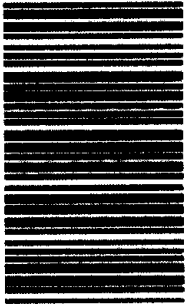


783

E



783E

نام :

نام خانوادگی :

محل امضاء :



جمهوری اسلامی ایران
وزارت علوم، تحقیقات و فناوری
سازمان سنجش آموزش کشور

اگر دانشگاه اصلاح شود مملکت اصلاح می شود.

امام خمینی (ره)

آزمون دانش‌پذیری دوره‌های فراگیر «کارشناسی ارشد» دانشگاه پیام نور

رشته‌ی فیزیک گرایش‌های
اتمی و مولکولی (کد ۱۸۲)، حالت جامد (کد ۱۸۳)، فیزیک بنیادی (کد ۱۸۴)،
گرانش و فیزیک نجومی (کد ۱۸۵) و هسته‌ای (کد ۱۸۶)

مدت پاسخگویی: ۱۸۰ دقیقه

تعداد سؤال: ۶۰

عنوان مواد امتحانی، تعداد و شماره سؤالات

ردیف	مواد امتحانی	تعداد سؤال	از شماره	تا شماره
۱	الکترودینامیک (۱)	۲۰	۱	۲۰
۲	مکانیک کوانتومی پیشرفته (۱)	۲۰	۲۱	۴۰
۳	مکانیک آماری پیشرفته (۱)	۲۰	۴۱	۶۰

آذر ماه سال ۱۳۹۱

استفاده از ماشین حساب مجاز نمی‌باشد.

۱- تعدادی سطوح رسانا هر یک با پتانسیل ثابت معین و بار الکتریکی کل داده شده در نظر گرفته شود. اگر یک رسانای بدون بار و مجزا در ناحیه محدود شده با این سطوح وارد شود چه تغییری در انرژی الکترواستاتیک ایجاد می‌شود؟

(۱) افزایش می‌یابد.

(۲) کاهش می‌یابد.

(۳) تغییری نمی‌کند.

(۴) بسته به شکل رسانای وارد شده ممکن است افزایش یا کاهش یابد.

۲- سه کره یکسان رسانا به شعاع R در راس‌های یک مثلث متساوی الاضلاع به ضلع a ($a \ll R$) قرار دارند به طوری که مرکز این کره‌ها بر راس‌های مثلث منطبق هستند. وقتی پتانسیل این سه کره V ، صفر و صفر است بار روی آنها q ، q' و q'' است. حال اگر هر یک از سه کره در پتانسیل V' باشند بار الکتریکی روی هر یک از سه کره کدام است؟

$$(۱) \frac{V'}{V}(2q' + q)$$

$$(۲) \frac{V}{V'}(2q' + q)$$

$$(۳) \frac{V'}{V}\left(\frac{a}{R}q' + q\right)$$

$$(۴) \frac{V}{V'}\left(q' + \frac{R}{a}q\right)$$

۳- کدام رابطه درست است؟

$$(۱) \delta(x^2 - a^2) = \frac{|a|}{2}(\delta(x - a) + \delta(x + a))$$

$$(۲) \delta(x^2 - a^2) = \frac{|a|}{2}(\delta(x - a) - \delta(x + a))$$

$$(۳) \delta(x^2 - a^2) = \frac{1}{2|a|}(\delta(x - a) + \delta(x + a))$$

$$(۴) \delta(x^2 - a^2) = \frac{1}{2a}(\delta(x - a) - \delta(x + a))$$

۴- اگر $\psi(\vec{x})$ و $\phi(\vec{x})$ دو تابع اسکالر دلخواه باشند کدام رابطه نادرست است؟

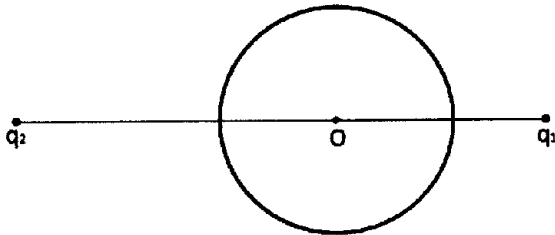
$$(۱) \int_V (\phi \nabla^2 \psi - \vec{\nabla} \phi \cdot \vec{\nabla} \psi) d^3x = \int_S \phi \frac{\partial \psi}{\partial n} da$$

$$(۲) \int_V (\phi \nabla^2 \psi + \vec{\nabla} \phi \cdot \vec{\nabla} \psi) d^3x = \int_S \phi \frac{\partial \psi}{\partial n} da$$

$$(۳) \vec{\nabla} \cdot (\phi \vec{\nabla} \psi) = \phi \nabla^2 \psi + \vec{\nabla} \phi \cdot \vec{\nabla} \psi$$

$$(۴) \int_V (\phi \nabla^2 \psi - \vec{\nabla} \phi \cdot \vec{\nabla} \psi) d^3x = \int_S \left(\phi \frac{\partial \psi}{\partial n} - \psi \frac{\partial \phi}{\partial n} \right) da$$

۵- در دو طرف مقابل یک کره رسانا به شعای a و متصل به زمین دو بار الکتریکی مثبت q_1 و q_2 قرار دارند. فاصله q_1 از مرکز کره $2a$ و فاصله q_2 از مرکز کره ϵa است. شرط آن که بار q_2 از کره دفع شود کدام است؟



$$q_2 > 9q_1 \quad (1)$$

$$q_2 < \frac{25}{144}q_1 \quad (2)$$

$$q_2 > \frac{1}{36}q_1 \quad (3)$$

$$q_2 < \frac{725}{5184}q_1 \quad (4)$$

۶- کره رسانایی خنثی به شعاع R در میدان الکتریکی یکنواخت $\vec{E} = E_0 \hat{k}$ قرار دارد. مرکز کره بر مبدا مختصات منطبق است.

پتانسیل الکتریکی در نقطه‌ای به فاصله r خارج کره از در مختصات کروی برابر است با

$$\Phi(\vec{r}) = -E_0 \left(r - \frac{R^2}{r} \right) \cos \theta$$

$$\epsilon_0 E_0 \cos \theta \quad (1)$$

$$2\epsilon_0 E_0 \cos \theta \quad (2)$$

$$\frac{3}{2}\epsilon_0 E_0 \cos \theta \quad (3)$$

$$3\epsilon_0 E_0 \cos \theta \quad (4)$$

۷- اگر در سوال ۶ صفحه‌ای عمود بر راستای میدان الکتریکی کره را به دو نیم کره یکسان تقسیم کند نیروی لازم برای آن که از

جدا شدن دو نیم کره جلوگیری کند کدام است؟

$$9\pi \epsilon_0^2 R^2 E_0^2 \quad (1)$$

$$18\pi^2 \epsilon_0^2 R^2 E_0^2 \quad (2)$$

$$9\pi^2 \epsilon_0^2 R^2 E_0^2 \quad (3)$$

$$12\pi^2 \epsilon_0^2 R^2 E_0^2 \quad (4)$$

۸- در ناحیه محدودی از فضا چگالی بار الکتریکی به صورت $\rho(\vec{r}, t) = \alpha r e^{-\beta t}$ است که در آن α و β مقادیر ثابت و r فاصله

نقطه مورد نظر از مبدا مختصات است. چگالی جریان در این ناحیه کدام است؟

$$\vec{J}(\vec{r}, t) = \alpha \beta r^2 e^{-\beta t} \hat{r} \quad (1)$$

$$\vec{J}(\vec{r}, t) = \frac{\alpha \beta r^2}{3} e^{-\beta t} \hat{r} \quad (2)$$

$$\vec{J}(\vec{r}, t) = \frac{\alpha \beta r^2}{2} e^{-\beta t} \hat{r} \quad (3)$$

$$\vec{J}(\vec{r}, t) = \frac{\alpha \beta r^2}{4} e^{-\beta t} \hat{r} \quad (4)$$

۹- توزیع بار حجمی در محدوده $0 \leq x \leq 1$ و $0 \leq y \leq 1$ و $0 \leq z \leq 1$ برابر با چگالی $\rho(x, y, z) = \alpha(x^2 + y^2 + z^2)^{\frac{5}{2}}$ و در خارج این فضا چگالی بار الکتریکی صفر است. E_x مولفه میدان الکتریکی در امتداد محور x در مبدا مختصات چند ولت بر متر است؟ α مقداری ثابت و ابعاد بر حسب متر است.

(۱) 7×10^9

(۲) 1.8×10^9

(۳) 9×10^9

(۴) 5.25×10^9

۱۰- پتانسیل الکتریکی روی سطح کره S به شعاع R در مختصات کروی به صورت تابع مفروض $\Phi(R, \theta', \phi')$ است. پتانسیل در نقطه \bar{x} خارج از کره کدام است؟ تابع گرین در پشته برای این کره به شکل زیر است:

$$G(\bar{x}, \bar{x}') = \frac{1}{(x' + x'' - 2xx' \cos \gamma)^{\frac{1}{2}}} - \frac{1}{\left(\frac{x'x''}{R^2} + R^2 - 2xx' \cos \gamma \right)^{\frac{1}{2}}}$$

که در آن γ زاویه میان دو بردار \bar{x} و \bar{x}' است. $d\Omega'$ جزء زاویه فضایی در نقطه (R, θ', ϕ') است.

$$\Phi(\bar{x}) = \frac{1}{\epsilon \pi} \int_S \Phi(R, \theta', \phi') \frac{R(x' - R')}{(x' + R' - 2R x \cos \gamma)^{\frac{1}{2}}} d\Omega' \quad (۱)$$

$$\Phi(\bar{x}) = \frac{1}{\epsilon \pi} \int_S \Phi(R, \theta', \phi') \frac{(x' - R')}{(x' + R' - 2R x \cos \gamma)^{\frac{1}{2}}} d\Omega' \quad (۲)$$

$$\Phi(\bar{x}) = \frac{-1}{\epsilon \pi} \int_S \Phi(R, \theta', \phi') \frac{1}{(x' + R' - 2R x \cos \gamma)^{\frac{1}{2}}} d\Omega' \quad (۳)$$

$$\Phi(\bar{x}) = \frac{1}{\epsilon \pi} \int_S \Phi(R, \theta', \phi') \frac{R'(x - R)}{(x' + R' - 2R x \cos \gamma)^{\frac{1}{2}}} d\Omega' \quad (۴)$$

۱۱- اگر میدان برداری \vec{A} در مختصات کروی به صورت $\vec{A}(\bar{x}) = k r^n \hat{r}$ داده شده باشد مقدار انتگرال $\int_V \vec{\nabla} \cdot \vec{A} d^3x$ که در آن V کره‌ای به شعاع R است کدام است؟ k و n اعداد ثابتی هستند.

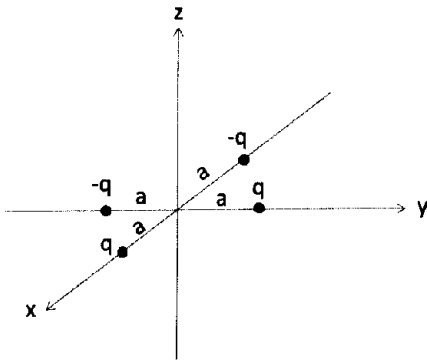
(۱) $\epsilon \pi n k R^{n-1}$

(۲) $\epsilon \pi (n + 2) k R^{n+2}$

(۳) $\epsilon \pi (n - 1) k R^{n+1}$

(۴) $\epsilon \pi (n - 2) k R^{n-2}$

۱۲- q_{lm} ممان‌های چندقطبی یک توزیع بار الکتریکی $\rho(\vec{x})$ به شکل $q_{lm} = \int Y_{lm}^*(\theta', \phi') r'^l \rho(\vec{x}') d^3x'$ تعریف می‌شود. برای توزیع بار نشان داده شده در شکل کدام رابطه نادرست است؟



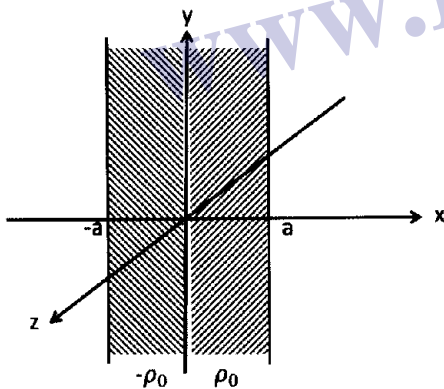
$q_{r1} = 0$ (۱)

$q_{1r} = 0$ (۲)

$q_{00} = 0$ (۳)

$q_{11} = -qa \sqrt{\frac{3}{2\pi}} (1-i)$ (۴)

۱۳- توزیع بار حجمی به شکل $\rho(x, y, z) = \begin{cases} -\rho_0 & \text{for } -a < x < 0 \\ +\rho_0 & \text{for } 0 < x < a \end{cases}$ را در نظر بگیرید. میدان الکتریکی در نقطه‌ای در ناحیه $0 < x < a$ کدام است؟



$\rho_0(x+a) \hat{i}$ (۱)

$\rho_0(x-a) \hat{i}$ (۲)

$-\rho_0(x-a) \hat{i}$ (۳)

$-\rho_0(x+a) \hat{i}$ (۴)

۱۴- یک دوقطبی الکتریکی نقطه‌ای با ممان دوقطبی $\vec{P}_1 = P_1 \hat{k}$ در مبدا مختصات قرار دارد. دوقطبی الکتریکی نقطه‌ای دومی با

ممان دوقطبی $\vec{P}_2 = P_2 \hat{k}$ روی محور z و به فاصله d از دوقطبی اول قرار دارد. نیروی وارد بر دوقطبی دوم کدام است؟

$\frac{3P_1P_2}{2\pi\epsilon_0 d^3} \hat{k}$ (۱)

$-\frac{3P_1P_2}{\epsilon\pi\epsilon_0 d^3} \hat{k}$ (۲)

$-\frac{3P_1P_2}{2\pi\epsilon_0 d^3} \hat{k}$ (۳)

$\frac{3P_1P_2}{\epsilon\pi\epsilon_0 d^3} \hat{k}$ (۴)

۱۵- استوانه‌ای به شعاع R و ارتفاع L دارای بردار قطبش یکنواختی $(\vec{P} = P_0 \hat{k})$ در امتداد محور استوانه است. محور Z در امتداد محور استوانه و مرکز استوانه منطبق بر مبدا مختصات است. بردار جابجایی \vec{D} در نقطه‌ای روی محور

استوانه و به فاصله d از مبدا مختصات $(d > \frac{L}{2})$ کدام است؟

$$\vec{D}(0,0,d) = \frac{P_0}{2} \left(\frac{(d+\frac{1}{2})}{\left[R^2 + (z+\frac{1}{2})^2 \right]^{\frac{1}{2}}} - \frac{(d-\frac{1}{2})}{\left[R^2 + (z-\frac{1}{2})^2 \right]^{\frac{1}{2}}} \right) \hat{k} \quad (۱)$$

$$\vec{D}(0,0,d) = \frac{P_0}{2} \left(\frac{(d+\frac{1}{2})}{\left[R^2 + (z+\frac{1}{2})^2 \right]^{\frac{1}{2}}} + \frac{(d-\frac{1}{2})}{\left[R^2 + (z-\frac{1}{2})^2 \right]^{\frac{1}{2}}} \right) \hat{k} \quad (۲)$$

$$\vec{D}(0,0,d) = \frac{P_0 L}{4} \left(\frac{1}{\left[R^2 + (z+\frac{1}{2})^2 \right]^{\frac{1}{2}}} + \frac{1}{\left[R^2 + (z-\frac{1}{2})^2 \right]^{\frac{1}{2}}} \right) \hat{k} \quad (۳)$$

$$\vec{D}(0,0,d) = \frac{P_0}{4} \left(\frac{1}{\left[R^2 + (z+\frac{1}{2})^2 \right]^{\frac{3}{2}}} - \frac{1}{\left[R^2 + (z-\frac{1}{2})^2 \right]^{\frac{3}{2}}} \right) \hat{k} \quad (۴)$$

۱۶- کره پارامغناطیسی به شعاع R و ضریب نفوذپذیری μ در یک میدان مغناطیسی یکنواخت \vec{B}_0 قرار دارد. \vec{M} بردار

مغناطش درون کره کدام است؟

$$\frac{\chi}{\mu_0} \left(\frac{\mu + \mu_0}{\mu + 2\mu_0} \right) \vec{B}_0 \quad (۱)$$

$$\frac{\chi}{\mu_0} \left(\frac{\mu - \mu_0}{\mu + 2\mu_0} \right) \vec{B}_0 \quad (۲)$$

$$\frac{\chi}{\mu_0} \left(\frac{\mu - \mu_0}{\mu + \mu_0} \right) \vec{B}_0 \quad (۳)$$

$$\frac{\chi}{\mu_0} \left(\frac{\mu_0 - \mu}{\mu + \mu_0} \right) \vec{B}_0 \quad (۴)$$

۱۷- پوسته کروی به شعاع داخلی a و شعاع خارجی b از جنس ماده‌ای با ضریب نفوذپذیری μ در یک میدان

مغناطیسی یکنواخت \vec{B}_0 قرار دارد. کدام عبارت درست است؟

(۱) میدان مغناطیسی داخل حفره ($r < a$) همواره صفر است.

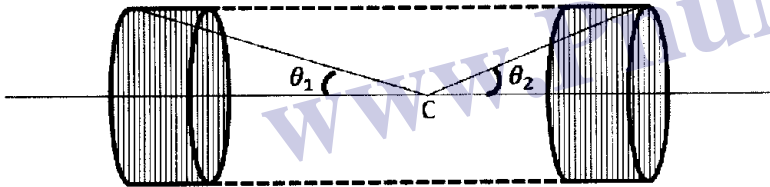
(۲) میدان مغناطیسی در پوسته ($a < r < b$) همواره صفر است.

(۳) میدان مغناطیسی در پوسته ($a < r < b$) همواره موازی میدان یکنواخت خارجی است.

(۴) میدان مغناطیسی داخل حفره ($r < a$) موازی میدان یکنواخت خارجی است و در صورتی که μ_0 μ باشد مقدار آن به صفر میل می‌کند.

۱۸- سیم پیچ استوانه‌ای شکل به شعاع R و طول L دارای N دور سیم در واحد طول و حامل جریان I است. میدان مغناطیسی

در نقطه دلخواه C روی محور استوانه در حد $NL \rightarrow \infty$ کدام است؟



$$\mu_0 N I (\cos \theta_1 - \cos \theta_2) \quad (1)$$

$$\frac{\mu_0 N I}{R} (\cos \theta_1 + \cos \theta_2) \quad (2)$$

$$\frac{\mu_0 N I}{\gamma} (\cos \theta_1 + \cos \theta_2) \quad (3)$$

$$\frac{\mu_0 N I}{\gamma} (\cos \theta_1 - \cos \theta_2) \quad (4)$$

۱۹- سیم استوانه‌ای بسیار طولی به شعاع a حامل چگالی جریان یکنواخت \vec{J}_0 در امتداد محور سیم است. پتانسیل

بردار در نقطه‌ای خارج استوانه و به فاصله r از محور استوانه کدام است؟ ضریب نفوذپذیری داخل سیم μ_0 و

ضریب نفوذپذیری خارج سیم μ است.

$$-\frac{\mu_0 J_0}{\epsilon \pi} \left(\frac{r}{a} \right)^2 \quad (1)$$

$$-\frac{\mu_0 J_0}{\epsilon \pi} \left(\frac{a}{r} \right)^2 \quad (2)$$

$$-\frac{J_0}{\epsilon \pi} \left(\mu_0 + \gamma \mu \ln \frac{r}{a} \right) \quad (3)$$

$$-\frac{J_0}{\epsilon \pi} \left(\mu_0 + \gamma \mu \ln \frac{a}{r} \right) \quad (4)$$

۲۰- یک خط انتقال شامل دو سیم رسانای کامل و موازی یکدیگر است که سطح مقطع این دو سیم ثابت ولی دلخواه است. جریان از یکی از این دو سیم وارد و از سیم دیگر خارج می‌شود. اگر L خودالقا در واحد طول، C ظرفیت در واحد طول این مجموعه، μ ضریب نفوذپذیری و ϵ ضریب تراوایی محیط اطراف این سیم انتقال باشد کدام رابطه درست است؟

$$LC = \frac{\mu}{\epsilon} \quad (۱)$$

$$LC = \frac{\mu}{2\epsilon} \quad (۲)$$

$$LC = 2\mu\epsilon \quad (۳)$$

$$LC = \mu\epsilon \quad (۴)$$

مکانیک کوانتومی پیشرفته ۱

۲۱- اگر تابع موج ذره‌ای در فضای مکان موج تخت باشد، تابع موج آن در فضای اندازه حرکت کدام است؟
 (۱) تابع ثابت (۲) تابع گاوسین (۳) تابع لورنتسی (۴) تابع دلتای دیراک

۲۲- اگر $|\bar{x}'\rangle$ ویژه بردار مکان در فضای سه بعدی و $T(\bar{a}) = e^{-\frac{i\bar{p}\bar{a}}{\hbar}}$ عملگر انتقال باشد کدام رابطه نادرست است؟

$$T^{-1}(\bar{a}) = T^{\dagger}(\bar{a}) \quad (۱)$$

$$T(-\bar{b}) = T^{-1}(\bar{b}) \quad (۲)$$

$$T(-\bar{a})|\bar{x}'\rangle = |\bar{x}' - \bar{a}\rangle \quad (۳)$$

$$[T(\bar{a}), T(\bar{b})] = T(\bar{a} + \bar{b}) \quad (۴)$$

۲۳- کدام عبارت در مورد عملگرهای A و UAU^{-1} درست است؟

(۱) این دو عملگر همواره ویژه بردارهای مشترک دارند.

(۲) همواره مجموعه ویژه مقادیر این دو عملگر با هم یکسان است.

(۳) اگر عملگر A یکانی باشد عملگر UAU^{-1} همواره یکانی است.

(۴) اگر عملگر A مشاهده پذیر و عملگر U پادیکانی باشد عملگر UAU^{-1} مشاهده پذیر است.

۲۴- در فضای برداری متناهی، مجموعه ویژه بردارهای عملگر A پایه کاملی را تشکیل می‌دهند اگر و فقط اگر

$$A = A^{\dagger} \quad (۱)$$

$$AA^{\dagger} = 1 \quad (۲)$$

$$[A, A^{\dagger}] = 0 \quad (۳)$$

$$[A, A^{-1}] = 0 \quad (۴)$$

۲۵- اگر تابع موج ذره آزادی به جرم m در یک بعد در لحظه $t = 0$ برابر با $\psi(x, 0) = \left(\frac{\alpha}{\pi}\right)^{\frac{1}{2}} e^{ik_0 x - \alpha \frac{x^2}{2}}$ باشد، تابع موج

آن ذره در لحظه دلخواه $t > 0$ کدام است؟ $\beta = 1 + i\left(\frac{\hbar t \alpha}{m}\right)$

$$\psi(x, t) = \left(\frac{\alpha}{\pi}\right)^{\frac{1}{2}} \frac{1}{|\beta|} e^{\left(\frac{\alpha x^2}{2\beta} + i\frac{k_0 x}{\beta} - \frac{i\hbar k_0^2 t}{2m\beta}\right)} \quad (1)$$

$$\psi(x, t) = \left(\frac{\alpha}{\pi}\right)^{\frac{1}{2}} \frac{1}{|\beta|} e^{\left(-\frac{\alpha x^2}{2\beta} + i\frac{k_0 x}{\beta} + \frac{i\hbar k_0^2 t}{2m\beta}\right)} \quad (2)$$

$$\psi(x, t) = \left(\frac{\alpha}{\pi}\right)^{\frac{1}{2}} e^{\left(\frac{-\alpha x^2 + ik_0 x - i\hbar k_0^2 t}{2\beta}\right)} \quad (3)$$

$$\psi(x, t) = \left(\frac{\alpha}{\pi}\right)^{\frac{1}{2}} e^{\left(\frac{-\alpha x^2 + ik_0 x + i\hbar k_0^2 t}{2\beta}\right)} \quad (4)$$

۲۶- نوسانگر هماهنگ یک بعدی با بسامد زاویه‌ای ω در حالت بهنجار همدوس $|z\rangle$ قرار دارد. اگر $|n\rangle$ ویژه بردار انرژی

ذره با ویژه مقدار $\left(n + \frac{1}{2}\right)\hbar\omega$ باشد، کدام رابطه درست است؟

$$|z\rangle = e^{-\frac{|z|^2}{\gamma}} \sum_{n=0}^{\infty} \frac{z^n}{\sqrt{n!}} |n\rangle \quad (1)$$

$$|z\rangle = \frac{1}{\sqrt{\gamma}} e^{-|z|^2} \sum_{n=0}^{\infty} \frac{z^n}{\sqrt{n!}} |n\rangle \quad (2)$$

$$|z\rangle = \frac{1}{\gamma} e^{-\frac{|z|^2}{\gamma}} \sum_{n=0}^{\infty} \frac{z^n}{n!} |n\rangle \quad (3)$$

$$|z\rangle = e^{-|z|^2} \sum_{n=0}^{\infty} \frac{z^n}{n!} |n\rangle \quad (4)$$

۲۷- اگر عملگر مکان یک نوسانگر هماهنگ یک بعدی به جرم m و بسامد زاویه‌ای ω ، α عددی ثابت و $|0\rangle$ حالت

پایه آن نوسانگر باشد مقدار چشمداشتی $\langle 0 | e^{i\alpha x} | 0 \rangle$ کدام است؟ $\left(a = \sqrt{\frac{m\omega}{\hbar}} \left(x + \frac{ip}{m\omega}\right)\right)$

$$e^{-\frac{\hbar\alpha^2}{2m\omega}} \quad (1)$$

$$e^{\frac{\hbar\alpha^2}{2m\omega}} \quad (2)$$

$$e^{-\frac{\hbar\alpha^2}{2m\omega}} \quad (3)$$

$$e^{\frac{\hbar\alpha^2}{2m\omega}} \quad (4)$$

۲۸- نمایش قطبی عملگرهای خلق و فنا برای یک نوسانگر ساده یک بعدی به ترتیب به شکل $a^\dagger = e^{-i\phi} \sqrt{B+1}$ و $a = \sqrt{B+1} e^{i\phi}$ تعریف می‌شوند. عملگرهای ϕ و B هرمیتی هستند. حاصل جابجاگر $[e^{i\phi}, B]$ کدام است؟

(۱) $-e^{-i\phi}$

(۲) $e^{i\phi}$

(۳) $B + e^{i\phi}$

(۴) $B - e^{-i\phi}$

۲۹- در حرکت ذره باردار کوانتومی در یک میدان الکترومغناطیسی کدام کمیت‌ها تحت تبدیلات پیمانه‌ای ناورد هستند؟

(۱) مقدار چشمداشتی اندازه حرکت سینماتیکی و شار احتمال

(۲) مقدار چشمداشتی اندازه حرکت کانونیکی و شار احتمال

(۳) تابع موج ذره و مقدار چشمداشتی اندازه حرکت سینماتیکی

(۴) شار احتمال و مقدار چشمداشتی اندازه حرکت کانونیکی

۳۰- ذره ای به جرم m در یک پتانسیل مرکزی $V(r)$ مقید است. ذره در حالت $|\Psi_{E/m}\rangle$ ویژه حالت مشترک انرژی و اندازه حرکت زاویه مداری قرار دارد. عملگر $G = \vec{r} \cdot \vec{p} + \vec{p} \cdot \vec{r}$ را در نظر بگیرید. مقدار چشمداشتی $\langle \Psi_{E/m} | G | \Psi_{E/m} \rangle$ کدام است؟

(۱) صفر

(۲) \hbar

(۳) $2\hbar$

(۴) $-2\hbar$

۳۱- رابطه

$$\langle x_N, t_N | x_1, t_1 \rangle = \lim_{N \rightarrow \infty} \left(\frac{m}{2\pi i \hbar \Delta t} \right)^{\frac{N-1}{2}} \int dx_{N-1} \int dx_{N-2} \cdots \int dx_2 \prod_{n=2}^N \exp \left[\frac{iS(n, n-1)}{\hbar} \right]$$

را که در آن $S = \int_{x_1}^{x_N} dt L(x, \dot{x})$ و $\Delta t = \frac{t_N - t_1}{N-1}$ است در نظر بگیرید. در این رابطه مکان و سرعت کمیت‌هایی هستند در سمت راست رابطه روی بین نقطه اولیه (x_1, t_1) و نقطه نهایی (x_N, t_N) انتگرال گیری می‌شود.

(۱) کوانتومی (عملگر) - تمام مسیرهای ممکن

(۲) کلاسیکی (غیر عملگر) - تمام مسیرهای ممکن

(۳) کوانتومی (عملگر) - فقط مسیر واقعی (مسیر کلاسیکی)

(۴) کلاسیکی (غیر عملگر) - فقط مسیر واقعی (مسیر کلاسیکی)

۳۲- الکترونی در حضور میدان مغناطیسی ثابت $\vec{B} = B_0 \hat{k}$ حرکت می‌کند و هامیلتونی آن $H = \frac{1}{2\mu} \left[\vec{p} - \frac{e}{c} \vec{A}(\vec{r}) \right]^2$ است. اگر

$$\omega = \frac{|e|B_0}{\mu c} \quad \vec{v} = \frac{d\vec{r}}{dt}$$

کدام رابطه نادرست است؟

$$\dot{v}_x = \frac{eB_0}{c\mu} v_y \quad (۱)$$

$$\vec{v} = \frac{1}{\mu} \left[\vec{p} - \frac{e}{c} \vec{A} \right] \quad (۲)$$

$$[v_x, v_y] = 0 \quad (۳)$$

$$v_y(t) = v_y(0) \cos(\omega t) + v_x(0) \sin(\omega t) \quad (۴)$$

۳۳- در داخل استوانه‌ای به شعاع R میدان مغناطیسی ثابت غیر صفری در امتداد محور استوانه وجود دارد و خارج از استوانه میدان مغناطیسی صفر است. ذره‌ای با بار الکتریکی q و جرم m اگر در خارج استوانه حرکت کند شار مغناطیسی داخل استوانه و اگر در داخل استوانه حرکت کند شار مغناطیسی داخل استوانه است.

(۱) پیوسته - کوانتیده

(۲) پیوسته - پیوسته

(۳) کوانتیده - کوانتیده

(۴) کوانتیده - پیوسته

۳۴- تابع موج الکترونی به شکل $\chi = \begin{pmatrix} \sin(\varphi) \\ -\cos(\varphi) e^{i\varphi} \end{pmatrix}$ است مقدار چشمداشتی عملگر برداری اسپین \vec{S} در این حالت

کدام است؟

$$\frac{\hbar}{2} \left[-\sin \theta (\cos \varphi \hat{i} + \sin \varphi \hat{j}) - \cos \theta \hat{k} \right] \quad (۱)$$

$$\frac{\hbar}{2} \left[-\cos \theta (\cos \varphi \hat{i} + \sin \varphi \hat{j}) + \sin \theta \hat{k} \right] \quad (۲)$$

$$\frac{\hbar}{4} \left[\sin \theta (\cos \varphi \hat{i} - \sin \varphi \hat{j}) - \cos \theta \hat{k} \right] \quad (۳)$$

$$\frac{\hbar}{4} \left[-\sin \theta (\sin \varphi \hat{i} + \cos \varphi \hat{j}) - \cos \theta \hat{k} \right] \quad (۴)$$

۳۵- حاصل عملگر $e^{\frac{i\theta L_y}{\hbar}} L_x e^{-\frac{i\theta L_y}{\hbar}}$ کدام است؟ L_x مولفه‌ی عمود بر اندازه حرکت زاویه‌ای مداری و θ پارامتری حقیقی است.

$$\cos \theta L_y + \sin \theta L_z \quad (۱)$$

$$\sin \theta L_x - \cos \theta L_z \quad (۲)$$

$$-\cos \theta L_x + \sin \theta L_y \quad (۳)$$

$$\cos \theta L_x + \sin \theta L_z \quad (۴)$$

۳۶- ذره‌ای با اسپین یک در میدان مغناطیسی ثابت $\vec{B} = B_0 \hat{i}$ قرار دارد. هامیلتونی سیستم $H = g \vec{B} \cdot \vec{S}$ است که g مقدار ثابتی است. اگر در لحظه $t = 0$ ذره در حالت $|1, 1\rangle$ باشد احتمال آن که در لحظه دلخواه $t > 0$ ذره در حالت $|1, -1\rangle$ یافت شود کدام است؟ $|s, m_s\rangle$ ویژه بردار مشترک S_x و S_z است.

$$\frac{1}{4} \quad (1)$$

$$\frac{1}{2} \sin^2(g B_0 t) \quad (2)$$

$$\sin^2\left(\frac{g B_0 t}{2}\right) \quad (3)$$

$$\frac{1}{2} \cos^2\left(\frac{g B_0 t}{2}\right) \quad (4)$$

۳۷- سیستمی متشکل از دو ذره یکی با اسپین $S_1 = \frac{3}{2}$ و دیگری با اسپین $S_2 = \frac{1}{2}$ با هامیلتونی $H = \beta \vec{S}_1 \cdot \vec{S}_2$ توصیف می‌شود که β مقدار ثابت مثبتی است. انرژی حالت پایه این سیستم کدام است؟

$$-\frac{\Delta \hbar^2 \beta}{4} \quad (1)$$

$$-\frac{\Delta \hbar^2 \beta}{2} \quad (2)$$

$$-\frac{15 \Delta \hbar^2 \beta}{8} \quad (3)$$

$$-\frac{3 \hbar^2 \beta}{2} \quad (4)$$

۳۸- سه آنسامبل مختلف از ذرات اسپین $\frac{1}{2}$ با ماتریس چگالی‌های $\rho_1 = \begin{pmatrix} \frac{1}{2} & -\frac{1}{2} \\ -\frac{1}{2} & \frac{1}{2} \end{pmatrix}$ و $\rho_2 = \begin{pmatrix} \frac{9}{10} & \frac{1}{10} \\ \frac{1}{10} & \frac{1}{10} \end{pmatrix}$ و

آنسامبل سوم است.

(۱) خالص - کاملاً کاتوره‌ای - مخلوط

(۲) خالص - مخلوط - کاملاً کاتوره‌ای

(۳) مخلوط - خالص - کاملاً کاتوره‌ای

(۴) کاملاً کاتوره‌ای - خالص - مخلوط

۳۹- تانسور کروی مرتبه k دارای مولفه است و $T_q^{(k)}$ مولفه‌های آن در رابطه صدق می‌کند.

$$[J_z, T_q^{(k)}] = 0, (\forall k) \quad (۱)$$

$$[J_z, T_q^{(k)}] = \hbar q T_q^{(k)}, (\forall k-1) \quad (۲)$$

$$[J_+, T_q^{(k)}] = \hbar \sqrt{(k-q)(k+q+1)} T_{q+1}^{(k)}, (\forall k+1) \quad (۳)$$

$$[J_-, T_q^{(k)}] = \hbar \sqrt{(k+q)(k+q-1)} T_q^{(k-1)}, (\forall k+1) \quad (۴)$$

۴۰- هامیلتونی الکترونی در یک میدان مغناطیسی یکنواخت \vec{B} به شکل $H = -\frac{e}{2m_e c} \vec{B} \cdot (\vec{L} + 2\vec{S})$ است که در آن \vec{L}

عملگر اندازه حرکت زاویه‌ای مداری و \vec{S} عملگر اسپین ذاتی الکترون است. عنصر ماتریسی

$$\left\langle \ell \frac{1}{2}; m \left(-\frac{1}{2} \right) \left| H \right| \ell \frac{1}{2}; m \left(-\frac{1}{2} \right) \right\rangle$$

کدام است؟

$$-\frac{e\hbar}{2m_e} (B_x - iB_y) \quad (۱)$$

$$-\frac{e\hbar(m+1)}{2m_e} B_z \quad (۲)$$

$$-\frac{e\hbar}{2m_e} (B_x - iB_y + mB_z) \quad (۳)$$

$$-\frac{e\hbar(m-1)}{2m_e} B_z \quad (۴)$$

مکانیک آماری پیشرفته (۱)

۴۱- سیستمی در هر یک از N حالت معین می‌تواند باشد. احتمال آن که سیستم در حالت i ام باشد برابر با p_i است به طوری که

$$\sum_{i=1}^N p_i = 1 \quad \text{شرط آن که آنتروپی } S = -k_B \sum_{i=1}^N p_i \ln p_i \text{ بیشینه باشد چیست و مقدار بیشینه آن کدام است؟}$$

$$S_{\max} = 0 \quad - \quad p_1 = 1, \quad p_i = 0 \quad (i = 2, \dots, N) \quad (۱)$$

$$S_{\max} = k_B \ln N \quad - \quad p_i = \frac{1}{N} \quad (i = 1, \dots, N) \quad (۲)$$

$$S_{\max} = -k_B \ln N \quad - \quad p_i = \frac{1}{N} \quad (i = 1, \dots, N) \quad (۳)$$

$$S_{\max} = k_B \ln 2 \quad - \quad p_1 = p_2 = \frac{1}{2}, \quad p_i = 0 \quad (i = 3, \dots, N) \quad (۴)$$

۴۲- چهار مول نیتروژن و یک مول اکسیژن هر یک در فشار یک اتمسفر و دمای $T = 300^0 K$ با هم مخلوط می شوند تا هوایی در همان فشار و دما ایجاد شود. آنتروپی مخلوط (MIXING ENTROPY) هوای تشکیل شده چقدر است؟ گازها را ایده‌ال فرض کنید و R ثابت گازها است.

(۱) صفر

(۲) $5R \ln 2$

(۳) $R(5 \ln 5 - 8 \ln 2)$

(۴) $R(4 \ln 3 + \ln 2)$

۴۳- اگر Z تابع پارش یک آنسامبل کانونیک در دمای T باشد، با توجه به روابط $F = U - TS = -k_B T \ln Z$ کدام رابطه برای این آنسامبل نادرست است؟ فشار، P ، حجم، V ، انرژی داخلی، U ، آنتروپی و S ، انرژی شیمیایی سیستم است.

$$\left(\frac{\partial \ln Z}{\partial T} \right)_{N,V} = \frac{S}{k_B T} \quad (۱)$$

$$\left(\frac{\partial \ln Z}{\partial V} \right)_{N,T} = \frac{P}{k_B T} \quad (۲)$$

$$\left(\frac{\partial \ln Z}{\partial N} \right)_{V,T} = -\frac{\mu}{k_B T} \quad (۳)$$

$$\left(\frac{\partial \ln Z}{\partial T} \right)_{N,V} = \frac{U}{k_B T^2} \quad (۴)$$

۴۴- گاز واندروالسی با معادله حالت $\left(P + \frac{a}{V^2} \right) (V - b) = RT$ و انرژی داخلی $U = \lambda T - \frac{a}{V}$ را در نظر بگیرید. P ، فشار، V

حجم و دمای گاز و a ، b و λ مقادیر ثابتی هستند. C_p گرمای ویژه در حجم ثابت این گاز کدام است؟

$$\lambda - \frac{R}{1 - \frac{2a(V-b)^2}{RTV^2}} \quad (۱)$$

$$\lambda + \frac{R}{1 - \frac{2a(V-b)^2}{RTV^2}} \quad (۲)$$

$$\lambda + \frac{R}{1 + \frac{2a(V-b)^2}{RTV^2}} \quad (۳)$$

$$\lambda + R \quad (۴)$$

۴۵- دو منبع گرمایی متناهی جامد مشابه با ظرفیت گرمایی کل C یکی در دمای اولیه T_1 و دیگری در دمای اولیه T_2 به عنوان منابع گرمایی در یک ماشین حرارتی به کار گرفته می شوند. بیشینه کاری که از این ماشین می توان به دست آورد کدام است؟

(۱) $C(T_1 + T_2)$

(۲) $C(T_1 + T_2 + T_1 T_2)$

(۳) $C(T_1 + T_2 - T_1 T_2)$

(۴) $C(T_1 + T_2 - \sqrt{T_1 T_2})$

۴۶- سیستمی متشکل از N ذره غیر برهمکنشی هر یک با ممان مغناطیسی μ که در مکانی ثابت قرار گرفته اند تحت تاثیر میدان مغناطیسی ثابت B قرار دارد. هر ذره می تواند در حالت انرژی $E_1 = 0$ یا حالت انرژی $E_2 = \mu B$ وجود داشته باشد. اگر ذرات تمیزپذیر در نظر گرفته شوند، آنتروپی کل سیستم در حالتی که N_1 ذره در تراز E_1 قرار دارد کدام است؟

(۱) $k_B \ln N_1$

(۲) $k_B \ln \frac{N!}{N_1!}$

(۳) $k_B \ln(N_1!)$

(۴) $k_B \ln \frac{N!}{N_1!(N - N_1)}$

۴۷- یک گاز فوق نسبتی شامل N ذره که رابطه انرژی-اندازه حرکت خطی آن به شکل $\epsilon = pc$ است در ظرفی با حجم V و در دمای T محبوس است. تابع پارش این گاز کدام است؟

(۱) $\frac{1}{N!} \left(\epsilon \pi V \left(\frac{kT}{hc} \right)^2 \right)^N$

(۲) $\frac{1}{N} \left(\epsilon \pi V \left(\frac{kT}{hc} \right)^2 \right)^N$

(۳) $\frac{1}{N!} \left(8 \pi V \left(\frac{kT}{hc} \right)^2 \right)^N$

(۴) $\frac{1}{N} \left(2 \pi V \left(\frac{kT}{hc} \right)^2 \right)^N$

۴۸- تابع پارش سیستمی متشکل از $3N$ ذره که در یک بعد با سرعت فوق نسبی حرکت می کنند به شکل

$$Q_{rN}(L, T) = \frac{1}{(3N)!} \left[2L \left(\frac{kT}{hc} \right) \right]^{3N}$$

اگر انرژی داخلی، S آنتروپی، L طول فضای یک بعدی که ذرات در آن حرکت می کنند و T دمای سیستم باشد، کدام رابطه درست است؟

(۱) $PL = U$

(۲) $PL = \frac{1}{3}U$

(۳) $U = \frac{3}{2}NkT$

(۴) $S = 3Nk$

۴۹- برای یک آنسامبل کانونیک افت و خیز در انرژی $(\langle E^r \rangle - \langle E \rangle^r)$ یک سیستم در حجم ثابت کدام است؟ C_V

گرمای ویژه در حجم ثابت سیستم است.

(۱) $k_B T^r C_V$

(۲) $\frac{1}{2} k_B T^r C_V$

(۳) $2 k_B T^r C_V$

(۴) $-\frac{2}{3} k_B T^r C_V$

۵۰- سیستمی شامل N مولکول با سه تراز انرژی $E_0 = 0$ ، $E_1 = \epsilon$ و $E_2 = 10\epsilon$ را در نظر بگیرید. در دمای T انرژی متوسط هر مولکول برابر و در دماهای بزرگ $(\epsilon \ll kT)$ تابعیت گرمای ویژه در حجم ثابت این سیستم نسبت به دما به شکل است.

(۱) $\frac{1}{T}$ ، $\frac{\epsilon \left(e^{-\frac{\epsilon}{kT}} + 10e^{-\frac{10\epsilon}{kT}} \right)}{1 + e^{-\frac{\epsilon}{kT}} + e^{-\frac{10\epsilon}{kT}}}$

(۲) $\frac{1}{T^2}$ ، $\frac{\epsilon \left(e^{-\frac{\epsilon}{kT}} + 10e^{-\frac{10\epsilon}{kT}} \right)}{1 + e^{-\frac{\epsilon}{kT}} + e^{-\frac{10\epsilon}{kT}}}$

(۳) $\frac{1}{T^3}$ ، $\frac{\epsilon \left(1 + e^{-\frac{\epsilon}{kT}} + 10e^{-\frac{10\epsilon}{kT}} \right)}{1 + e^{-\frac{\epsilon}{kT}} + e^{-\frac{10\epsilon}{kT}}}$

(۴) $e^{-\frac{\epsilon}{kT}}$ ، $\frac{\epsilon \left(e^{-\frac{\epsilon}{kT}} - 10e^{-\frac{10\epsilon}{kT}} \right)}{1 + e^{-\frac{\epsilon}{kT}} + e^{-\frac{10\epsilon}{kT}}}$

۵۱- یک سیستم متشکل از N نوسانگر هماهنگ یک بعدی مشابه با بسامد ω که در تعادل گرمایی با یک چشمه حرارتی در دمای T است. تابع پارش این سیستم کدام است؟

$$\frac{1}{\tanh\left(\frac{\hbar\omega}{kT}\right)} \quad (۱)$$

$$\frac{1}{\cosh\left(\frac{\hbar\omega}{2kT}\right)} \quad (۲)$$

$$\frac{1}{\coth\left(\frac{\hbar\omega}{2kT}\right)} \quad (۳)$$

$$\frac{1}{\sinh\left(\frac{\hbar\omega}{2kT}\right)} \quad (۴)$$

۵۲- گاز ایده‌الی که انرژی هر ذره آن $\varepsilon = \lambda p^{\frac{2}{3}}$ در حجم بزرگ V محبوس است. p اندازه حرکت خطی ذره و λ عدد ثابتی است. رابطه P فشار و E انرژی کل گاز کدام است؟

$$P = \frac{2}{3} \frac{E}{V} \quad (۱)$$

$$P = \frac{1}{3} \frac{E}{V} \quad (۲)$$

$$P = \frac{1}{2} \frac{E}{V} \quad (۳)$$

$$P = \frac{2}{3} \frac{E}{V} \quad (۴)$$

۵۳- دو گاز بولتزمنی A و B به ترتیب در فشارهای P_A و P_B و دماهای T_A و T_B را در دو بخش یک ظرف در نظر بگیرید. این دو گاز از طریق یک روزنه بسیار کوچک که در دیواره جدا کننده آن دو وجود دارد با هم مبادله دارند. در حالت تعادل دینامیکی که بوسیله نفوذ دو طرفه مولکول‌های دو نوع گاز ایجاد می‌شود چه رابطه‌ای صادق است؟

$$P_A = P_B \quad (۱)$$

$$\frac{P_A}{P_B} = \frac{T_A}{T_B} \quad (۲)$$

$$\frac{P_A}{P_B} = \sqrt{\frac{T_B}{T_A}} \quad (۳)$$

$$\frac{P_A}{P_B} = \sqrt{\frac{T_A}{T_B}} \quad (۴)$$

۵۴- اگر $Z(\mu, V, T)$ تابع پارش یک آنسامبل کانونی بزرگ باشد کدام رابطه نادرست است؟ μ انرژی شیمیایی، V حجم، P فشار، T دما، S آنروپی، U انرژی داخلی و A انرژی آزاد هلمهولتز است.

$$A = kT \ln Z \quad (۱)$$

$$P = \frac{kT}{V} \ln Z \quad (۲)$$

$$S = V \left(\frac{\partial P}{\partial T} \right)_{\mu, V} \quad (۳)$$

$$U = kT^2 \left(\frac{\partial \ln Z}{\partial T} \right)_{\mu, V} \quad (۴)$$

۵۵- یک گاز تک اتمی کلاسیک در دمای تعادلی T شامل اتم هایی با دو تراز انرژی داخلی یکی حالت پایه بدون تبهگنی و دیگری حالتبرانگیخته با انرژی به اندازه E بالاتر از حالت پایه و مرتبه تبهگنی g است. گرمای ویژه در حجم ثابت این گاز کدام است؟

$$\frac{\gamma}{2} k + \frac{E^\gamma e^{\frac{E}{kT}}}{kT^\gamma \left(g + e^{\frac{E}{kT}} \right)^\gamma} \quad (۱)$$

$$\frac{\gamma}{2} k + \frac{g E^\gamma e^{\frac{E}{kT}}}{kT^\gamma \left(g + e^{\frac{E}{kT}} \right)^\gamma} \quad (۲)$$

$$\frac{\gamma}{2} k + \frac{g E e^{\frac{E}{kT}}}{T \left(g + e^{\frac{E}{kT}} \right)^\gamma} \quad (۳)$$

$$\frac{\gamma}{2} k + \frac{g E^\gamma e^{\frac{E}{kT}}}{kT^\gamma \left(g + e^{\frac{E}{kT}} \right)^\gamma} \quad (۴)$$

۵۶- مولکولی شامل n اتم غیر واقع در یک صفحه با مدهای ارتعاشی با بسامد زاویه ای ω_i است. تابع پارش ارتعاشی این مولکول کدام است؟

$$\sum_{i=1}^{n-1} \frac{e^{-\frac{\hbar\omega_i}{kT}}}{1 - e^{-\frac{\hbar\omega_i}{kT}}} \quad (۱)$$

$$\prod_{i=1}^{n-1} \frac{e^{-\frac{\hbar\omega_i}{kT}}}{1 - e^{-\frac{\hbar\omega_i}{kT}}} \quad (۲)$$

$$\prod_{i=1}^{n-1} \frac{e^{-\frac{\hbar\omega_i}{kT}}}{1 - e^{-\frac{\hbar\omega_i}{kT}}} \quad (۳)$$

$$\sum_{i=1}^{n-1} \frac{e^{-\frac{\hbar\omega_i}{kT}}}{1 - e^{-\frac{\hbar\omega_i}{kT}}} \quad (۴)$$

۵۷- ترازهای انرژی یک چرخنده صلب سه بعدی با ممان اینرسی I برابر است با $E_{J,M} = \hbar^2 \frac{J(J+1)}{2I}$ که در

آن $J = 0, 1, 2, \dots$ و $M = -J, J+1, \dots, J$. با به کار بستن تابع توزیع بولتزمن انرژی داخلی سیستمی متشکل از N عدد از این چرخنده در دمای T کدام است؟

$$U = N \frac{\sum_J \frac{\hbar^2}{2I} J(J+1) \exp\left[-\frac{\hbar^2 J(J+1)}{2IkT}\right]}{\sum_J (2J+1) \exp\left[-\frac{\hbar^2 J(J+1)}{2IkT}\right]} \quad (۱)$$

$$U = N \frac{\sum_J \frac{\hbar^2}{2I} J(J+1) \exp\left[-\frac{\hbar^2 J(J+1)}{2IkT}\right]}{\sum_J \exp\left[-\frac{\hbar^2 J(J+1)}{2IkT}\right]} \quad (۲)$$

$$U = N \frac{\sum_J \frac{\hbar^2}{2I} J(J+1)^2 \exp\left[-\frac{\hbar^2 J(J+1)}{2IkT}\right]}{\sum_J (2J+1) \exp\left[-\frac{\hbar^2 J(J+1)}{2IkT}\right]} \quad (۳)$$

$$U = N \frac{\sum_J \frac{\hbar^2}{2I} J(J+1)(2J+1) \exp\left[-\frac{\hbar^2 J(J+1)}{2IkT}\right]}{\sum_J (2J+1) \exp\left[-\frac{\hbar^2 J(J+1)}{2IkT}\right]} \quad (۴)$$

۵۸- انرژی پتانسیل بین اتم‌های یک مولکول هیدروژن به شکل $V(r) = V_0 (e^{-\gamma a(r-r_0)} - \gamma e^{-a(r-r_0)})$ است که در آن فاصله دو اتم در مولکول و $V_0 = 7 \times 10^{-17}$ erg و $r_0 = 8 \times 10^{-8}$ cm و $a = 2 \times 10^8$ cm⁻¹ است. تقریباً از چه دمایی به بالا مدهای ارتعاشی در گرمای ویژه سهم خواهند داشت؟ $k_B = 1.3 \times 10^{-23}$ J⁰K و $m_H \cong 1.67 \times 10^{-27}$ kg

(۱) 60⁰ K

(۲) 600⁰ K

(۳) 6000⁰ K

(۴) 10000⁰ K

۵۹- در چه شرایطی سیستم کوانتومی با چگالی ذرات n را که با آمار بوز-اینشتین یا آمار فرمی-دیراک توصیف

می‌شود می‌توان با آمار ماکسول-بولتزمن توصیف نمود؟ $z = e^{\frac{\mu}{k_B T}}$ و $\lambda = \frac{h}{(\gamma \pi m k_B T)}$

(۱) $z \ll 1$

(۲) $z \gg 1$

(۳) $\lambda^3 \ll n$

(۴) $\lambda^3 \gg n$

۶۰- شکل تابع توزیع فرمی-دیراک در دمای صفر کدام است؟

