Fizyka statystyczna

Rzeszów University of Technology

12 grudnia 2022

Vitalii Dugaev

Katedra Fizyki i Inżynierii Medycznej

Bud. L-27, pokój L-111B
E-mail: vdugaev@prz.edu.pl
Tel. 17-865 1917

Strona domowa:
http://dugaev.v.prz.edu.pl/

Organizacja zajęć:

- 2 godź. wykłady
- Zaczynamy o 10:30, sala V-6
- Egzamin ustny: 2 pytania z teorii

Fizyka ośrodków ciągłych:

- Elementy fizyki statystycznej
- Elementy teorii kinetycznej
- Hydrodynamika
- Mechanika ciał stałych: teoria sprężystości
- Elektrodynamika ośrodków ciągłych
- Fizyka ciał skondensowanych (fizyka ciała stałego)

Literatura

- L.D. Landau, J.M. Lifszyc. Hydrodynamika, PWN, Warszawa, 2009
- L.D. Landau, J.M. Lifszyc. Teoria sprężystości. PWN, Warszawa, 2009
- L.D. Landau, J.M. Lifszyc. Elektrodynamika ośrodków ciągłych, PWN, Warszawa, 2011
- C. Kittel. Wstęp do fizyki ciała stałego. PWN, Warszawa,1999
- N.W. Ashcroft, N.D. Mermin. Fizyka ciała stałego. PWN, Warszawa,1986
- M.P. Marder. Condensed Matter Physics. John Wiley, New York, 2000.
- J.M. Ziman. Principles of the theory of solids. Cambridge, 1964
- C. Kittel. Kwantowa fizyka ciała stałego. PWN, 1974
- R.E. Peierls. Quantum theory of solids. Oxford, 1956

Opis mikroskopowy i makroskopowy w fizyce płynów i ciał stałych

Gaz, ciecz i ciało stałe mogą być opisane mikroskopowo i makroskopowo.

Opis mikroskopowy jest związany z opisem stanu pojedynczych cząstek z których składa się ciało (gaz, ciecz, ciało stałe).

Opis mikroskopowy stanu cząsteczki może być klasycznym albo kwantowym.

Przykład 1: Gaz, który składa się z atomów. Opis mikroskopowy: Stan cząsteczki opisuje się przez położenie $\vec{r}$ i prędkość $\vec{v}$ (albo pęd). Energia cząsteczki ε zależy od prędkości, $\varepsilon = mv^2/2$. Opis makroskopowy: Stan opisuje się przez parametry gazowe – temperatura T, ciśnienie p i objętość V.

Przykład 2: Ciało stałe (izolator) składa się z obojętnych atomów. Opis mikroskopowy: Mechanika kwantowa opisuje stan pojedynczego atomu z wykorzystaniem liczb kwantowych dla określenia stanów elektronowych w atopmie. Opis makroskopowy – naprężenie mechaniczne, podatność elektryczna i magnetyczna i inne.

Przykład 3: Ciało stałe (przewodnik) składa się z jonów i elektronów. Opis mikroskopowy – Mechanika kwantowa opisuje ruch elektronów przez funkcje falową elektronu. Opis makroskopowy: gęstość i energia gazu elektronowego i inne.

Cząsteczki, z których składa się ciało, tworzą układ dużej ilości cząsteczek.

Fizyka statystyczna opisuje układy dużej ilości cząsteczek.

W fizyce statystycznej wprowadzono pojęcie **funkcji rozkładu cząstki** $f(s)$, która opisuje prawdopodobieństwo tego, że dowolnie wybrana cząsteczka znajduje się w pewnym stanie s.

Funkcja rozkładu cząsteczki dla układu w stanie równowagowym zależy tylko od energii E_s cząsteczki w stanie s.

Także można opisać cały układ dużej ilości cząsteczek z wykorzystaniem **funkcji rozkładu układu cząstek** w_n, gdzie n oznacza pewny stan układu.

W stanie równowagi układu jego funkcja rozkładu zależy tylko od energii układu, $w_n = w(E_n)$. W fizyce statystycznej została znaleziona funkcja rozkładu układu cząstek – nazywa się **rozkładem Gibbsa**

$$w_n = Ae^{-E_n/kT} \tag{1}$$

gdzie A jest stałą unormowania $\sum_n w_n = 1$.

Funkcja (1) opisuje prawdopodobieństwo znalezienia układu cząstek w stanie n.

Funkcja $f(\vec{r}, \vec{v}, t)$ opisuje **gęstość prawdopodobieństwa** tego, że dowolnie wybrana cząstka w moment czasu t znajduje się w punkcie przestrzeni $\vec{r}$ w stanie z prędkością $\vec{v}$.

Z definicji, $f(\vec{r}, \vec{v}, t)\, dx\, dy\, dz\, dv_x\, dv_y\, dv_z$ jest prawdopodobieństwem tego, że dowolnie wybrana cząstka w moment t znajduje się w elemencie objętości $dx\, dy\, dz$ wokół punktu $\vec{r}$, a jej prędkość znajduje się w w objętości $dv_x\, dv_y\, dv_z$ wokół $\vec{v}$.

Klasyczny rozkład Maxwella

W stanie równowagi - gaz jednorodny i nie zależy od czasu t. Funkcja rozkładu:

$$f(v) = \left(\frac{m}{2\pi kT}\right)^{3/2} e^{-mv^2/2kT} \tag{2}$$

Unormowanie

$$\int d^3\mathrm{v}\ f(v) = 1, \qquad d^3\mathrm{v} = dv_x dv_y dv_z$$

$$\int d^3\mathrm{v} \ldots \equiv \int_{-\infty}^{\infty} dv_x \int_{-\infty}^{\infty} dv_y \int_{-\infty}^{\infty} dv_z \ldots \tag{3}$$

$f(v)\ d^3\mathrm{v}$ - prawdopodobieństwo tego, że cząsteczka ma prędkość w objętości $d^3\mathrm{v}$.

Układ cząstek ze spinem połówkowym (fermionów) w stanie równowagowym opisuje statystyka kwantowa Fermiego-Diraca

Rozkład Fermiego-Diraca

$$f(v) = \frac{1}{e^{(mv^2/2-\mu)/kT} + 1} \tag{4}$$

Układ cząstek ze spinem całkowitym (bozonów) w stanie równowagowym opisuje statystyka kwantowa Bosego-Einsteina

Rozkład Bosego-Einsteina

$$f(v) = \frac{1}{e^{(mv^2/2-\mu)/kT} - 1} \tag{5}$$