

## SPIS TREŚCI

### **1. Ruch stały prostoliniowy.**

1.1 Prędkość

### **2. Ruch zmienny.**

2.1 Przyspieszenie

2.2 Przemieszczenie

2.3 Prędkość końcowa

### **3. Ruch po okręgu.**

#### **3.1 Ruch z prędkością stałą.**

3.1.1 Prędkość kąтова.

3.1.2 Warunek ruchu po okręgu - siła dośrodkowa.

#### **3.2 Ruch z prędkością zmienną.**

3.2.1 Przyspieszenie kątowe.

3.2.2 Przyspieszenie liniowe.

3.2.3 Prędkość liniowa chwilowa.

3.2.4 Przemieszczenie.

3.2.5 Prędkość kąтова końcowa.

3.2.6 Kąt zakreślony.

3.2.7 Częstotliwość.

3.2.8 Moment siły.

### **4. Zasady dynamiki Newtona.**

4.1 Pierwsza zasada dynamiki.

4.2 Druga zasada dynamiki.

4.3 Trzecia zasada dynamiki.

4.4 Druga zasada dynamiki dla ruchu obrotowego.

### **5. Zasada względności Galileusza.**

5.1 Zasada względności Galileusza.

### **6. Siła bezwładności.**

6.1 Siła bezwładności.

### **7. Rzut poziomy.**

7.1 Rzut poziomy.

7.2 Prędkość w rzucie poziomym.

7.3 Wysokość i droga w rzucie poziomym.

### **8. Pęd, moment pędu, zasada zachowania pędu i zasada zachowania momentu pędu.**

8.1 Pęd.

8.2 Zasada zachowania pędu.

8.3 Moment pędu.

8.4 Zasada zachowania momentu pędu.

8.5 Moment pędu bryły sztywnej.

### **9. Energia i zasada zachowania energii.**

9.1 Energia kinetyczna.

9.2 Energia potencjalna ciężkości.

9.3 Zasada zachowania energii.

9.4 Energia kinetyczna w ruchu obrotowym.

### **10. Praca i moc.**

10.1 Praca.

10.2 Moc.

## **11. Siła tarcia.**

11.1 Siła tarcia.

## **12. Moment bezwładności i twierdzenie Steinera.**

12.1 Moment bezwładności.

12.2 Momenty bezwładności niektórych brył.

12.3 Twierdzenie Steinera.

## **13. Zderzenia centralne.**

13.1 Zderzenia centralne niesprężyste.

13.2 Zderzenia centralne sprężyste.

## **14. Gęstość i ciężar właściwy.**

14.1 Gęstość.

14.2 Ciężar właściwy.

## **15. Pole grawitacyjne.**

15.1 Pole grawitacyjne.

15.2 Prawo powszechnej grawitacji (prawo jedności przyrody)

15.3 Stała grawitacji.

15.4 Przyspieszenie grawitacyjne.

15.5 Natężenie pola grawitacyjnego

15.6 Praca w polu grawitacyjnym.

15.7 Energia potencjalna pola grawitacyjnego.

15.8 Potencjał pola grawitacyjnego.

15.9 Linie pola grawitacyjnego.

## **16. Prędkości kosmiczne.**

16.1 Pierwsza prędkość kosmiczna.

16.2 Druga prędkość kosmiczna

## **17. Elektrostatyka.**

17.1 Zasada zachowania ładunku.

17.2 Zasada kwantyzacji ładunku.

17.3 Prawo Coulomba.

17.4 Ciało naelektryzowane.

### **17.5 Stała elektrostatyczna i przenikalność elektryczna próżni.**

17.5.1 Stała elektrostatyczna.

17.5.2 Przenikalność elektryczna próżni.

17.6 Natężenie pola elektrostatycznego.

### **17.7 Linie pola elektrostatycznego.**

17.7.1 Linie pola elektrostatycznego.

17.7.2 Własności linii pola elektrostatycznego.

17.8 Strumień pola elektromagnetycznego.

17.9 Prawo Gaussa.

17.10 Gęstość powierzchniowa i liniowa ładunku.

17.11 Natężenie pola elektrostatycznego pomiędzy dwoma płytami.

17.12 Praca w centralnym polu elektrycznym.

17.13 Energia pola elektrycznego.

17.14 Potencjał pola elektrycznego.

17.15 Różnica potencjałów (napięcie).

17.16 Praca w polu elektrycznym jednorodnym.

### **17.17 Ruch ładunków w polu elektrycznym.**

17.17.1 Ruch ładunku w polu elektrycznym - ładunek porusza się równoległe do linii pola.

17.17.2 Ruch ładunku w polu elektrycznym -ładunek

wpada pod kątem prostym do linii pola.

17.18 Wektor indukcji elektrostatycznej.

### **17.19 Natężenie pola elektrostatycznego kuli.**

17.19.1 Natężenie pola elektrostatycznego wewnątrz kuli.

17.19.2 Natężenie pola elektrostatycznego na zewnątrz kuli.

## **18. Atom wodoru według Bohra.**

18.1 Atom wodoru według Bohra.

18.2 Pierwszy postulat Bohra.

18.3 Warunek kwantyzacji prędkości.

18.4 Warunek kwantyzacji promienia.

18.5 Warunek kwantyzacji energii.

18.6 Następny postulat Bohra.

18.7 Drugi postulat Bohra.

18.8 Moment magnetyczny atomu i elektronu.

18.9 Spinowy moment magnetyczny.

## **19. Kondensator.**

19.1 Pojemność elektryczna.

19.2 Kondensator.

19.3 Pojemność kondensatora.

19.3.1 Pojemność kondensatora płaskiego.

19.3.2 Pojemność kondensatora kulistego.

19.4 Łączenie kondensatorów.

19.4.1 Łączenie szeregowo kondensatorów.

19.4.2 Łączenie równoległe kondensatorów.

19.5 Energia kondensatorów.

## **20. Polaryzacja elektryczna.**

20.1 Polaryzacja elektryczna.

20.2 Wektor polaryzacji elektrycznej.

## **21. Prąd elektryczny stały.**

21.1 Prąd elektryczny.

21.2 Nośniki prądu elektrycznego.

21.2 Natężenie prądu elektrycznego stałego.

21.3 Kierunek przepływu prądu.

21.4 Elementy obwodów elektrycznych.

21.5 Opór elektryczny.

21.5.1 Opór elektryczny.

21.5.2 Łączenie oporów elektrycznych.

21.6 Prawo Ohma.

21.6.1 Prawo Ohma.

21.6.2 Prawo Ohma dla obwodu zamkniętego

21.7 Prawa Kirchoffa.

21.7.1 Pierwsze prawo Kirchoffa.

21.7.2 Drugie prawo Kirchoffa.

21.7.2 Drugie prawo Kirchoffa dla obwodu zamkniętego.

21.8 Mostek elektryczny.

21.9 Praca prądu elektrycznego stałego.

21.10 Moc prądu elektrycznego stałego.

21.12 Sprawność urządzeń elektrycznych.

21.11 Prawo Joula-Lenza.

- 21.13 Siła elektromotoryczna ogniwa.
- 21.14 Prawa elektrolizy Faradaya.
  - 21.14.1 Pierwsze prawo elektrolizy Faradaya.
  - 21.14.2 Drugie prawo elektrolizy Faradaya.
  - 21.14.3 Gramorównoważnik substancji.
  - 21.14.4 Stała Faradaya.

## **22. Pole magnetyczne.**

- 22.1 Pole magnetyczne.
- 22.2 Siły magnetyczne.
  - 22.2.1 Siła elektrodynamiczna.
  - 22.2.2 Reguła Fleminga.
  - 22.2.3 Siła Lorentza.
- 22.3 Indukcja pola magnetycznego.
- 22.4 Linie pola magnetycznego.
  - 22.4.1 Linie pola magnetycznego.
  - 22.4.2 Własności linii pola magnetycznego.
- 22.5 Strumień pola magnetycznego.
- 22.6 Prawo Gaussa dla pola magnetycznego.
- 22.7 Prawo Ampera.
  - 22.7.1 Prawo Ampera.
  - 22.7.2 Indukcje pola magnetycznego wokół przewodników z prądem.
- 22.8 Prawo oddziaływania przewodników z prądem.
- 22.9 Ruch ładunków w polu magnetycznym.
  - 22.9.1 Ładunek wpada równoległe do linii pola.
  - 22.9.2 Ładunek wpada  $\perp$  do linii pola.
  - 22.9.3 Ładunek wpada pod kątem  $\alpha$  do linii pola.
- 22.10 Moment siły i moment magnetyczny ramki z prądem.
- 22.11 Właściwości magnetyczne materii.
  - 22.11.1 Diamagnetyki.
  - 22.11.2 Paramagnetyki.
  - 22.11.3 Ferromagnetyki
- 22.12 Zjawisko Hala.

## **23. Prąd zmienny.**

- 23.1 Indukcja elektromagnetyczna i prawo Faradaya dla przewodnika.**
  - 23.1.1 Indukcja elektromagnetyczna.
  - 23.1.2 Prawo Faradaya dla przewodnika.
- 23.2 Reguła Lenza.
- 23.3 Zjawisko samoindukcji.
- 23.4 Prądy Foucoultta.
- 23.5 Prąd zmienny, przemienny i generator prądu zmiennego.**
  - 23.5.1 Prąd zmienny.
  - 23.5.2 Prąd przemienny.
  - 23.5.3 Generator prądu zmiennego.
- 23.6 Wartości skuteczne prądu elektrycznego zmiennego.
- 23.7 Praca i moc prądu elektrycznego zmiennego.
- 23.8 Obwody prądu zmiennego.
  - 23.8.1 Obwód RL.
  - 23.8.2 Obwód RC.
  - 23.8.3 Obwód RLC.
- 23.9 Wzór Kelwina lub Tompsona.

- 23.10 Prąd bezwzględny.
- 23.11 Transformator.
- 23.12 Induktor.

## **24. Drgania.**

- 24.1 Ruch drgający prosty.
- 24.2 Prędkość i przyspieszenie w ruchu drgającym prostym.
  - 24.2.1 Prędkość w ruchu drgającym prostym.
  - 24.2.2 Przyspieszenie w ruchu drgającym prostym.
- 24.3 Siła w ruchu drgającym prostym.
- 24.4 Energia w ruchu drgającym prostym.
- 24.5 Okres drgań sprężyny.
- 24.6 Równanie ruchu drgającego prostego (równanie oscylatora harmonicznego).
- 24.7 Wahadło matematyczne.
- 24.8 Okres wahadła matematycznego.
- 24.9 Wahadło fizyczne.
- 24.10 Okres wahadła fizycznego.
- 24.11 Równanie wahadła fizycznego.
- 24.12 Zredukowana długość wahadła matematycznego.
- 24.13 Drgania elektromagnetyczne.
- 24.14 Okres drgań elektromagnetycznych.
- 24.15 Składanie drgań harmoniczných.
- 24.16 Okres drgań sprężyny ułożonej poziomo.
- 24.17 Drgania tłumione.
- 24.18 Równanie ruchu drgającego tłumionego.
- 24.19 Prędkość kątowna wahadła w drganiach tłumionych.
- 24.20 Logarytmiczny dekrement tłumienia.
- 24.21 Czas relaksacji.
- 24.22 Drgania elektromagnetyczne tłumione.
- 24.23 Równanie ruchu drgającego elektromagnetycznego tłumionego.
- 24.24 Drgania wymuszone.
- 24.25 Prędkość i przyspieszenie w drganiach wymuszonych.**
  - 24.25.1 Prędkość w drganiach wymuszonych.
  - 24.25.2 Przyspieszenie w drganiach wymuszonych.
- 24.26 Równanie ruchu drgającego wymuszonego.
- 24.27 Rezonans.

## **25. Fale.**

- 25.1 Przemieszczenie i wektor propagacji.
- 25.2 Długość i okres fali. Powierzchnia falowa.
  - 25.2.1 Okres fali.
  - 25.2.2 Długość fali.
  - 25.2.4 Częstotliwość fal.
  - 25.2.4 Powierzchnia falowa.
- 25.3 Prędkość rozchodzenia się fali.
- 25.4 Klasyfikacja fal.
- 25.5 Natężenie fali.
- 25.6 Fala akustyczna.
- 25.7 Poziom słyszalności.
- 25.8 Zjawisko Dopplera.
- 25.9 Ultradźwięki i syrena Sebecka.
  - 25.9.1 Ultradźwięki.

- 25.9.2 Syrena Sebecka.
- 25.10 Propagacja fal elektromagnetycznych.
- 25.11 Prawa Maxwella.**
  - 25.11.1 Pierwsze prawo Maxwella.
  - 25.11.2 Drugie prawo Maxwella.
- 25.12 Właściwości fal elektromagnetycznych.
- 25.13 Modulacja fal.
- 25.14 Zjawisko ugięcia i zasada Hugensa.
  - 25.14.1 Zjawisko ugięcia.
  - 25.14.2 Zasada Hugensa.
- 25.15 Odbicie fal.
- 25.16 Załamanie fali.
- 25.17 Interferencja fal i ogólny warunek wzmocnienia i wygaszenia fali.
  - 25.17.1 Interferencja fal.
  - 25.17.2 Ogólny warunek wzmocnienia fali.
  - 25.18.2 Ogólny warunek wygaszenia fali.
- 25.18 Fala stojąca.
- 25.19 Częstotliwość fali stojącej na strunie.
- 25.20 Rura Kundta.
- 25.21 Polaryzacja fal i prawo Mallusa.
- 25.22 Radar.

## **26. Optyka geometryczna.**

- 26.1 Fale świetlne. Częstotliwość fal świetlnych.
  - Bezwzględny współczynnik załamania.
  - 26.1.1 Fale świetlne.
  - 26.1.2 Częstotliwość fal świetlnych.
  - 26.1.3 Bezwzględny współczynnik załamania.
- 26.2 Zasada Fermata.
- 26.3 Zwierciadła.
- 26.4 Powiększenie.
- 26.5 Równanie zwierciadła.
- 26.6 Prawo Snelliusa.
- 26.7 Całkowite wewnętrzne odbicie.
- 26.8 Soczewki.
- 26.9 Równanie soczewki.
- 26.10 Zdolność skupiająca soczewek.
- 26.11 Pryzmat. Przejście światła monochromatycznego i białego przez pryzmat.**
  - 26.11.1 Przejście światła monochromatycznego przez pryzmat.
  - 26.11.2 Przejście światła białego przez pryzmat.
- 26.12 Oko jako układ optyczny.
- 26.13 Interferencja fal świetlnych - doświadczenie Younga. Warunek wzmocnienia dla światła.**
  - 26.13.1 Interferencja fal świetlnych - doświadczenie Younga.
  - 26.13.2 Warunek wzmocnienia dla światła.
- 26.14 Powiększenie lupy.

## **27. Dualizm korpuskularnofalowy.**

- 27.1 Zdolność emisyjna i zdolność absorbcyjna ciała.**
  - 27.1.1 Zdolność emisyjna ciała.
  - 27.1.2 Zdolność absorbcyjna ciała.

- 27.2 Prawo Kirchoffa.
- 27.3 Ciało doskonale czarne.
- 27.4 Energia kwarku - wzór Plancka.
- 27.5 Prawo Stefana-Boltzmana.
- 27.6 Prawo Wiena.
- 27.7 Zjawisko fotoelektryczne zewnętrzne i wzór Einsteina-Milikana.
- 27.8 Fotokomórka.
- 27.9 Własności fotonu.
- 27.10 Pęd fotonów.
- 27.11 Zjawisko Comptona.
- 27.12 Promieniowanie Rentgenowskie. Długość fali promieniowania rentgenowskiego.**
  - 27.12.1 Promieniowanie rentgenowskie.
  - 27.12.2 Długość fali promieniowania rentgenowskiego.
- 27.13 Własności promieniowania rentgenowskiego.
- 27.14 Fale De Broglie'a.
- 27.15 Zasada nieoznaczoności Heisenberga.
- 27.16 Równanie Schrodinger'a
- 27.17 Zjawisko tunelowe.

## **28. Fizyka atomowa.**

- 28.1 Liczby kwantowe.
- 28.2 Zakaz Pauliego.
- 28.3 Reguła Kleczkowskiego.
- 28.4 Reguła Hunda.
- 28.5 Widmo.**
  - 28.5.1 Widmo.
  - 28.5.2 Serie widmowe.
  - 28.5.3 Widmo promieniowania rentgenowskiego.
  - 28.5.4 Skład Słońca. widmo słoneczne. Budowa Słońca.
- 28.6 Klasyfikacja widmowa gwiazd - klasyfikacja Hertzsprunga i Russela.
- 28.7 Jasność absolutna.
- 28.8 Klasyfikacja Morgana - Keena.
- 28.9 Tablica Mendelejewa.
- 28.10 Jądro atomu.
- 28.11 Energia wiązania jądra atomowego.
- 28.12 Promieniowanie naturalne.
- 28.13 Prawo zaniku promieniotwórczości.
- 28.14 Czas połowicznego zaniku promieniotwórczego.
- 28.15 Reakcje jądrowe - samoistne rozpady promieniotwórcze. Własności promieniowania.**
  - 28.15.1 Reakcje jądrowe - samoistne rozpady promieniotwórcze.
  - 28.15.2 Własności promieniowania.
- 28.16 Izotopy promieniotwórcze.
- 28.17 Reakcje jądrowe. Wymuszone reakcje rozpadu.
- 28.18 Synteza - reakcja termojądrowa.
- 28.19 Reakcja rozszczepienia.
- 28.20 Jonizowanie gazu.
- 28.21 Detekcja promieniowania jądrowego.
- 28.22 Reaktor jądrowy.

- 28.23 Cząstki elementarne.
- 28.24 Oddziaływania w przyrodzie.
- 28.25 Wielka unifikacja oddziaływań fizycznych.
- 28.26 Bomba atomowa i wodorowa.

## **29. Termodynamika.**

- 29.1 Temperatura.
- 29.2 Ciepło.
- 29.3 Zerowa zasada termodynamiki.
- 29.4 Pierwsza zasada termodynamiki.
- 29.5 Gazy.
- 29.6 Założenia teorii kinetyczno - molekularnej.
- 29.7 Podstawowy wzór teorii kinetyczno - molekularnej.
- 29.8 Zasada ekwipartycji energii.
- 29.9 Stopień swobody.
- 29.10 Równanie Clapeyrona.
- 29.11 Równanie stanu gazu doskonałego.
- 29.12 Przemiana izotermiczna.**
  - 29.12.1 Przemiana izotermiczna.
  - 29.12.2 Prawo Boyle'a - Mariotta.
  - 29.12.3 Zależność ciśnienia od gęstości w przemianie izotermicznej.
  - 29.12.4 Praca w przemianie izotermicznej.
- 29.13 Przemiana izochoryczna.**
  - 29.13.1 Przemiana izochoryczna.
  - 29.13.2 Prawo Charlesa.
  - 29.13.3 Prawo rozprężliwości gazu.
  - 29.13.4 Praca w przemianie izochorycznej.
- 29.14 Przemiana izobaryczna.**
  - 29.14.1 Przemiana izobaryczna.
  - 29.14.2 Prawo Gay - Lussaca.
  - 29.14.3 Prawo rozprężliwości objętościowej gazu.
  - 29.14.4 Praca w przemianie izobarycznej.
- 29.15 Przemiana adiabatyczna.**
  - 29.15.1 Przemiana adiabatyczna.
  - 29.15.2 Ciśnienie w przemianie adiabatycznej.
- 29.16 Ciepło molowe.
- 29.17 Stała gazowa.
- 29.18 Współczynnik Poissona.
- 29.19 Silnik Carnota.
- 29.20 Druga zasada termodynamiki.
- 29.21 Entropia.
- 29.22 Ciecze.
  - 29.22.1 Ciecze.
  - 29.22.2 Ciśnienie w cieczech.
  - 29.22.3 Prawo Archimedesesa.
- 29.23 Rozszerzalność termiczna ciał stałych i cieczy.
- 29.24 Ciała stałe.
- 29.25 Przemiany fazowe.



## **1. Ruch stały prostoliniowy.**

**1.1** Prędkość:  $\vec{V} = \frac{\vec{S}}{T} \quad \left[\frac{m}{s}\right]$

Oznaczenia:

V - prędkość, V=const; S - przemieszczenie; T - czas

## **2. Ruch zmienny.**

**2.1** Przyspieszenie:  $\vec{a} = \frac{\vec{F}}{m} = \frac{d\vec{V}}{dT} \quad \left[\frac{m}{s^2}\right]$

**2.2** Przemieszczenie :  $\vec{S} = \vec{V}_0 \cdot T \pm \frac{\vec{a} \cdot T^2}{2} \quad [m]$

**2.3** Prędkość końcowa :  $\vec{V}_k = \vec{V}_0 \pm \vec{a} \cdot T \quad \left[\frac{m}{s}\right]$

Oznaczenia:

a - przyspieszenie; V<sub>0</sub> - prędkość początkowa; S - przemieszczenie; T - czas

V - prędkość; V<sub>k</sub> - prędkość końcowa

## **3. Ruch po okręgu.**

### **3.1 Ruch z prędkością stałą.**

**3.1.1** Prędkość kątowna:  $\omega = \frac{d\varphi}{dT} = \frac{2\Pi}{T} = 2\Pi \cdot \nu$

**3.1.2** Warunek ruchu po okręgu - siła dośrodkowa:

$$F_d = m\omega^2 r = m \frac{V^2}{r}$$

### **3.2 Ruch z prędkością zmienną.**

**3.2.1** Przyspieszenie kątowne:  $\varepsilon = \frac{d\omega}{dT}$

**3.2.2** Przyspieszenie liniowe:  $a = r \cdot \varepsilon$

**3.2.3** Prędkość liniowa chwilowa :  $\vec{V} = r \cdot \vec{\omega}$

**3.2.4** Przemieszczenie :  $S = r \cdot \varphi$

**3.2.5** Prędkość kątowna końcowa:  $\omega_k = \omega_0 \pm \varepsilon \cdot T$

**3.2.6** Kąt zakreślony:  $\varphi = \omega_0 \cdot T \pm \frac{\varepsilon \cdot T^2}{2}$

**3.2.7** Częstotliwość:  $\nu = \frac{1}{T} \quad \left[\frac{1}{s} = Hz\right]$

Oznaczenia:

$\omega$  - prędkość kątowna;  $\omega_k$  - prędkość kątowna końcowa;  $\omega_0$  - prędkość kątowna początkowa;  $\varphi$  - kąt; T - czas; r - promień okręgu;  $\varepsilon$  - przyspieszenie kątowne; a - przyspieszenie liniowe; S - przemieszczenie; V - Prędkość liniowa chwilowa;  $\nu$  - częstotliwość; m - masa;

**3.2.8 Moment siły:**  $\vec{M} = \vec{r} \times \vec{F} = r \cdot F \cdot \sin(\vec{r}, \vec{F})$

Oznaczenia:

M - moment siły; r - ramię siły (wektor poprowadzony od osi obrotu do siły,  $\perp$  do kierunku); F - siła

#### **4. Zasady dynamiki Newtona**

##### **4.1 Pierwsza zasada dynamiki:**

Istnieje taki układ, zwany układem inercyjnym, w którym ciało, na które nie działa żadna siła lub działające siły równowarzą się, pozostaje w spoczynku lub porusza się ruchem stałym prostoliniowym.

##### **4.2 Druga zasada dynamiki:**

Jeżeli na ciało działa siła niezrównoważona zewnętrzna (pochodząca od innego ciała) to ciało to porusza się ruchem zmiennym. Wartość przyspieszenia w tym

ruchu wyraża wzór:  $\vec{a} = \frac{\vec{F}}{m}$ .

##### **4.3 Trzecia zasada dynamiki:**

Jeżeli ciało A działa na ciało B siłą F, to ciało B działa na ciało A siłą F'.

Wartość i kierunek siły F' jest równy wartości i kierunkowi siły F, a jej zwrot jest przeciwny do zwrotu siły F.

Oznaczenia:

a - przyspieszenie; F - siła; m - masa

#### **5. Zasada względności Galileusza.**

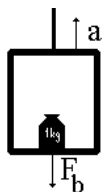
##### **5.1 Zasada względności Galileusza:**

Prawa mechaniki są jednakowe we wszystkich układach inercyjnych, tj. obserwatorzy z różnych układów inercyjnych stwierdzą taki sam ruch badanego obiektu. Ruch jednostajny prostoliniowy jest nierozróżnialny od spoczynku - obserwując zjawiska mechaniczne nie jesteśmy w stanie go rozróżnić.

#### **6. Siła bezwładności.**

##### **6.1 Siła bezwładności.**

Jest to siła nie pochodząca od żadnego z ciał. Pojawia się, gdy układ staje się nieinercyjny.



$$a = \frac{F}{M}$$

$$F_b = -m \cdot a$$

Oznaczenia:

a - przyspieszenie windy; F - siła ciągnąca windę; m - masa ciężarka; M - masa układu (winda + ciężarek); F<sub>b</sub> - siła bezwładności.

## **7. Rzut poziomy.**

### **7.1 Rzut poziomy:**

Jest to złożenie ruchu jednostajnie przyspieszonego (płaszczyzna pionowa) z ruchem jednostajnym (płaszczyzna pozioma).

### **7.2 Prędkość w rzucie poziomym:**

$$V = \sqrt{V_x^2 + V_y^2} \quad , \quad V_x = \text{const.} \quad , \quad V_y = g \cdot T$$

### **7.3 Wysokość i droga w rzucie poziomym:**

$$h = \frac{gT^2}{2} \quad , \quad l = V_x \cdot T$$

#### Oznaczenia:

V - prędkość całkowita chwilowa;  $V_x$  - pozioma składowa V,  $V_x = \text{const.}$ ;  $V_y$  - pionowa składowa V; g - przyspieszenie ziemskie; T - czas;

h - wysokość (długość lotu w pionie); l - zasięg rzutu

## **8. Pęd i zasada zachowania pędu.**

### **8.1 Pęd.**

Jest to wielkość fizyczna wyrażająca się wzorem:

$$\vec{p} = m \cdot \vec{V}$$

### **8.2 Zasada zachowania pędu:**

Jeżeli na ciało lub układ ciał nie działa żadna siła zewnętrzna (pochodząca od innego ciała), to całkowity pęd układu jest stały.

$$\vec{p} = \text{const.}$$

### **8.3 Moment pędu:**

Moment pędu:  $\vec{b} = \vec{r} \times \vec{p} = r \cdot p \cdot \sin(\vec{r}, \vec{p})$

### **8.4 Zasada zachowania momentu pędu:**

Jeżeli na ciało lub układ ciał wypadkowy układ działających sił jest równy 0, to :

$$\vec{b} = \text{const.}$$

### **8.5 Moment pędu bryły sztywnej:**

$$b = \omega \cdot I$$

#### Oznaczenia:

V - prędkość całkowita chwilowa; p - pęd; m - masa ciała; b - moment pędu; r - ramię siły;  $\omega$  - prędkość kątowa; I - moment bezwładności;

## **9. Energia i zasada zachowania energii.**

### **9.1 Energia kinetyczna:**

Jest to energia związana z ruchem - posiada ją ciało poruszające się. Jej wartość wyraża się wzorem:

$$E_k = \frac{mV^2}{2} \quad [J]$$

## 9.2 Energia potencjalna ciężkości:

Jest to energia związana z wysokością danego ciała. Jej wartość wyraża się wzorem:

$$E_p = mgh \quad [J]$$

## 9.3 Zasada zachowania energii:

Jeżeli na ciało nie działa żadna siła zewnętrzna - nie licząc siły grawitacyjnej - to całkowita energia mechaniczna jest stała.

## 9.4 Energia kinetyczna w ruchu obrotowym:

$$E_k = \frac{I\omega^2}{2}$$

### Oznaczenia:

$E_k$  - energia kinetyczna;  $E_p$  - energia potencjalna ciężkości;  $m$  - masa;  $V$  - prędkość chwilowa;  $g$  - przyspieszenie grawitacyjne;  $h$  - wysokość chwilowa;  $I$  - moment bezwładności;  $\omega$  - prędkość kątowa;

## 10. Praca i moc.

### 10.1 Praca:

Jest to wielkość fizyczna wyrażająca się wzorem:

$$W = F \cdot s \quad [J]$$

### 10.2 Moc:

Jest to praca wykonana w danym czasie:

$$P = \frac{W}{T} \quad [W]$$

### Oznaczenia:

$W$  - praca;  $F$  - siła;  $s$  - przemieszczenie;  $T$  - czas;  $P$  - moc

## 11. Siła tarcia.

### 11.1 Siła tarcia:

Jest to siła powodująca hamowanie. Wytracona w ten sposób energia zamienia się w ciepło i jest bezpowrotnie tracona. Siła tarcia jest skierowana w przeciwną stronę do kierunku ruchu. Jej wartość wyraża wzór:

$$T = f \cdot N \quad [N]$$

### Oznaczenia:

$T$  - siła tarcia;  $f$  - współczynnik tarcia (cecha charakterystyczna danego materiału);  $N$  - siła nacisku (siła działająca pod kątem prostym do płaszczyzny styku trących powierzchni, najczęściej jest to składowa ciężaru)

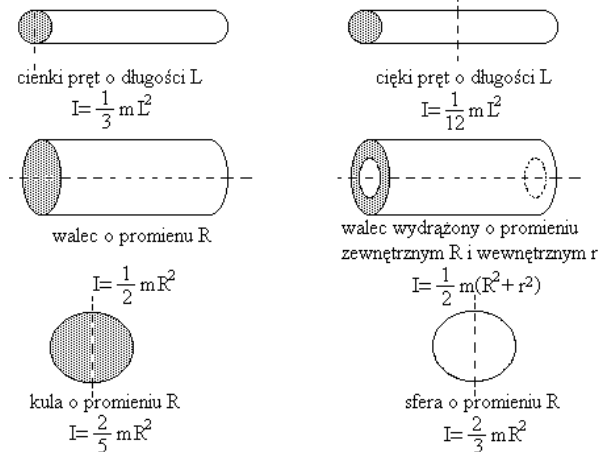
## 12. Moment bezwładności.

### 12.1 Moment bezwładności:

Jest to wielkość opisująca rozkład masy względem osi obrotu.

$$I = \sum_{i=1}^n m_i \cdot r_i^2$$

## 12.2 Momenty bezwładności wybranych brył:



## 12.3 Twierdzenie Steinera:

$$I = I_0 + ma^2$$

### Onaczenia:

$I$  - moment bezwładności;  $I_0$  - moment bezwładności bryły względem osi przechodzącej przez środek masy;  $m$  - masa ciała;  $a$  - odległość nowej osi od osi przechodzącej przez środek masy;  $n$  - ilość punktów materialnych danego ciała;  $r$  - odległość punktu materialnego od osi obrotu.

## 13. Zderzenia centralne

### 13.1 Zderzenia centralne niesprężyste.

Ciała po zderzeniu poruszają się razem („sklejają się”) - nie jest spełniona zasada zachowania energii. Jest spełniona zasada zachowania pędu.

### 13.2 Zderzenia centralne sprężyste.

Ciała po zderzeniu poruszają się osobno, spełniona jest zasada zachowania energii i pędu.

## 14. Gęstość.

14.1 Gęstość :  $\zeta = \frac{m}{V} \quad \left[ \frac{kg}{m^3} \right]$

14.2 Ciężar właściwy :  $d = \frac{mg}{V} = \zeta \cdot g \quad \left[ \frac{N}{m^3} \right]$

### Onaczenia:

$\zeta$  - gęstość;  $m$  - masa substancji;  $V$  - objętość substancji;  $g$  - grawitacja;  $d$  - ciężar właściwy

## **15. Pole grawitacyjne.**

### **15.1 Pole grawitacyjne.**

Jest to taka własność przestrzeni, w której na umieszczone w niej ciała działają siły grawitacji.

### **15.2 Prawo powszechnej grawitacji (prawo jedności przyrody.**

Dwa ciała przyciągają się wzajemnie siłami wprost proporcjonalnymi do iloczynu ich mas i odwrotnie proporcjonalnymi do kwadratu odległości między ich środkami :

$$F_G = -G \frac{Mm}{r^2} \cdot \hat{r}$$

#### Onaczenia:

$F_G$ - siła grawitacji;  $G$  - stała grawitacji;  $M$  - masa pierwszego ciała;  $m$  - masa drugiego ciała;  $r$  - odległość między środkami ciał;  $\hat{r}$  - r-wersor (stosunek wektora do jego długości - pokazuje kierunek siły)

### **15.3 Stała grawitacji.**

Jest to wielkość z jaką przyciągają się dwa punkty materialne, z których każdy ma masę 1 kg i które są oddalone od siebie o 1 metr. Jest ona równa  $6,67 \cdot 10^{-11}$  N. Jej symbolem jest  $G$ .

### **15.4 Przyspieszenie grawitacyjne :**

$$\vec{g} = \frac{\vec{F}_G}{m} = -G \frac{M}{r^2} \cdot \hat{r}$$

Przyspieszenie grawitacyjne jest związane z ciałem.

#### Oznaczenia:

$F_G$ - siła grawitacji;  $G$  - stała grawitacji;  $m$ - masa ciała;  $M$  - masa źródła;  $r$  - odległość między środkiem ciała a środkiem źródła;  $\hat{r}$  - r-wersor (stosunek wektora do jego długości - pokazuje kierunek siły)

### **15.5 Natężenie pola grawitacyjnego**

Jest to siła grawitacji przypadająca na jednostkę masy ciała wprowadzonego do pola.

$$\vec{\gamma} = \frac{\vec{F}}{m} = -G \frac{M}{r^2} \cdot \hat{r} \quad \left[ \frac{N}{kg} \right]$$

Natężenie pola grawitacyjnego jest związane z punktem.

#### Oznaczenia:

$G$  - stała grawitacji;  $m$ - jednostkowa masa;  $M$  - masa źródła;  $r$  - odległość między punktem a środkiem źródła;  $\hat{r}$  - r-wersor (stosunek wektora do jego długości - pokazuje kierunek siły)

### 15.6 Praca w polu grawitacyjnym.

Praca w polu grawitacyjnym zależy od położenia początkowego i końcowego - nie zależy od drogi.

$$W = -GMm\left(\frac{1}{r_0} - \frac{1}{r}\right)$$

#### Oznaczenia:

W - praca; G - stała grawitacji; m- masa ciała; M - masa źródła;  $r_0$  - położenie początkowe; r - położenie końcowe

### 15.7 Energia potencjalna pola grawitacyjnego.

Jest to praca, jaką wykonają siły zewnętrzne przemieszczając ciało z nieskończoności do punktu oddalonego o r od źródła.

$$E_p = G \frac{mM}{r} \quad [J], \quad E_p = \sum_{i=1}^n E_{pi}$$

#### Oznaczenia

$E_p$  - energia potencjalna; G - stała grawitacji; m- masa ciała; M - masa źródła; r - odległość między środkami źródła i ciała

### 15.8 Potencjał pola grawitacyjnego.

Jest to energia pola grawitacyjnego przypadająca na jednostkę masy ciała wprowadzonego do pola grawitacyjnego.

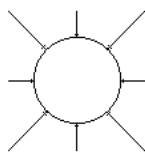
$$V = \frac{E_p}{m} = -G \frac{M}{r} \quad \left[\frac{J}{kg}\right]$$

#### Oznaczenia

V - stała grawitacji;  $E_p$  - energia potencjalna; G - stała grawitacji; m- masa ciała; M - masa źródła; r - odległość danego punktu od środka źródła.

### 15.9 Linie pola grawitacyjnego.

Są to tory, po jakich poruszają się swobodnie ciała umieszczone w polu grawitacyjnym.



Linie pola są skierowane w kierunku źródła.

## 16. Prędkości kosmiczne.

### 16.1 Pierwsza prędkość kosmiczna.

Jest to prędkość, jaką należy nadać ciału, aby doleciało ono na orbitę okołoplanetarną.

$$V_1 = \sqrt{\frac{GM}{r}}$$

## 16.2 Druga prędkość kosmiczna.

Jest to prędkość, jaką należy nadać ciału, aby opuściło ono pole grawitacyjne macierzystej planety.

$$V_2 = \sqrt{2 \frac{GM}{r}}$$

### Oznaczenia

$V_1$  - pierwsza prędkość kosmiczna;  $V_2$  - druga prędkość kosmiczna;  
G - stała grawitacji; M - masa źródła; r - promień macierzystej planety.

## 17. Elektrostatyka.

### 17.1 Zasada zachowania ładunku.

W układach izolowanych elektrycznie od wszystkich innych ciał ładunek może być przemieszczany z jednego ciała do drugiego, ale jego całkowita wartość nie ulega zmianie.

### 17.2 Zasada kwantyzacji ładunku.

Wielkość ładunku elektrycznego jest wielokrotnością ładunku elementarnego e.

$$e = 1,6 \cdot 10^{-19} \quad [C], \quad Q = ne, \quad n \in N$$

### Oznaczenia

e - ładunek elementarny; n - ilość ładunków elementarnych

### 17.3 Prawo Coulomba: $\vec{F}_c = \pm k \frac{Qq}{r^2} \cdot \hat{r}$

### Oznaczenia

$F_c$  - siła Coulomba; k - stała elektrostatyczna; Q - pierwszy ładunek; q - drugi ładunek; r - odległość pierwszego ładunku od drugiego;  $\hat{r}$  - r-wersor (stosunek wektora do jego długości - pokazuje kierunek siły)

### 17.4 Ciało naelektryzowane.

Jest to ciało, którego suma ładunków elementarnych dodatnich jest różna od sumy ładunków elementarnych ujemnych.

### 17.5 Stała elektrostatyczna i przenikalność elektryczna próżni.

#### 17.5.1 Stała elektrostatyczna:

Jest to wielkość równa liczbowo sile, z jaką oddziałują na siebie dwa ładunki 1 C w odległości 1m.

$$k = \frac{1}{4\pi\epsilon_0}$$

#### 17.5.2 Przenikalność elektryczna próżni:

$$\epsilon_0 = 8,854 \cdot 10^{-12} \quad \left[\frac{F}{m}\right]$$



## 17.6 Natężenie pola elektrostatycznego.

Jest to siła Coulomba przypadająca na jednostkę ładunku:

$$\vec{E} = \frac{\vec{F}_C}{q} = k \frac{Q}{r^2} \cdot \hat{r}$$

Natężenie pochodzące od skończonej liczby ładunków jest równe wektorowej sumie natężeń pochodzących od poszczególnych ładunków.

### Oznaczenia

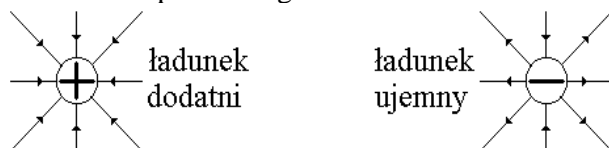
E - natężenie pola;  $F_C$  - siła Coulomba; k - stała elektrostatyczna; Q - ładunek źródłowy; q - ładunek elementarny; r - odległość źródła od danego punktu;  $\hat{r}$  - r-wersor (stosunek wektora do jego długości - pokazuje kierunek siły);

## 17.7 Linie pola elektrostatycznego

### 17.7.1 Linie pola elektrostatycznego:

Są to krzywe, o których styczne w każdym punkcie pokrywają się z kierunkiem pola elektrycznego.

Linie ładunku punktowego :



Pole jednorodne - linie pola są równoległe, a wartość natężenia jest stała.

Pole centralne - siły działają wzdłuż promienia.

### 17.7.2 Własności linii pola elektrostatycznego.

- nigdzie się nie przecinają;
- wychodzą z ładunku + a schodzą się w ładunku - ;
- dla ładunków punktowych są to krzywe otwarte;
- są zawsze  $\perp$  do powierzchni;
- można je wystawić w każdym punkcie pola;
- im więcej linii, tym natężenie większe

## 17.8 Strumień pola elektromagnetycznego.

Miarą strumienia pola elektromagnetycznego jest liczba linii pola elektromagnetycznego przechodzącego przez daną powierzchnię:

$$\phi = \vec{E} \bullet \vec{s} = E \cdot s \cdot \cos(\vec{E}, \vec{s}) \quad \left[ \frac{N \cdot m^2}{C} \right]$$

### Oznaczenia

$\phi$  - strumień pola; E - natężenie pola; s - pole powierzchni;

### 17.9 Prawo Gaussa.

Prawo Gaussa służy do obliczania natężeń pochodzących od poszczególnych ciał. Aby posłużyć się prawem Gaussa należy wybrać dowolną powierzchnię zamkniętą wokół źródła (np. sferę).

$$\text{Prawo Gaussa : } \phi = \frac{1}{\epsilon_0} \cdot \sum_{i=1}^n q_i$$

Strumień pola elektrycznego obejmowany przez dowolną powierzchnię zamkniętą jest proporcjonalny do sumy ładunków zawartych wewnątrz powierzchni.

Podczas rozwiązywania zadań korzysta się najczęściej z równości:

$$\frac{1}{\epsilon_0} Q = E \cdot (4\pi r^2) \cos 0^\circ, \text{ gdzie } Q \text{ to ładunek punktowy, } E \text{ - szukane natężenie,}$$

wartość w nawiasie - pole dowolnej sfery otaczającej ładunek,  $r$  - promień sfery.

Podane równanie służy do obliczenia natężenia pochodzącego od jednego ładunku punktowego.

#### Oznaczenia

$\phi$  - strumień pola;  $E$  - natężenie pola;  $\epsilon_0$  - przenikalność elektryczna próżni;  $n$  - ilość ładunków obejmowanych przez daną powierzchnię zamkniętą

### 17.10 Gęstość powierzchniowa i gęstość liniowa ładunku.

$$\text{Gęstość powierzchniowa: } \vec{\zeta} = \frac{q}{s} \cdot \hat{s} \quad \left[ \frac{C}{m^2} \right]$$

$$\text{Gęstość liniowa : } \vec{\lambda} = \frac{q}{l} \cdot \hat{l} \quad \left[ \frac{C}{m} \right]$$

#### Oznaczenia

$\vec{s}$  - s-wersor (stosunek wektora do jego długości);  $\hat{l}$  - l-wersor (stosunek wektora do jego długości);  $\zeta$  - gęstość powierzchniowa;  $\lambda$  - gęstość liniowa;  $q$  - ładunek;  $s$  - pole powierzchni;  $l$  - długość

$$\text{17.11 Natężenie pola elektrostatycznego pomiędzy dwoma płytami: } E = \frac{\zeta}{\epsilon_0} = \frac{U}{d}$$

#### Oznaczenia

$E$  - natężenie pola elektrostatycznego;  $\zeta$  - gęstość powierzchniowa;  $\epsilon_0$  - przenikalność elektryczna próżni;  $U$  - różnica potencjałów (napięcie);  
 $d$  - odległość pomiędzy płytami;

### 17.12 Praca w centralnym polu elektrycznym.

Praca wykonana w centralnym polu elektrycznym zależy od położenia początkowego i końcowego, a nie zależy od drogi.

$$W = kQq \left( \frac{1}{r_0} - \frac{1}{r} \right)$$

#### Oznaczenia

$W$  - praca;  $k$  - stała elektrostatyczna;  $Q$  - ładunek źródłowy;  $q$  - ładunek;  
 $r_0$  - odległość początkowa źródła od ładunku;  $r$  - odległość końcowa źródła od ładunku

### 17.13 Energia pola elektrycznego.

Energia potencjalna pola elektrycznego:  $\varepsilon_p = \frac{kQq}{r}$

Sumowanie energii potencjalnych pola elektrycznego:

$$\sum_{i=1}^n \varepsilon_p = \varepsilon_{p1} + \varepsilon_{p2} + \dots + \varepsilon_{pn}$$

#### Oznaczenia

$\varepsilon_p$  - energia potencjalna; k - stała elektrostatyczna; Q - pierwszy ładunek; q - drugi ładunek; r - odległość ładunków od siebie;

### 17.14 Potencjał pola elektrycznego.

Jest to energia potencjalna pola elektrycznego przypadająca na jednostkę

ładunku:  $V = \frac{\varepsilon_p}{q} = k \frac{Q}{r}$

$$[V = \frac{J}{C}]$$

#### Oznaczenia

V - potencjał;  $\varepsilon_p$  - energia potencjalna; k - stała elektrostatyczna;  
Q - ładunek źródłowy; q - ładunek elementarny; r - odległość punktu od źródła;

### 17.15 Różnica potencjałów (napięcie).

Różnica potencjałów :  $U = \Delta V$  [V]

#### Oznaczenia

V - potencjał; U - różnica potencjałów

### 17.16 Praca w polu elektrycznym jednorodnym.

$$W = qU = Eqd$$

#### Oznaczenia

U - różnica potencjałów; q - ładunek; E - natężenie pola;  
d - przemieszczenie;

### 17.17 Ruch ładunków w polu elektrycznym.

17.17.1 Ruch ładunku w polu elektrycznym - ładunek porusza się równoległe do linii pola.

Ładunek będzie się poruszał ruchem przostoliniowym jednostajnie przyspieszonym.

Przyspieszenie:  $a = \frac{Eq}{m}$

Jednocześnie ulegnie zmianie energia kinetyczna ładunku:

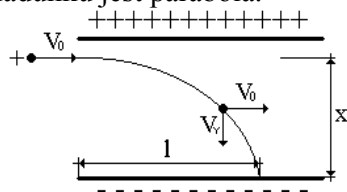
$$\varepsilon_k = \varepsilon_0 + Uq$$

#### Oznaczenia

U - różnica potencjałów, jaką przebył ładunek; q - ładunek; E - natężenie pola;  $\varepsilon_k$  - energia kinetyczna;  $\varepsilon_0$  - energia początkowa ładunku;  
a - przyspieszenie; m - masa ładunku;

### 17.17.2 Ruch ładunku w polu elektrycznym - ładunek wpada pod kątem prostym do linii pola.

Torem ładunku jest parabola.



Oznaczenia:

$V_0$  - prędkość początkowa;  
 $V_y$  - pionowa składowa prędkości;  $x$  - wysokość początkowa;  $l$  - zasięg;  $d$  - odległość między okładkami kond.

$$a = \frac{Eq}{m};$$

$$x = \frac{at^2}{2} = \frac{Eq l^2}{2mV_0^2} = \frac{Uq l^2}{2mV_0^2 d};$$

$$V_y = aT = \frac{Eq l}{mV_0}, \quad V = \sqrt{V_0^2 + \frac{E^2 q^2 l^2}{m^2 V_0^2}}$$

Oznaczenia

$U$  - różnica potencjałów, jaką przebył ładunek;  $q$  - ładunek;  $E$  - natężenie pola;  $\epsilon_K$  - energia kinetyczna;  $\epsilon_0$  - energia początkowa ładunku;  $a$  - przyspieszenie;  $m$  - masa ładunku;  $V$  - prędkość;  $T$  - czas; oraz oznaczenia na rysunku.

### 17.18 Wektor indukcji elektrostatycznej.

Wektor indukcji elektrostatycznej jest to stosunek ładunków wyindukowanych na powierzchni przewodnika do powierzchni tego przewodnika:  $\vec{D} = \frac{q}{s} \cdot \hat{s}$

Wektor indukcji elektrostatycznej jest zawsze przeciwnie skierowany do zewnętrznego pola elektrycznego.

Oznaczenia

$D$  - wektor indukcji elektrostatycznej;  $q$  - ładunek wyindukowany;  $s$  - powierzchnia przewodnika;  $\hat{s}$  - s wersor (stosunek wektora do jego długości)

### 17.19 Natężenie pola elektrostatycznego kuli.

7.19.1 Natężenie pola elektrostatycznego wewnątrz kuli.

$$E = \frac{\zeta R^3}{3r^2 \epsilon_0}, \quad r > R$$

Oznaczenia

$E$  - natężenie pola;  $\epsilon_0$  - przenikalność elektryczna próżni;  $R$  - promień kuli;  $r$  - odległość środka kuli od wybranego punktu;  $\zeta$  - gęstość powierzchniowa ładunków.

7.19.2 Natężenie pola elektrostatycznego na zewnątrz kuli.

$$E = \frac{\zeta R}{3\epsilon_0 \epsilon_r}$$

Oznaczenia

$E$  - natężenie pola;  $\epsilon_0$  - przenikalność elektryczna próżni;  $\epsilon_r$  - przenikalność elektryczna wnętrza kuli;  $R$  - odległość środka kuli od wybranego punktu;  $\zeta$  - gęstość powierzchniowa ładunków.

## **18. Atom wodoru według Bohra.**

### **18.1 Atom wodoru według Bohra.**

Atom wodoru według Bohra składa się z dodatnio naładowanego jądra skupiającego prawie całą masę atomu i z elektronu krążącego po orbicie kołowej.

Aby elektron nie mógł przyjmować dowolnej odległości od jądra, Bohr wprowadził ograniczenia w postaci postulatów.

### **18.2 Pierwszy postulat Bohra.**

Moment pędu elektronu w atomie wodoru jest wielkością skwantowaną:

$$b = mVr = n \cdot \hbar,$$

$$\hbar = \frac{h}{2\pi}, \quad n \in N.$$

#### Oznaczenia

b - moment pędu; V - prędkość elektronu; r - promień orbity elektronu;

h - stała Plancka

### **18.3 Warunek kwantyzacji prędkości.**

Prędkość elektronu w atomie wodoru jest wielkością skwantowaną:  $V = \frac{1}{n} V_0$ ,

$$V_0 = \frac{ke^2}{\hbar},$$

$$\hbar = \frac{h}{2\pi}, \quad n \in N$$

#### Oznaczenia

V - prędkość elektronu;  $V_0$  - najmniejsza prędkość elektronu;

h - stała Plancka; k - stała elektrostatyczna; e - ładunek elementarny;

### **18.4 Warunek kwantyzacji promienia.**

Promień orbity w atomie wodoru jest wielkością skwantowaną:  $r = n^2 r_0$ ,

$$r_0 = \frac{\hbar}{mV_0}, \quad \hbar = \frac{h}{2\pi},$$

$$n \in N$$

#### Oznaczenia

r - promień orbity;  $r_0$  - najmniejszy promień orbity; h - stała Plancka;  $V_0$  - najmniejsza prędkość elektronu

### **18.5 Warunek kwantyzacji energii.**

Energia w atomie jest wielkością skwantowaną:

$$E = \frac{E_0}{n^2}, \quad E_0 = -\frac{ke^2}{2r_0}, \quad n \in N$$

Energia jest ujemna, aby elektron samodzielnie nie mógł wydostać się poza atom.

#### Oznaczenia

E - energia;  $E_0$  - najmniejsza energia atomu;  $r_0$  - najmniejszy promień orbity; k - stała elektrostatyczna; e - ładunek elementarny;

### 18.6 Następny postulat Bohra.

W stanie stacjonarnym (elektron nie zmienia powłoki) atom nie może emitować energii.

### 18.7 Drugi postulat Bohra.

Atom przechodząc z poziomu energetycznego wyższego na niższy oddaje nadmiar energii w postaci kwantu promieniowania elektromagnetycznego.

Częstotliwość wyemitowanej energii :

$$\nu = A \left( \frac{1}{l^2} - \frac{1}{n^2} \right), \quad A = -\frac{E_0}{h}$$

poziom energetyczny - stan o ściśle określonej energii.

poziom podstawowy - wszystkie elektrony znajdują się najbliżej jądra.

#### Oznaczenia

$\nu$  - częstotliwość;  $l$  - poziom, na który spada atom;  $n$  - poziom początkowy.

### 18.8 Moment magnetyczny atomu i elektronu.

Moment magnetyczny jest zawsze przeciwnie skierowany do momentu pędu.

Moment magnetyczny :  $m = \frac{eb}{2m_e} = \frac{\hbar en}{2m_e} = \mu_B n$ ;

$$\hbar = \frac{h}{2\pi}, \quad n \in N$$

Moment magnetyczny w atomie wodoru jest wielkością skwantowaną.

#### Oznaczenia

$b$  - moment pędu;  $h$  - stała Plancka;  $e$  - ładunek elementarny;  $m_e$  - masa elektronu;  $n$  - numer orbity;  $m$  - moment magnetyczny;  $\mu$  - moment magnetyczny Bohra (wielkość stała)

### 18.9 Spinowy moment magnetyczny.

Jest związany z ruchem elektronu wokół własnej osi.

$$s = \pm \frac{1}{2} \hbar; \quad \hbar = \frac{h}{2\pi}$$

spinowy moment magnetyczny:  $m = \frac{e}{m_e} s$

Spinowy moment magnetyczny jest odpowiedzialny za właściwości magnetyczne materii (zob.pkt. 22.11)

#### Oznaczenia

$h$  - stała Plancka;  $e$  - ładunek elementarny;  $m_e$  - masa elektronu;  $m$  - spinowy moment magnetyczny;  $s$  - spin

## 19. Kondensator.

### 19.1 Pojemność elektryczna.

Na każdym przewodniku przy określonym potencjale możemy zgromadzić

ściśle określoną ilość ładunków:  $C = \frac{Q}{V}$       $\left[ \frac{C}{V} = F \right]$

1 Farad to pojemność takiego przewodnika, na którym zgromadzono ładunek 1 C przy potencjale 1V.

#### Oznaczenia

$Q$  - ładunek zgromadzony;  $V$  - potencjał

## 19.2 Kondensator.

Jest to układ dwóch przewodników oddzielonych od siebie dielektrykiem, przy czym jeden z nich jest uziemiony. Kondensator działa na zasadzie indukcji.

Kondensator płaski - dwie, równoległe przewodzące płyty z przewodnika oddzielone izolatorem. Jedna z tych płyt jest uziemiona.

## 19.3 Pojemność kondensatorów.

### 19.3.1 Pojemność kondensatora płaskiego:

$$C = \frac{\epsilon_0 \epsilon_r s}{d}$$

#### Oznaczenia

C - pojemność;  $\epsilon_0$  - przenikalność elektryczna próżni;  $\epsilon_r$  - przenikalność elektryczna izolatora oddzielającego okładki; s - powierzchnia okładek;  
d - odległość między okładkami.

### 19.3.2 Pojemność kondensatora kulistego:

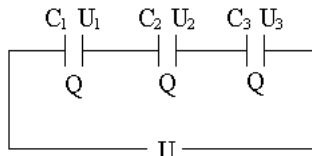
$$C = 4\pi\epsilon_0 R$$

#### Oznaczenia

C - pojemność;  $\epsilon_0$  - przenikalność elektryczna próżni; R - promień kondensatora.

## 19.4 Łączenie kondensatorów.

### 19.4.1 Łączenie szeregowe kondensatorów.



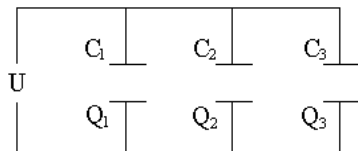
Ładunek na każdym z kondensatorów jest jednakowy.

Pojemność wypadkowa układu:  $\frac{1}{C} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \frac{1}{C_3}$

#### Oznaczenia

C - pojemność wypadkowa układu;  $C_{1,2,3}$  - pojemności poszczególnych kondensatorów; U - różnica potencjałów (napięcie);  $U_{1,2,3}$  - różnice potencjałów na poszczególnych kondensatorach; Q - ładunek zgromadzony na każdym kondensatorze;

### 19.4.2 Łączenie równoległe kondensatorów.



Napięcie na każdym z kondensatorów jest jednakowe.

Pojemność wypadkowa układu:  $C = C_1 + C_2 + C_3$

#### Oznaczenia

C - pojemność wypadkowa układu;  $C_{1,2,3}$  - pojemności poszczególnych kondensatorów; U - różnica potencjałów(napięcie);  $Q_{1,2,3}$  - ładunek zgromadzony na poszczególnych kondensatorach;

### 19.5 Energia kondensatorów.

Energia zmagazynowana w kondensatorze:

$$E = \frac{1}{2} CU^2 = \frac{Q^2}{2C}$$

#### Oznaczenia

C - pojemność kondensatora; U - różnica potencjałów(napięcie);  
Q - ładunek zgromadzony na okładkach kondensatora; E - energia;

### 20. Polaryzacja elektryczna.

#### 20.1 Polaryzacja elektryczna.

Polaryzacja elektryczna polega na pojawieniu się na powierzchni dielektryka ładunków o przeciwnych znakach, gdy dielektryk zostanie umieszczony w polu elektrycznym.

Wewnątrz dielektryka powstaje podczas polaryzacji pole elektryczne skierowane przeciwnie do pola zewnętrznego.

#### 20.2 Wektor polaryzacji elektrycznej:

$$P = \frac{Q \uparrow}{S} \cdot \hat{s}$$

#### Oznaczenia

Q - ładunek związany; s - powierzchnia dielektryka;  $\hat{s}$  - s wersor (stosunek wektora do jego długości)

### 21. Prąd elektryczny stały.

#### 21.1 Prąd elektryczny.

Jest to ruch swobodnych ładunków wywołany różnicą potencjałów. Potencjał jest ujemny, lecz tego nie zapisujemy - i traktujemy jako dodatni.

#### 21.2 Nośniki prądu elektrycznego.

subst. przewodząca	nośnik
przewodnik	elektrony walencyjne
elektrolit	jony + i -
gaz	jony i elektrony
półprzewodnik	elektrony i dziury
próżnia	dowolny rodzaj ładunków

#### 21.2 Natężenie prądu elektrycznego stałego.

Jest to stosunek ładunku przepływającego przez poprzeczny przekrój

przewodnika do czasu jego przepływu :  $I = \frac{Q}{T}$  [ $\frac{C}{s} = A$ ]

Ładunek ma wartość 1 Culomba, gdy przez przewodnik w czasie 1 sekundy przepłynie prąd o natężeniu 1 Ampera.










Jeden Amper to natężenie takiego prądu, który płynąc w 2 nieskończenie cienkich, długich, umieszczonych w próżni, równoległych przewodnikach wywołuje oddziaływanie tych przewodników na siebie siłą  $F = 2 \cdot 10^{-7}$  Newtona na każdy metr długości (zob. pkt. 22.8).

### 21.3 Kierunek przepływu prądu.

Na segmentach elektrycznych określamy umowny kierunek przepływu prądu: do + do -.

Rzeczywisty kierunek przepływu prądu : od - do +.

### 21.4 Elementy obwodów elektrycznych.

 żarówka	 amperomierz
 opornik stały	 woltomierz
 źródło prądu	 opornik sukawokowy
 włącznik	

### 21.5 Opór elektryczny.

#### 21.5.1 Opór elektryczny.

Opór elektryczny to wynik oddziaływania elektronów przewodnictwa z jonami sieci krystalicznej.

$$R = \frac{\zeta \cdot L}{S} \quad [\Omega], \quad R = R_0(1 + \alpha \cdot \Delta T)$$

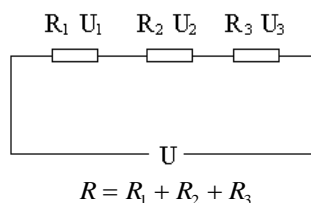
Opór elektryczny ma wartość 1  $\Omega$  gdy natężenie przy napięciu =1 V ma wartość 1 A.

#### Oznaczenia

R - opór;  $\zeta$  - opór właściwy (cecha charakterystyczna substancji); l - długość przewodnika; s - pole powierzchni przekroju poprzecznego przewodnika;  $R_0$  - opór w danej temperaturze;  $\alpha$  - temperaturowy współczynnik oporu (cecha charakterystyczna substancji);  $\Delta T$  - różnica temperatur ( $|R - R_0|$ );

#### 21.5.2 Łączenie oporów elektrycznych.

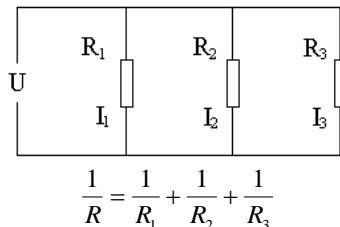
a) Łączenie szeregowe:



#### Oznaczenia

R - opór wypadkowy układu;  $R_{1,2,3}$  - opory poszczególnych oporników; U - różnica potencjałów (napięcie);  $U_{1,2,3}$  - różnice potencjałów na poszczególnych kondensatorach;

b) Łączenie równoległe:



Oznaczenia

R - opór wypadkowy układu;  $R_{1,2,3}$  - opory poszczególnych oporników; U - różnica potencjałów (napięcie);  $I_{1,2,3}$  - natężenia prądu na poszczególnych kondensatorach;

**21.6 Prawo Ohma.**

**21.6.1 Prawo Ohma.**

Natężenie prądu zależy wprost proporcjonalnie od napięcia:  $I = \frac{U}{R}$  [A]

Prawo Ohma jest spełnione tylko wtedy, gdy opór nie zależy od napięcia ani od natężenia prądu.

Oznaczenia

R - opór; U - różnica potencjałów (napięcie); I - natężenie prądu

**21.6.2 Prawo Ohma dla obwodu zamkniętego**

Prawo Ohma dla obwodu zamkniętego:  $I = \frac{\varepsilon}{R + r_w}$

Oznaczenia

R - opór całkowity ogniwa;  $\varepsilon$  - siła elektromotoryczna ogniwa; I - natężenie prądu;  $r_w$  - opór wewnętrzny ogniwa.

**21.7 Prawa Kirchoffa.**

**21.7.1 Pierwsze prawo Kirchoffa.**

Suma natężeń wchodzących do węzła sieci elektrycznej jest równa sumie natężeń prądów wychodzących z punktu węzłowego.

**21.7.2 Drugie prawo Kirchoffa.**

Stosunek prądów płynących przez poszczególne gałęzie sieci elektrycznej jest

równa odwrotności oporu w tych gałęziach:  $\frac{I_1}{I_2} = \frac{R_2}{R_1}$

Oznaczenia

$R_{1,2}$  - opory poszczególnych gałęzi układu;  $I_{1,2}$  - natężenia prądu w poszczególnych gałęziach układu;

**21.7.3 Drugie prawo Kirchoffa dla obwodu zamkniętego.**

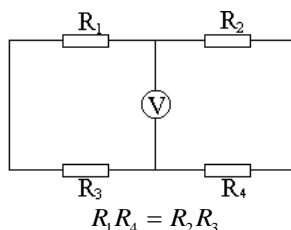
Suma sił elektromotorycznych w oczku jest równa sumie spadków napięć na wszystkich oporach w tym oczku:

$$\sum_{i=1}^n \varepsilon_i = \sum_{j=1}^m (I_j \cdot R_j)$$

Oznaczenia

R - opory poszczególnych oporników; I - natężenia prądu w poszczególnych opornikach; n - ilość sił elektromotorycznych; j - ilość spadków napięć;  $\varepsilon$  - siła elektromotoryczna

### 21.8 Mostek elektryczny.



Opory dobiera się tak, by przez woltomierz nie płynął prąd elektryczny - wtedy mostek jest zrównoważony.

#### Oznaczenia

R<sub>1,2,3,4</sub> - opory poszczególnych oporników.

### 21.9 Praca prądu elektrycznego stałego.

$$\text{Praca : } W = UIT = \frac{U^2 T}{R} = IRQ = I^2 RT \quad [VA \cdot s = J]$$

#### Oznaczenia

W - praca; R - opór; U - różnica potencjałów(napięcie); T - czas przepływu; I - natężenie; Q - całkowity ładunek, który przepłynął;

### 21.10 Moc prądu elektrycznego stałego.

$$\text{Moc : } P = \frac{W}{T} = UI \quad \left[ \frac{J}{s} = W \right]$$

#### Oznaczenia

P - moc; W - praca; U - różnica potencjałów(napięcie); T - czas wykonywania pracy; I - natężenie;

### 21.11 Prawo Joula-Lenza.

Ilość wydzielonego ciepła na przewodniku jest równa pracy prądu elektrycznego, jaką on wykonał podczas przejścia przez obwód:  $Q = W$ .

Jeżeli w obwodzie zmienia się temperatura, to ciepło liczymy wg. wzoru :

$$Q = Mc\Delta T$$

#### Oznaczenia

Q - Ilość wydzielonego ciepła na przewodniku; W - praca; M - masa; c - ciepło właściwe (cecha charakterystyczna danej substancji);  $\Delta T$  - zmiana temperatury

### 21.12 Sprawność urządzeń elektrycznych.

$$\text{Sprawność urządzenia elektrycznego: } \eta = \frac{P_z}{P_p} \cdot 100\%$$

#### Oznaczenia

$\eta$  - sprawność urządzenia elektrycznego; P<sub>z</sub> - moc zużyta do przez urządzenie; P<sub>p</sub> - moc pobrana przez urządzenie

### 21.13 Siła elektromotoryczna ogniwa.

Miarą SEM ogniwa jest różnica potencjałów między elektrodami gdy nie czerpiemy prądu elektrycznego:  $\varepsilon = \frac{W}{Q}$  [V].

SEM ogniwa jest równa stosunkowi energii, jaka zamieni się z formy chemicznej na elektryczną do ładunku jednostkowego.

#### Oznaczenia

W - praca;  $\varepsilon$  - siła elektromotoryczna ogniwa; Q - ładunek jednostkowy

### 21.14 Prawa elektrolizy Faradaya.

#### 21.14.1 Pierwsze prawo elektrolizy Faradaya.

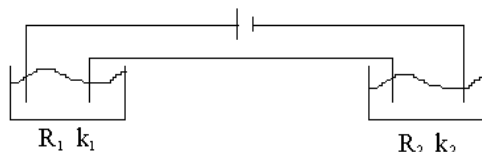
Masa jonów wydzielonych na elektrodzie podczas elektrolizy jest proporcjonalna do natężenia prądu płynącego przez elektrolit i czasu jego przepływu - czyli jest proporcjonalna do ładunku przeniesionego w czasie przez elektrolit :

$$M = kIT = kQ$$

#### Oznaczenia

Q - ładunek przeniesiony przez elektrolit; k - elektrochemiczny równoważnik substancji (cecha charakterystyczna substancji); I - natężenie prądu; T - czas przepływu prądu

#### 21.14.2 Drugie prawo elektrolizy Faradaya.



Drugie prawo elektrolizy Faradaya :  $\frac{R_1}{R_2} = \frac{k_1}{k_2}$

#### Oznaczenia

k<sub>1,2</sub> - elektrochemiczny równoważnik substancji (cecha charakterystyczna substancji); R<sub>1,2</sub> - gramorównoważniki substancji (cecha charakterystyczna danej substancji)

#### 21.14.3 Gramorównoważnik substancji.

Jest to stosunek masy molowej do wartościowości:

$$R = \frac{M}{\omega}$$

#### Oznaczenia

R - gramorównoważniki substancji (cecha charakterystyczna danej substancji); M - masa molowa;  $\omega$  - wartościowość

#### 21.14.4 Stała Faradaya.

Jest to stosunek gramorównoważnika danej substancji do elektrochemicznego równoważnika danej substancji:

$$F = \frac{R}{k}$$

##### Oznaczenia

F - stała Faradaya; k - elektrochemiczny równoważnik substancji (cecha charakterystyczna substancji); R - gramorównoważniki substancji (cecha charakterystyczna danej substancji)

### **22. Pole magnetyczne.**

#### **22.1 Pole magnetyczne.**

Pole magnetyczne jest to taka własność przestrzeni, w której na umieszczone w niej magnesy, przewodniki z prądem i poruszające się ładunki działają siły magnetyczne. Istnieje ono wokół przewodników z prądem, wokół magnesów stałych i wokół poruszającego się ładunku.

#### **22.2 Siły magnetyczne.**

##### **22.2.1 Siła elektrodynamiczna.**

Jest to siła działająca na przewodnik z prądem umieszczony w polu magnetycznym :

$$\vec{F} = I(\vec{L} \times \vec{B}) = BIL \cdot \sin(\vec{L}, \vec{B})$$

##### Oznaczenia

F - siła elektrodynamiczna; I - natężenie prądu; L - długość przewodnika umieszczonego w polu magnetycznym; B - natężenie pola elektromagnetycznego (indukcja)

##### **22.2.2 Reguła Fleminga.**

Jeśli znamy kierunek indukcji i przepływu prądu, to możemy w następujący sposób określić kierunek działającej siły: oznaczmy palce lewej ręki od strony lewej: kciuk, palec drugi, trzeci, czwarty, piąty. Ustawiamy drugi palec w kierunku indukcji, a trzeci w kierunku natężenia prądu. Wyciągnięty pod kątem 90° do palców 2 i 3 kciuk wskaże nam kierunek działającej siły.

##### **22.2.3 Siła Lorentza.**

Jest to siła działająca na ładunek umieszczony w polu magnetycznym:

$$\vec{F} = Q(\vec{V} \times \vec{B}) = QVB \sin(\vec{V}, \vec{B})$$

##### Oznaczenia

F - siła Lorentza; B - natężenie pola elektromagnetycznego (indukcja); V - prędkość ładunku; Q - ładunek;

#### **22.3 Indukcja pola magnetycznego.**

Indukcja pola magnetycznego jest równa maksymalnej wartości siły elektrodynamicznej przypadającej na jednostkę iloczynu natężenia prądu i długości przewodnika :  $B = \frac{F_{MAX}}{IL}$

$$\left[ \frac{N}{Am} = T \right]$$

##### Oznaczenia

F<sub>MAX</sub> - maksymalna wartość siły elektrodynamicznej; B - natężenie pola elektromagnetycznego (indukcja); I - natężenie prądu; L - długość przewodnika

## 22.4 Linie pola magnetycznego.

### 22.4.1 Linie pola magnetycznego.

Są to krzywe, do których styczne w każdym punkcie pokrywają się z kierunkiem indukcji magnetycznej.

### 22.4.2 Własności linii pola magnetycznego.

- bieżą od N do S
- są to krzywe zamknięte
- ich ilość świadczy o indukcji
- można je wystawić w każdym punkcie pola
- brak źródła
- nie można rozdzielić pola magnetycznego

## 22.5 Strumień pola magnetycznego.

Jest to ilość linii przechodzących przez daną powierzchnię :

$$\phi = \vec{B} \cdot \vec{S} \quad [Tm^2 = Wb]$$

Strumień pola magnetycznego ma wartość 1 Webera, gdy przez powierzchnię 1 metra ustawioną  $\perp$  do linii pola przechodzą linie o indukcji 1 Tesli.

### Oznaczenia

$\phi$  - strumień pola magnetycznego; B - natężenie pola elektromagnetycznego (indukcja); S - pole powierzchni

## 22.6 Prawo Gaussa dla pola magnetycznego.

Strumień pola magnetycznego przechodzącego przez dowolną powierzchnię zamkniętą jest równy 0.

## 22.7 Prawo Ampera.

### 22.7.1 Prawo Ampera.

Służy do wyznaczania indukcji pola magnetycznego pochodzącego z różnych przewodników z prądem.

Prawo Ampera : Krążenie wektora indukcji po dowolnej krzywej zamkniętej jest proporcjonalne do sumy natężeń prądów zawartych wewnątrz tej krzywej :

$$\sum_{i=1}^n \vec{B}_i \Delta L_i = \mu_0 \sum_{j=1}^m I_j$$

### Oznaczenia

I - natężenie prądu;  $\Delta L$  - długość krzywej zamkniętej; B - natężenie pola elektromagnetycznego (indukcja);  $\mu_0$  - przenikalność magnetyczna próżni; j - ilość natężeń (przewodników); i - ilość odcinków krzywej

### 22.7.2 Indukcje pola magnetycznego wokół przewodników z prądem.

Indukcja wokoło przewodnika prostoliniowego:

$$B = \frac{\mu_0 I}{2\pi R}$$

### Oznaczenia

I - natężenie prądu; R - odległość danego punktu od przewodnika; B - natężenie pola elektromagnetycznego (indukcja);  $\mu_0$  - przenikalność magnetyczna próżni;

Indukcja w środku solenoidu:  $B = \frac{\mu_0 In}{L}$

Oznaczenia

I - natężenie prądu; n - ilość zwojów; B - natężenie pola elektromagnetycznego (indukcja);  $\mu_0$  - przenikalność magnetyczna próżni; L - długość solenoidu.

Indukcja w środku 1 zwoju :  $B = \frac{\mu_0 I}{2R}$

Oznaczenia

I - natężenie prądu; R - promień zwoju; B - natężenie pola elektromagnetycznego (indukcja);  $\mu_0$  - przenikalność magnetyczna próżni;

### 22.8 Prawo oddziaływania przewodników z prądem.

Dwa  $\infty$  długie, cienkie, równoległe, umieszczone w próżni przewodniki z

prądem elektrycznym oddziałują na siebie siłą :  $F = \frac{\mu_0 I_1 I_2 L}{2\pi R}$

Korzystając z tego prawa i z definicji Ampera (zob. pkt. 21.2) można wyznaczyć  $\mu_0$  :

$$2 \cdot 10^{-7} = \frac{\mu_0 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1}{2\pi \cdot 1} \Rightarrow \mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} \quad \left[ \frac{N}{A^2} \right]$$

Oznaczenia

$I_{1,2}$  - natężenia prądu w poszczególnych przewodnikach;

$\mu_0$  - przenikalność magnetyczna próżni; L - element długości przewodników; R - odległość przewodników od siebie;

### 22.9 Ruch ładunków w polu magnetycznym.

#### 22.9.1 Ładunek wpada równoległe do linii pola.

Nic się nie zmienia.

#### 22.9.2 Ładunek wpada $\perp$ do linii pola.

Ładunek zacznie się poruszać po okręgu;

promień okręgu :  $R = \frac{MV}{QB}$

Oznaczenia

R - promień okręgu; M - masa ładunku; V - prędkość ładunku; Q - ładunek; B - natężenie pola magnetycznego (indukcja)

#### 22.9.3 Ładunek wpada pod kątem $\alpha$ do linii pola.

Ładunek zacznie się poruszać po linii śrubowej.

Promień śruby:  $R = \frac{MV \sin \alpha}{QB}$  ;

Okres obiegu :  $T = \frac{2\pi M}{QB}$

Prędkość cyklotronowa :  $\omega = \frac{QB}{M}$  ;

skok śruby:  $h = V \frac{2\pi M}{QB} \cos \alpha$

### Oznaczenia

R - promień śruby; M - masa ładunku; V - prędkość ładunku; Q - ładunek; T - okres obiegu;  $\omega$  - prędkość cyklotronowa; h - skok śruby;

B - natężenie pola elektromagnetycznego (indukcja);

### **22.10 Moment siły i moment magnetyczny ramki z prądem.**

Na ramkę z prądem elektrycznym umieszczoną w polu magnetycznym działają siły.

Moment siły:  $\vec{M} = I(\vec{s} \times \vec{B})$

Moment magnetyczny:  $\vec{m} = I \bullet \vec{s}$

Moment magnetyczny jest zawsze przeciwnie skierowany do momentu pędu.

### Oznaczenia

$\vec{M}$  - moment siły; I - natężenie prądu; s - pole powierzchni ramki; B - natężenie pola elektromagnetycznego (indukcja); m - moment magnetyczny

### **22.11 Właściwości magnetyczne materii.**

Są one związane ze spinowym momentem magnetycznym (zob.pkt. 18.9).

#### **22.11.1** Diamagnetyki.

Atomy nie posiadają gotowych momentów magnetycznych.



Wstawiony do pola

magnetycznego zostanie wypchnięty, ponieważ wewnątrz występuje pole magnetyczne przeciwne do pola zewnętrznego. Pojawiają się momenty magnetyczne wyindukowane.

Przenikalność magnetyczna dla diamagnetyków :  $\mu < 1$ ; Ta własność nie zmienia się wraz z temperaturą.

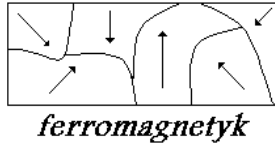
#### **22.11.2** Paramagnetyki.

Posiadają niewielką ilość momentów magnetycznych rozłożonych chaotycznie po całej substancji. Wypadkowy moment magnetyczny, a co za tym idzie indukcja, jest równy 0. Przenikalność magnetyczna dla paramagnetyków ( $\mu$ ) jest niewiele większa od 1 i zależy od temperatury - istnieje temperatura, gdy paramagnetyk staje się ferromagnetykiem.

#### **22.11.3** Ferromagnetyki.

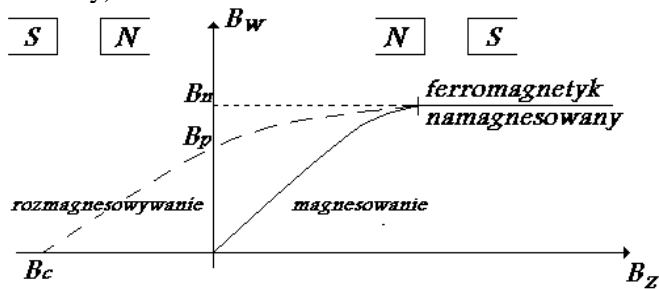
Silnie oddziałują z polem magnetycznym. Cechą charakterystyczną są *domeny* - obszary jednakowego namagnesowania (moment magnetyczny ma ściśle określony kierunek).





Wykres zależności pola

wewnętrznego od zewnętrznego pola przyłożonego do ferromagnetyka (pętla histerezy) :



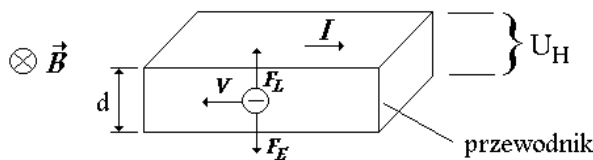
$B_w$  - indukcja

wewnętrzna;  $B_z$  - indukcja zewnętrzna;

$B_p$  - pozostałość magnetyczna;  $B_c$  - wielkość pola zewnętrznego, które spowoduje całkowite rozmagnesowanie

Po wielu magnesowaniach i rozmagnesowaniach ferromagnetyka indukcja nie osiągnie wartości 0. Pole objęte pętlą histerezy jest miarą strat energii pola magnetycznego podczas magnesowania ferromagnetyka. Pozostałość magnetyczna jest pamięcią magnetyczną - wykorzystane jest to w dyskietkach, taśmach magnetofonowych, wideo itp.

### 22.12 Zjawisko Hala.



Na każdy elektron

poruszający się w przewodniku umieszczonym w polu magnetycznym działa siła Lorentza

- ładunki nie będą rozłożone równomiernie. Wytworzy się różnica potencjałów - napięcie Hala:  $U_H = v_D B d$

Prędkość dryfu ( $v_D$ ) - prędkość z jaką poruszają się elektrony w wyniku nałożenia się ruchu chaotycznego cieplnego z ruchem uporządkowanym wywołanym polem elektrycznym.

#### Oznaczenia

$B$  - natężenie pola elektromagnetycznego (indukcja);  $U_H$  - napięcie Hala;  $v_D$  - prędkość dryfu;  $d$  - grubość przewodnika

## **23. Prąd zmienny.**

### **23.1 Indukcja elektromagnetyczna i prawo Faradaya dla przewodnika.**

#### **23.1.1 Indukcja elektromagnetyczna.**

Jest to przyczyna pojawienia się prądu w obwodzie bez źródła prądu, gdy nastąpi zmiana strumienia pola elektromagnetycznego.

#### **23.1.2 Prawo Faradaya dla przewodnika.**

$$\text{Prawo Faradaya : } \varepsilon = - \frac{d\phi}{dT} \quad [V]$$

Siła elektromotoryczna indukcji jest równa zmianie strumienia pola magnetycznego w czasie wziętej ze znakiem minus lub pierwszej pochodnej strumienia pola magnetycznego po czasie wziętej ze znakiem minus.

Prawo Faradaya jest zasadą zachowania energii.

#### **Oznaczenia**

$\varepsilon$  - siła elektromotoryczna indukcji;  $\phi$  - strumień pola magnetycznego;

T - czas

### **23.2 Reguła Lenza.**

Prąd indukcyjny ma taki kierunek, że wytworzony przez ten prąd strumień pola magnetycznego sprzeciwia się zmianom strumienia, dzięki któremu powstał.

### **23.3 Zjawisko samoindukcji.**

Podczas otwierania i zamykania obwodu z prądem mamy do czynienia ze zmianą strumienia pola magnetycznego i - zgodnie z prawem indukcji Faradaya (zob.pkt.23.1) - w obwodzie pojawi się siła elektromotoryczna samoindukcji. W obwodzie popłynie krótkotrwały prąd indukcyjny :

$$\varepsilon_{SI} = -L \frac{dI}{dT}, \quad L = - \frac{\mu_0 n^2 s}{l} \quad \left[ \frac{VA}{S} = H(\text{henr}) \right]$$

1 henr to indukcyjność takiego obwodu, w którym przy zmianie natężenia prądu o 1 A w czasie 1 s powstanie  $\varepsilon$  o wartości 1 V.

#### **Oznaczenia**

$\varepsilon_{SI}$  - siła elektromotoryczna samoindukcji; I - natężenie prądu elektrycznego przy zwarciu; T - czas; L - współczynnik samoindukcji (cecha charakterystyczna zwojniczy);  $\mu_0$  - przenikalność magnetyczna próżni; n - ilość zwojów; s - pole powierzchni; l - długość zwojniczy

### **23.4 Prądy Foucoult'a.**

Są to prądy wirowe powstające w jednolitych płytach metalu, gdy je wstawimy do zmiennego pola magnetycznego. Elektrony do ruchu po okręgu zmusza siła elektromotoryczna. Zjawisko to ma zastosowanie w piecach indukcyjnych i licznikach energii elektrycznej.

### **23.5 Prąd zmienny, przemienny i generator prądu zmiennego.**

#### **23.5.1 Prąd zmienny.**

Prąd zmienny - zmienia się jego kierunek i natężenie.

#### **23.5.2 Prąd przemienny.**

Prąd przemienny - pola zakreślone nad i pod osią w ciągu 1 okresu są sobie równe.

### 23.5.3 Generator prądu zmiennego.

Najprostszym generatorem prądu zmiennego jest ramka obracająca się w stałym polu

magnetycznym. Obrót powoduje zmianę strumienia pola magnetycznego.

Siła elektromotoryczna ramki z prądem:  $\varepsilon = \varepsilon_0 \sin(\omega \cdot T)$ ,  $\varepsilon_0 = BS\omega$

Natężenie prądu :  $I = I_0 \sin(\omega \cdot T)$ ,  $I_0 = \frac{\varepsilon_0}{R}$

#### Oznaczenia

$\varepsilon$  - siła elektromotoryczna ramki z prądem;  $\varepsilon_0$  - maksymalna wartość siły elektromotorycznej; I - natężenie prądu elektrycznego; T - czas; S - pole powierzchni ramki;  $I_0$  - maksymalne natężenie prądu elektrycznego;

R - opór;  $\omega$  - prędkość kątowna ramki z prądem; B - natężenie pola magnetycznego (indukcja)

### 23.6 Wartości skuteczne prądu elektrycznego zmiennego.

Natężenie skuteczne:  $I = \frac{I_0}{\sqrt{2}}$

Napięcie skuteczne:  $U = \frac{U_0}{\sqrt{2}}$

#### Oznaczenia

U - napięcie skuteczne;  $U_0$  - maksymalna wartość napięcia; I - natężenie skuteczne prądu elektrycznego;

$I_0$  - maksymalne natężenie prądu elektrycznego;

### 23.7 Praca i moc prądu elektrycznego zmiennego.

Moc :  $P = \frac{1}{2} U_0 I_0 \cos \varphi = UI \cos \varphi$       Praca :  $W = UIT \cos \varphi$

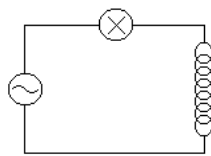
#### Oznaczenia

U - napięcie skuteczne;  $U_0$  - maksymalna wartość napięcia; I - natężenie skuteczne prądu elektrycznego;

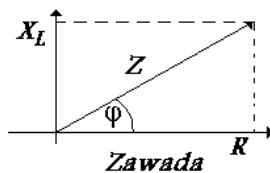
$I_0$  - maksymalne natężenie prądu elektrycznego; T - czas;  $\varphi$  - kąt przesunięcia fazowego

### 23.8 Obwody prądu zmiennego.

#### 23.8.1 Obwód RL



Obwód RL



Zawada

Obwód składa się ze

źródła prądu, żarówki i zwojnicy. Sumaryczny opór żarówki i zwojnicy wynosi

R. Opór pozorny (nie wydzielą się na nim ciepło) indukcyjny zwojnicy wynosi

$X_L$ . Po włożeniu do zwojnicy rdzenia zwiększamy opór indukcyjny, czyli

zmniejszamy natężenie prądu. Opór indukcyjny zwojnicy :  $X_L = \omega \cdot L$

Zawada - wypadkowy opór obwodu :

$$Z = \sqrt{R^2 + X_L^2} = \sqrt{R^2 + \omega^2 L^2}$$

Natężenie prądu :  $I = I_0 \sin(\omega \cdot T - \varphi)$

Napięcie:  $U = U_0 \sin(\omega \cdot T)$

Natężenie w stosunku do napięcia jest opóźnione

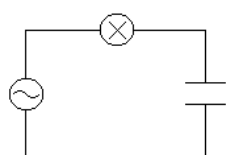
$$\text{Kąt przesunięcia fazowego : } \tan \varphi = \frac{\omega \cdot L}{R}$$

$$\text{II prawo Kirchoffa : } L \frac{dI}{dT} + RI = \varepsilon_0 \sin(\omega \cdot T)$$

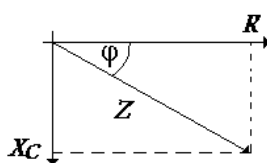
#### Oznaczenia

$\varepsilon_0$  - siła elektromotoryczna ogniwa;  $X_L$  - opór indukcyjny zwojnicy;  $\omega$  - prędkość kątowa ramki z prądem (zob.pkt.23.5.3);  $T$  - czas;  $Z$  - zawada;  $\varphi$  - kąt przesunięcia fazowego;  $R$  - Sumaryczny opór żarówki i zwojnicy  $U$ - napięcie skuteczne;  $U_0$  - maksymalna wartość napięcia;  $I$  - natężenie skuteczne prądu elektrycznego;  $I_0$  - maksymalne natężenie prądu elektrycznego;  $L$  - współczynnik samoindukcji (cecha charakterystyczna zwojnicy) (zob.pkt.23.3);

#### 23.8.2 Obwód RC.



Obwód RC



Zawada

Obwód składa się ze źródła prądu, żarówki i kondensatora. Opór żarówki wynosi  $R$ . Opór pozorny (nie wydziela się na nim ciepło) pojemnościowy kondensatora wynosi  $X_C$ . Opór pozorny pojemnościowy :  $X_C = \frac{1}{\omega \cdot C}$

Zawada - wypadkowy opór obwodu :

$$Z = \sqrt{R^2 + X_C^2} = \sqrt{R^2 + \frac{1}{\omega^2 C^2}}$$

Zawada jest mniejsza od oporu (co najwyżej równa).

Natężenie prądu :  $I = I_0 \sin(\omega \cdot T + \varphi)$

Napięcie:  $U = U_0 \sin(\omega \cdot T)$

Natężenie wyprzedza napięcie o kąt przesunięcia fazowego.

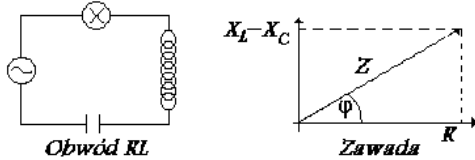
$$\text{Kąt przesunięcia fazowego : } \tan \varphi = \frac{1}{R\omega \cdot C}$$

$$\text{II prawo Kirchoffa : } R \frac{dQ}{dT} + \frac{1}{C} Q = \varepsilon_0 \sin(\omega \cdot T)$$

#### Oznaczenia

$\varepsilon_0$  - siła elektromotoryczna ogniwa;  $Q$  - ładunek;  $C$  - pojemność kondensatora;  $X_C$  - opór pozorny pojemnościowy;  $\omega$  - prędkość kątowa ramki z prądem (zob.pkt.23.5.3);  $T$  - czas;  $Z$  - zawada;  $\varphi$  - kąt przesunięcia fazowego;  $R$  - Sumaryczny opór żarówki i zwojnicy  $U$ - napięcie skuteczne;  $U_0$  - maksymalna wartość napięcia;  $I$  - natężenie skuteczne prądu elektrycznego;  $I_0$  - maksymalne natężenie prądu elektrycznego;

### 23.8.3 Obwód RLC.



Obwód taki buduje się, aby zniwelować działanie oporu pozornego. Zakładamy, że  $X_L > X_C$ . Obwód składa się ze źródła prądu, żarówki, zwojnicy i kondensatora. Sumaryczny opór żarówki i zwojnicy wynosi  $R$ . Opór pozorny (nie wydziela się na nim ciepło) pojemnościowy kondensatora wynosi  $X_C$ .

Opór pozorny pojemnościowy :  $X_C = \frac{1}{\omega \cdot C}$ .

Opór indukcyjny zwojnicy :  $X_L = \omega \cdot L$

Zawada - wypadkowy opór obwodu :

$$Z = \sqrt{R^2 + (X_L - X_C)^2} = \sqrt{R^2 + \left(\omega \cdot L - \frac{1}{\omega \cdot C}\right)^2}$$

Zawada jest mniejsza od oporu (co najwyżej równa).

Natężenie prądu :  $I = I_0 \sin(\omega \cdot T - \varphi)$

Napięcie:  $U = U_0 \sin(\omega \cdot T)$

Natężenie w stosunku do napięcia jest opóźnione o kąt przesunięcia fazowego.

Kąt przesunięcia fazowego :  $\tan \varphi = \frac{\omega \cdot L - \frac{1}{\omega \cdot C}}{R}$

II prawo Kirchoffa:  $L \frac{d^2 Q}{dT^2} + R \frac{dQ}{dT} + \frac{Q}{C} = \varepsilon_0 \sin(\omega \cdot T)$

#### Oznaczenia

$\varepsilon_0$  - siła elektromotoryczna ogniwa;  $Q$  - ładunek;  $C$  - pojemność kondensatora;  $X_C$  - opór pozorny pojemnościowy;  $\omega$  - prędkość kątowa ramki z prądem (zob.pkt.23.5.3);  $T$  - czas;  $Z$  - zawada;  $\varphi$  - kąt przesunięcia fazowego;  $R$  - Sumaryczny opór żarówki i zwojnicy  $U$ - napięcie skuteczne;  $U_0$  - maksymalna wartość napięcia;  $I$  - natężenie skuteczne prądu elektrycznego;  $I_0$  - maksymalne natężenie prądu elektrycznego;

$L$  - współczynnik samoindukcji (cecha charakterystyczna zwojnicy) (zob.pkt.23.3);

### 23.9 Wzór Kelwina lub Tompsona.

Wzór na częstotliwość prądu w obwodzie RLC, przy której zawada przyjmuje

najmniejszą wartość (zob.pkt.23.10) :  $f = \frac{1}{2\pi\sqrt{CL}}$

#### Oznaczenia

$C$  - pojemność kondensatora;  $L$  - współczynnik samoindukcji (cecha charakterystyczna zwojnicy) (zob.pkt.23.3);  $f$  - częstotliwość.

### 23.10 Prąd bezwatuwy.

Jest to prąd, którego kąt przesunięcia fazowego wynosi  $90^\circ$ . Średnia moc nie jest pochłaniana przez obwód mimo iż płynie prąd.

### 23.11 Transformator.

Jest to urządzenie zamieniające napięcie z wysokiego na niskie. Składa się z rdzenia, na który są nawinięte uzwojenia : pierwotne (ze źródłem prądu) i wtórne (z odbiornikiem). Działa na zasadzie indukcji wzajemnej - jedno uzwojenie wspomaga drugie. Prąd w uzwojeniu wtórnym jest przesunięty o  $180^{\circ}$ .

$$\text{Przekładnia transformatora: } k = \frac{U_P}{U_W} = \frac{n_P}{n_W};$$
$$\frac{I_P}{I_W} = \frac{n_W}{n_P}$$

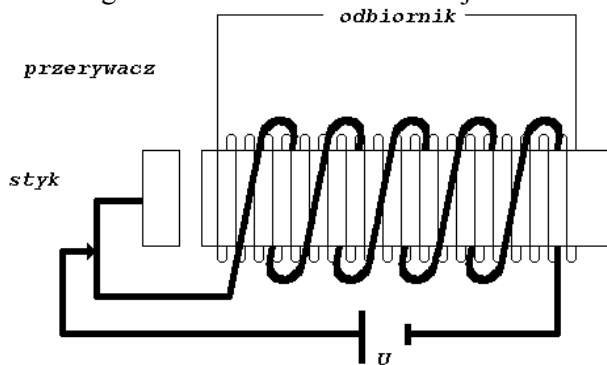
$$\text{Sprawność transformatora : } \eta = \frac{P_W}{P_P} \cdot 100\%$$

#### Oznaczenia

$U_{P(W)}$ - napięcie skuteczne w uzwojeniu pierwotnym (wtórnym);  $I_{P(W)}$  - natężenie skuteczne prądu elektrycznego w uzwojeniu pierwotnym (wtórnym);  $k$  - przekładnia transformatora;  $n_{P(W)}$  - ilość zwoi w uzwojeniu pierwotnym (wtórnym);  $\eta$  - sprawność transformatora;  $P_{P(W)}$ - moc w uzwojeniu pierwotnym (wtórnym);

### 23.12 Induktor.

Służy do zamiany niskiego napięcia prądu stałego na wysokie napięcie prądu zmiennego. Działa na zasadzie indukcji elektromagnetycznej.



Składa się z rdzenia, na nim nawinięte są 2 uzwojenia : pierwotne (zasilane prądem stałym; mała ilość zwojów z grubego drutu) i wtórne (dużo zwojów z cienkiego drutu). Zwykle używa się napięcia 6~8 V.

## **24. Drgania**

### **24.1 Ruch drgający prosty.**

Ruch drgający jest ruchem okresowym. Punkt materialny przebywa stale w okolicach położenia równowagi.

Okres (T) - czas 1 pełnego drgnięcia

$$\text{Częstotliwość : } f = \frac{1}{T} \quad [\text{Hz}]$$

Amplituda (A) - maksymalne wychylenie z położenia równowagi.

$$\text{Wychylenie : } X = A \sin(\omega \cdot t)$$

#### Oznaczenia

f - częstotliwość; T - okres; X - wychylenie; t - czas; A - amplituda;  $\omega$  - prędkość kątowna

### **24.2 Prędkość i przyspieszenie w ruchu drgającym prostym.**

#### **24.2.1 Prędkość w ruchu drgającym prostym.**

$$\text{Prędkość : } V = \frac{dX}{dt} = A\omega \cdot \cos(\omega \cdot t)$$

#### **24.2.2 Przyspieszenie w ruchu drgającym prostym.**

$$\text{Przyspieszenie : } a = \frac{dV}{dt} = -A\omega^2 \sin(\omega \cdot t) = -X\omega^2$$

Przyspieszenie jest zawsze skierowane przeciwnie do wychylenia.

#### Oznaczenia

V - prędkość; a - przyspieszenie; T - okres; X - wychylenie; t - czas; A - amplituda;  $\omega$  - prędkość kątowna

### **24.3 Siła w ruchu drgającym prostym.**

$$\text{Siła : } F = -kX, \quad k = m\omega^2$$

#### Oznaczenia

F - siła; m - masa; k - współczynnik sprężystości sprężyny (cecha charakterystyczna sprężyny); X - wychylenie;  $\omega$  - prędkość kątowna

### **24.4 Energia w ruchu drgającym prostym.**

$$\text{Energia całkowita : } E = \frac{1}{2} kA^2$$

#### Oznaczenia

A - amplituda; E - energia całkowita; k - współczynnik sprężystości sprężyny (cecha charakterystyczna sprężyny)

### **24.5 Okres drgań sprężyny.**

Sprężyna wykonuje ruch drgający prosty. Zakładamy, że sprężyna wisi swobodnie pionowo w dół, do niej jest podczepiony ciężarek.

$$\text{Okres drgań : } T = 2\pi \sqrt{\frac{m}{k}}$$

#### Oznaczenia

m - masa ciężarka; k - współczynnik sprężystości sprężyny (cecha charakterystyczna sprężyny); T - okres

## 24.6 Równanie ruchu drgającego prostego (równanie oscylatora harmonicznego).

$$\text{Równanie : } \frac{d^2 X}{dt^2} + \omega^2 X = 0$$

Człon przy X będzie zawsze <sup>2</sup> prędkości kątowej.

$$\text{Rozwiązanie : } X = A \sin(\omega \cdot t + \varphi_0)$$

### Oznaczenia

X - wychylenie; t - czas;  $\omega$  - prędkość kątowa; A - amplituda;

## 24.7 Wahadło matematyczne.

Jest to punkt materialny zawieszony na nieważkiej i nierozciągliwej nici. Kąt wychylenia nie przekracza  $16^\circ$ .

## 24.8 Okres wahadła matematycznego.

$$\text{Okres : } T = 2\pi \sqrt{\frac{l}{g}}$$

Po umieszczeniu wahadła w windzie, okres zmieni się następująco :

- gdy winda przyspiesza w dół :  $T = 2\pi \sqrt{\frac{l}{g-a}}$
- gdy winda hamuje w dół :  $T = 2\pi \sqrt{\frac{l}{g+a}}$
- gdy winda spada, wahadło jest w stanie nieważkości

### Oznaczenia

T - okres; l - długość wahadła; g - przyspieszenie ziemski (grawitacja); a - przyspieszenie windy.

## 24.9 Wahadło fizyczne.

Jest to wahająca się bryła sztywna.

## 24.10 Okres wahadła fizycznego.

$$\text{Okres : } T = 2\pi \sqrt{\frac{I}{mgd}}$$

### Oznaczenia

T - okres; I - moment bezwładności wahadła; g - przyspieszenie ziemski (grawitacja); m - masa wahadła; d - odległość środka ciężkości od punktu zaczepienia.

## 24.11 Równanie wahadła fizycznego.

$$\text{Równanie : } \frac{d^2 \alpha}{dt^2} + \frac{mgd}{I} \alpha = 0$$

Człon przy  $\alpha$  będzie zawsze <sup>2</sup> prędkości kątowej.

### Oznaczenia

I - moment bezwładności wahadła; g - przyspieszenie ziemski (grawitacja); m - masa wahadła; d - odległość środka ciężkości od punktu zaczepienia;  $\alpha$  - maksymalny kąt wychylenia wahadła.



### 24.12 Zredukowana długość wahadła matematycznego.

Jest to długość wahadła matematycznego, przy której jego okres jest równy okresowi wahadła fizycznego.

$$l = \frac{I}{md}$$

#### Oznaczenia

I - moment bezwładności wahadła; m - masa wahadła; d - odległość środka ciężkości od punktu zaczepienia; l - długość.

### 24.13 Drgania elektromagnetyczne.

Obwód drgający :



Obwód jest wykonany z nadprzewodnika. Składa się z naładowanego

kondensatora i zwojnicy. Energia kondensatora :  $E_C = \frac{1}{2} CU^2 = \frac{Q^2}{2C}$ . Po

zamknięciu obwodu kondensator rozładowuje się - popłynie prąd o malejącym natężeniu. Energia kondensatora zmieni się w energię pola elektrycznego :

$E_L = \frac{1}{2} I^2 l$ . Ponieważ, że w obwodzie popłynie prąd o zmiennym natężeniu, to w

zwojnicy wyindukuje się prąd, którego kierunek zgodny będzie z regułą Lenza

(zob.pkt.23.2) - w tym samym kierunku :  $\varepsilon = -L \frac{dI}{dt}$ . Największy prąd

indukcyjny będzie, gdy kondensator będzie całkowicie rozładowany. Cała

energia będzie skupiona w zwojnicy. Prąd indukcyjny ponownie naładuje

kondensator, lecz o przeciwnej polaryzacji. Następnie popłynie prąd w

przeciwnym kierunku, który wyindukuje na zwojnicy prąd o tym samym

kierunku i ponownie naładuje kondensator. Itd.

Drgania elektromagnetyczne polegają na zamianie pola elektrycznego na magnetyczne i odwrotnie.

#### Oznaczenia

Q - całkowity ładunek w obwodzie; I - natężenie prądu;  $E_L$  = energia pola elektrycznego;  $E_C$  - energia kondensatora; C - pojemność kondensatora; U - napięcie (różnica potencjałów; l - długość zwojnicy; L - współczynnik samoindukcji (cecha charakterystyczna zwojnicy) (zob.pkt.23.3);

### 24.14 Okres drgań elektromagnetycznych.

Okres :  $T = 2\pi\sqrt{CL}$

#### Oznaczenia

C - pojemność kondensatora; L - współczynnik samoindukcji (cecha charakterystyczna zwojnicy) (zob.pkt.23.3);

### 24.15 Składanie drgań harmonicznych.

a) Składanie drgań wzdłuż tego samego kierunku :

Aby powstało drganie harmoniczne, częstotliwości wahadeł muszą być takie same.

$$\text{Wychylenie : } X = 2A \sin\left(t \frac{\omega_1 + \omega_2}{2}\right) \cos\left(t \frac{\omega_1 - \omega_2}{2}\right)$$

Oznaczenia

X - wychylenie;  $\omega_{1(2)}$  - prędkość kątowa pierwszego (drugiego) wahadła;  
A - amplituda; t - czas;

b) Składanie drgań wzajemnie prostopadłych : Etapy ruchu : 1) \ 2) o 3) / 4) o 5) \

$$\text{Wychylenie : } X = A_1 \sin(\omega \cdot t); \quad Y = A_2 \sin(\omega \cdot t); \quad Y = \frac{A_2 X}{A_1}$$

Oznaczenia

X - wychylenie pierwszego wahadła; Y - wychylenie drugiego wahadła;  $\omega$  - prędkość kątowa pierwszego wahadła;

$A_{1(2)}$  - amplituda pierwszego (drugiego) wahadła; t - czas;

c) Składanie 2 drgań przesuniętych o  $90^\circ$  :

$$\text{Wychylenie : } X = A_1 \sin(\omega \cdot t)$$

$$Y = A_1 \sin\left(\omega \cdot t + \frac{\pi}{2}\right) = A_1 \cos(\omega \cdot t)$$

Te dwa równania tworzą układ równań. Inna jego postać :  $\frac{X^2}{A_1^2} + \frac{Y^2}{A_2^2} = 1$  - jest

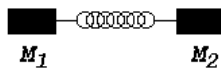
to równanie elipsy. Jej wykres nazywamy krzywą Lissajous.

Oznaczenia

X - wychylenie pierwszego wahadła; Y - wychylenie drugiego wahadła;  $\omega$  - prędkość kątowa pierwszego wahadła;

$A_{1(2)}$  - amplituda pierwszego (drugiego) wahadła; t - czas;

### 24.16 Okres drgań sprężyny ułożonej poziomo.



Tarcie pomijamy. Okres :  $T = 2\pi \sqrt{\frac{2M_1M_2}{k(M_2 - M_1)}}$

Oznaczenia

T - okres;  $M_{1(2)}$  - masa pierwszego (drugiego) ciężarka; k - współczynnik sprężystości sprężyny (cecha charakterystyczna sprężyny).

### 24.17 Drgania tłumione.

Drgania tłumione występują wtedy, gdy w układzie działają siły oporu ośrodka.

Siła oporu :  $\vec{F}_o = -b\vec{V}$

Współczynnik tłumienia :  $\zeta = \frac{b}{2M}$

Wychylenie :  $X = Ae^{-\zeta t} \sin(\omega \cdot t)$

#### Oznaczenia

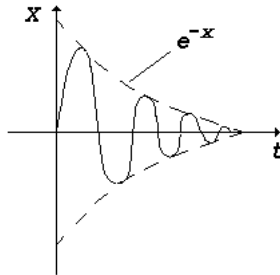
M - masa;  $F_o$  - siła oporu; b - współczynnik oporu;

V - prędkość;  $\zeta$  - współczynnik tłumienia; A - amplituda;

t - czas;  $\omega$  - prędkość kątowna (zob.pkt.24.19).

### 24.18 Równanie ruchu drgającego tłumionego.

Równanie :  $\frac{d^2 X}{dt^2} + 2\zeta \frac{dX}{dt} + \omega_0^2 X = 0$



Ten przypadek jest gdy :  $\zeta^2 < \omega^2$ . Gdy  $\zeta^2 = \omega^2$ , to zostanie wykonany tylko jeden okres. Gdy  $\zeta^2 > \omega^2$ , mamy do czynienia wtedy z przypadkiem periodycznym - wahadło zatrzyma się przed upływem jednego okresu.

### 24.19 Prędkość kątowna wahadła w drganiach tłumionych.

Prędkość :  $\omega = \sqrt{\omega_0^2 - 4\zeta^2}$

#### Oznaczenia

$\zeta$  - współczynnik tłumienia;  $\omega$  - prędkość kątowna;  $\omega_0$  - początkowa prędkość kątowna.

### 24.20 Logarytmiczny dekrement tłumienia.

Mówi nam, jak maleje amplituda :

$$\delta = \ln\left(\frac{A_n}{A_{n+1}}\right) = \zeta \cdot t$$

#### Oznaczenia

$\delta$  - logarytmiczny dekrement tłumienia;  $\zeta$  - współczynnik tłumienia;  $A_n$  - n-ta amplituda ( $n \in \mathbb{N}$ );  $A_{n+1}$  - n-ta-plus-jeden amplituda ( $n \in \mathbb{N}$ );

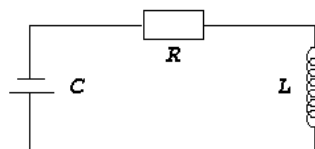
### 24.21 Czas relaksacji.

Czas, po którym amplituda zmaleje e razy:  $\tau = \frac{1}{\zeta}$

#### Oznaczenia

$\zeta$  - współczynnik tłumienia;  $\tau$  - czas relaksacji;

## 24.22 Drgania elektromagnetyczne tłumione.



Jest to obwód RLC.

$$\text{Współczynnik tłumienia} : \zeta = \frac{R}{2L}$$

$$\text{Ładunek} : Q = Q_0 e^{-\zeta t} \sin(\omega \cdot t)$$

Podczas drgań tłumionych mamy do czynienia z rozpraszaniem energii.

### Oznaczenia

$\zeta$  - współczynnik tłumienia; R - opór; L - współczynnik samoindukcji (cecha charakterystyczna zwojnicy) (zob.pkt.23.3); t - czas;  $\omega$  - prędkość kątowna; Q - ładunek;  $Q_0$  - ładunek początkowy.

## 24.23 Równanie ruchu drgającego elektromagnetycznego tłumionego.

$$\text{Równanie} : \frac{d^2 Q}{dt^2} + 2\zeta \frac{dQ}{dt} + Q\omega_0^2 = 0$$

### Oznaczenia

$\zeta$  - współczynnik tłumienia; Q - ładunek początkowy; t - czas;  $\omega_0$  - prędkość kątowna początkowa;

## 24.24 Drgania wymuszone.

Mamy z nimi do czynienia wtedy, gdy oprócz siły sprężystości sprężyny i oporu występuje siła wymuszająca ruch. Ma ona postać :

$$F = F_0 \sin(\omega \cdot t).$$

$$\text{Amplituda} : A = \frac{F_0}{2\zeta \cdot \omega \cdot m}$$

### Oznaczenia

$\zeta$  - współczynnik tłumienia; t - czas;  $\omega$  - prędkość kątowna;

F - siła wymuszająca;  $F_0$  - maksymalna siła wymuszająca (?).

## 24.25 Prędkość i przyspieszenie w drganiach wymuszonych.

### 24.25.1 Prędkość w drganiach wymuszonych.

$$\text{Prędkość} : V = A\omega \cos(\omega \cdot t + \varphi)$$

### Oznaczenia

t - czas;  $\omega$  - prędkość kątowna; A - amplituda;  $\varphi$  - kąt;

V - prędkość.

### 24.25.2 Przyspieszenie w drganiach wymuszonych.

$$\text{Przyspieszenie} : a = -A\omega^2 \sin(\omega \cdot t + \varphi)$$

### Oznaczenia

t - czas;  $\omega$  - prędkość kątowna; A - amplituda;  $\varphi$  - kąt;

a - przyspieszenie.

## 24.26 Równanie ruchu drgającego wymuszonego.

$$\text{Równanie} : \frac{d^2 X}{dt^2} + 2\zeta \frac{dX}{dt} + \omega_0^2 X = \frac{F_0}{m} \sin(\omega \cdot t)$$

Komentarz [NB1]:

### 24.27 Rezonans.

Jest to proces przekazywania jednemu ciału przez drugie o okresie równym okresowi drgań własnych. Wyróżniamy rezonans mechaniczny (jedno wahadełko przekazuje innym), akustyczny (jeden kamerton przekazuje drgania drugiemu) i elektromagnetyczny (dwa obwody LC). Warunek rezonansu elektromagnetycznego :  $L_1 C_1 = L_2 C_2$ .

#### Oznaczenia

$L_{1(2)}$  - współczynnik samoindukcji zwojnicy w pierwszym (drugim) obwodzie (cecha charakterystyczna zwojnicy) (zob.pkt.23.3);  $C_{1(2)}$  - pojemność kondensatora w pierwszym (drugim) obwodzie.

### 25. Fale.

fala - proces rozchodzenia się drgań.

Jest złożeniem ruchu drgającego i jednostajnego prostoliniowego.

Aby dane zjawisko można było nazwać falą, musi ono ulegać czterem procesom : odbiciu (zob.pkt.25.15), interferencji (zob.pkt.25.17), ugięciu (zob.pkt.25.14) i załamaniu (zob.pkt.25.16).

#### 25.1 Przemieszczenie i wektor propagacji.

Przemieszczenie :  $\Psi(X, t) = A \sin(\omega \cdot t - kX + \varphi_0)$

Wektor propagacji (k) :  $k = \frac{\omega}{V}$

#### Oznaczenia

$\Psi$  - funkcja falowa (przemieszczenie);  $\omega$  - prędkość kątowna;  
 $V$  - prędkość rozchodzenia się fali;  $k$  - wektor propagacji;  
 $A$  - amplituda;  $\varphi_0$  - faza początkowa;  $X$  - odległość od źródła;

#### 25.2 Długość, okres i częstotliwość fali. Powierzchnia falowa.

##### 25.2.1 Okres fali.

Okres (T) - czas rozejścia się jednego pełnego drgania.

##### 25.2.2 Długość fali.

Długość fali ( $\lambda$ ) - najbliższa odległość między punktami o tej samej fazie drgań.

##### 25.2.3 Częstotliwość fal.

Częstotliwość :  $f = \frac{1}{T}$

#### Oznaczenia

T - okres; f - częstotliwość.

##### 25.2.4 Powierzchnia falowa.

Powierzchnia falowa - zbiór punktów o tej samej fazie drgań.

#### 25.3 Prędkość rozchodzenia się fali.

Prędkość fali :  $V = \frac{\lambda}{T} = \lambda \cdot f$

Prędkość rozchodzenia się fali w danym ośrodku jest zawsze stała.

#### Oznaczenia

V - prędkość rozchodzenia się fali;  $\lambda$  - długość fali; T - okres;  
f - częstotliwość.

#### 25.4 Klasyfikacja fal.

- Podział ze względu na **kierunek rozchodzenia** się cząsteczek :
  - a) poprzeczne - kierunek ruchu cząstki jest  $\perp$  do kierunku rozchodzenia się fali
  - b) podłużne - - kierunek ruchu cząstki jest zgodny z kierunkiem rozchodzenia się fali
- Podział ze względu na **powierzchnię falową** :
  - c) płaskie - powierzchnia falowa jest płaska (np. fale na wodzie)
  - d) kuliste - powierzchnia falowa jest kulista (np. akustyczne, elektromagnetyczne)
- Podział fal ze względu na **widmo** :
  - e) podczerwień;
  - f) widmo widzialne ( $\lambda \in (400nm, 800nm)$ );
  - g) nadfiolet;
  - h) promieniowanie rentgenowskie;
  - i) promieniowanie gamma (jądrowe);
  - j) promieniowanie kosmiczne
- Podział fal radiowych :
  - k) długie;
  - l) średnie;
  - m) krótkie;
  - n) ultrakrótkie;
  - o) mikrofałe (telewizja, radar, kuchenka mikrofalowa);

#### Oznaczenia

$\lambda$  - długość fali.

#### 25.5 Natężenie fali.

Jest to energia przeniesiona przez falę w jednostce czasu przez jednostkową

powierzchnię :  $I = \frac{\Delta E}{\Delta t \Delta S} \quad \left[ \frac{W}{m^2} \right]$  .

#### Oznaczenia

I - natężenie fali;  $\Delta E$  - energia przeniesiona przez falę;  $\Delta t$  - czas;

$\Delta S$  - powierzchnia.

#### 25.6 Fala akustyczna.

Fala akustyczna polega na rozchodzeniu się zaburzeń gęstości ośrodka. Źródłem dźwięków słyszalnych są wszystkie ciała drgające, które mają dostateczną energię, aby wywołać w naszym uchu najsłabsze wrażenia słuchowe.

- Wysokość dźwięku zależy od częstotliwości;
- Głośność dźwięku zależy od natężenia;
- Barwa odróżnia dźwięki w zależności od pochodzenia;

Dźwięki ze względu na częstotliwość dzielimy na :

infradźwięki	$f < 16 \text{ Hz}$	nie odbieramy
dźwięki słyszalne	$f \in (16 \text{ Hz}, 20 \text{ kHz})$	odbieramy
ultradźwięki	$f > 20 \text{ kHz}$	odbieramy jako ból

Dźwięki ze względu na widmo dzielimy na :

- dźwięki, które możemy odróżnić (np. mowa)
- szумы (np. chałas)

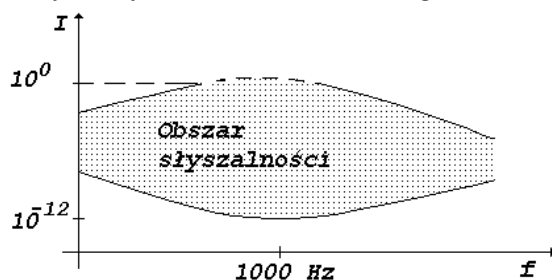
Ton - dźwięk o jednej częstotliwości

Ucho ludzkie najlepiej wyłapuje dźwięki o częstotliwości równej 1000 Hz.

Natężenie progowe (próg słyszalności dla częstotliwości = 1000 Hz) :  $I_0 = 10^{-12}$

$[\frac{W}{m^2}]$ .

Krzywa słyszalności ucha ludzkiego :



Oznaczenia

$I_0$  - natężenie progowe;  $f$  - częstotliwość.

### 25.7 Poziom słyszalności.

Poziom słyszalności :  $\Lambda = 10 \log(\frac{I}{I_0})$  [dB]

Oznaczenia

$I_0$  - natężenie progowe (zob. pkt. 25.6);  $I$  - natężenie;  $\Lambda$  - poziom słyszalności.

### 25.8 Zjawisko Dopplera.

Jest to proces polegający na zmianie częstotliwości odbieranego dźwięku, gdy obserwator lub źródło znajdują się w ruchu.

- Gdy źródło zbliża się do obserwatora :  $f' = \frac{V+U}{V-V_1} f$
- Gdy źródło oddala się od obserwatora :  $f' = \frac{V-U}{V+V_1} f$

Oznaczenia

$V$  - prędkość dźwięku;  $U$  - prędkość obserwatora;  $V_1$  - prędkość źródła dźwięku;  $f$  - częstotliwość źródła;  $f'$  - częstotliwość odbierana.

## 25.9 Ultradźwięki i syrena Sebecka.

### 25.9.1 Ultradźwięki.

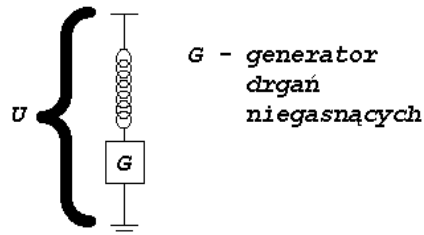
Dźwięk jest wydawany przez ciało drgające. Gdy przyłożymy do kryształu kwarcu pole elektryczne, to kryształ zacznie drgać z częstotliwością ultradźwięków. Ultradźwięki mają duże zastosowanie w detektorach wad materiałów itp.

### 25.9.2 Syrena Sebecka.

Jest to urządzenie do wytwarzania ultradźwięków. Składa się z dwóch okrągłych, dziurkowanych płyt, z których jedna się kręci.

## 25.10 Propagacja fal elektromagnetycznych.

Propagacja - rozprzestrzenianie. Do propagacji używa się obwodu LC wyposażonego dodatkowo w generator drgań niegasnących.



$$U = U_0 \sin(\omega \cdot t); \quad I = I_0 \cos(\omega \cdot t)$$

Jak widać, w obwodzie drgającym napięcie względem natężenia są przesunięte o  $90^\circ$ . Energia pola elektrycznego jest w stosunku do energii pola magnetycznego przesunięta o  $90^\circ$ .

#### Oznaczenia

$I_0$  - natężenie początkowe;  $I$  - natężenie;  $\omega$  - prędkość kątowna;  $t$  - czas;

$U$  - różnica potencjałów (napięcie);  $U_0$  - początkowa różnica potencjałów.

## 25.11 Prawa Maxwella.

### 25.11.1 Pierwsze prawo Maxwella.

Zmienne pole elektryczne wytwarza wokół siebie wirowe pole magnetyczne.

### 25.11.2 Drugie prawo Maxwella.

Zmienne pole magnetyczne wytwarza wokół siebie wirowe pole elektryczne.

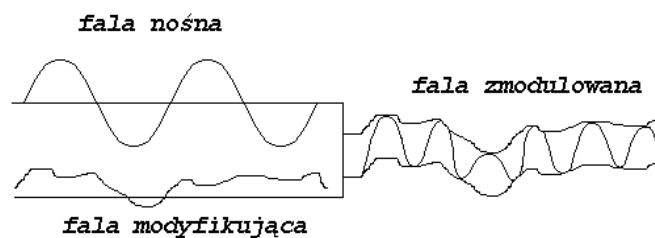
## 25.12 Właściwości fal elektromagnetycznych.



- w próżni rozchodzą się z prędkością światła;
- ich częstotliwości są małe, długości duże

### 25.13 Modulacja fal.

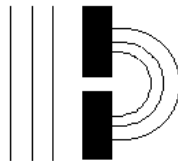
Jest to proces zapisywania informacji na fali elektromagnetycznej.



### 25.14 Zjawisko ugięcia i zasada Hugensa.

#### 25.14.1 Zjawisko ugięcia fali.

Jest to zmiana kierunku rozchodzenia się fali podczas przejścia fali przez otwór w przeszkodzie.



#### 25.14.2 Zasada Hugensa.

Każdy punkt ośrodka, do którego dotrze zaburzenie, staje się źródłem fal cząstkowych. Powierzchnia styczna do wszystkich fal cząstkowych jest powierzchnią falową. Efekt na rysunku w pkt.25.14.1 jest superpozycją fal cząstkowych.

### 25.15 Odbicie fal.

Odbicie - zmiana kierunku rozchodzenia się fali podczas zetknięcia z przeszkodą.

Jeżeli fala odbija się od ośrodka gęstszego niż ten, w którym się rozchodzi, następuje zmiana fazy fali na przeciwną (uderza grzbietem, odbija się doliną).

Kąt odbicia = kąt padania.

Promień fali, normalna do powierzchni i promień fali odbitej leżą w tej samej płaszczyźnie.

### 25.16 Załamanie fali.

Zjawisko załamania polega na zmianie kierunku rozchodzenia się fali podczas przejścia z jednego ośrodka do drugiego :  $\frac{\sin \alpha}{\sin \beta} = \frac{V_1}{V_2} = const.$

Promień fali padającej i promień fali załamanej leżą w tej samej płaszczyźnie.

- Gdy kąt padania jest mniejszy od kąta załamania, to  $V_1 < V_2$

Oznaczenia

$\alpha$  - kąt padania;  $\beta$  - kąt załamania;  $V_{1(2)}$  - prędkość rozchodzenia się fali w pierwszym (drugim) ośrodku.

### 25.17 Interferencja fal i ogólny warunek wzmocnienia i wygaszenia fali.

#### 25.17.1 Interferencja fal.

Jest to proces nakładania się fal na siebie. Interferować mogą tylko fale spójne - ich różnica faz nie zależy od czasu. Fale będą interferować wtedy, gdy mają jednakowe prędkości kątowne lub częstotliwości. Cechami charakterystycznymi są wzmocnienia i wygaszenia fali; wzmocnienia otrzymujemy wtedy, gdy fale spotkają się w zgodnej fazie; wygaszenia - gdy w przeciwnej.

#### 25.17.2 Ogólny warunek wzmocnienia fali

Ogólny warunek wzmocnienia :  $\Delta R = n\lambda$ ,  $n \in N$ ,

$$\Delta R = |R_2 - R_1|$$

#### 25.17.2 Ogólny warunek wygaszenia fali.

Ogólny warunek wygaszenia :  $\Delta R = (2n+1)\frac{\lambda}{2}$ ,  $n \in N$

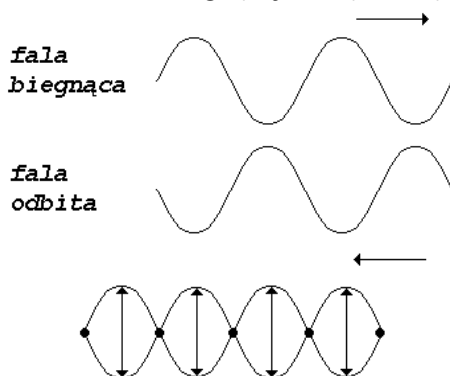
$$\Delta R = |R_2 - R_1|$$

Oznaczenia

$R_2$  - odległość drugiego źródła od miejsca interferencji;  $R_1$  - odległość pierwszego źródła od miejsca interferencji;

### 25.18 Fala stojąca.

Jest to szczególny przypadek interferencji fal (zob.pkt.25.17.1). Powstaje w wyniku nałożenia się na siebie fali biegnącej z falą odbitą.



Powstają węzły (wygaszenie fali) i strzałki (wzmocnienie fali). Węzły, tak jak strzałki, znajdują się w odległości  $\frac{1}{2}\lambda$  od siebie. Fala stojąca nie przenosi energii, można ją traktować jako rezonans skończonej liczby punktów drgających.

Oznaczenia

$\lambda$  - długość fali.

### 25.19 Częstotliwość fali stojącej na strunie.

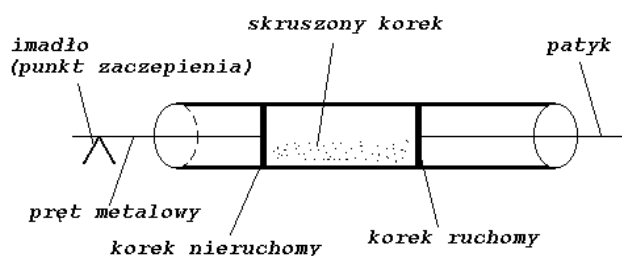
Częstotliwość :  $f = \frac{nV}{2l}$ ,  $n \in N$

Oznaczenia

f - częstotliwość; V - prędkość fali; l - długość struny; n - ilość wzmocnień (zob. pkt. 25.18) (ilość mocowań struny minus 1).

### 25.20 Rura Kundta.

Jest to rura szklana zamknięta na obu końcach. Wewnątrz jest sproszkowany korek. Drewniany ruchomy pręt pozwala dopasować słup powietrza.



Rura Kundta służy do wyznaczania prędkości fal w różnych materiałach :

$$\frac{V_M}{V_P} = \frac{l}{L}$$

Oznaczenia

$V_M$  - prędkość fali w metalu;  $V_P$  - prędkość fali w powietrzu; l - długość słupa powietrza; L - długość prętu od pkt. zaczepienia do korka.

### 25.21 Polaryzacja fal i prawo Mallusa.

Jest to proces selekcji drgań. Fala jest spolaryzowana liniowo, jeżeli wszystkie drgania zachodzą w jednym kierunku. Do polaryzacji służy polaryzator.

Najprostszym polaryzatorem jest karton z wyciętą w środku szczeliną. Szczelina ta nazywa się osią polaryzatora.

• Prawa polaryzacji :

1. Jeżeli fala spolaryzowana liniowo, której kierunek drgań jest zgodny z osią polaryzatora pada na polaryzator, to fala ta przejdzie przez niego w całości i pozostanie niezmienną.

2. Jeżeli na polaryzator pada fala spolaryzowana liniowo, przy czym kierunek polaryzacji fali jest  $\perp$  do osi polaryzatora, to po przejściu przez polaryzator fala zostanie przez niego zatrzymana.
3. Jeżeli na polaryzator pada fala spolaryzowana liniowo, której kierunek drgań tworzy z osią polaryzatora kąt  $\alpha$ , to po przejściu przez polaryzator otrzymamy falę spolaryzowaną liniowo zgodnie z osią polaryzatora, a jej natężenie będzie spełniało prawo Mallusa :  $I = I_0 \cos^2 \alpha$
4. Po przejściu fali niespolaryzowanej przez polaryzator otrzymamy falę spolaryzowaną liniowo zgodnie z osią polaryzatora, a jej natężenie spełnia wzór :  $I = \frac{1}{2} I_0$ .

Fale akustyczne nie ulegają polaryzacji.

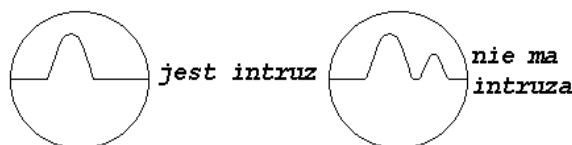
Aby sprawdzić, czy fala po przejściu przez polaryzator uległa polaryzacji, ustawiamy na jej drodze analizator (drugi polaryzator).

Oznaczenia

I - natężenie;  $I_0$  - natężenie początkowe.

### 25.22 Radar.

Jest to układ nadajnika i odbiornika, działających w zakresie mikrofal. Sygnał wysyłany odbija się od przeszkody i wraca.



Odległość między pikami pozwala na obliczenie odległości intruza od nadajnika.

## 26. Optyka geometryczna.

### 26.1 Fale świetlne. Częstotliwość fal świetlnych. Bezwzględny współczynnik załamania.

#### 26.1.1 Fale świetlne.

Wysyła je każde ciało świecące, którego energii jest dostatecznie duża, aby nasze oko mogło je zaobserwować.

• Podział fal świetlnych :

- a) podczerwień;
- b) widmo widzialne ( $\lambda \in (400nm, 800nm)$ );
- c) nadfiolet;

W ośrodkach jednorodnych fale świetlne rozchodzą się prostoliniowo.

Oznaczenia

$\lambda$  - długość fali.

#### 26.1.2 Częstotliwość.

Częstotliwość :  $\nu = \frac{c}{\lambda}$

Oznaczenia

$\lambda$  - długość fali; C - prędkość światła;  $\nu$  - częstotliwość.

**26.1.3 Bezwzględny współczynnik załamania.**

Dla światła stosujemy bezwzględny współczynnik załamania :  $n = \frac{C}{V}$

Oznaczenia

n - bezwzględny współczynnik załamania; C - prędkość światła; V - prędkość światła w danym ośrodku.

**26.2 Zasada Fermata.**

Światło biegnie w taki sposób, że czas przebycia danej drogi jest najkrótszy

**26.3 Zwierciadła.**

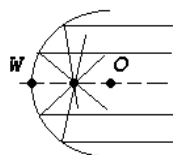
Zwierciadło - idealnie gładka powierzchnia odbijająca promienie świetlne.

Zwierciadła płaski odbijają promienie selektywnie (dwa różne promienie równoległe po odbiciu nadal są równoległe), wszystkie inne rozpraszają. Przy odbiciach prawo odbicia jest zachowane (kąt odbicia = kąt padania).

W zwierciadłach płaskich otrzymujemy obraz pozorny, prosty, tej samej wielkości co przedmiot. Aby w całości przejrzeć się w zwierciadle płaskim, jego wysokość musi być równa conajmniej połowie przedmiotu.

Zwierciadła kuliste to część wypolerowanej sfery. Jeżeli jest to część

wewnętrzna, to zwierciadło nazywamy wklęsłe, a jak zewnętrzna - to wypukłe :



O - środek krzywizny (sfery)

W - wierzchołek

W połowie drogi pomiędzy wierzchołkiem a środkiem krzywizny znajduje się ognisko zwierciadła (F).

Odległość między ogniskiem a wierzchołkiem to ogniskowa (f).

**26.4 Powiększenie.**

Jest to stosunek wysokości obrazu do wysokości przedmiotu :  $p = \frac{h'}{h} = \frac{Y}{X}$

Oznaczenia

p - powiększenie; h' - wysokość obrazu; h - wysokość przedmiotu; Y - odległość obrazu od wierzchołka zwierciadła; X - odległość przedmiotu od wierzchołka zwierciadła.

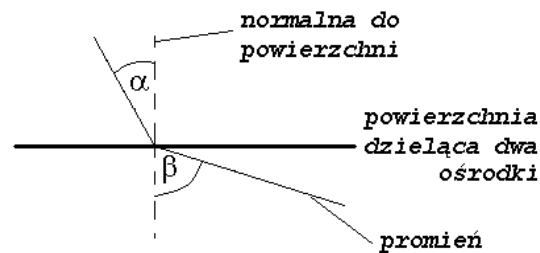
**26.5 Równanie zwierciadła.**

Równanie zwierciadła :  $\frac{2}{R} = \frac{1}{f} = \frac{1}{X} + \frac{1}{Y}$

Oznaczenia

Y - odległość obrazu od wierzchołka zwierciadła; X - odległość przedmiotu od wierzchołka zwierciadła; R - promień krzywizny zwierciadła (odległość wierzchołek-środek zwierciadła); f - ogniskowa zwierciadła (zob.pkt.26.3).

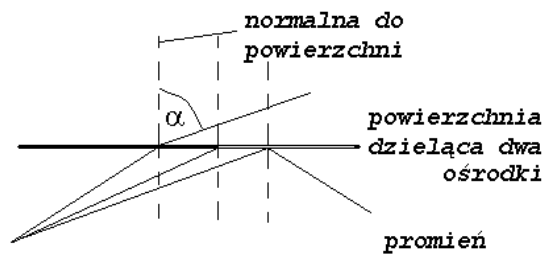
**26.6 Prawo Snelliusa.**



Prawo Snelliusa :  $n_1 \sin \alpha = n_2 \sin \beta$

$n_{1(2)}$  - bezwzględny współczynnik załamania pierwszego (drugiego) ośrodka (zob.pkt.26.1.3);

### 26.7 Całkowite wewnętrzne odbicie.



Gdy kąt  $\alpha \geq 90^\circ$  ( $90^\circ$  - kąt graniczny), to nastąpi całkowite wewnętrzne odbicie. Warunkiem tego jest również to, że ośrodek, w którym światło się rozchodzi jest gęstszy od ośrodka, od którego się odbija.

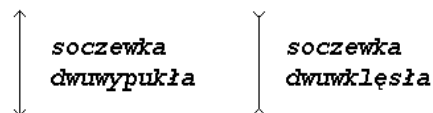
Zjawisko to jest wykorzystane m. in. w światłowodach.

### 26.8 Soczewki.

Soczewka jest to ciało przezroczyste ograniczone z conajmniej jednej strony powierzchnią sferyczną.

- Rodzaje soczewek:
  - a) dwuwypukła;
  - b) dwuwklęsła;
  - c) płaskowypukła;
  - d) płaskowklęsła

Oznaczenia soczewek na rysunku :



Ogniskowa - odległość między ogniskiem a środkiem soczewki.

Akomodacja - przystosowanie układu optycznego do obserwowania przedmiotu z bliska lub z daleka.

### 26.9 Równanie soczewki.

Równanie soczewki :  $\frac{1}{f} = \frac{1}{X} + \frac{1}{Y}$

### Oznaczenia

Y - odległość obrazu od środka soczewki; X - odległość przedmiotu od środka soczewki; f - ogniskowa soczewki.

### **26.10 Zdolność skupiająca soczewek.**

Zdolność skupiająca jest to odwrotność ogniskowej :

$$D = \frac{1}{f} = \left( \frac{n_s}{n_o} - 1 \right) \left( \frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2} \right) \quad \left[ \frac{1}{m} = \text{dioptria} \right]$$

Aberacja sferyczna - rozmyte ognisko (wada dużych soczewek). Z tego powodu używa się układów soczewek. Soczewki muszą być sklejone klejem o bezwzględnym współczynniku załamania soczewki. Sumowanie dioptrii :

$$D = D_1 + D_2 + \dots + D_n, \quad n \in N.$$

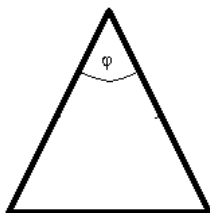
### Oznaczenia

D - zdolność skupiająca soczewek; f - ogniskowa soczewki (zob.pkt.26.8);  $n_{s(o)}$  - bezwzględny współczynnik załamania soczewki (otoczenia);

$r_1, r_2$  - promienie krzywizn soczewki (dla soczewki płaskokwłęsłej lub płaskowypukłej jeden z promieni =  $\infty$ )

### **26.11 Pryzmat. Przejście światła monochromatycznego i białego przez pryzmat.**

Pryzmat jest to ciało przezroczyste ograniczone z dwóch stron dwiema powierzchniami równoległymi i dwiema powierzchniami przycinającymi się pod pewnym kątem, zwanym kątem łamiącym pryzmatu.

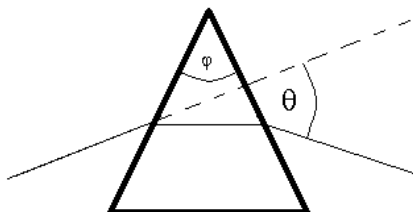


### Oznaczenia

$\varphi$  - kąt łamiący pryzmatu.

#### **26.11.1 Przejście światła monochromatycznego przez pryzmat.**

Światłem monochromatycznym nazywamy światło o jednej częstotliwości.



Jak widać, światło załamuje się 2 razy.

Kąt odchylenia :  $\theta = \varphi \cdot (n - 1)$

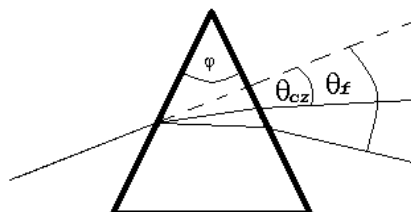
### Oznaczenia

$\varphi$  - kąt łamiący pryzmatu; n - bezwzględny współczynnik załamania pryzmatu;  $\theta$  - kąt odchylenia.





### 26.11.2 Przejście światła białego przez pryzmat.



Światło po przejściu przez pryzmat rozszczepia się na barwy składowe. Dla każdej długości fali inny jest kąt załamania. Największy jest on dla barwy fioletowej, a najmniejszy dla barwy czerwonej. Im większa długość fali (mniejsza częstotliwość), tym współczynnik załamania jest mniejszy. Wszystkie składowe : czerwona, pomarańczowa, żółta, zielona, niebieska, fioletowa, tworzą widmo światła białego (widmo ciągłe).

#### Oznaczenia

$\varphi$  - kąt łamiący pryzmatu;  $\theta_{cz(f)}$  - kąt odchylenia barwy czerwonej (fioletowej).

### 26.12 Oko jako układ optyczny.

Akomodacja - przystosowanie układu optycznego do obserwowania przedmiotu z bliska lub z daleka.

Na siatkówce są dwa rodzaje komórek : pręciki (odpowiadają za widzenie w ogóle) i czopki (odpowiadają za barwy). Najwięcej czopków jest na osi oka (tzw. plamka żółta). Są trzy rodzaje czopków, każdy czuły na inną barwę : czerwoną, zieloną i żółtą. Wrażenie różnych barw jest spowodowane niejednakowym pobudzeniem receptorów.

Bezwzględne współczynniki załamania :

rogówka	$n=1,376$
soczewka	$n=1,395$
ciałko wodniste	$n=1,336$
ciałko szkliste	$n=1,336$

Obraz otrzymany na siatkówce jest rzeczywisty, pomniejszony, odwrócony.

#### • Choroby wzroku :

- daltonizm - nie rozróżnianie barw, częściowy, gdy uszkodzony jest jeden lub dwa rodzaje czopków.
- nadwzroczność (dalekowidzenie) - frakcja układu jest za słaba w stosunku do długości gałki ocznej. Do korekcji używamy soczewek skupiających.
- krótkowzroczność - frakcja układu jest za silna w stosunku do długości gałki ocznej. Tę wadę wyrównujemy soczewkami rozpraszającymi.
- astygmatyzm - niejednokrotne załamanie się promieni świetlnych w płaszczyźnie pionowej i poziomej. Korekcja poprzez soczewki cylindryczne.

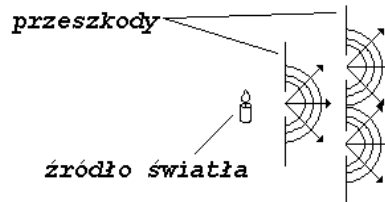
#### Oznaczenia

$n$ - bezwzględny współczynnik załamania.

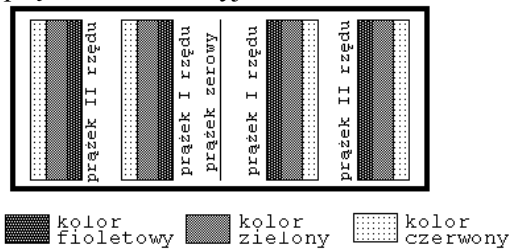
## 26.13 Interferencja fal świetlnych - doświadczenie Younga. Warunek wzmocnienia dla światła.

### 26.13.1 Interferencja fal świetlnych - doświadczenie Younga.

Doświadczenie Younga :

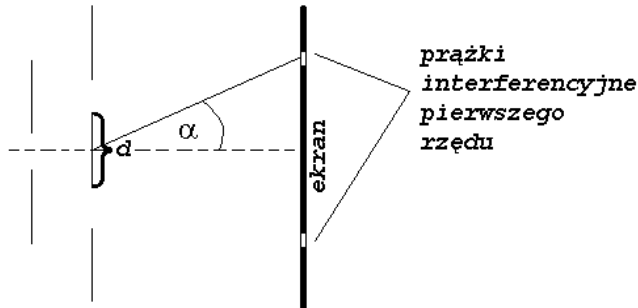


Young przepuścił białe światło przez siatkę dyfrakcyjną. Na ekranie otrzymał prążki interferencyjne :



„Tęcza” to wzmocnienie, a nie oświetlona na przestrzeń pomiędzy prążkami to wygaszenie. Najmniej ugina się fala fioletowa, a najbardziej czerwona - odwrotnie niż w pryzmacie.

### 26.13.2 Warunek wzmocnienia dla światła.



Warunek wzmocnienia

dla światła :  $d \sin \alpha = n\lambda$

#### Oznaczenia

n- bezwzględny współczynnik załamania siatki dyfrakcyjnej; d - odległość między szczelinami siatki dyfrakcyjnej;  $\lambda$  - długość fali.

## 26.14 Powiększenie lupy.

Powiększenie :  $P = \frac{d}{f} + 1$

#### Oznaczenia

d - odległość dobrego widzenia ( $d \approx 25$  cm); f - ogniskowa soczewki (zob.pkt.26.8); P - powiększenie.

## 26.15 Rodzaje lup.

Rodzaje lup :

- prosta - soczewka wypukła lub płaskowypukła - maksymalne powiększenie 5 razy;
- aplanatyczna - dwie jednakowe soczewki zwrócone wypukłościami do siebie;
- achromatyczna - soczewka klejona, skorygowane aberacje sferyczna i chromatyczna (światło po przejściu daje różne obrazy dla różnych barw));
- ortoplanatyczna - układ trzech soczewek - skorygowane aberacje sferyczna, chromatyczna i dystorsja (powstaje w wyniku różnych powiększeń różnych części obrazu z zachowaniem ostrości);
- dyfrakcyjna - ?

## 27. Dualizm korpuskularnofalowy.

### 27.1 Zdolność emisyjna i zdolność absorbcyjna ciała.

#### 27.1.1 Zdolność emisyjna ciała.

Jest to energia wyemitowana przez dane ciało w jednostce czasu przez jednostkę powierzchni :

$$e = \frac{\Delta E}{\Delta t \cdot \Delta S}$$

#### Oznaczenia

e - zdolność emisyjna;  $\Delta E$  - energia wyemitowana przez ciało;  $\Delta t$  - czas;  $\Delta S$  - powierzchnia.

#### 27.1.2 Zdolność absorbcyjna ciała.

Jest to stosunek energii zaabsorbowanej przez dane ciało do energii padającej na to ciało :

$$a = \frac{\Delta E_z}{\Delta E}$$

#### Oznaczenia

a - zdolność absorbcyjna;  $\Delta E_z$  - energia zaabsorbowana przez ciało;  $\Delta E$  - energia padająca na ciało.

### 27.2 Prawo Kirchoffa.

Prawo Kirchoffa :  $\frac{e}{a} = const.$

Ciało zaabsorbuje tylko te długości fal, które może wyemitować.

#### Oznaczenia

a - zdolność absorbcyjna; e - zdolność emisyjna.

### 27.3 Ciało doskonale czarne.

Jest to ciało absorbujące całą energię, która na to ciało pada. Może także emitować energię w całym zakresie fal elektromagnetycznych. Przykładem ciała doskonale czarnego jest czarna dziura lub Słońce.

### 27.4 Energia kwarku - wzór Plancka.

Energia kwarku :  $E = h\nu$

Wzór Plancka mówi, jaką energię zaabsorbowało dane ciało :  $E = nh\nu$ ,  $n \in N$

#### Oznaczenia

v - częstotliwość; E - energia; h - stała Plancka; n - ilość kwarków zaabsorbowanych przez ciało.

### 27.5 Prawo Stefana-Boltzmana.

Prawo :  $e = \zeta \cdot T^4$

Im bardziej gorące ciało, tym więcej energii emituje z przedziału krótszych długości fal.

Korzystając z prawa Stefana-Boltzmana można obliczyć temperaturę gwiazd. Jest ono również wykorzystane w noktowizorach. Temperatura wyznaczona za pomocą prawa nazywa się temperaturą efektywną. Dla fotosfery Słońca wynosi ona  $\sim 6000^\circ\text{K}$ .

Oznaczenia

e - zdolność emisyjna;  $\zeta$  - stała Boltzmana; T - temperatura ciała.

### 27.6 Prawo Wiena.

Prawo Wiena :  $\lambda_{MAX} = \frac{C}{T}$

Oznaczenia

T - temperatura ciała;  $\lambda_{MAX}$  - maksymalna długość fali; C - wielkość stała charakteryzująca dane ciało (dla ciała doskonale czarnego

$C \approx 2892 \text{ } [\mu \text{ m}^\circ\text{K}]$ ).

### 27.7 Zjawisko fotoelektryczne zewnętrzne i wzór Einsteina-Milikana.

Polega ono na wybijaniu przez fotony elektronów z powierzchni metalu.

Prawo Einsteina-Milikana:

Aby mogło zajść zjawisko fotoelektryczne zewnętrzne, energia padającego fotonu musi być równa sumie pracy wyjścia elektronu z metalu i energii kinetycznej wybitego elektronu :  $h \cdot \nu = W + E_K$ .

Jeżeli elektron wychodzi na powierzchnię metalu, ale już nie ma więcej energii by się od niej oderwać, to mamy doczynienia z granicznym zjawiskiem

fotofelektrycznym :  $\nu = \frac{W}{h}$ .

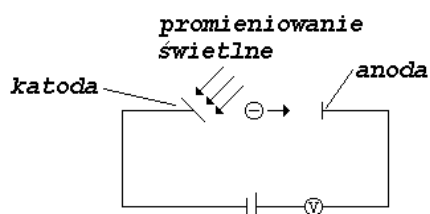
Zjawisko fotoelektryczne potwierdza kwantową teorię światła. Za odkrycie tego zjawiska w 1911 roku Einstein dostał nagrodę Nobla.

Oznaczenia

h - stała Plancka;  $\nu$  - częstotliwość; W - praca wyjścia elektronu na powierzchnię;  $E_K$  - energia kinetyczna elektronu po wybiciu go z powierzchni metalu.

### 27.8 Fotokomórka.

Pierwovzór fotokomórki :



Po naświetleniu katody popłynął w obwodzie prąd elektryczny. Ponieważ między anodą i katodą występuje pole elektryczne skierowane przeciwnie do

kierunku ruchu elektronów, energia kinetyczna wybitych elektronów musi być większa od energii pola elektrycznego. Napięcie hamowania :  $U_H = \frac{h\nu - W}{e}$ .

Fotokomórka znalazła szerokie zastosowania w alarmach itp. Wynalazcą fotokomórki jest Rosjanin Stoletow.

#### Oznaczenia

h - stała Plancka;  $\nu$  - częstotliwość; W - praca wyjścia elektronu na powierzchnię;  $U_H$  - napięcie hamowania; e - ładunek elementarny.

### 27.9 Własności fotonu.

- jest cząsteczką elementarną;
- istnieje tylko w ruchu (nie ma masy spoczynkowej);
- Masa fotonu w ruchu :  $m = \frac{h\nu}{C^2}$ ;
- posiada energię i pęd (pęd : zob.pkt.27.10, energia : zob.pkt. 27.4);
- spin = 0;
- w ośrodkach jednorodnych porusza się prostoliniowo;
- w próżni i powietrzu porusza się z prędkością światła;
- może wybić elektron z metalu, ale w tym procesie musi być pochłonięty w całości;

#### Oznaczenia

m - masa fotonu; h - stała Plancka;  $\nu$  - częstotliwość; C - prędkość światła.

### 27.10 Pęd fotonów.

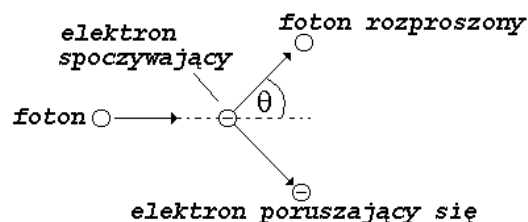
$$\text{Pęd : } p = \frac{E}{C} = \frac{h}{\lambda}$$

#### Oznaczenia

p - pęd fotonu; h - stała Plancka; C - prędkość światła; E - energia fotonu (zob.pkt.27.4);  $\lambda$  - długość fali.

### 27.11 Zjawisko Comptona.

Polega na rozpraszaniu fotonów na elektronach.



Poruszający się foton ( $E = h\nu$ ) uderza w spoczywający elektron. Jest to zderzenie sprężyste - jest zachowana zasada zachowania energii i pędu. Po zderzeniu elektron zaczyna poruszać się, a foton zmienia kierunek biegu i energię ( $E = h\nu_R$ ). Elektron porusza się z prędkością bliską prędkości światła, więc całe zjawisko należy rozpatrywać w sposób relatywistyczny. Nowa częstotliwość fotonu :

$$\nu_R = \frac{\nu}{\frac{h\nu}{m_0 C^2} (1 - \cos \theta) + 1}$$

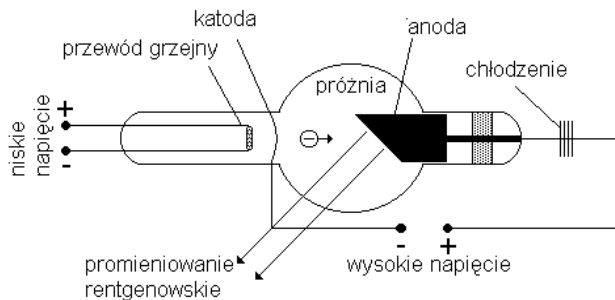
Oznaczenia

h - stała Plancka; C - prędkość światła;  $\nu$  - częstotliwość fotonu;  $\nu_R$  - częstotliwość fotonu po zderzeniu;  $m_0$  - masa fotonu;  $\theta$  - kąt comptonowskiego odbicia.

**27.12 Promieniowanie Rentgenowskie. Długość fali promieniowania rentgenowskiego.**

**27.12.1 Promieniowanie rentgenowskie.**

Promieniowanie rentgenowskie powstaje w wyniku hamowania szybkich elektronów w polu jąder atomowych, z których zbudowany jest metal. Promieniowanie to ma bardzo krótką długość fali :  $\lambda \in (0,1\eta m, 10\eta m)$ . Im krótsza długość fali promieniowania rentgenowskiego, tym bardziej jest ona twarda (przenikliwa, mało uginająca się). Lampa rentgenowska



**27.12.2 Długość fali**

promieniowania rentgenowskiego.

Długość fali :  $\lambda = \frac{hc}{Ue}$

Oznaczenia

h - stała Plancka; C - prędkość światła;  $\lambda$  - długość fali; U - różnica potencjałów w lampie rentgenowskiej (obwód z wysokim napięciem); e - ładunek elementarny.

**27.13 Własności promieniowania rentgenowskiego.**

Własności :

- jest falą elektromagnetyczną;
- jest bardzo przenikliwe;
- Wywołuje reakcję chemiczną (zaczernia kliszę, jonizuje otoczenie);
- działa bakteriobójczo;
- ulega absorpcji zgodnie z prawem :  $I = I_0 e^{-\mu d}$
- promieniowanie rentgenowskie jest absorbowane bardziej przez pierwiastki ciężkie (np.kości) niż przez lekkie (np.tkanki). Ta cecha jest wykorzystana w zdjęciach rentgenowskich.

Oznaczenia

I - natężenie promieniowania rentgenowskiego po przejściu przez przedmiot;  $I_0$  - natężenie początkowe; e - liczba e;  $\mu$  - współczynnik absorpcji (cecha charakterystyczna danej substancji); d - grubość przedmiotu.

### 27.14 Fale De Broglie'a.

Są to fale związane ze strumieniem poruszających się cząsteczek. Każdą cząstkę poruszającą się można opisać w sposób falowy.

Długość fali De Broglie'a :  $\lambda = \frac{h}{p}$

Dla sprintera długość fali De Broglie'a wynosi :

$\lambda \approx 10^{-36}$  m. Jest to wielkość niemierzalna, i dlatego nie opisujemy wolnych cząstek w sposób falowy.

#### Oznaczenia

h - stała Plancka;  $\lambda$  - długość fali; p - pęd cząsteczki.

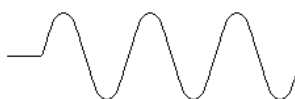
### 27.15 Zasada nieoznaczoności Heisenberga.

Nie można jednakowo dokładnie określić dla układów kwantowo - mechanicznych dwóch wielkości fizycznych, np. pędu i położenia, energii i czasu itp. Każda z tych wielkości obarczona jest pewną niedokładnością, których iloczyn (niedokładności) jest określony do stałej Plancka :

$$\Delta X \cdot \Delta p \geq \hbar; \quad \Delta E \cdot \Delta t \geq \hbar; \quad \hbar = \frac{h}{2\pi}.$$



Położenie można określić z dużą dokładnością, a pęd nie.



Pęd można określić z dużą dokładnością, a położenie nie.

#### Oznaczenia

h - stała Plancka;  $\Delta X$  - niedokładność położenia;  $\Delta p$  - niedokładność pędu;  $\Delta E$  - niedokładność energii.

### 27.16 Równanie Schrodinger'a

Jest to równanie ruchu mikrocząstki poruszającej się z prędkością znacznie mniejszą od prędkości światła. Założenia do równania Schrodingera :

- Prawdopodobieństwo znalezienia elektronu w określonej objętości musi mieć skończoną liczbę.
- Cząstki poruszają się z prędkościami dużo mniejszymi od prędkości światła, i dlatego stosujemy zapis nierelatywistyczny.

Równanie Schrodingera dla jednej zmiennej :

$$-\frac{\hbar^2}{2m} \cdot \frac{\partial^2 \psi}{\partial X^2} + U\psi = i\hbar \frac{\partial \psi}{\partial t}; \quad \hbar = \frac{h}{2\pi}.$$

#### Oznaczenia

h - stała Plancka; m - masa;  $\partial$  - pochodna cząstkowa;

$\psi$  - funkcja falowa (określa prawdopodobieństwo znalezienia cząstki w danym punkcie); x - położenie (?); U - energia potencjalna cząstki; i - liczba urojona ( $i^2 = -1$ );

t - czas.

### **27.17 Zjawisko tunelowe.**

Rozważamy cząstkę materialną, która napotkała przeszkodę. Energia całkowita cząstki jest mniejsza od energii potencjalnej, jaką cząstka miałaby na szczycie przeszkody. Rozważając tę cząstkę jako układ mechaniczny, cząstka nie ma szans przejścia przez przeszkodę. Jednak jeśli będziemy cząstkę rozważali jako układ kwantowo mechaniczny, to rozważamy jej ruch jako proces rozchodzenia się fali. Wtedy cząstka ma szansę przedostać się przez przeszkodę.

Przechodzenie cząstki przez przeszkodę mimo iż jej (cząstki) energia kinetyczna jest mniejsza od energii potencjalnej, jaką cząstka miałaby na szczycie przeszkody, nazywa się zjawiskiem tunelowym.

To zjawisko pozwala wytłumaczyć rozpad jądra atomowego i emisję cząstki alfa.

## **28. Fizyka atomowa.**

### **28.1 Liczby kwantowe.**

- Pierwsza liczba kwantowa (główna) -  $n$  - określa ona numer i rozmiar powłoki,  $n = 1, 2, 3, \dots$
- Druga liczba kwantowa (orbitalna (poboczna)) -  $l$  ( $l$ ) - odpowiedzialna jest za moment pędu atomu w danym stanie energetycznym,  $l = 0, 1, 2, \dots, n-1$
- Trzecia liczba kwantowa (magnetyczna) -  $m$  - związana z momentem magnetycznym. Przyjmuje ona wartości od  $-l$  do  $+l$  (od minus  $l$  do plus  $l$ )
- Czwarta liczba kwantowa (spinowa) -  $s$  -  $s = \pm \frac{1}{2}$

Na każdej powłoce może znaleźć się maksymalnie  $2n^2$  elektronów.

### **28.2 Zakaz Pauliego.**

Na tej samej powłoce w danym stanie energetycznym nie mogą znaleźć się dwa elektrony o jednakowych liczbach kwantowych. Muszą się różnić przynajmniej spinem.

### **28.3 Reguła Kleczkowskiego.**

Z dwóch elektronów mniejszą energię ma ten, dla którego suma liczb orbitalnej i głównej jest mniejsza.

### **28.4 Reguła Hunda.**

Elektrony na danym podpoziomie rozmieszczają się w taki sposób, aby sumaryczny spin był jak najmniejszy.

### **28.5 Widmo.**

#### **28.5.1 Widmo**

Jest to zbiór wszystkich częstotliwości wyemitowanych przez atom podczas przejścia atomu z poziomów energetycznych wyższych na ściśle określone.

Widmo to linie papilarne atomów.

Ze względu na sposób otrzymywania widma dzielimy na :

- emisyjne - dostarczamy energii i pobudzamy atom do świecenia



- absorbcyjne - powstaje przy przejściu światła białego przez daną substancję. Typowym widmem absorbcyjnym jest widmo słoneczne - czarne kreski oznaczają, że dana długość fali została zaabsorbowana, czyli występuje pierwiastek absorbujący ją (zob.pkt.28.5.4).

Widmo ciągłe - jedna barwa przechodzi w drugą bez wyraźnej granicy (morphing)

Widmo liniowe - barwne prążki na ciemnym tle (dla atomów w stanie gazowym).

Widmo pasmowe - dla cieczy i zw. chemicznych.

Widmo słoneczne służy do określania składu chemicznego i poziomów energetycznych.

Do badania widma służy spektrometr.

### 28.5.2 Serie widmowe.

Serie widmowe :

- $l=1$  - seria Lymana (leży w nadfiolecie)
  - $l=2$  - seria Balmera (jedyna seria widzialna)
- Wszystkie pozostałe serie leżą w podczerwieni:

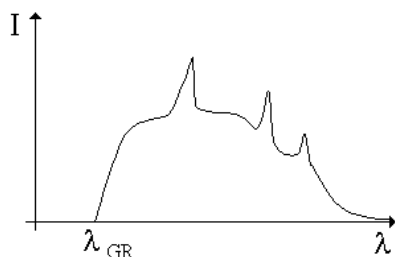
- $l=3$  - seria Paschena
- $l=4$  - seria Phunda
- $l=5$  - seria Humpreysa

Każda seria jest ograniczona z obu stron.

### 28.5.3 Widmo promieniowania rentgenowskiego.

Katoda lampy rentgenowskiej jest zbudowana z wolframu.

Widmo :



Widmo jest ciągłe i liniowe (charakterystyczne). Widmo ciągłe nie zależy od materiału, z jakiego zbudowana jest katoda, od tego zależy widmo liniowe.

Graniczna długość fali ( $\lambda_{GR}$ ) zależy od różnicy potencjałów (zob.pkt.27.12.1).

### 28.5.4 Skład Słońca. Widmo słoneczne. Budowa Słońca.

Jest to typowe widmo absorbcyjne (zob.pkt.28.5.1). Ciemne linie to linie Fraunhofera. Są to zaabsorbowane częstotliwości, co oznacza, że występuje pierwiastek, który je zaabsorbował. Stopień zaczerwienienia linii określa w procentach ilość tego pierwiastka.

Skład Słońca : H (73,8%), He (23,6%), C, Mg, CH, OH, NH, CN, Ca, Na, Al,  
Ne, Si, Fe, Ar, Na.

Dotychczas zidentyfikowano około 75% linii Fraunhofera.

Budowa Słońca :



Wiatr słoneczny, korona słoneczna i chromosfera tworzą atmosferę Słońca. W warstwie konwektywnej energia transportowana jest przez konwekcję. W warstwie promienistej energia transportowana jest za pomocą promieni gamma. Reakcja, która zachodzi w Słońcu, to synteza wodoru w hel (zob.pkt.28.18).

### 28.6 Klasyfikacja widmowa gwiazd - klasyfikacja Hertzsprunga i Russela.

klasa	temperatura powierzchni °K
O	powyżej 100 000
B	50 000 - 100 000
A	...
F	...
G	...
K	...
M	3 000

W każdej klasie występują charakterystyczne linie.

### 28.7 Jasność absolutna.

Jest to jasność gwiazdy, która znajduje się w odległości 10 parseków od obserwatora.

1 parsek  $\approx$  31 bilionów km  $\approx$  3,26 lat świetlnych.

### 28.8 Klasyfikacja Morgana Keena.

Klasyfikacja gwiazd według jasności :

I. nadolbrzymy

II. jasne olbrzymy

III. olbrzymy

IV. podolbrzymy

V. gwiazdy ciągu głównego i karły

VI. podkarły

VII. białe karły

W tej klasyfikacji zabrakło czarnych dziur i gwiazd neutronowych (pulsarów).

### 28.9 Tablica Mendelejewa.

Jest to układ okresowy pierwiastków. Każdy pierwiastek jest opisany w następujący sposób :  ${}^A_Z H$ , gdzie :

A - określa ilość nukleonów w jądrze (suma protonów i neutronów);

Z - liczba porządkowa, związana z ładunkiem (liczba elektronów, tyle samo co elektronów jest też protonów).

### 28.10 Jądro atomu.

Składa się z protonów obdarzonych ładunkiem + i neutronów nie obdarzonych ładunkiem. W lekkich jądrach liczba protonów i elektronów jest jednakowa. W ciężkich przeważa ilość neutronów. Odpowiedzialne są za to siły jądrowe: występują one tylko pomiędzy najbliższymi nukleonami - przyciągają się. Natomiast siły elektrostatyczne działają odpychająco pomiędzy wszystkimi protonami. Gdyby ilość protonów i neutronów w ciężkim jądrze była jednakowa, przeważyłyby siły odpychające, i jądro rozpadłoby się. Siły jądrowe mają mały zasięg, ale są najsilniejsze od wszystkich sił w przyrodzie.

Rozmiary jądra atomowego :

$$r = 1,4 \cdot \sqrt[3]{A} \cdot 10^{-15} \quad [m].$$

#### Oznaczenia

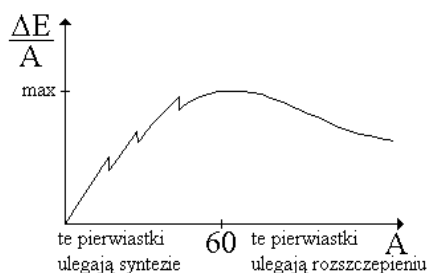
r - promień jądra atomowego; A - określa ilość nukleonów w jądrze (suma protonów i neutronów)(zob.pkt.28.9).

### 28.11 Energia wiązania jądra atomowego.

Przy obliczeniu masy jądra atomowego według wzoru :  $m = Z \cdot m_p + N \cdot m_n$ , dojdziemy do wniosku, że jest ona mniejsza od masy odczytanej z tablicy Mendelejewa. Niedobór masy związany jest z energią wiązania. Energię tę wyliczymy ze wzoru:  $E = \Delta m \cdot C^2$ . W przeliczeniu : 1 jednostka atomowa jest równa 931 megaelektronowoltom. Ta energia to energia wiązania - energia, która wydzieli się podczas łączenia nukleonów w jądra atomowe, lub którą należy dostarczyć aby podzielić jądro na nukleony.

Energia właściwa - energia wiązania atomowego przypadająca na jeden nukleon

:  $E_w = \frac{\Delta E}{A}$ . Najważniejsza krzywa świata :



#### Oznaczenia

A - określa ilość nukleonów w jądrze (suma protonów i neutronów) (zob.pkt.28.9);  $\Delta E$  - energia wiązania;  $E_w$  - energia właściwa.

### 28.12 Promieniowanie naturalne.

Jest to proces samoistnej emisji promieniowania korpuskularnego lub elektromagnetycznego (gamma).

Cechy promieniowania :

- pierwiastki promieniotwórcze świecą
- działa bakteriobójczo
- jonizuje otoczenie
- powoduje mutacje komórek
- powoduje reakcję chemiczną (zaciemniają kliszę)

### 28.13 Prawo zaniku promieniotwórczości.

$$\text{Prawo : } N = N_0 e^{-\lambda t}$$

#### Oznaczenia

$\lambda$  - długość fali; N - liczba atomów, które NIE uległy rozpadowi;  $N_0$  - początkowa liczba cząstek; e - liczba e; t - czas.

### 28.14 Czas połowicznego zaniku promieniotwórczego.

Jest to czas, po którym połowa atomów pierwiastka promieniotwórczego ulega rozpadowi.

$$\text{Czas połowicznego zaniku : } t = \frac{\ln \frac{1}{2}}{-\lambda}$$

#### Oznaczenia

$\lambda$  - długość fali; t - czas połowicznego zaniku.

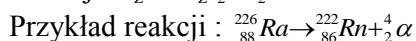
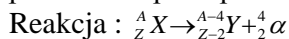
### 28.15 Reakcje jądrowe - samoistne rozpady promieniotwórcze. Własności promieniowania.

#### 28.15.1 Reakcje jądrowe - samoistne rozpady promieniotwórcze.

Rozpad zachodzi bez ingerencji z zewnątrz.

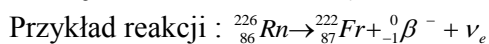
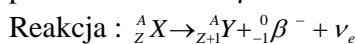
#### **Rozpad $\alpha$ :**

Podczas tego rozpadu emitowana jest cząstka  $\alpha$ . Strumień cząstek  $\alpha$  emitowany podczas rozpadu promieniotwórczego nazywa się promieniowaniem  $\alpha$ .



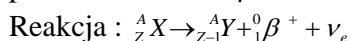
#### **Rozpad $\beta^-$ :**

Podczas tego rozpadu emitowana jest cząstka  $\beta^-$ . Jest to elektron. Strumień cząstek  $\beta^-$  emitowany podczas rozpadu promieniotwórczego nazywa się promieniowaniem  $\beta^-$ .



#### **Rozpad $\beta^+$ :**

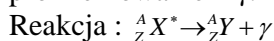
Podczas tego rozpadu emitowana jest cząstka  $\beta^+$ . Jest to pozytron. Strumień cząstek  $\beta^+$  emitowany podczas rozpadu promieniotwórczego nazywa się promieniowaniem  $\beta^+$ .



Ten rozpad zachodzi bardzo rzadko, gdyż wcześniej musi być pochłonięty elektron z powłoki.

### **Rozpad $\gamma$ :**

Podczas tego rozpadu emitowana jest cząstka  $\gamma$ . Jest to pozytron. Strumień cząstek  $\gamma$  emitowany podczas rozpadu promieniotwórczego nazywa się promieniowaniem  $\gamma$ .



#### Oznaczenia

A - określa ilość nukleonów w jądrze (suma protonów i neutronów) (zob.pkt.28.9); Z - liczba porządkowa, związana z ładunkiem (liczba elektronów, tyle samo co elektronów jest też protonów) (zob.pkt.28.9); X - pierwiastek przed rozpadem; Y - pierwiastek po rozpadzie;  $X^*$  - pierwiastek z jądrem wzbudzonym;  $\nu_e$  - antyneutrino elektronowe.

### **28.15.2 Własności promieniowania.**

#### Własności promieniowania $\alpha$ :

- jest to strumień cząstek +;
- poruszają się z różnymi prędkościami  $\ll$  prędkości światła;
- mają dużą bezwładność;
- oddziałują z polem elektrycznym i magnetycznym tak jak ładunek +;
- posiada cechy promieniowania (zob.pkt.28.12);
- ze wszystkich rodzajów promieniowania jest najmniej przenikliwe i ma najkrótszy zasięg.

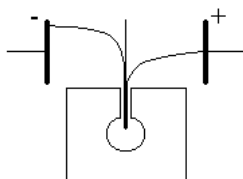
#### Własności promieniowania $\beta^-$ :

- cząstka  $\beta^-$  to elektron;
- jest to strumień cząstek -
- cząstki  $\beta^-$  poruszają się z prędkościami bliskimi prędkościom światła;
- są bardziej przenikliwe niż cząstki  $\alpha$ ;
- oddziałują z polem elektrycznym i magnetycznym tak jak ładunek ujemny;
- mają mniejszą bezwładność od cząstek  $\alpha$ ;
- posiada cechy promieniowania (zob.pkt.28.12).

#### Własności promieniowania $\gamma$ :

- jest to strumień kwantów promieniowania elektromagnetycznego o bardzo małej długości fali (rzędu  $10^{-14}$  m);
- najbardziej przenikliwe ze wszystkich rodzajów promieniowania (aby zatrzymać trzeba 0,5 m ołowiu);
- nie niesie ze sobą ładunki i nie oddziałuje z polem elektrycznym ani magnetycznym;
- posiada cechy promieniowania (zob.pkt.28.12).

Oznaczenie promieniowania :



### 28.16 Izotopy promieniotwórcze.

Izotop - odmiana pierwiastka wyjściowego różniąca się od niego liczbą neutronów. Izotopy mają te same właściwości chemiczne przy zmieniających się właściwościach fizycznych.

### 28.17 Reakcje jądrowe. Wymuszone reakcje rozpadu.

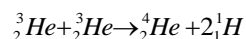
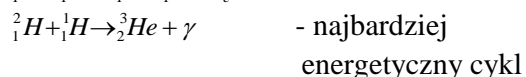
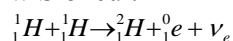
Rozpad wymuszony bombardując atom cząstką  $\alpha$ , protonem, neutronem, deutronem, trytonem lub jądrem litu. Typowa reakcja rozpadu :  $X + x \rightarrow Y + y$ , gdzie : X - bombardowany pierwiastek; x - cząstka, którą bombardujemy; Y - otrzymany pierwiastek;

y - wyemitowana cząstka podczas procesu rozpadu.

Podczas reakcji jądrowej są spełnione zasady zachowania energii, pędu i masy. Cząstką, dzięki której najłatwiej zachodzi reakcja jądrowa, jest neutron.

### 28.18 Synteza - reakcja termojądrowa.

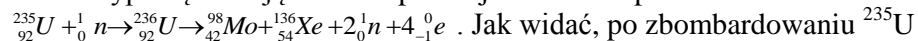
Synteza zachodzi wśród pierwiastków, których liczba masowa  $A < 60$ . Synteza zachodzi w wysokiej temperaturze. Przykładem syntezy jest reakcja zachodząca w Słońcu :



Energia słoneczna powstaje kosztem 4 wodorów.

### 28.19 Reakcja rozszczepienia.

Rozszczepieniu zachodzą te pierwiastki, których liczba masowa A jest większa od 60. Typową reakcją rozszczepienia jest rozszczepienie  ${}^{235}_{92}\text{U}$  :



Jak widać, po zbombardowaniu  ${}^{235}_{92}\text{U}$  neutronem nastąpiła reakcja, w której powstały 2 nowe neutrony. Mogą one samoistnie wejść w reakcję z następnymi atomami  ${}^{235}_{92}\text{U}$ , powodując reakcję łańcuchową. Zachodzi ona niekontrolowanie w bombach atomowych.

### 28.20 Jonizacja gazu.

Aby przez gaz popłynął prąd elektryczny, gaz musi być zjonizowany. Czynniki jonizujące gaz :

- wysoka temperatura;
- promieniowanie jonizujące ( $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\gamma$ , X);
- pośrednio - silne pole elektryczne;

Jonizacja pośrednia - w dostatecznie dużym polu elektrycznym elektrony się rozpędzają i zderzając się z atomami powodują ich jonizację.

### **28.21 Detekcja promieniowania jądrowego.**

Detekcja może zachodzić za pomocą dwóch metod :

1. śladowa - obserwowanie śladu. Wykorzystywane w :

- komorze Wilsona;
- komorze dyfuzyjnej;
- komorze pęcherzykowej;
- emulsjach jądrowych;

2. jonizacyjna - zliczanie impulsów, pomiar napięcia lub natężenia prądów przepływających przez detektor. Wykorzystywane w :

- komorze jonizującej;
- liczniku Geigera - Mullera;
- liczniku scyntylacyjny;
- licznikach półprzewodnikowych;

#### Komora Wilsona :

Jest to zbiornik wypełniony parą przechłodzoną. Aby dłużej utrzymać cząsteczkę wewnątrz komory, jest ona ustawiona w polu magnetycznym. Gdy we wnętrzu komory pojawi się cząstka, powoduje ona skraplanie się pary, co można zarejestrować. Komora Wilsona nadaje się do obserwacji każdego rodzaju cząstek. Za pomocą wyznaczonego toru możemy określić stosunek masy do ładunku lub prędkości cząstki.

#### Komora pęcherzykowa.

Zbudowana jest podobnie do komory Wilsona, jednak parę przechłodzoną zastąpiono cieczą przegrzaną, np. ciekłym azotem. Poruszająca się cząstka powoduje parowanie cieczy. Na parze osadzają się pęcherzyki, które pozostawiają ślad toru cząsteczki. . Za pomocą wyznaczonego toru możemy określić stosunek masy do ładunku lub prędkości cząstki.

#### Emulsje jądrowe.

zawiesina bardzo rozdrobnionych halogenków srebra (bromku, jodku, chlorku) w żelatynie w stosunku 4:1. W kliszach fotograficznych stosunek ten wynosi 1:1.

#### Licznik Geigera-Mullera.

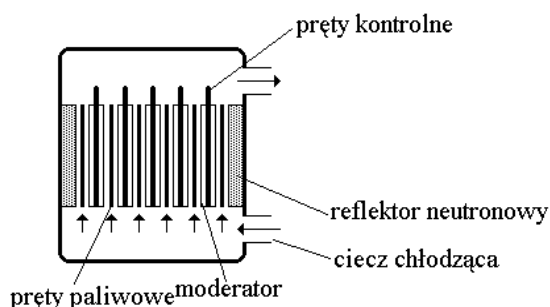
Jest to licznik cząstek jonizujących. Składa się z metalowej rurki z izolowanym od niej drutem wolframowym naciągniętym wzdłuż jej osi. Wewnątrz rurki znajduje się rozrzedzony gaz, między rurką i drutem przyłożone jest napięcie. Wpadająca do licznika Geigera-Mullera cząstka jonizująca powoduje wyładowanie elektryczne w gazie, odpowiednio rejestrowane (słyszalny stuk);



impulsy elektryczne pochodzące od wyładowań są następnie zliczane. Licznik Geigera-Mullera odznacza się dużą czułością; jest stosowany m.in. w ochronie radiologicznej. Licznik wykrywa promieniowanie  $\alpha$  i  $\beta$  w 100%, natomiast promieniowanie  $\gamma$  tylko w 0,1%, i dlatego się go nie stosuje do wykrywania promieniowania  $\gamma$ .

## 28.22 Reaktor jądrowy.

Reaktor :



Jest to urządzenie do przeprowadzania w sposób kontrolowany łańcuchowej reakcji rozszczepienia jąder atomowych (reakcja jądrowa). Reakcja zachodzi w znajdującym się w rdzeniu reaktora paliwie jądrowym (uran 235 lub 233, pluton 241 lub 239), a jej przebieg regulują pręty kontrolne (wychwytyjąc nadmiar neutronów, zapobiegają zbyt niemu rozwinięciu się reakcji łańcuchowej). Do spowalniania neutronów – w celu ułatwienia reakcji z jądrami niektórych pierwiastków – w rdzeniu znajduje się moderator (grafit, zwykła woda, ciężka woda, beryl). Reaktory jądrowe służą jako źródło energii (np. w elektrowniach jądrowych), źródło promieniowania neutronowego do produkcji radioizotopów (izotopy) i wytwarzania materiałów rozszczepialnych oraz są stosowane do celów badawczych. W reaktorze na rysunku energia powstała w reakcji jest transportowana przez ciecz chłodzącą do turbiny prądotwórczej. Pierwszy reaktor jądrowy został uruchomiony 1942 w Chicago pod kierunkiem E. Fermiego.

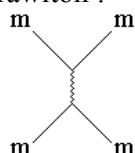
## 28.23 Cząstki elementarne.

(niedokończone)

## 28.24 Oddziaływania w przyrodzie.

W przyrodzie występują 4 podstawowe oddziaływania :

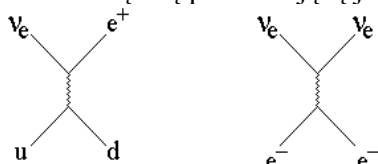
Grawitacyjne - podlegają mu wszystkie cząstki. Cząsteczki w trakcie tego oddziaływania przekazują sobie grawiton :



To oddziaływanie jest najsłabsze, ale ma największy zasięg.

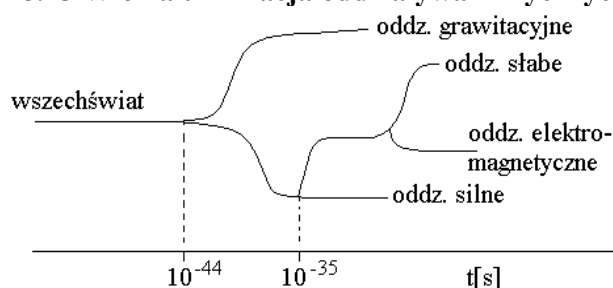
Elektromagnetyczne - oddziaływanie cząstek naładowanych, których moment magnetyczny  $\neq 0$ . Cząstką przekazywaną podczas tego oddziaływania jest foton. Siła tego oddziaływania jest nawet duża, lecz ma mały zasięg.

Słabe - oddziaływanie pomiędzy wszystkimi cząstkami za wyjątkiem fotonów. Zachodzi w odległości  $10^{-15}$  m. Cząstką przekazującą jest bozon :



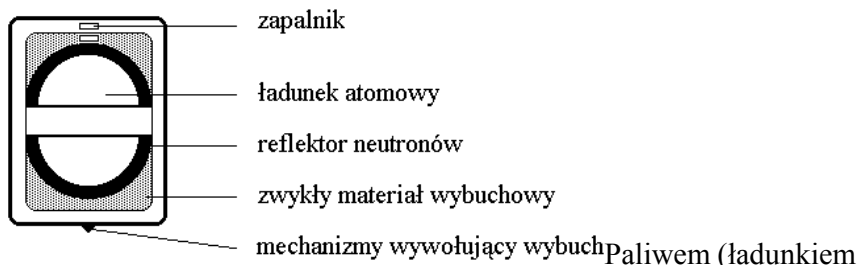
Silne - jądrowe - jest bardzo silne, ale najkrótsze ( $10^{-15}$  m). Zachodzi między kwarkami.

### 28.25 Wielka unifikacja oddziaływań fizycznych.



### 28.26 Bomba atomowa i wodorowa.

Schemat :



Paliwem (ładunkiem atomowym) jest  $U^{233}$ ,  $U^{235}$  lub pluton. W bombie atomowej następuje rozszczepienie. Mechanizm wywołujący wybuch uruchamia zapalnik. Ekspłoduje zwykły materiał wybuchowy co powoduje zetknięcie się dwóch części ładunku atomowego. Masa krytyczna zostaje przekroczona i następuje niekontrolowana łańcuchowa reakcja rozszczepiania jąder - czyli właściwy wybuch.

Przy wybuchu bomby wodorowej następuje synteza jąder izotopów wodoru - do tego potrzebna jest wysoka temperatura. Taką temperaturę można uzyskać przy wybuchu bomby atomowej. Tak więc „zapalnikiem” bomby wodorowej jest bomba atomowa.

Skutki wybuchu bomby atomowej :

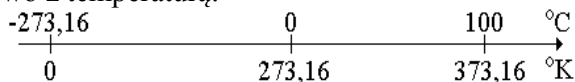
- promieniowanie cieplne;
- fala uderzeniowa;
- skażenie promieniotwórcze, co powoduje choroby popromienne (białaczka, choroby soczewki oka) i mutacje.

## **29. Termodynamika.**

### **29.1 Temperatura.**

Temperatura - skalarna wielkość fizyczna, jeden z parametrów określających stan układu termodynamicznego. Jest miarą średniej energii kinetycznej chaotycznego ruchu cząsteczek (atomów) danego układu (ciała). Jednostka w układzie SI to kelwin. Do pomiaru temperatury służą m.in. termometry, termoelementy, pirometry, termometryczne farby.

Termometr - układ makroskopowy, którego jeden z mierzalnych parametrów zmienia się liniowo z temperaturą.



### **29.2 Ciepło.**

Jest to jeden z dwóch sposobów przekazywania energii (drugim sposobem jest praca) między układami makroskopowymi pozostającymi we wzajemnym kontakcie. Polega na przekazywaniu energii chaotycznego ruchu cząstek w zderzeniach cząstek tworzących te układy, z czym wiąże się zmiana energii wewnętrznej układów. Taki proces wymiany energii nazywa się wymianą ciepła, a zmiana energii wewnętrznej układu w tym procesie – ilością ciepła. Efektem wymiany ciepła jest zwykle (z wyjątkiem przemian fazowych) zmiana temperatury układów. Ciepło oddaje ciało o wyższej temperaturze. Proces odwrotny jest nieobserwowalny. Jednostką ilości ciepła w układzie SI jest dżul (dawniej kaloria) :  $Q = mc\Delta T$ .

#### Oznaczenia

Q - ciepło (energia, która została doprowadzona lub odprowadzona z ciała); m - masa ciała; c - ciepło właściwe (cecha charakterystyczna danej substancji);  $\Delta T$  - różnica temperatur ciała.

### **29.3 Zerowa zasada termodynamiki.**

Jeżeli układ A jest w równowadze termodynamicznej z układem B, a układ B jest w równowadze termodynamicznej z układem C, to układ A jest w równowadze termodynamicznej z układem C.

### **29.4 Pierwsza zasada termodynamiki.**

Zmiana energii wewnętrznej jest równa sumie pracy wykonanej przez układ bądź nad układem i ciepła dostarczonego lub oddanego przez układ.

### **29.5 Gazy.**

gaz - zbiór cząstek, których wzajemne oddziaływania zaniedbywalnie małe.

W jednym molu gazu, w warunkach normalnych (ciśnienie  $P=101,365$  Pa; temperatura  $T=273,16$  °K; objętość  $V=22,4$  dm<sup>3</sup>), znajduje się  $6 \cdot 10^{23}$  cząsteczek

gazu. Cząsteczki poruszają się chaotycznie. Gdy temperatura jest stała, rozkład cząsteczek jest stały. Cząsteczki zderzają się i przekazują sobie energię - są to ruchy Browna. Gaz nie posiada własnego kształtu ani objętości. Gęstość :

$$d = \frac{m}{V}. \text{ Gaz jest bardzo ściśliwy. Jest słabym przewodnikiem ciepła. Gdy jest}$$

zjonizowany (zob.pkt.28.20) przewodzi prąd.

#### Oznaczenia

m - masa ciała; d - gęstość; V - objętość.

### **29.6 Założenia teorii kinetyczno - molekularnej.**

Założenia te są słuszne dla gazu doskonałego :

1. molekuly traktujemy jako punkty materialne (mają masę ale nie mają objętości);
2. cząstki znajdują się w nieustannym ruchu, nie oddziałują ze sobą. Zderzenia są sprężyste.
3. cząstki pomiędzy zderzeniami poruszają się ruchem jednostajnym prostoliniowym.
4. cząstki poruszają się z różnymi prędkościami, a ich średnia prędkość zależy od temperatury.

### **29.7 Podstawowy wzór teorii kinetyczno - molekularnej.**

$$\text{Wzór : } P = \frac{2}{3} \cdot \frac{N}{V} \cdot E_{KSR} = \frac{1}{3} \cdot \frac{NmV_{SR}}{V}$$

#### Oznaczenia

m - masa ciała; V - objętość;  $V_{SR}$  - średnia prędkość cząsteczki; N - ilość cząsteczek; P - ciśnienie;  $E_{KSR}$  - średnia energia kinetyczna.

### **29.8 Zasada ekwipartycji energii.**

Na każdy stopień swobody cząsteczki przypada połowa iloczynu stałej

Boltzmana i temperatury w skali bezwzględnej :  $E_{KSR} = \frac{1}{2} kxT$  .

#### Oznaczenia

$E_{KSR}$  - średnia energia kinetyczna; x - stopień swobody (zob.pkt. 29.9); k - stała Boltzmana; T - temperatura.

### **29.9 Stopień swobody.**

Jest to możliwy kierunek ruchu : punkt materialny ma 3 stopnie swobody; kula 6; wahadło 1.

### **29.10 Równanie Clapeyrona.**

$$\text{Równanie : } PV = nRT, \quad R = kN_A, \quad n = \frac{N}{N_A}$$

#### Oznaczenia

k - stała Boltzmana; T - temperatura; P - ciśnienie; V - objętość; n - liczba moli;  $N_A$  - liczba Avogadra (ilość cząstek w 1 molu); N - ilość cząstek.

### **29.11 Równanie stanu gazu doskonałego.**

$$\text{Równanie : } \frac{P_0V_0}{T_0} = \frac{PV}{T} = const.$$

#### Oznaczenia

T - temperatura końcowa;  $T_0$  - temperatura początkowa;  $P_0$  - ciśnienie początkowe; P - ciśnienie końcowe;  $V_0$  - objętość początkowa; V - objętość.

## 29.12 Przemiana izotermiczna.

### 29.12.1 Przemiana izotermiczna.

Jest to przemiana, w której temperatura jest stała. Zmienia się ciśnienie i objętość. Aby poddać gaz przemianie izotermicznej należy gaz sprężać lub rozprężać; musi być idealna wymiana ciepła z otoczeniem.

### 29.12.2 Prawo Boyle'a - Mariotte'a.

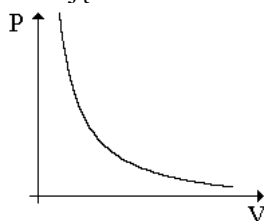
W ustalonej temperaturze (tj. w procesie izotermicznym) iloczyn ciśnienia i objętości danej masy gazu doskonałego jest wielkością stałą :

$$P_0V_0 = PV \Leftrightarrow P = \frac{P_0V_0}{V} .$$

Prawo to zostało odkryte przez R. Boyle'a (1662) i, niezależnie od niego, przez francuskiego fizyka

E. Mariotte'a (1671).

Wykres zależności ciśnienia od objętości :



#### Oznaczenia

$P_0$  - ciśnienie początkowe; P - ciśnienie końcowe;  $V_0$  - objętość początkowa; V - objętość.

### 29.12.3 Zależność ciśnienia od gęstości w przemianie izotermicznej.

$$\text{Wzór : } P = \frac{\zeta \cdot nRT}{M}, \quad n = \frac{N}{N_A}, \quad R = kN_A$$

#### Oznaczenia

T - temperatura; P - ciśnienie; n - liczba moli;  $N_A$  - liczba Avogadra (ilość cząstek w 1 molu); N - ilość cząstek;  $\zeta$  - gęstość; M - masa gazu; k - stała Boltzmanna.

### 29.12.4 Praca w przemianie izotermicznej.

$$\text{Praca : } W = nRT \ln \frac{V}{V_0}, \quad R = kN_A, \quad n = \frac{N}{N_A}$$

#### Oznaczenia

W - praca; T - temperatura; n - liczba moli;  $N_A$  - liczba Avogadra (ilość cząstek w 1 molu); k - stała Boltzmanna; N - ilość cząstek; V - objętość końcowa;  $V_0$  - objętość początkowa.

## 29.13 Przemiana izochoryczna.

### 29.13.1 Przemiana izochoryczna.

Jest to przemiana, w której objętość jest stała. Zmienia się ciśnienie i temperatura. Aby poddać gaz przemianie izochorycznej należy gaz ogrzewać lub schładzać; musi być idealna stała objętość.

### 29.13.2 Prawo Charlesa.

Przy ustalonej objętości danej masy gazu doskonałego (tj. w procesie izochorycznym) ciśnienie gazu jest wprost proporcjonalne do jego temperatury bezwzględnej :

$$P = \frac{P_0 T}{T_0}$$

Prawo to zostało sformułowane 1798 przez fizyka i chemika francuskiego J.A.C. Charlesa.

#### Oznaczenia

$P_0$  - ciśnienie początkowe;  $P$  - ciśnienie końcowe;  $T$  - temperatura końcowa;  $T_0$  - temperatura początkowa.

### 29.13.3 Prawo rozprężliwości gazu.

Jest to prawo Charlesa (zob.pkt.29.13.2) w °C :

$$P = P_0(1 + \beta \cdot T[^\circ C]), \quad \beta = \frac{1}{273}$$

#### Oznaczenia

$T$  - temperatura w stopniach Celsjusza;  $P$  - ciśnienie końcowe;  $P_0$  - ciśnienie początkowe;  $\beta$  - współczynnik rozprężliwości gazu.

### 29.12.4 Praca w przemianie izochorycznej.

Praca jest równa dostarczonemu lub odebranemu ciepłu :

$$W = Q$$

#### Oznaczenia

$W$  - praca;  $Q$  - ciepło.

### 29.14 Przemiana izobaryczna.

#### 29.14.1 Przemiana izobaryczna.

Jest to przemiana, w której ciśnienie jest stałe. Zmienia się objętość i temperatura. Aby poddać gaz przemianie izobarycznej należy gaz ogrzewać lub schładzać jednocześnie zmieniając objętość; musi być idealna stałe ciśnienie.

#### 29.14.2 Prawo Gay-Lussaca.

Przy ustalonym ciśnieniu (tj. w procesie izobarycznym) objętość danej masy gazu doskonałego jest proporcjonalna do jej temperatury bezwzględnej :

$$V = \frac{V_0 T}{T_0}$$

#### Oznaczenia

$v_0$  - objętość początkowa;  $V$  - objętość końcowa;  $T$  - temperatura końcowa;  $T_0$  - temperatura początkowa.

### 29.14.3 Prawo rozprężliwości objętościowej gazu.

Jest to prawo Gay - Lussaca (zob.pkt.29.14.2) w °C :

$$V = V_0(1 + \alpha \cdot T[^\circ C]), \quad \alpha = \frac{1}{273}$$

To prawo dotyczy wszystkich stanów skupienia, zmienia się tylko współczynnik  $\alpha$ .

#### Oznaczenia

T - temperatura w stopniach Celsjusza; V - objętość końcowa; V<sub>0</sub> - objętość początkowa;  $\alpha$  - współczynnik rozprężliwości objętościowej gazu.

### 29.14.4 Praca w przemianie izobarycznej.

Praca :  $W = P\Delta V = nR\Delta T$ ,  $R = kN_A$ ,  $n = \frac{N}{N_A}$

#### Oznaczenia

W - praca;  $\Delta V$  - różnica objętości; P - ciśnienie;  $\Delta T$  - różnica temperatura; n - liczba moli; N<sub>A</sub> - liczba Avogadra (ilość cząstek w 1 molu); N - ilość cząstek; k - stała Boltzmana; R - stała gazowa (zob.pkt. 29.16).

### 29.15 Przemiana adiabatyczna.

#### 29.15.1 Przemiana adiabatyczna.

Jest to proces termodynamiczny przebiegający w układzie umieszczonym w osłonie adiabatycznej, tj. uniemożliwiającej wymianę ciepła i przepływ materii między układem i otoczeniem. Podczas procesu adiabatycznego może jedynie zostać wykonana praca przez układ lub nad układem (przez otoczenie). procesem takim jest np. sprężanie lub rozprężanie gazu w osłoniętym adiabatycznie cylindrze z ruchomym tłokiem.

#### 29.15.2 Prawo Poissona.

Przy ustalonym masie gazu w przemianie adiabatycznej ciśnienie zależy odwrotnie proporcjonalnie od objętości podniesionej do potęgi Kappa :

$$P_0 V_0^H = P V^H .$$

#### Oznaczenia

v<sub>0</sub> - objętość początkowa; V - objętość końcowa; P<sub>0</sub> - ciśnienie początkowe; P - ciśnienie końcowe; H - współczynnik Poissona (zob.pkt.29.18).

### 29.16 Ciepło molowe.

Jest to ilość ciepła, jaką należy dostarczyć 1 molowi substancji, by ją ogrzać o 1

$$^\circ K : C = \frac{Q}{n\Delta T}, \quad n = \frac{N}{N_A} .$$

Ciepło molowe można wyznaczyć za pomocą dwóch przemian : izochorycznej i izobarycznej :

przemiana izochoryczna : przemiana izobaryczna :

$$C_v = \frac{\Delta U}{n\Delta T} \quad C_p = \frac{\Delta U}{n\Delta T} + \frac{W}{n\Delta T} = C_v + R$$

Jak widać, ciepło molowe przy stałym ciśnieniu jest większe od ciepła molowego przy stałej objętości o stałą gazową R.

#### Oznaczenia

$\Delta T$  - różnica temperatura;  $N_A$  - liczba Avogadra (ilość cząstek w 1 molu);  $k$  - stała Boltzmana;  $C_V$  - ciepło molowe w przemianie izochorycznej;  $C_P$  - ciepło molowe w przemianie izobarycznej;  $\Delta U$  - różnica energii;  $n$  - liczba moli;  $R$  - stała gazowa (zob.pkt. 29.16).

### 29.17 Stała gazowa.

Jest równa pracy, jaka zostanie wykonana przez 1 mol gazu w przemianie izobarycznej, gdy temperatura zmieni się o 1 °K.

Stała gazowa :  $R = kN_A$  .

#### Oznaczenia

$N_A$  - liczba Avogadra (ilość cząstek w 1 molu);  $k$  - stała Boltzmana.

### 29.18 Współczynnik Poissona.

Współczynnik Poissona to stosunek ciepła molowego w przemianie

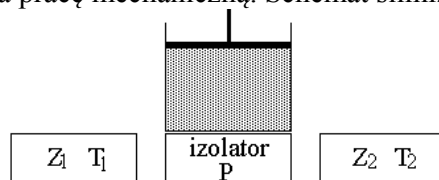
izobarycznej do ciepła molowego w przemianie izochorycznej :  $H = \frac{C_P}{C_V}$  .

#### Oznaczenia

$C_V$  - ciepło molowe w przemianie izochorycznej;  $C_P$  - ciepło molowe w przemianie izobarycznej (zob.pkt.29.16);  $H$  - (kappa) - współczynnik Poissona.

### 29.19 Silnik Carnota.

Silnik Carnota (silnik ciepły) - urządzenie zamieniające energię wewnętrzną (ciepło) na pracę mechaniczną. Schemat silnika Carnota :



Składa się on z izolowanego cieplnie cylindra z tłokiem, oraz z trzech ruchomych płyt :  $Z_1$ , o temperaturze  $T_1$ ,  $Z_2$  o temperaturze  $T_2$ , oraz z izolatora P. Temperatura  $T_1 > T_2$  . Cykl silnika Carnota :

przemiana	parametry		położenie cylindra	ciepło pobrane	ciepło oddane	praca wyk. przez gaz	praca wyk. przez siły zewn.
	pocz	końc					
Izotermiczna, rozprężanie	$P_1$ $V_1$ $T_1$	$P_2$ $V_2$ $T_1$	$Z_1$	$Q_1$		$W_1$	
Adiabatyczna, rozprężanie	$P_2$ $V_2$ $T_1$	$P_3$ $V_3$ $T_2$	P			$W_2$	
Izotermiczna, sprężanie	$P_3$ $V_3$ $T_2$	$P_4$ $V_4$ $T_2$	$Z_2$		$Q_2$		$W_3$
Adiabatyczna, sprężanie	$P_4$ $V_4$ $T_2$	$P_1$ $V_1$ $T_1$	P				$W_4$



Praca wykonana przez siły zewnętrzne jest mniejsza od pracy wykonanej przez siły ciepne :

$$\Delta W = nR \ln \frac{V_2}{V_1} (T_1 - T_2), \quad R = kN_A, \quad n = \frac{N}{N_A}.$$

$$\text{Sprawność silnika : } \eta = \frac{\Delta W}{Q_1} = 1 - \frac{T_2}{T_1}.$$

#### Oznaczenia

$P_{1,2,3}$  - ciśnienia wewnątrz cylindra (zobacz tabelkę);  $V_{1,2,3}$  - objętości cylindra (zobacz tabelkę);  $T_{1,2}$  - temperatury gazu wewnątrz cylindra (zobacz tabelkę);  $Q_1$  - ciepło pobrane;  $Q_2$  - ciepło oddane;  $W_{1,2,3,4}$  - praca (zobacz tabelkę);  $\Delta W$  - praca całkowita wykonana przez silnik w czasie 1 cyklu;  $n$  - liczba moli;  $N_A$  - liczba Avogadra (ilość cząstek w 1 molu);  $N$  - ilość cząstek;  $k$  - stała Boltzmana;  $R$  - stała gazowa (zob. pkt. 29.16);  $\eta$  - sprawność.

#### **29.20 Druga zasada termodynamiki.**

Żaden silnik cieplny nie może stale wykonywać pracy korzystając tylko z 1 źródła ciepła i nie ulegając przy tym żadnym zmianom.

Dowód : Zakładamy, że  $T_1 = T_2$  (zob. pkt. 29.19). Wtedy sprawność silnika cieplnego wynosi :

$$\eta = 1 - \frac{T_1}{T_1} = 0.$$

Inna postać drugiej zasady termodynamiki :

Procesy zachodzące samoistnie w przyrodzie przebiegają w taki sposób, że zwiększają swoją entropię.

Druga zasada termodynamiki jest spełniona tylko dla układów zamkniętych.

#### Oznaczenia

$T_1$  - temperatura gazu wewnątrz cylindra (zobacz tabelkę w pkt. 29.19);  $\eta$  - sprawność.

#### **29.21 Entropia.**

Jest to miara nieuporządkowania układu. Jej symbol to  $S$ .

$$S = \frac{\delta \cdot Q}{T} = k \ln \Omega$$

#### Oznaczenia

$T$  - temperatura;  $Q$  - ciepło;  $k$  - stała Boltzmana;  $S$  - entropia;  $\delta$  - mały przyrost ciepła;  $\Omega$  - miara prawdopodobieństwa.

#### **29.22 Ciecze.**

##### **29.22.1 Ciecze.**

Ciecze są to substancje, w których nie możemy zaniedbać sił spójności. Ciecze posiadają swoją objętość, nie są ściśliwe. Na powierzchni cieczy działają siły napięcia powierzchniowego.

##### **29.22.2 Ciśnienie w cieczech.**

Ciśnienie w cieczech :  $P = hg\zeta$

Ciecz jest w równowadze, jeśli ciśnienie na określonym poziomie jest równe.

#### Oznaczenia

$\zeta$  - gęstość;  $h$  - wysokość słupa wody;  $g$  - przyspieszenie ziemskie (grawitacja);  $P$  - ciśnienie.

### 29.22.3 Prawo Archimedesesa.

Na ciało zanurzone w cieczy działa siła wyporu skierowana przeciwnie do siły grawitacji. Jej wartość jest równa ciężarowi cieczy wypartej przez zanurzone ciało.

### 29.23 Rozszerzalność termiczna ciał stałych i cieczy.

Rozszerzalność objętościowa :  $V = V_0(1 + \alpha \cdot T)$

Rozszerzalność liniowa :  $l = l_0(1 + \lambda \cdot T)$

#### Oznaczenia

$T$  - temperatura;  $V$  - objętość końcowa;  $V_0$  - objętość początkowa;  $\alpha$  - współczynnik rozprężliwości objętościowej substancji;  $l$  - długość końcowa;  $l_0$  - długość początkowa;  $\lambda$  - współczynnik termicznej rozszerzalności liniowej.

### 29.24 Ciała stałe.

Ciało stałe jest to zbiór molekuł działających na siebie bardzo silnymi siłami wzajemnego oddziaływania. Ciała te posiadają własny kształt i objętość. Występuje zjawisko dyfuzji, ale nie ma ruchów Browna.

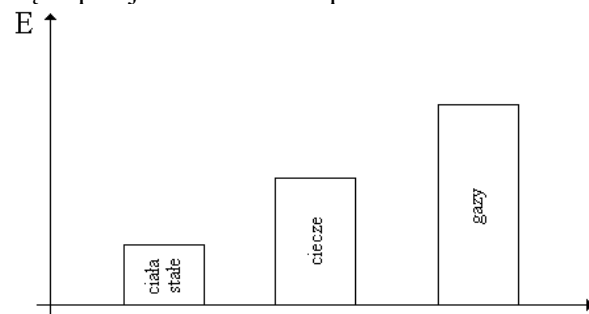
• Podział ciał stałych ze względu na budowę :

- a) krystaliczne (metale, węgiel);
- b) bezpostaciowe (szkło, masy plastyczne, tłuszcze);

Kryształy posiadają sieć krystaliczną - uporządkowany rozkład atomów powstający w trzech wymiarach. Odległość między najbliższymi atomami to stała sieci krystalicznej.

### 29.25 Przemiany fazowe.

Są to przejścia stanów skupienia.

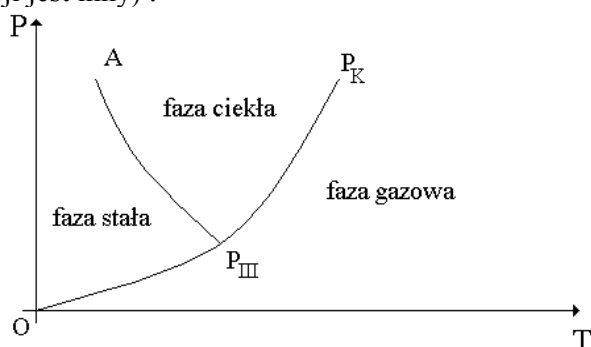


początkowy	stan końcowy	proces	proces odwrotny
ciało stałe	ciecz	topnienie	krzepnięcie
ciecz	gaz	parowanie	skraplanie
ciało stałe	gaz	sublimacja	resublimacja

ciepło utajone - ciepło, które należy dostarczyć, by stopić lub odparować jednostkę masy danej substancji bez zmiany temperatury. Ciepła utajone :

ciepło topnienia:  $L = \frac{Q}{m}$ , ciepło parowania:  $R = \frac{Q}{m}$

Przykład wykresu fazowego - krzywej równowagi termodynamicznej (dla każdej substancji jest inny) :



odcinek	nazwa
A P <sub>III</sub>	krzywa topnienia i krzepnięcia
P <sub>III</sub> P <sub>K</sub>	krzywa parowania i skraplania
O P <sub>III</sub>	krzywa sublimacji i resublimacji

Dwie fazy danej substancji znajdują się w trwałej równowadze termodynamicznej, jeśli ilość substancji w danej fazie nie zmienia się. W punkcie P<sub>III</sub> substancja występuje w trzech stanach skupienia i jest w trwałej równowadze termodynamicznej. Istnieją substancje (np. Hel), dla których P<sub>III</sub> nie istnieje, oraz substancje (np. siarka) posiadające trzy punkty P<sub>III</sub>.

## Alfabetyczny spis treści

<b>nazwa</b>	<b>podrozdział</b>	<b>rozdział główny</b>	<b>punkt</b>
Atom wodoru według Bohra.		Atom wodoru według Bohra.	18.1
Bezwzględny współczynnik załamania.	Fale świetlne. Częstotliwość fal świetlnych. Bezwzględny współczynnik załamania.	Optyka geometryczna.	26.1.3
Bomba atomowa i wodorowa.		Fizyka atomowa.	28.26
Całkowite wewnętrzne odbicie.		Optyka geometryczna.	26.7
Ciała stałe.		Termodynamika.	29.24
Ciało doskonale czarne		Dualizm korpuskularnofalowy	27.3.
Ciało naelektryzowane.		Elektrostatyka.	17.4
Ciecze.	Ciecze.	Termodynamika.	29.22.1
Ciepło molowe.		Termodynamika.	29.16
Ciepło.		Termodynamika.	29.2
Ciężar właściwy.		Gęstość i ciężar właściwy.	14.2
Ciśnienie w cieczech.	Ciecze	Termodynamika.	29.22.2
Ciśnienie w przemianie adiabatycznej.	Przemiana adiabatyczna.	Termodynamika.	29.15.2
Czas połowicznego zaniku promieniotwórczego.		Fizyka atomowa.	28.14
Czas relaksacji.		Drgania.	24.21
Cząstki elementarne.		Fizyka atomowa.	28.23
Częstotliwość fal świetlnych.	Fale świetlne. Częstotliwość fal świetlnych. Bezwzględny współczynnik załamania.	Optyka geometryczna.	26.1.2
Częstotliwość fal.	Długość i okres fali. Powierzchnia falowa.	Fale.	25.2.3
Częstotliwość fali stojącej na strunie.		Fale.	25.19
Częstotliwość.	Ruch z prędkością zmienną.	Ruch po okręgu	3.2.7
Detekcja promieniowania jądrowego.		Fizyka atomowa.	28.21
Diamagnetyki.	Właściwości magnetyczne materii.	Pole magnetyczne.	22.11.1
Długość fali promieniowania rentgenowskiego.	Promieniowanie Rentgenowskie. Długość fali promieniowania rentgenowskiego.	Dualizm korpuskularnofalowy	27.12.2
Długość fali.	Długość i okres fali. Powierzchnia falowa.	Fale.	25.2.2
Drgania elektromagnetyczne		Drgania.	24.22.

łumione			
Drgania elektromagnetyczne.		Drgania.	24.13
Drgania tłumione.		Drgania.	24.17
Drgania wymuszone.		Drgania.	24.24
Druga prędkość kosmiczna		Prędkości kosmiczne.	16.2
Druga zasada dynamiki dla ruchu obrotowego.		Zasady dynamiki Newtona.	4.4
Druga zasada dynamiki.		Zasady dynamiki Newtona.	4.2
Druga zasada termodynamiki.		Termodynamika.	29.20
Drugi postulat Bohra.		Atom wodoru według Bohra.	18.7
Drugie prawo elektrolizy Faradaya.	Prawa elektrolizy Faradaya.	Prąd elektryczny stały.	21.14.2
Drugie prawo Kirchoffa dla obwodu zamkniętego.	Prawa Kirchoffa.	Prąd elektryczny stały.	21.7.2
Drugie prawo Kirchoffa.	Prawa Kirchoffa.	Prąd elektryczny stały.	21.7.2
Drugie prawo Maxwella.	Prawa Maxwella.	Fale.	25.11.2
Elementy obwodów elektrycznych.		Prąd elektryczny stały.	21.4
Energia kinetyczna w ruchu obrotowym.		Energia i zasada zachowania energii.	9.4
Energia kinetyczna.		Energia i zasada zachowania energii.	9.1
Energia kondensatorów.		Kondenstor	19.5
Energia kwarku - wzór Plancka.		Dualizm korpuskularnofalowy	27.4
Energia pola elektrycznego.		Elektrostatyka	17.13
Energia potencjalna ciężkości.		Energia i zasada zachowania energii.	9.2
Energia potencjalna pola grawitacyjnego.		Pole grawitacyjne.	15.7
Energia w ruchu drgającym prostym.		Drgania.	24.4
Energia wiązania jądra atomowego.		Fizyka atomowa.	28.11
Entropia.		Termodynamika.	29.21
Fala akustyczna.		Fale.	25.6
Fala stojąca.		Fale.	25.18
Fale De Broglie'a.		Dualizm korpuskularnofalowy	27.14
Fale świetlne.	Fale świetlne. Częstotliwość fal świetlnych. Bezwzględny współczynnik załamania.	Optyka geometryczna.	26.1.1
Ferromagnetyki	Właściwości magnetyczne materii.	Pole magnetyczne.	22.11.3
Fotokomórka.		Dualizm korpuskularnofalowy	2.87
Gazy.		Termodynamika.	29.5

Generator prądu zmiennego.	Prąd zmienny, przemienny i generator prądu zmiennego.	Prąd zmienny.	23.5.3
Gęstość powierzchniowa i liniowa ładunku.		Elektrostatyka.	17.10
Gęstość.		Gęstość i ciężar właściwy.	14.1
Gramorównoważnik substancji	Prawa elektrolizy Faradaya.	Prąd elektryczny stały.	21.14.3
Indukcja elektromagnetyczna.	Indukcja elektromagnetyczna i prawo Faradaya dla przewodnika	Prąd zmienny.	23.1.1
Indukcja pola magnetycznego.		Pole magnetyczne.	22.3
Indukcje pola magnetycznego wokół przewodników z prądem.	Prawo Ampera.	Pole magnetyczne.	22.7.2
Induktor.		Prąd zmienny.	23.12
Interferencja fal świetlnych - doświadczenie Younga.	Interferencja fal świetlnych - doświadczenie Younga. Warunek wzmocnienia dla światła.	Optyka geometryczna.	26.13.1
Interferencja fal.	Interferencja fal i ogólny warunek wzmocnienia i wygaszenia fali.	Fale.	25.17.1
Izotopy promieniotwórcze.		Fizyka atomowa.	28.16
Jasność absolutna.		Fizyka atomowa.	28.7
Jądro atomu.		Fizyka atomowa.	28.10
Jonizowanie gazu.		Fizyka atomowa.	28.20
Kąt zakreślony.	Ruch z prędkością zmienną.	Ruch po okręgu	3.2.6
Kierunek przepływu prądu.		Prąd elektryczny stały.	21.3
Klasyfikacja fal.		Fale.	25.4
Klasyfikacja Morgana - Keena.		Fizyka atomowa.	28.8
Klasyfikacja widmowa gwiazd - klasyfikacja Hertzsprunga i Russela.		Fizyka atomowa.	28.6
Kondensator.		Kondenstor.	19.2
Liczby kwantowe.		Fizyka atomowa.	28.1
Linie pola elektrostatycznego.	Linie pola elektrostatycznego	Elektrostatyka.	17.7.1
Linie pola grawitacyjnego.		Pole grawitacyjne.	15.9
Linie pola magnetycznego.	Linie pola magnetycznego.	Pole magnetyczne.	22.4.1
Logarytmiczny dekrement tłumienia.		Drgania.	24.20
Ładunek wpada $\perp$ do linii pola.	Ruch ładunków w polu magnetycznym.	Pole magnetyczne.	22.9.2
Ładunek wpada pod	Ruch ładunków w	Pole magnetyczne.	22.9.3

kątem $\alpha$ do linii pola.	polu magnetycznym.		
Ładunek wpada równoległe do linii pola.	Ruch ładunków w polu magnetycznym.	Pole magnetyczne.	22.9.1
Łączenie oporów elektrycznych.	Opór elektryczny.	Prąd elektryczny stały.	21.5.2
Łączenie równoległe kondensatorów	Łączenie kondensatorów.	Kondenstor	19.4.2.
Łączenie szeregowo kondensatorów.	Łączenie kondensatorów.	Kondenstor.	19.4.1
Moc prądu elektrycznego stałego.		Prąd elektryczny stały.	21.10
Moc.		Praca i moc.	10.2
Modulacja fal.		Fale.	25.13
Moment bezwładności.		Moment bezwładności i twierdzenie Steinera.	12.1
Moment magnetyczny atomu i elektronu.		Atom wodoru według Bohra.	18.8
Moment pędu bryły sztywnej.		Pęd, moment pędu, zasada zachowania pędu i zasada zachowania momentu pędu.	8.5
Moment pędu.		Pęd, moment pędu, zasada zachowania pędu i zasada zachowania momentu pędu.	8.3
Moment siły i moment magnetyczny ramki z prądem.		Pole magnetyczne.	22.10
Moment siły.	Ruch z prędkością zmienną.	Ruch po okręgu	3.2.8
Momenty bezwładności niektórych brył.		Moment bezwładności i twierdzenie Steinera	12.2
Mostek elektryczny.		Prąd elektryczny stały.	21.8
Następny postulat Bohra.		Atom wodoru według Bohra.	18.6
Natężenie fali.		Fale.	25.5
Natężenie pola elektrostatycznego na zewnątrz kuli.	Natężenie pola elektrostatycznego kuli.	Elektrostatyka	17.19.2
Natężenie pola elektrostatycznego pomiędzy dwoma płytami.		Elektrostatyka	17.11
Natężenie pola elektrostatycznego wewnątrz kuli.	Natężenie pola elektrostatycznego kuli.	Elektrostatyka	17.19.1
Natężenie pola elektrostatycznego.		Elektrostatyka.	17.6
Natężenie pola grawitacyjnego		Pole grawitacyjne.	15.5
Natężenie prądu elektrycznego stałego.		Prąd elektryczny stały.	21.2
Nośniki prądu elektrycznego.		Prąd elektryczny stały.	21.2
Obwód RC.	Obwody prądu zmiennego.	Prąd zmienny.	23.8.2

Obwód RL.	Obwody prądu zmiennego.	Prąd zmienny.	23.8.1
Obwód RLC.	Obwody prądu zmiennego.	Prąd zmienny.	23.8.3
Odbicie fal.		Fale.	25.15
Oddziaływania w przyrodzie.		Fizyka atomowa.	28.24
Ogólny warunek wygaszenia fali.	Interferencja fal i ogólny warunek wzmocnienia i wygaszenia fali.	Fale.	25.18.2
Ogólny warunek wzmocnienia fali.	Interferencja fal i ogólny warunek wzmocnienia i wygaszenia fali.	Fale.	25.17.2
Oko jako układ optyczny.		Optyka geometryczna.	26.12
Okres drgań elektromagnetycznych		Drgania.	24.14.
Okres drgań sprężyny ułożonej poziomo		Drgania.	24.16.
Okres drgań sprężyny.		Drgania.	24.5
Okres fali.	Długość i okres fali. Powierzchnia falowa.	Fale.	25.2.1
Okres wahadła fizycznego.		Drgania.	24.10
Okres wahadła matematycznego.		Drgania.	24.8
Opór elektryczny.	Opór elektryczny.	Prąd elektryczny stały.	21.5.1
Paramagnetyki.	Właściwości magnetyczne materii.	Pole magnetyczne.	22.11.2
Pęd fotonów.		Dualizm korpuskularnofalowy	27.10
Pęd.		Pęd, moment pędu, zasada zachowania pędu i zasada zachowania momentu pędu.	8.1
Pierwsza prędkość kosmiczna.		Prędkości kosmiczne.	16.1
Pierwsza zasada dynamiki.		Zasady dynamiki Newtona.	4.1
Pierwsza zasada termodynamiki.		Termodynamika.	29.4
Pierwsze prawo elektrolizy Faradaya.	Prawa elektrolizy Faradaya.	Prąd elektryczny stały.	21.14.1
Pierwsze prawo Kirchoffa.	Prawa Kirchoffa.	Prąd elektryczny stały.	21.7.1
Pierwsze prawo Maxwella.	Prawa Maxwella.	Fale.	25.11.1
Pierwszy postulat Bohra.		Atom wodoru według Bohra.	18.2
Podstawowy wzór teorii kinetyczno - molekularnej.		Termodynamika.	29.7
Pojemność elektryczna.		Kondenstor.	19.1
Pojemność kondensatora	Pojemność kondensatora.	Kondenstor.	19.3.2



kulistego.			
Pojemność kondensatora płaskiego.	Pojemność kondensatora.	Kondenstor.	19.3.1
Polaryzacja elektryczna.		Polaryzacja elektryczna.	20.1
Polaryzacja fal i prawo Mallusa.		Fale.	25.21
Pole grawitacyjne.		Pole grawitacyjne.	15.1
Pole magnetyczne.		Pole magnetyczne.	22.1
Potencjał pola elektrycznego.		Elektrostatyka	17.14
Potencjał pola grawitacyjnego.		Pole grawitacyjne.	15.8
Powierzchnia falowa.	Długość i okres fali. Powierzchnia falowa.	Fale.	25.2.4
Powiększenie lupy.		Optyka geometryczna.	26.14
Powiększenie.		Optyka geometryczna.	26.4
Poziom słyszalności.		Fale.	25.7
Praca i moc prądu elektrycznego zmiennego.		Prąd zmienny.	23.7
Praca prądu elektrycznego stałego.		Prąd elektryczny stały.	21.9
Praca w centralnym polu elektrycznym		Elektrostatyka	17.12.
Praca w polu elektrycznym jednorodnym.		Elektrostatyka	17.16
Praca w polu grawitacyjnym.		Pole grawitacyjne.	15.6
Praca w przemianie izobarycznej.	Przemiana izobaryczna.	Termodynamika.	29.14.4
Praca w przemianie izochorycznej.	Przemiana izochoryczna.	Termodynamika.	29.13.4
Praca w przemianie izotermicznej.	Przemiana izotermiczna.	Termodynamika.	29.12.4
Praca.		Praca i moc.	10.1
Prągo Gay - Lussaca.	Przemiana izobaryczna.	Termodynamika.	29.14.2
Prawo Ampera	Prawo Ampera.	Pole magnetyczne.	22.7.1.
Prawo Archimedesesa.	Ciecze	Termodynamika.	29.22.3
Prawo Boyle'a - Mariotta.	Przemiana izotermiczna.	Termodynamika.	29.12.2
Prawo Charlesa.	Przemiana izochoryczna.	Termodynamika.	29.13.2
Prawo Coulomba.		Elektrostatyka.	17.3
Prawo Faradaya dla przewodnika.	Indukcja elektromagnetyczna i prawo Faradaya dla przewodnika	Prąd zmienny.	23.1.2
Prawo Gaussa dla pola magnetycznego.		Pole magnetyczne.	22.6
Prawo Gaussa.		Elektrostatyka.	17.9
Prawo Joula-Lenza.		Prąd elektryczny stały.	21.11
Prawo Kirchoffa.		Dualizm korpuskularnofalowy	27.2
Prawo oddziaływania przewodników z		Pole magnetyczne.	22.8.

prądem			
Prawo Ohma dla obwodu zamkniętego	Prawo Ohma.	Prąd elektryczny stały.	21.6.2
Prawo Ohma.	Prawo Ohma.	Prąd elektryczny stały.	21.6.1
Prawo powszechnej grawitacji (prawo jedności przyrody)		Pole grawitacyjne.	15.2
Prawo rozprężliwości gazu.	Przemiana izochoryczna.	Termodynamika.	29.13.3
Prawo rozprężliwości objętościowej gazu.	Przemiana izobaryczna.	Termodynamika.	29.14.3
Prawo Snelliusa.		Optyka geometryczna.	26.6
Prawo Stefana-Boltzmana.		Dualizm korpuskularnofalowy	27.5
Prawo Wiena.		Dualizm korpuskularnofalowy	27.6
Prawo zaniku promieniotwórczości.		Fizyka atomowa.	28.13
Prąd bezwzględny.		Prąd zmienny.	23.10
Prąd elektryczny.		Prąd elektryczny stały.	21.1
Prąd przemienny.	Prąd zmienny, przemienny i generator prądu zmiennego.	Prąd zmienny.	23.5.2
Prąd zmienny.	Prąd zmienny, przemienny i generator prądu zmiennego.	Prąd zmienny.	23.5.1
Prądy Foucaulta.		Prąd zmienny.	23.4
Prędkość		Ruch stały prostoliniowy.	1.1
Prędkość kątowa końcowa.	Ruch z prędkością zmienną.	Ruch po okręgu	3.2.5
Prędkość kątowa wahadła w drganiach tłumionych.		Drgania.	24.19
Prędkość kątowa.	Ruch z prędkością stałą.	Ruch po okręgu	3.1.1
Prędkość końcowa		Ruch zmienny.	2.3
Prędkość liniowa chwilowa.	Ruch z prędkością zmienną.	Ruch po okręgu	3.2.3
Prędkość rozchodzenia się fali.		Fale.	25.3
Prędkość w drganiach wymuszonych.	Prędkość i przyspieszenie w drganiach wymuszonych	Drgania.	24.25.1
Prędkość w ruchu drgającym prostym.	Prędkość i przyspieszenie w ruchu drgającym prostym.	Drgania.	24.2.1
Prędkość w rzucie poziomym.		Rzut poziomy.	7.2
Promieniowanie naturalne.		Fizyka atomowa.	28.12
Promieniowanie rentgenowskie.	Promieniowanie Rentgenowskie. Długość fali promieniowania rentgenowskiego.	Dualizm korpuskularnofalowy	27.12.1

Propagacja fal elektromagnetycznych		Fale.	25.10
Przejsięcie światła białego przez pryzmat.	Pryzmat. Przeście światła monochromatyczne go i białego przez pryzmat	Optyka geometryczna.	26.11.2
Przejsięcie światła monochromatycznego przez pryzmat	Pryzmat. Przeście światła monochromatyczne go i białego przez pryzmat	Optyka geometryczna.	26.11.1.
Przemiana adiabatyczna.	Przemiana adiabatyczna.	Termodynamika.	29.15.1
Przemiana izobaryczna.	Przemiana izobaryczna.	Termodynamika.	29.14.1
Przemiana izochoryczna.	Przemiana izochoryczna.	Termodynamika.	29.13.1
Przemiana izotermiczna.	Przemiana izotermiczna.	Termodynamika.	29.12.1
Przemiany fazowe.		Termodynamika.	29.25
Przemieszczenie		Ruch zmienny.	2.2
Przemieszczenie i wektor propagacji.		Fale.	25.1
Przemieszczenie.	Ruch z prędkością zmienną.	Ruch po okręgu	3.2.4
Przenikalność elektryczna próżni.	Stała elektrostatyczna i przenikalność elektryczna próżni	Elektrostatyka.	17.5.2
Przyspieszenie		Ruch zmienny.	2.1
Przyspieszenie grawitacyjne.		Pole grawitacyjne.	15.4
Przyspieszenie kątowe.	Ruch z prędkością zmienną.	Ruch po okręgu	3.2.1
Przyspieszenie liniowe.	Ruch z prędkością zmienną.	Ruch po okręgu	3.2.2
Przyspieszenie w drganiach wymuszonych.	Prędkość i przyspieszenie w drganiach wymuszonych	Drgania.	24.25.2
Przyspieszenie w ruchu drgającym prostym	Prędkość i przyspieszenie w ruchu drgającym prostym.	Drgania.	24.2.2.
Radar.		Fale.	25.22
Reakcja rozszczepienia.		Fizyka atomowa.	28.19
Reakcje jądrowe - samoistne rozpady promieniotwórcze.	Reakcje jądrowe - samoistne rozpady promieniotwórcze. Własności promieniowania	Fizyka atomowa.	28.15.1
Reakcje jądrowe. Wymuszone reakcje rozpadu.		Fizyka atomowa.	28.17
Reaktor jądrowy.		Fizyka atomowa.	28.22
Reguła Fleminga.	Siły magnetyczne.	Pole magnetyczne.	22.2.2
Reguła Hunda.		Fizyka atomowa.	28.4
Reguła Kleczkowskiego.		Fizyka atomowa.	28.3
Reguła Lenza.		Prąd zmienny.	23.2

Rezonans.		Drgania.	24.27
Rozszerzalność termiczna ciał stałych i cieczy.		Termodynamika.	29.23
Równanie Clapeyrona.		Termodynamika.	29.10
Równanie ruchu drgającego elektromagnetycznego tłumionego.		Drgania.	24.23
Równanie ruchu drgającego prostego (równanie oscylatora harmonicznego).		Drgania.	24.6
Równanie ruchu drgającego tłumionego.		Drgania.	24.18
Równanie ruchu drgającego wymuszonego		Drgania.	24.26.
Równanie Schrodinger'a		Dualizm korpuskularnofalowy	27.16
Równanie soczewki.		Optyka geometryczna.	26.9
Równanie stanu gazu doskonałego.		Termodynamika.	29.11
Równanie wahadła fizycznego.		Drgania.	24.11
Równanie zwierciadła.		Optyka geometryczna.	26.5
Różnica potencjałów (napiecie).		Elektrostatyka	17.15
Ruch drgający prosty.		Drgania.	24.1
Ruch ładunku w polu elektrycznym - ładunek porusza się równoległe do linii pola.	Ruch ładunków w polu elektrycznym.	Elektrostatyka	17.17.1
Ruch ładunku w polu elektrycznym - ładunek wpada pod kątem prostym do linii pola.	Ruch ładunków w polu elektrycznym.	Elektrostatyka	17.17.2
Rura Kundta.		Fale.	25.20
Rzut poziomy.		Rzut poziomy.	7.1
Serie widmowe.	Widmo.	Fizyka atomowa.	28.5.2
Silnik Carnota.		Termodynamika.	29.19
Siła bezwładności.		Siła bezwładności.	6.1
Siła elektrodynamiczna.	Siły magnetyczne.	Pole magnetyczne.	22.2.1
Siła elektromotoryczna ogniwa.		Prąd elektryczny stały.	21.13
Siła Lorentza.	Siły magnetyczne.	Pole magnetyczne.	22.2.3
Siła tarcia.		Siła tarcia.	11.1
Siła w ruchu drgającym prostym.		Drgania.	24.3
Skład Słońca. Widmo słoneczne. Budowa Słońca.	Widmo.	Fizyka atomowa.	28.5.4
Składanie drgań harmonicznch.		Drgania.	24.15

Soczewki		Optyka geometryczna.	26.8.
Spinowy moment magnetyczny.		Atom wodoru według Bohra.	18.9
Sprawność urządzeń elektrycznych.		Prąd elektryczny stały.	21.12
Stała elektrostatyczna.	Stała elektrostatyczna i przenikalność elektryczna próżni	Elektrostatyka.	17.5.1
Stała Faradaya.	Prawa elektrolizy Faradaya.	Prąd elektryczny stały.	21.14.4
Stała gazowa.		Termodynamika.	29.17
Stała grawitacji.		Pole grawitacyjne.	15.3
Stopień swobody.		Termodynamika.	29.9
Strumień pola elektromagnetycznego		Elektrostatyka.	17.8
Strumień pola magnetycznego.		Pole magnetyczne.	22.5
Synteza - reakcja termojądrowa.		Fizyka atomowa.	28.18
Syrena Sebecka.	Ultradźwięki i syrena Sebecka.	Fale.	25.9.2
Tablica Mendelejewa.		Fizyka atomowa.	28.9
Temperatura.		Termodynamika.	29.1
Transformator.		Prąd zmienny.	23.11
Trzecia zasada dynamiki.		Zasady dynamiki Newtona.	4.3
Twierdzenie Steinera.		Moment bezwładności i twierdzenie Steinera.	12.3
Ultradźwięki.	Ultradźwięki i syrena Sebecka.	Fale.	25.9.1
Wahadło fizyczne.		Drgania.	24.9
Wahadło matematyczne.		Drgania.	24.7
Wartości skuteczne prądu elektrycznego zmiennego.		Prąd zmienny.	23.6
Warunek kwantyzacji energii.		Atom wodoru według Bohra.	18.5
Warunek kwantyzacji prędkości		Atom wodoru według Bohra.	18.3.
Warunek kwantyzacji promienia.		Atom wodoru według Bohra.	18.4
Warunek ruchu po okręgu - siła dośrodkowa.	Ruch z prędkością stałą.	Ruch po okręgu	3.1.2
Warunek wzmocnienia dla światła.	Interferencja fal świetlnych - doświadczenie Younga. Warunek wzmocnienia dla światła.	Optyka geometryczna.	26.13.2
Wektor indukcji elektrostatycznej		Elektrostatyka	17.18.
Wektor polaryzacji elektrycznej.		Polaryzacja elektryczna.	20.2
Widmo promieniowania rentgenowskiego.	Widmo.	Fizyka atomowa.	28.5.3
Widmo.	Widmo.	Fizyka atomowa.	28.5.1

Wielka unifikacja oddziaływań fizycznych.		Fizyka atomowa.	28.25
Własności fotonu.		Dualizm korpuskularnofalowy	27.9
Własności linii pola elektrostatycznego.	Linie pola elektrostatycznego	Elektrostatyka.	17.7.2
Własności linii pola magnetycznego.	Linie pola magnetycznego.	Pole magnetyczne.	22.4.2
Własności promieniowania rentgenowskiego.		Dualizm korpuskularnofalowy	27.13
Własności promieniowania..	Reakcje jądrowe - samoistne rozpady promieniotwórcze. Własności promieniowania	Fizyka atomowa.	28.15.2
Właściwości fal elektromagnetycznych		Fale.	25.12
Współczynnik Poissona.		Termodynamika.	29.18
Wysokość i droga w rzucie poziomym.		Rzut poziomy.	7.3
Wzór Kelwina lub Tompsona.		Prąd zmienny.	23.9
Zakaz Pauliego.		Fizyka atomowa.	28.2
Zależność ciśnienia od gęstości w przemianie izotermicznej.	Przemiana izotermiczna.	Termodynamika.	29.12.3
Załamane fali.		Fale.	25.16
Założenia teorii kinetyczno - molekularnej.		Termodynamika.	29.6
Zasada ekwipartycji energii.		Termodynamika.	29.8
Zasada Fermata.		Optyka geometryczna.	26.2
Zasada Hugensa.	Zjawisko ugięcia i zasada Hugensa.	Fale.	25.14.2
Zasada kwantyzacji ładunku.		Elektrostatyka.	17.2
Zasada nieoznaczoności Heisenberga.		Dualizm korpuskularnofalowy	27.15
Zasada względności Galileusza.		Zasada względności Galileusza.	5.1
Zasada zachowania energii.		Energia i zasada zachowania energii.	9.3
Zasada zachowania ładunku.		Elektrostatyka.	17.1
Zasada zachowania momentu pędu.		Pęd, moment pędu, zasada zachowania pędu i zasada zachowania momentu pędu.	8.4
Zasada zachowania pędu.		Pęd, moment pędu, zasada zachowania pędu i zasada zachowania momentu pędu.	8.2
Zderzenia centralne niesprężyste.		Zderzenia centralne.	13.1

Zderzenia centralne sprężyste.		Zderzenia centralne.	13.2
Zdolność absorbcyjna ciała.	Zdolność emisyjna i zdolność absorbcyjna ciała.	Dualizm korpuskularnofalowy	27.1.2
Zdolność emisyjna ciała.	Zdolność emisyjna i zdolność absorbcyjna ciała.	Dualizm korpuskularnofalowy	27.1.1
Zdolność skupiająca soczewek.		Optyka geometryczna.	26.10
Zerowa zasada termodynamiki.		Termodynamika.	29.3
Zjawisko Comptona.		Dualizm korpuskularnofalowy	27.11
Zjawisko Dopplera.		Fale.	25.8
Zjawisko fotoelektryczne zewnętrzne i wzór Einsteina-Milikana.		Dualizm korpuskularnofalowy	27.7
Zjawisko Hala.		Pole magnetyczne.	22.12
Zjawisko samoindukcji.		Prąd zmienny.	23.3
Zjawisko tunelowe.		Dualizm korpuskularnofalowy	27.17
Zjawisko ugięcia.	Zjawisko ugięcia i zasada Hugensa.	Fale.	25.14.1
Zredukowana długość wahadła matematycznego.		Drgania.	24.12
Zwierciadła.		Optyka geometryczna.	26.3