWISK FIZYCZNYCH, ZACHODZĄCYCH WE WSPÓŁCZESNYCH URZĄDZENIACH I SYSTEMACH INFORMATYCZNYCH.**

Zaczynamy!



WYKŁAD 1

**Elementy / podstawy mechaniki kwantowej –
wstęp do fizyki półprzewodników i przyrządów
półprzewodnikowych**

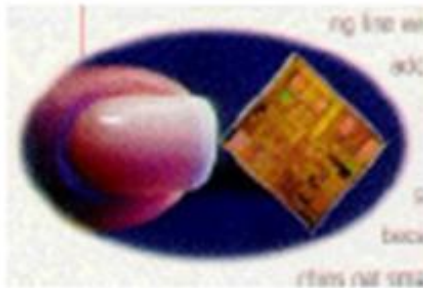
Rozwój technologii obwodów scalonych



Pierwsze obwody scalone Texas Instruments
kilka tranzystorów



Jack Kilby
Nagroda Nobla
z Fizyki w 2000 r.



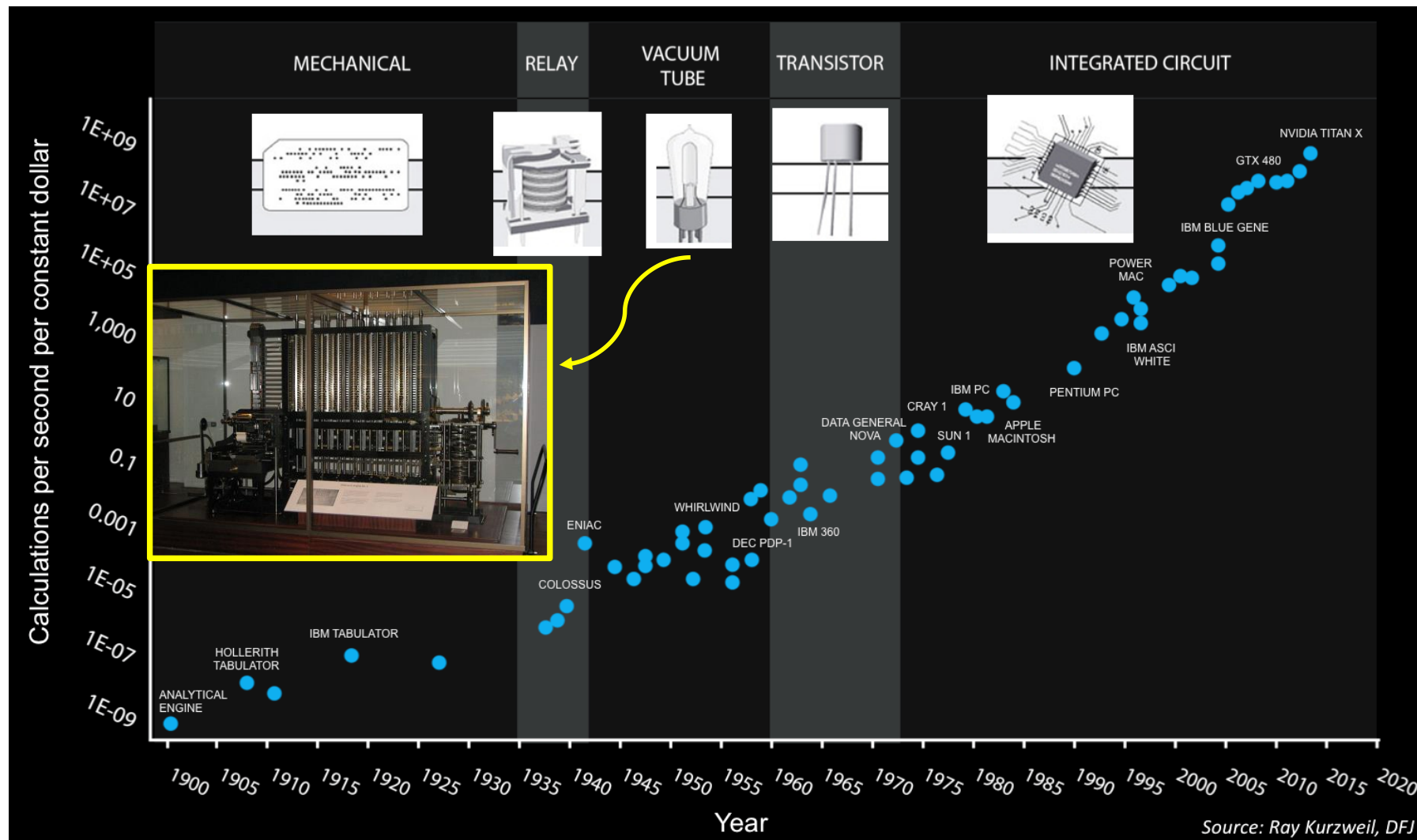
Procesor Pentium
Kilka milionów tranzystorów

Wielkość chipu prawie
bez zmian

➔ **MINIATURYZACJA!!!**

Miniaturyzacja osiągalna dzięki **Nanotechnologii !**

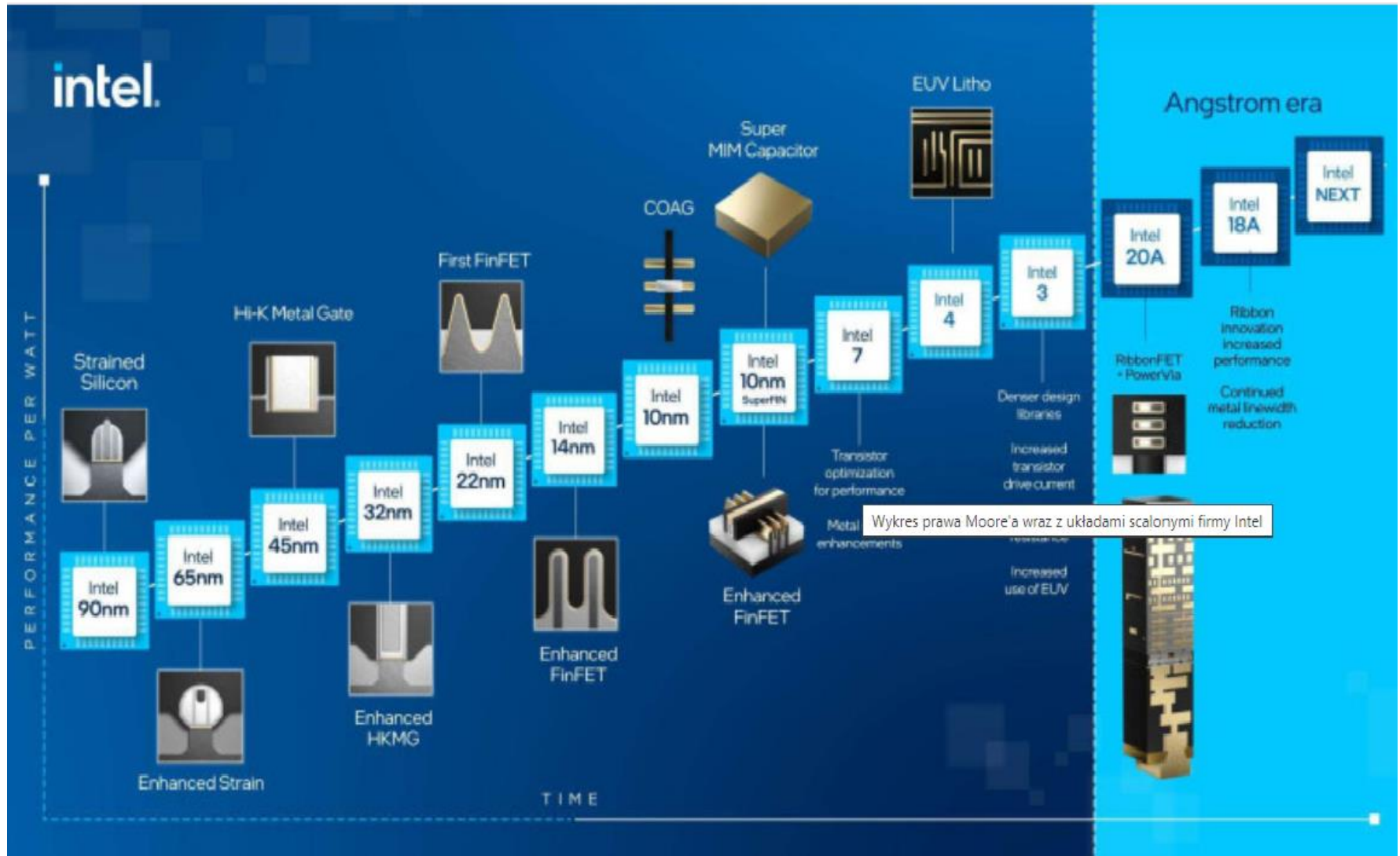
Prawo Moore'a – prawo empiryczne, wynikające z obserwacji, że optymalna liczba tranzystorów w układzie scalonym zwiększa się w kolejnych latach zgodnie z trendem wykładniczym



Miniaturowe układy półprzewodnikowe są konstruowane w celu zwiększenia szybkości obliczeń oraz pojemności pamięci komputerowych.

Prawo Moore'a – schyłek lat 90-tych i dalej

Aspiring to
1 Trillion
transistors in 2030



Trendy: prawo Moore'a



IBM PC (1981); 4,77 MHz



Osborne 1 (1981); 10.7 kg



SEKTOR
3.0

Psion organizer
(1984)



ODYSSEY

Magnavox Odyssey game
console (1974)



Apple Newton
(1993)

Trendy: prawo Moore'a



Macbook Air (2008)



Sony PlayStation 3 (2006)



Apple iPad (2010)

Miniaturyzacja - konsekwencje

Według dokumentów *International Technology Roadmap for Semiconductors*, uwzględniających potencjalne problemy z rozwojem i miniaturyzacją, należy oczekiwać kolejnych procesorów otrzymywanych w technologii: 32nm – w r. 2009, 22nm – 2012, 16nm – 2018, 11nm – 2023, a dalszy rozwój w ramach elektroniki stoi pod znakiem zapytania...

Biorąc pod uwagę fizykę klasyczną, rozmiary te nie mogą zmniejszać się bez końca – granicę stanowi tutaj **rozmiar atomów**, a kolejnym ograniczeniem jest **prędkość światła**, wyznaczająca górną granicę dla prędkości przesyłania informacji.

Konsekwencją zmniejszenia rozmiarów układu fizycznego jest zmiana jego właściwości fizycznych, prowadząca do pojawienia się **efektów kwantowych**, których nie da się wytłumaczyć za pomocą podstawowych praw fizyki klasycznej, dlatego też do opisu zachodzących zjawisk konieczne jest już stosowanie metod **mechaniki kwantowej**.

Kwantowa natura światła

Dualizm falowo-cząstkowy fali elektromagnetycznej (światła).

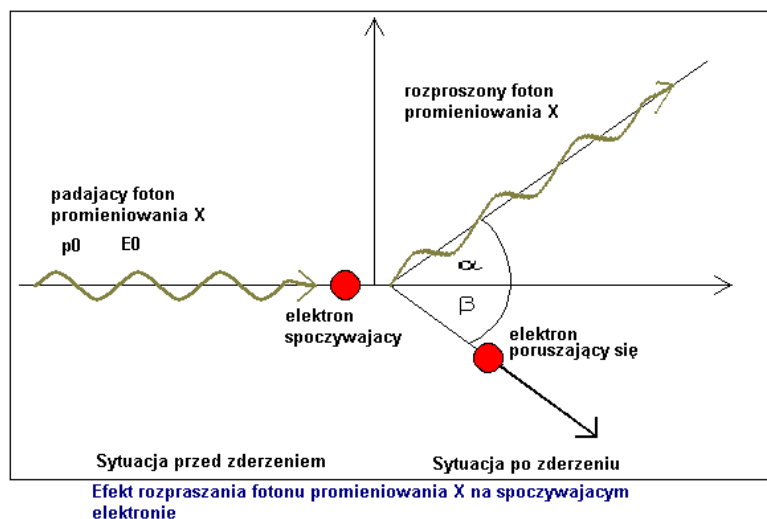
■ Światło jako fala elektromagnetyczna

- W zjawiskach takich jak dyfrakcja czy interferencja fala elektromagnetyczna wykazuje typowe własności falowe.

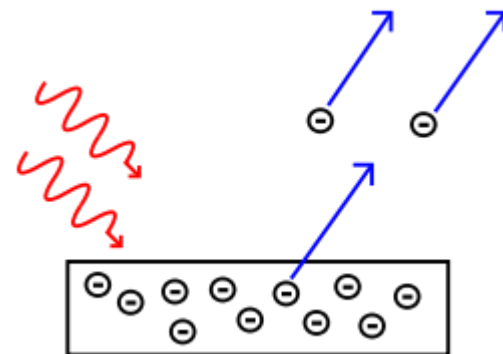
■ Światło jako cząstka (fotony)

- W zjawiskach takich jak efekt Comptona czy efekt fotoelektryczny zewnętrzny - fala elektromagnetyczna wykazuje naturę korpuskularną, tzn. jest strumieniem cząstek zwanych **fotonami**.

efekt Comptona



efekt fotoelektryczny zewnętrzny



Fale materii

■ Hipoteza de Broglie'a.

W 1924 roku Louis de Broglie założył, że dualizm cząstkowo - falowy jest własnością charakterystyczną nie tylko dla fali elektromagnetycznej, ale również dla cząstek **o masie spoczynkowej różnej od zera**. Oznacza to, że cząstki takie jak np. **elektrony** powinny również wykazywać własności falowe.

Założył on że każdej cząstce towarzyszy pewna fala, której długość (λ) jest odwrotnie proporcjonalna do jej pędu (p). Fale te nazwał on **falami materii**.

Każdej poruszającej się cząstce materialnej można przypisać falę materii, której długość określona jest wzorem:

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

h – stała Plancka

Mechanika kwantowa

Opierając się na pojęciu fal materii de Broglie'a, fizyk **Erwin Schrödinger opracował równanie, które opisuje zachowanie się fal materii** (np. elektronów) pod wpływem sił zewnętrznych.

Fale materii w równaniu Schrödingera reprezentuje pewna wielkość matematyczna (**funkcja falowa**), która nie może być zmierzona bezpośrednio.

Równanie Schrödingera daje nam czysto matematyczny, a nie wizualny **opis atomu**.

Funkcja falowa

Zgodnie z hipotezą de Broglie'a, cząstki takie jak elektron czy proton, mają własności falowe.

Własności falowe cząstki (elektronu) w mechanice kwantowej opisuje tzw. **funkcja falowa** $\Psi(x,t)$, która:

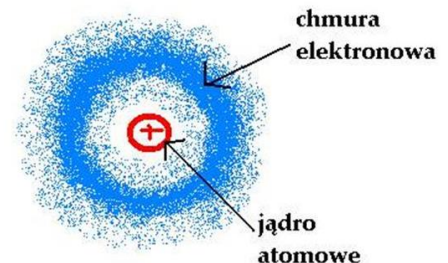
- zawiera w sobie wszystkie informacje o obiekcie (np. cząstce)
- jest funkcją zespoloną współrzędnych przestrzennych (x) oraz czasu (t)
- musi być funkcją ciągłą, a także musi mieć ciągłą pochodną

Sama funkcja falowa $\Psi(x,t)$ nie ma sensu fizycznego, dopiero kwadrat modułu funkcji falowej $|\Psi|^2$ ma sens fizyczny:

$$p = |\Psi|^2 \Delta V \Rightarrow \int_V |\Psi|^2 dV = 1$$

jest funkcją **gęstości prawdopodobieństwa** p znalezienia cząstki (np. elektronu) w chwili t w pewnym punkcie przestrzeni o objętości V .

Chemiczny „orbital” to nic innego jak trójwymiarowy obraz funkcji $|\Psi|^2$



Równanie Schrödingera

Funkcję falową, Ψ dla danej cząstki, lub bardziej złożonego układu fizycznego, otrzymujemy rozwiązując równanie różniczkowe nazywane **równaniem Schrödingera**.

Jeżeli funkcja falowa Ψ oraz **energia potencjalna** cząstki U nie zależą od czasu, to równanie Schrödingera jest równaniem niezależnym od czasu i nazywa się **stacjonarnym równaniem Schrödingera**.

$$-\frac{\hbar^2}{2m} \frac{d^2 \Psi(x)}{dx^2} + U(x) \Psi(x) = E \Psi(x)$$

gdzie: $\hbar$ - stała Diraca

$$\hbar = \frac{h}{2\pi}$$

Energia kinetyczna

Energia potencjalna

$$\left(-\frac{\hbar^2}{2m} \frac{d^2}{dx^2} + U(x) \right) \Psi(x) = E \Psi(x)$$

Operator Hamiltona (hamiltonian)

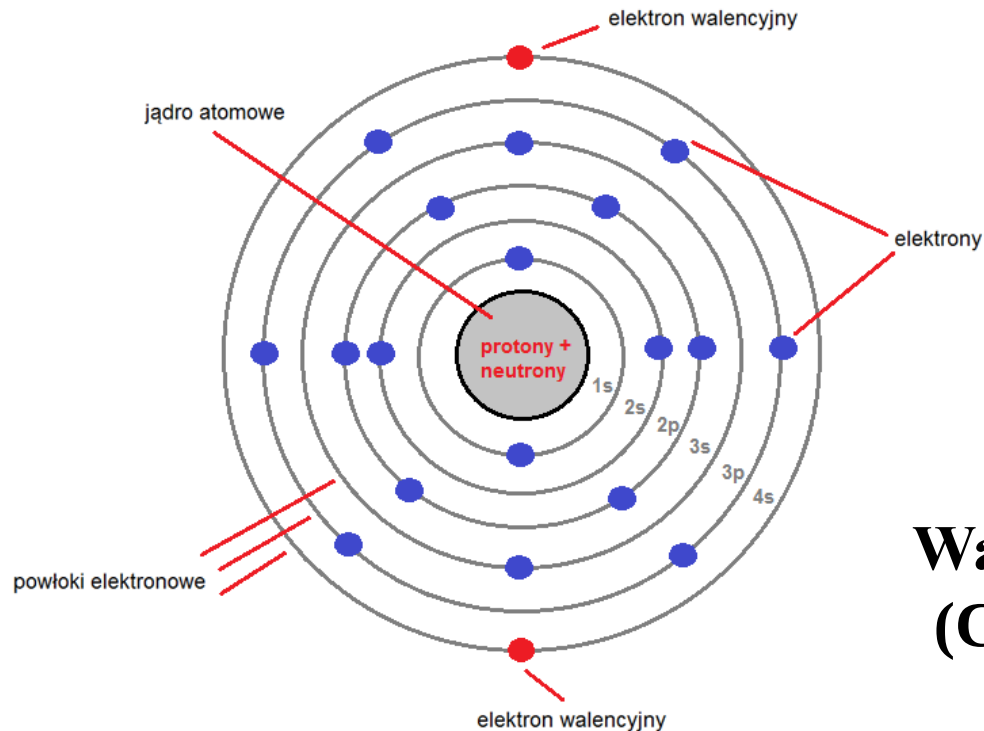
Energia cząstki (elektronu)

Model orbitalny atomu

W modelu orbitalnym, atom składa się z:

- jądra atomowego (o ładunku „+”)
- powłok elektronowych (orbitali), po których „krążą” elektrony

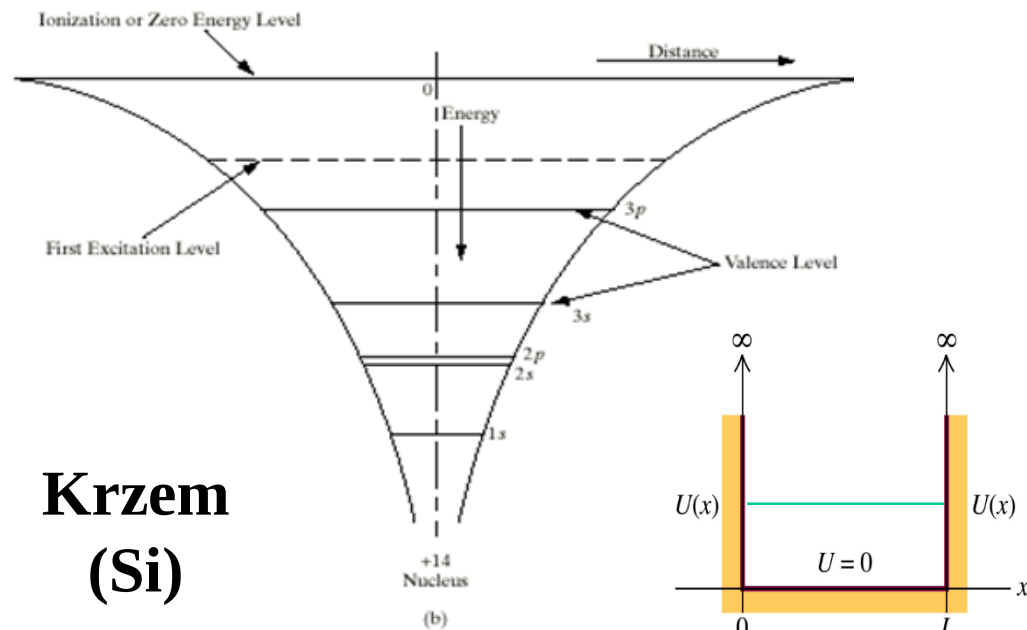
Ca: Liczba atomowa: 20
konfiguracja elektronowa:
 $1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^6 4s^2$



Atom jako studnia potencjału

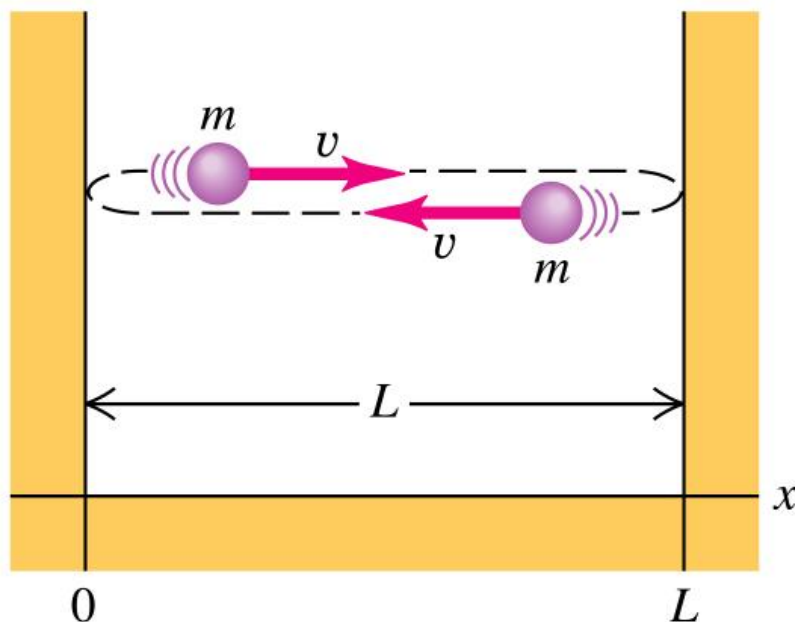
Każdy izolowany atom scharakteryzować można za pomocą „jamy potencjału”, w której znajduje się szereg dyskretnych poziomów energetycznych (1s, 2s, 2p...) obsadzonych przez elektrony.

Si: Liczba atomowa: 14
konfiguracja elektronowa:
 $1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^2$



Cząstka (elektron) w studni potencjału

1. Przypadek klasyczny



Znajdująca się w głębokiej studni cząstka może posiadać **dowolną** energię kinetyczną i potencjalną.

W szczególnym przypadku gdy znajduje się w spoczynku na dnie studni posiada energię całkowitą równą **zeru**.

Cząstka (elektron) w studni potencjału – c.d.

W nieskończonej studni potencjału energia cząstki może przyjmować tylko pewne ściśle określone, różne od zera wartości:

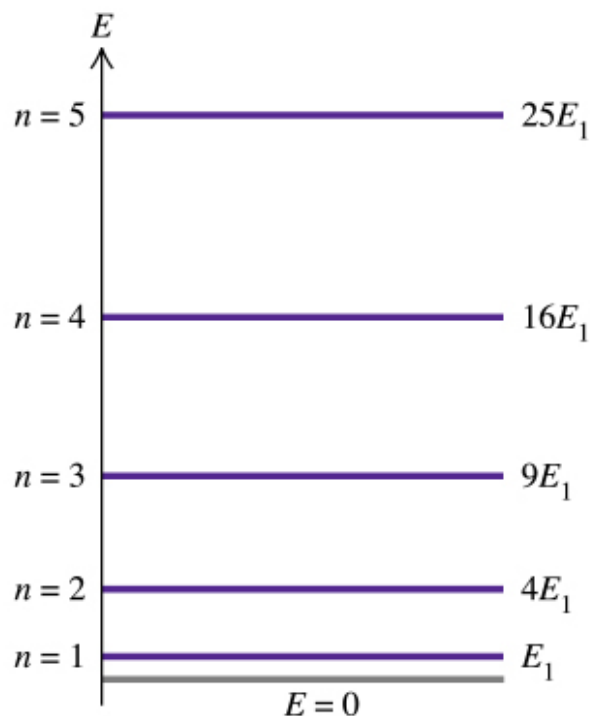
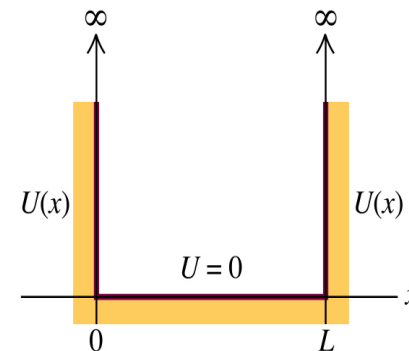
$$E = \frac{\pi^2 \hbar^2}{2mL^2} n^2$$

gdzie

n – główna liczba kwantowa

$n = 1, 2, 3, \dots$

L – szerokość studni potencjału



Energia cząstki znajdującej się w studni potencjału jest **skwantowana** – tj. nie zmienia się w sposób ciągły, lecz skokowo.

Cząstka ma energię różną od zera.
Najmniejsza energia:

$$E = \frac{\pi^2 \hbar^2}{2mL^2} 1^2$$

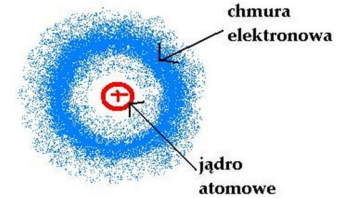
Cząstka (elektron) w studni potencjału - podsumowanie

- Energia dowolnego elektronu jest skwantowana (ściśle określona). Elektron znajduje się na jednym z dozwolonych poziomów energetycznych i jego energia w spoczynku jest różna od zera
- Zmiana energii elektronu może odbywać się wyłącznie porcjami - *kwantami*
- Odległość pomiędzy najbliższymi poziomami energetycznymi jest niemierzalnie mała

Eksperyment a teoria - zasada nieoznaczoności Heisenberga

Dla pędu i położenia:

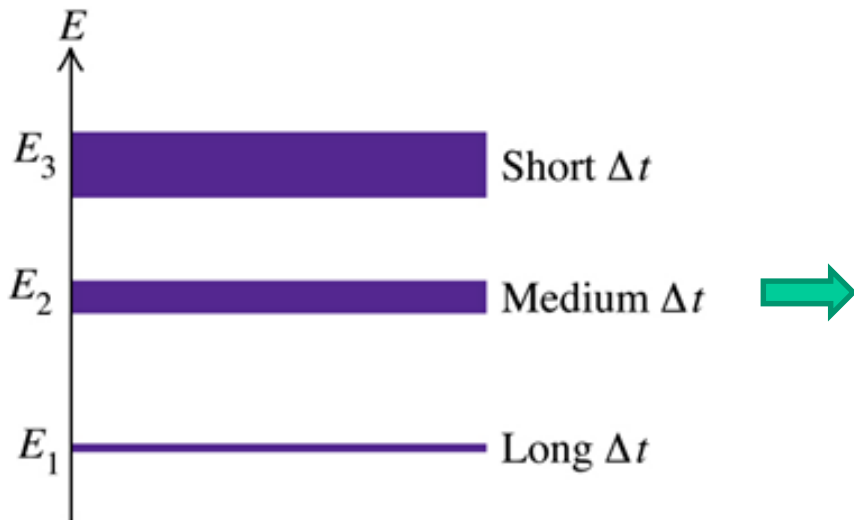
$$\Delta x \Delta p_x \geq \hbar$$



Wniosek: Gdybyśmy wielokrotnie mierzyli położenie elektronu znajdującego się na określonym poziomie energetycznym i zaznaczali każdorazowy wynik odpowiednią kropką, to otrzymalibyśmy obraz przypominający chmurę elektronową. **Każdy pojedynczy elektron może być w różnych momentach wykryty w różnych miejscach chmury.**

Dla równoczesnego pomiaru energii i czasu:

$$\Delta E \Delta \tau \geq \hbar$$



Im dłużej cząstka znajduje się na danym poziomie energetycznym (zachowuje daną energię) – tym dokładniej można tę energię wyznaczyć.

Podsumowanie wykładu

Fizyka kwantowa pokazała, że:

- nie ma możliwości poznania wszystkich parametrów układu z dowolną dokładnością (**zasada nieoznaczoności Heisenberga**);
- parametry układu możemy wyznaczyć jedynie z ściśle określonym prawdopodobieństwem.

Fizyka kwantowa jest probabilistyczna. Mikro(nano)świat zachowuje się w sposób losowy, z pewnym rozkładem prawdopodobieństwa.