TEST Z KVANTOVÉ A STATISTICKÉ FYZIKY

40 otázek
čas - 125 minut

Dříve než začnete pracovat, přečtěte si pečlivě následující pokyny a informace.

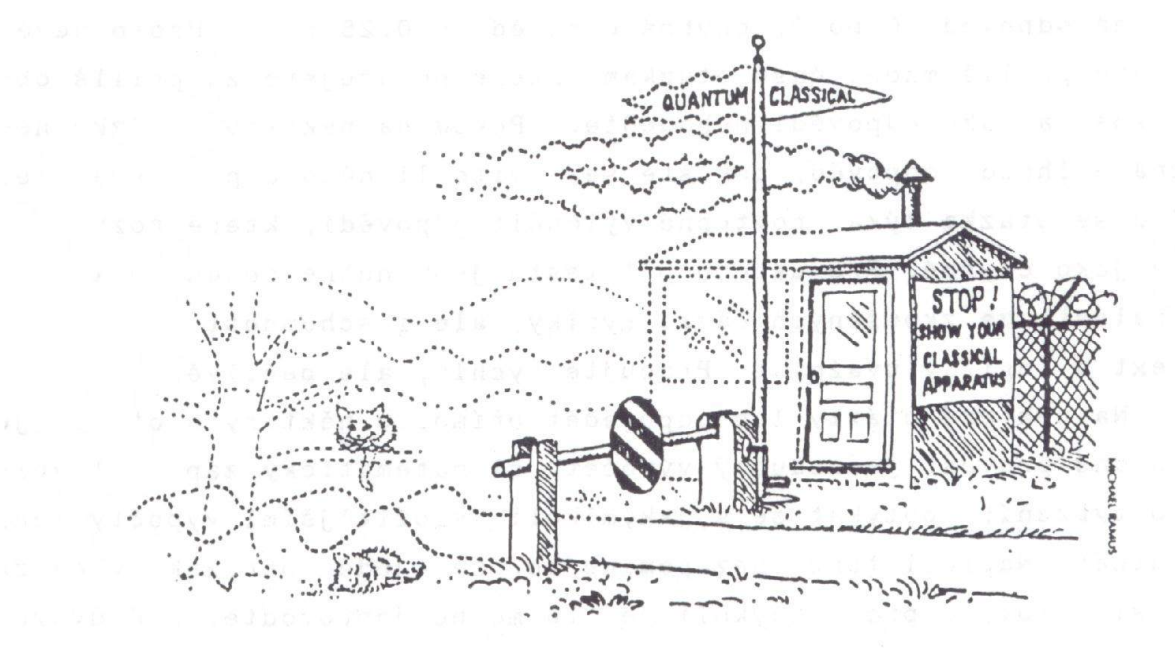
Pokyny: U každé z otázek je navrženo pět odpovědí, z nichž vždy **právě jedna** je správná. Odpověď, kterou považujete za správnou, vyznačte předepsaným způsobem na přiloženém barevném formuláři.

Všechny otázky jsou hodnoceny stejně: správná odpověď 1 bod, žádná odpověď 0 bodů, chybná odpověď -0.25 bodu. Proto nevěnujte příliš mnoho času otázkám, které považujete za příliš obtížné, a také odpovědi nehádejte. Pokud na některou otázku neznáte ihned odpověď, pokuste se, víte-li něco o problematice, jíž se otázka týká, postupně vyloučit odpovědi, které rozpoznáte jako chybné. Pro úspěch při testu jsou nutné nejen konkrétní znalosti ze zkoušených částí fyziky, ale i schopnost analyzovat text a logicky uvažovat. Pracujte rychle, ale pečlivě.

Na některé otázky lze odpovědět přímo, u některých otázek je vhodné provést jednoduchý výpočet, či matematický zápis slovního tvrzení; potýkat se s jakýmikoli složitějšími výpočty není nutné! Naproti tomu nezapomínejte, že jeden obrázek vydá za tisíc slov, a proto kdykoli je to možné doprovoďte, své uvažování o problému obrázkem.

Při Vaší práci v následujících 125 minutách Vám přeji nejen úspěch, ale i radost z hledání správných odpovědí na, jak doufám, zajímavé a inspirativní otázky.

Copyright © 2019, ÚFI FSI VUT v Brně



Obr. 1. Vést hranici mezi kvantovou říší, v níž vládne Schrödingerova rovnice, a klasickou říší, kde vládnou Newtonovy zákony, je jedním z neřešených problémů fyziky.

TEST Z KVANTOVÉ A STATISTICKÉ FYZIKY - VARIANTA CC

Klikněte prosím na tlačítko „Start“. Na konci testu klikněte na tlačítko „Vyhodnocení“.

Start

1. Stav částice je popsán vlnovou funkcí

$$\psi(x,t) = \frac{1}{\sqrt{(2\pi h)}} \int_{-\infty}^{\infty} c(p_x) \cdot \exp\left[-\frac{\mathrm{i}}{h}\left(\frac{p_x^2}{2m}t - p_x x\right)\right] dp_x$$

Potom jedno z níže uvedených tvrzení neplatí

- [ ] Jde o volnou částici pohybující se ve směru osy x,
- [ ] Koeficienty $c(p_x)$ lze zvolit tak, aby $\langle(\Delta p)^2\rangle\langle(\Delta x)^2\rangle = 0$,
- [ ] $|c(p_x)|^2$ udává hustotu pravděpodobnosti naměření hodnoty p_x při měření x-ové komponenty hybnosti,

☐ Koeficienty $c(p_x)$ lze zvolit tak, aby $\langle(\Delta p)^2\rangle = 0$,

☐ Je-li $c(p_x) \neq \delta(p_x - p_{x0})$, kde $p_{x0} \,\epsilon\, \mathcal{R}$, energie částice nemá ostrou hodnotu.

2. Částice o hmotnosti m se nachází v potenciálové jámě

$$V(x) = \frac{1}{2} m\omega_0^2 x^2 + V_0 \delta(x)$$

kde $V_0 > 0$ a $\delta(x)$ je Diracova delta funkce. $\varphi_0(x)$, $\varphi_1(x)$, $\varphi_2(x)$... budiž vlnové funkce této částice v daném poli pořadě příslušející vlastním energiím $E_0 < E_1 < E_2$... Potom platí

☐ $E_n = \hbar\omega_0(n + \frac{1}{2})$ pro $n = 0, 2, 4, ...$,

☐ $E_n = \hbar\omega_0(n + \frac{1}{2})$ pro $n = 1, 3, 5, ...$,

☐ $E_n = \hbar\omega_0(n + \frac{1}{2})$ pro $n = 0, 1, 2, 3, ...$,

☐ $E_n = n\hbar\omega_0$ pro $n = 1, 3, 5, ...$,

☐ žádné z tvrzení .

3. Komutátor $\left[\frac{\mathrm{d}}{\mathrm{d}x}, x\frac{\mathrm{d}}{\mathrm{d}x}\right]$ je roven

☐ $-\frac{\mathrm{d}}{\mathrm{d}x}$, ☐ $\hbar$, ☐ 1, ☐ 0, ☐ $\frac{\mathrm{d}}{\mathrm{d}x}$.

4. Mikročástice v nekonečně hluboké pravoúhlé potenciálové jámě šířky L je v čase $t = 0$ ve stavu

$$\psi(x, t = 0) = \sqrt{(30/L^5)} \cdot x(x - L)$$

Potom pro $t > 0$ platí, že ($E_n = \frac{\pi^2\hbar^2}{2mL^2} n^2, n \,\epsilon\, \mathcal{N}$, jsou možné energie částice v uvedené jámě)

☐ pravděpodobnost naměření energie E_n ($n = 1, 2, 3, ...$) je periodickou funkcí času,

☐ pravděpodobnost naměření energie E_1 je rovna nule,

☐ $\int_0^L \psi^*(x,t)\psi(x,t)dx$ závisí na čase,

☐ hustota pravděpodobnosti nalezení částice v bodě x nezávisí na čase,

☐ $\psi(x,t) = \sum_{n=1}^{\infty} c_n \exp(-\frac{\mathrm{i}}{\hbar} E_n t) \sin(n\pi x/L)$, kde $c_n = \sqrt{2/L} \int_0^L \sin(n\pi x/L)\psi(x,0)dx$.

5. Systém v tepelné rovnováze při teplotě T sestává z velkého počtu N_0 ekvivalentních podsystémů, z nichž každý může být buď ve stavu s energií E_1, nebo ve stavu s energií E_2, přičemž $E_2 - E_1 = \varepsilon > 0$.
Pro entropii uvažovaného systému platí jedno z tvrzení.

☐ Entropie s teplotou T neomezeně roste od nuly při $T = 0$,

☐ Entropie je dána vztahem $N_0 k\,[\ln T^{5/2} - \ln p - konst]$,

☐ Entropie roste od nuly při $T = 0$ k hodnotě $N_0 k \ln(2)$ při $T \to \infty$,

☐ Entropie klesá s rostoucí teplotou T,

☐ Pro entropii neplatí žádné z tvrzení.

6. Které z tvrzení o vlastních hodnotách λ_i , $i = 1, 2, 3,$

matice $\quad f(x) = \left\| \begin{matrix} 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \\ 1 & 0 & 0 \end{matrix} \right\|$ neplatí?

- [ ] $\lambda_1 + \lambda_2 + \lambda_3 = 0,$
- [ ] $\lambda_1\lambda_2 = +1$ pro jistou dvojici vlastních hodnot,
- [ ] $\lambda_1\lambda_2 + \lambda_2\lambda_3 + \lambda_1\lambda_3 = 0.$
- [ ] $\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3$ jsou všechna reálná,
- [ ] $(\lambda_i)^3 = +1 \quad pro \quad i = 1, 2, 3,$

7. Skutečnost, že energie základního stavu elektronu uvězněného v potenciálové jámě není nulová, je možné kvalitativně vysvětlit pomocí

- [ ] hypotézy, že elektron má spin,
- [ ] faktu, že elektron má záporný náboj,
- [ ] Heisenbergovy relace neurčitosti pro souřadnici a hybnost,
- [ ] faktu, že základní stav je nedegenerovaný,
- [ ] principu nerozlišitelnosti mikročástic.

8. Vlnová funkce

$$\varphi(x) = A \cdot x \cdot \exp(-m\omega_0 x^2/2\hbar)$$

kde A je konstanta, přísluší stacionárnímu stavu harmonického oscilátoru s energií (ω_0 je kruhová frekvence harmonického oscilátoru)

- [ ] $3\hbar\omega_0/2,$
- [ ] $\hbar\omega_0,$
- [ ] $0,$
- [ ] $2\hbar\omega_0,$
- [ ] $\hbar\omega_0/2.$

9. Který jev bezprostředně prokazuje existenci hybnosti fotonu?

- [ ] Zeemanův jev,
- [ ] Fotoelektrický jev,
- [ ] žádný z uvedených jevů,
- [ ] Starkův jev.
- [ ] Comptonův jev,

10. Pro ideální klasický plyn tvořený N jednoatomovými molekulami platí všechna uvedená tvrzení vyjma jednoho

- [ ] Střední kvadratická rychlost molekuly je $\sqrt{\langle v^2 \rangle} = \sqrt{(3kT/m)},$
- [ ] Rozdělení pravděpodobnosti pro energii molekuly je

$$P(\varepsilon)d\varepsilon = 2\pi \left(\frac{1}{\pi kT}\right)^{\frac{3}{2}} \varepsilon^{1/2} \exp(-\varepsilon/kT)d\varepsilon \qquad \text{kde} \qquad \varepsilon = \frac{1}{2}mv^2,$$

- [ ] Nejpravděpodobnější hodnota velikostí rychlosti je $v_1 = \sqrt{(3kT/m)},$
- [ ] Střední kvadratická fluktuace energie jedné molekuly je $\sqrt{\langle(\varepsilon - \langle\varepsilon\rangle)^2\rangle} = \sqrt{(3/2) \cdot kT},$
- [ ] Rozdělení pravděpodobnosti pro velikost rychlosti molekuly je

$$P(v)dv = 4\pi \left(\frac{m}{2\pi kT}\right)^{\frac{3}{2}} v^2 \exp(-mv^2/2kT)dv.$$

11. Pro tepelnou kapacitu C_v plynu tvořeného N dvouatomovými molekulami platí, že

- [ ] $C_v = \frac{5}{2}Nk$ pro teploty $T \gg h\omega_0/k,$

- [ ] $C_v = \frac{7}{2}Nk$ pro všechny teploty,
- [ ] $C_v = \frac{7}{2}Nk$ pro teploty $T \gg \hbar\omega_0/k$, kde ω_0 je frekvence kmitů molekuly,
- [ ] $C_v = \frac{5}{2}Nk$ pro všechny teploty,
- [ ] $C_v = \frac{3}{2}Nk$ pro všechny teploty.

12. Uvažujme dvě fyzikální veličiny A a B. Za jakých podmínek lze současně přesně určit hodnotu obou veličin.

- [ ] Vždy,
- [ ] Pokud vlastní hodnoty obou operátorů A a B jsou nedegenerované,
- [ ] Pokud operátor A komutuje s hamiltoniánem systému,
- [ ] Pokud operátor B komutuje s hamiltoniánem systému,
- [ ] Pokud operátory A a B komutují.

13. V Einsteinově modelu je kmitající krystalová mřížka reprezentována N nezávislými kvantovými harmonickými oscilátory stejné frekvence ω.
Volná energie kmitajícího krystalu v Einsteinově modelu je rovna

- [ ] $F = -NkT\,\ln[\exp(\hbar\omega/kT) - 1] + N\hbar\omega/2$,
- [ ] $F = NkT\,\ln[1 - \exp(-\hbar\omega/kT)] + N\hbar\omega/2$,
- [ ] $F = -NkT\,\ln[1 - \exp(-\hbar\omega/kT)] + N\hbar\omega/2$,
- [ ] $F = -NkT\,\ln[1 + \exp(-\hbar\omega/kT)] + N\hbar\omega/2$,
- [ ] $F = NkT\,\ln[\exp(\hbar\omega/kT) + 1] + N\hbar\omega/2$.

14. Tepelný stroj přijímá teplo při teplotě 727 °C a vydává teplo při teplotě 527 °C . Pokud stroj pracuje s nejvyšší možnou účinností, potom přijme-li teplo 2 000 J, vykoná práci

- [ ] 400 J,
- [ ] 1 450 J,
- [ ] 2 760 J,
- [ ] 1 600 J,
- [ ] 2 000 J.

15. Je-li Fermiho teplota plynu elektronů v silně legovaném polovodiči ($n \cong 10^{19}\text{cm}^{-3}$) řádově rovna 10^2 K, potom teplota degenerace v kapalném heliu He^4 ($n \cong 10^{22}\text{cm}^{-3}$) je řádově rovna

- [ ] 10^0 K,
- [ ] 10^{-2} K,
- [ ] 10^4 K,
- [ ] Není rovna žádné z uvedených hodnot ,
- [ ] 10^2 K.

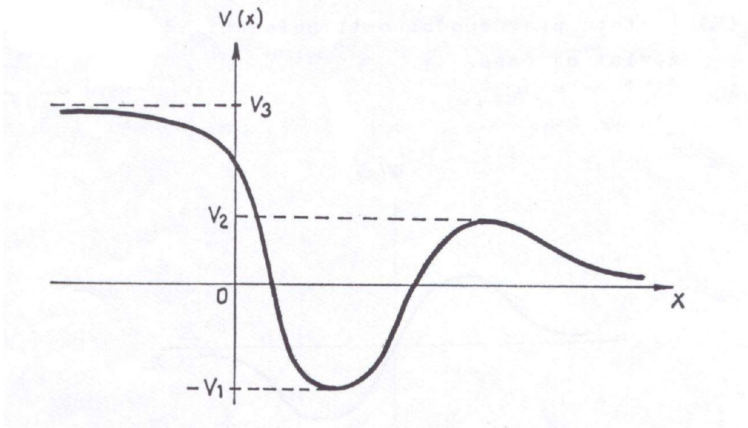
16. Pro chemický potenciál μ plynu volných elektronů neplatí jedno z níže uvedených tvrzení.

- [ ] $\frac{\mu}{T} = -\left(\frac{\partial S}{\partial N}\right)_{U,V}$ kde S je entropie, T je absolutní teplota , U je vnitřní energie a V je objem plynu elektronů ,
- [ ] Gibbsův potenciál $G = N\mu$, kde N je počet elektronů v systému,
- [ ] μ nezávisí na teplotě,
- [ ] μ závisí na koncentraci elektronů,
- [ ] Pravděpodobnost obsazení hladiny o energii rovné μ je rovna 0. 5.

17. Černé těleso zahřáté na teplotu 300 K vyzařuje maximum energie na vlnové délce $1{,}6 \cdot 10^{-5}$ m. Černé těleso zahřáté na teplotu 600 K vyzařuje maximálně na vlnové délce

- [ ] $3,2 \cdot 10^{-5}$ m,
- [ ] $4,0 \cdot 10^{-3}$ m,
- [ ] $0,8 \cdot 10^{-5}$ m,
- [ ] $4,0 \cdot 10^{-6}$ m,
- [ ] $1,0 \cdot 10^{-6}$ m.

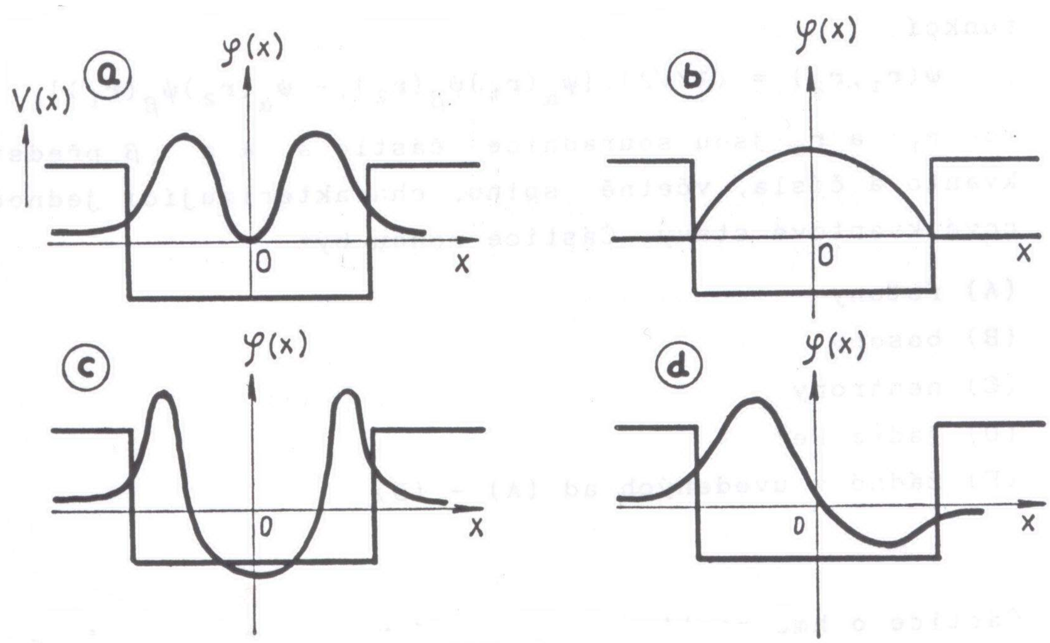
18. E je energie kvantové částice nacházející se v potenciálovém poli na obrázku 1 . Potom neplatí, že



Obr. 1.

- [ ] je-li $-V_1 < E < 0$, E nabývá jen diskrétních hodnot, přičemž každá z nich je dvojnásobně degenerovaná,
- [ ] je-li $0 < E < V_3$, E je spojité a nedegenerované,
- [ ] je-li $0 < E$, E je spojité,
- [ ] je-li $E > V_3$, je energiové spektrum spojité a dvojnásobně degenerované,
- [ ] je-li $-V_1 < E < V_3$, energiové spektrum je nedegenerované.

19. Na kterém obrázku (obr. 2) je zobrazena vlnová funkce některého z vázaných stacionárních stavů částice v jednorozměrné pravoúhlé symetrické potenciálové jámě konečné hloubky?



Obr. 2.

- [ ] na obrázku a,
- [ ] na obrázku c,
- [ ] na obrázku b,
- [ ] na obrázku d,
- [ ] na žádném z obrázků a–d.

20. V Einsteinově modelu je kmitající krystalová mřížka reprezentována N nezávislými kvantovými harmonickými oscilátory stejné frekvence ω.
Statistická suma kmitajícího krystalu v Einsteinově modelu je při teplotě T blízké absolutní nule rovna

- [ ] $Z = N(kT/\hbar\omega)$,
- [ ] $Z = \left(\dfrac{\exp(-\hbar\omega/2kT)}{1-\exp(-\hbar\omega/kT)}\right)^N$,
- [ ] $Z = \dfrac{N}{1-\exp(-\hbar\omega/kT)}$,
- [ ] $Z = \dfrac{N\exp(\hbar\omega/2kT)}{\exp(\hbar\omega/kT)-1}$,
- [ ] $Z = (kT/\hbar\omega)^N$.

21. Částice uzavřená v jednorozměrné pravoúhlé nekonečně hluboké potenciálové jámě se stěnami v bodech $x = 0$ a $x = L$ se v čase $t = 0$ nachází ve stavu

$$\psi(x, t = 0) = \sqrt{(1/L)} \cdot [\sin(2\pi x/L) + \sin(4\pi x/L)]$$

Potom v čase $t > 0$ platí

- [ ] Energie částice je $8\pi^2\hbar^2/mL^2$,
- [ ] Energie částice je $10\pi^2\hbar^2/mL^2$,
- [ ] Pravděpodobnost naměření energie $8\pi^2\hbar^2/mL^2$ je 0,5,
- [ ] Energie částice je $2\pi^2\hbar^2/mL^2$,
- [ ] Pravděpodobnost naměření energie je periodickou funkcí času.

22. a^+ (a) je kreační (anihilační) operátor a $|n\rangle, |m\rangle$ jsou stavové vektory harmonického oscilátoru v representaci obsazovacích čísel. Potom jedno z následujících tvrzení neplatí.

- [ ] $\langle n \mid a^+ \mid m\rangle = \sqrt{(n)} \cdot \delta_{n,m+1}$
,
- [ ] $\langle n \mid aa^+ \mid m\rangle = (n+1) \cdot \delta_{nm}$
,
- [ ] $\langle n \mid a \mid m\rangle = \sqrt{(n+1)} \cdot \delta_{n,m-1}$
,
- [ ] $\langle n \mid (a^+)^2 \mid m\rangle = \sqrt{n(n+1)} \cdot \delta_{n,m+2}$
,
- [ ] $\langle n \mid a^2 \mid m\rangle = \sqrt{(n+1)(n+2)} \cdot \delta_{n,m-2}$
.

23. Kvantování z-tové komponenty orbitálního momentu hybnosti plyne z požadavku, aby vlastní funkce $\varphi(\phi)$ operátoru $\mathbb{L}_z$ byla

- [ ] reálná,
- [ ] všude spojitá,
- [ ] omezená,
- [ ] periodická s periodou 2π ,
- [ ] normovaná.

24. Skutečnost, že chemický potenciál fotonového plynu je nulový, souvisí se všemi následujícími tvrzeními vyjma jednoho.

- [ ] $F = -pV$ (p je tlak a V je objem fotonového plynu),

- [ ] $F = \Omega$ (F je volná energie a Ω je velký kanonický potenciál fotonového plynu),
- [ ] Počet fotonů je závislý na teplotě,
- [ ] $G = 0$ (G je Gibbsův potenciál fotonového plynu),
- [ ] Hustota stavů $\mathcal{D}(\omega)$ je kvadratickou funkcí frekvence ω fotonu..

25. Planckův vyzařovací zákon se odvozuje za předpokladu, že

- [ ] elektromagnetické záření je emitováno po kvantech o energii $E = h\nu$, kde ν je frekvence žáření,
- [ ] hybnost fotonu je rovna $h\overrightarrow{k}$, kde $\overrightarrow{k}$ je vlnový vektor rovinné elektromagnetické vlny,
- [ ] elektromagnetické vlny jsou příčně polarizované,
- [ ] energie fotonu při teplotě T je rovna $\frac{3}{2}kT$,
- [ ] světlo se chová jako vlna.

26. Je-li $\mathbb{A}$ hermitovský operátor, potom platí jedno z tvrzení.

- [ ] Střední hodnota operátoru $\mathbb{A}$ je reálná,
- [ ] Spektrum operátoru $\mathbb{A}$ nemůže být diskrétní,
- [ ] Vlastní hodnoty operátoru $\mathbb{A}$ jsou vždy nedegenerované,
- [ ] Operátor $\mathbb{A}$ je unitární,
- [ ] žádné z tvrzení neplatí.

27. Měrná tepelná kapacita c_v plynu volných elektronů v kovu je při pokojové teplotě řádově mnohem menší než $3/2nk$, kde n je koncentrace elektronů. Co je nejlepším vysvětlením pro tuto skutečnost?

- [ ] Vlnové projevy elektronů,
- [ ] Degenerace energiových hladin,
- [ ] Heisenbergova relace neurčitosti pro hybnost a souřadnici,
- [ ] Kvantování energie elektronů v kovu,
- [ ] Pauliho princip.

28. Mikročástice v potenciálovém poli $V(x) = \alpha x^4$, kde $\alpha > 0$ se nachází ve stavu $\psi(x,t)$, který je superpozicí dvou sousedních stacionárních stavů $\psi_n(x,t)$ a $\psi_{n+1}(x,t)$ s energiemi $E_n < E_{n+1}$. Potom jedno z uvedených tvrzení neplatí.

- [ ] Je-li $\psi_n(x,t)$ sudá funkce v x, potom $\psi_{n+1}(x,t)$ je lichá funkce v x,
- [ ] $\psi_n(0,t) \cdot \psi_{n+1}(0,t) = 0$,

- [ ] Hustota pravděpodobnosti nalezení částice je sudá funkce v x,
- [ ] Hustota pravděpodobnosti nalezení částice v bodě x je periodickou funkcí času s periodou $2\pi\hbar\,(E_{n+1} - E_n)$,
- [ ] $\int\limits_{-\infty}^{\infty} \psi^*(x,t)\psi(x,t)dx$ není funkcí času.

29. Teplo Q_{izobar} dodané termodynamickému systému s neměnným počtem částic při izobarické expanzi (při tlaku p) ze stavu 1 do stavu 2 je rovno

- [ ] $F_2 - F_1$ (F je volná energie) ,
- [ ] $H_2 - H_1$ (H je entalpie) ,
- [ ] $U_2 - U_1$ (U je vnitřní energie) ,
- [ ] $T(S_2 - S_1)$ (S je entropie) ,
- [ ] $G_2 - G_1$ (G je Gibbsův potenciál) .

30. Energie vyzařovaná černým tělesem je po dobu jedné minuty užita pro ohřev vody. Přitom teplota vody vzroste z $20,0\,°\mathrm{C}$ na $20,5\,°\mathrm{C}$. Pokud se absolutní teplota černého tělesa zvýší dvakrát a experiment se opakuje, potom za jednu minutu teplota vody vzroste z $20,0\,°\mathrm{C}$ na teplotu

- [ ] $24\,°\mathrm{C}$,
- [ ] $21\,°\mathrm{C}$,
- [ ] $36\,°\mathrm{C}$,
- [ ] $28\,°\mathrm{C}$,
- [ ] $100\,°\mathrm{C}$.

31. Částice je ve stavu popsaném vlnovou funkcí ψ . Jestliže φ_n je vlastní funkce operátoru $\mathbb{A}$ příslušející nedegenerované vlastní hodnotě a_n, potom integrováním výrazu $\varphi_n^*\psi$ přes celý objem můžeme dostat

- [ ] neurčitost veličiny A,
- [ ] nic, co je uvedené v bodech,
- [ ] pravděpodobnost, že při měření veličiny A naměříme hodnotu a_n,
- [ ] časovou derivaci veličiny A,
- [ ] hustotu pravděpodobnosti nalezení částice v bodě x.

32. Pro systém s konstantním počtem částic je objem roven

- [ ] $\left(\frac{\partial U}{\partial T}\right)_P$,
- [ ] $\left(\frac{\partial F}{\partial P}\right)_T$,
- [ ] $\left(\frac{\partial G}{\partial P}\right)_T$,
- [ ] $-\left(\frac{\partial F}{\partial T}\right)_V$,
- [ ] $\left(\frac{\partial H}{\partial P}\right)_U$.

33. Vztah pro prahovou vlnovou délku brzdného rentgenova záření $\lambda_{min} = c\,h/eV$
(V je napětí mezi katodou a anodou) se odvozuje za předpokladu, že

- [ ] světlo je absorbováno a emitováno po kvantech o energii $E = h\nu$, kde ν je frekvence světla,
- [ ] moment hybnosti elektronů ve stacionárních stavech je roven celému násobku $\hbar$,
- [ ] energie elektronů v kovu je kvantována,
- [ ] světlo se chová jako vlna,
- [ ] elektronu odpovídá vlna o vlnové délce $\lambda = h/p$, kde p je hybnost elektronu.

34. Pro systém s konstantním počtem částic je absolutní teplota

- [ ] $\left(\frac{\partial V}{\partial P}\right)_V$,
- [ ] $\left(\frac{\partial U}{\partial S}\right)_V$,
- [ ] $\left(\frac{\partial P}{\partial V}\right)_S$,
- [ ] $\left(\frac{\partial S}{\partial P}\right)_V$,
- [ ] $\left(\frac{\partial S}{\partial U}\right)_V$.

35. Pro vlastní funkce $\varphi_{nlm}(r,\,\phi,\,\theta) = R_{nl}(r) Y_{lm}(\phi,\,\theta)$ hamiltoniánu bezspinové částice ve sféricky symetrickém potenciálovém poli $V(r) = \begin{cases} 0 & r < R \\ \infty & r > R \end{cases}$ platí, že

- ☐ $4\pi r^2 \mid R_{nl}(r) \mid^2$ určuje hustotu pravděpodobnosti nalezení častice ve vzdálenosti r od centra,
- ☐ $\varphi_{nlm}(r,\phi,\theta)$ jsou vlastní funkce operátoru kinetické energie,
- ☐ $\ell = 0,\ 1/2,\ 1,\ 3/2,\ 2,\ldots,$
- ☐ radiální části vlnové funkce $R_{nl}(r)$ jsou dány sférickými Besselovými funkcemi,
- ☐ $\mathbb{L}^2 \varphi_{nlm} = \hbar^2 m \varphi_{nlm}$, kde $\mathbb{L}^2$ je operátor čtverce momentu hybnosti.

36. Které z následujících tvrzení pro velkou statistickou sumu Ξ neplatí?

- ☐ $\Omega = -kT \ln \Xi$ (Ω je velký kanonický potenciál) ,
- ☐ $\langle N \rangle = kT \dfrac{\partial \ln \Xi}{\partial \mu}$ ($\langle N \rangle$ je střední počet částic a μ je chemický potenciál) ,
- ☐ $kT \ln \Xi = pV$ (T je teplota, p je tlak a V je objem plynu) ,
- ☐ $G = -kT \ln \Xi$ (G je volná energie) ,
- ☐ $\Xi = \exp(-\Omega/kT)$.

37. Mikročástice v potenciálové jámě $V(x) \neq konst.$ je ve stacionárním stavu popsaném vlnovou funkcí $\psi(x,t)$. Potom jedno z následujících tvrzení není správné.

- ☐ Hustota pravděpodobnosti nalezení částice v bodě x nezávisí na čase,
- ☐ $\langle \mathbb{P}_x \rangle$ závisí na čase ($\langle \mathbb{P}_x \rangle$ je střední hodnota x-ové komponenty hybnosti),
- ☐ Energie částice má ostrou hodnotu,
- ☐ x-ová komponenta hybnosti částice nemá ostrou hodnotu,
- ☐ Pravděpodobnost naměření určité hodnoty p_x x-ové komponenty hybnosti nezávisí na čase.

38. Systém v tepelné rovnováze při teplotě T sestává z velkého počtu N_0 ekvivalentních podsystémů, z nichž každý může být buď ve stavu s energií E_1, nebo ve stavu s energií E_2, přičemž $E_2 - E_1 = \varepsilon\ > 0$.
Průměrný počet podsystémů, které jsou ve stavu s energií E_1, je

- ☐ $N_0 \exp(-\varepsilon/KT)$,
- ☐ $N_0/[1 + \exp(-\varepsilon/KT)]$,
- ☐ $N_0/[1 - \exp(\varepsilon/KT)]$,
- ☐ $N_0/2$,
- ☐ $(N_0/2) \cdot \exp(-\varepsilon/KT)$.

39. Skutečnost, že nejnižší energiová hladina vodíkového atomu se v magnetickém poli štěpí v dublet, lze vysvětlit, vezmeme-li v úvahu

- ☐ Pauliho vylučovací princip,
- ☐ Fermiho-Diracovo rozdělení,

- [ ] kvantování orbitálního momentu hybnosti,
- [ ] hypotézu, že elektron má vlastní magnetický moment,
- [ ] vlnové vlastnosti elektronu.

40. Uvažujte dvoudimenzionální plyn volných elektronů, kdy

$E(k) = \hbar^2 k^2/2M$, $k = (2\pi/L)(n_x, n_y)$, $n_i \in \mathcal{Z}$

Hustota stavů (koeficient α_j, $j = 1, 2, 3, 4$, nezávisí na energii)

- [ ] není dána žádným z výrazů,
- [ ] $\mathcal{D}(E) = \alpha_4$,
- [ ] $\mathcal{D}(E) = \alpha_3 E^{-1/2}$,
- [ ] $\mathcal{D}(E) = \alpha_2 E^2$,
- [ ] $\mathcal{D}(E) = \alpha_1 E^{1/2}$.

Vyhodnocení | Výsledek | Zobrazit správné výsledky