



کد کنترل

675

A

صبح جمعه  
۹۷/۱۲/۳  
دفترچه شماره (۱)



«اگر دانشگاه اصلاح شود، مملکت اصلاح می‌شود.»  
امام خمینی (ره)

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

**آزمون ورودی دوره دکتری (نیمه متمرکز) - سال ۱۳۹۸**

**رشته فیزیک - کد (۲۲۳۸)**

تعداد سؤال: ۴۵

مدت پاسخ‌گویی: ۱۵۰ دقیقه

عنوان مواد امتحانی، تعداد و شماره سؤالات

ردیف	مواد امتحانی	تعداد سؤال	از شماره	تا شماره
۱	مجموعه تخصصی: مکانیک کوانتومی و مکانیک کوانتومی پیشرفته - الکترومغناطیس و الکترودینامیک - ترمودینامیک و مکانیک آماری پیشرفته ۱	۴۵	۱	۴۵

این آزمون نمره منفی دارد.

استفاده از ماشین حساب مجاز نیست.

حق چاپ، تکثیر و انتشار سؤالات به هر روش (الکترونیکی و...) پس از برگزاری آزمون، برای تمامی اشخاص حقیقی و حقوقی تنها با مجوز این سازمان مجاز می‌باشد و با تخلفین برابر مقررات رفتار می‌شود.

۱۳۹۸

\* داوطلب گرامی، عدم درج مشخصات و امضا در مندرجات جدول ذیل، به منزله عدم حضور شما در جلسه آزمون است.

اینجانب ..... با شماره داوطلبی ..... در جلسه این آزمون شرکت می‌نمایم.

امضا:

۱- هامیلتونی یک دستگاه کوانتومی  $H = \frac{ch}{\lambda}(a_0 I + \vec{a} \cdot \vec{\sigma})$  است که  $I$  و  $\vec{\sigma} = (\sigma_x, \sigma_y, \sigma_z)$  به ترتیب ماتریس واحد و ماتریس‌های پاولی در فضای هیلبرت با بعد ۲ هستند.  $\lambda$ ،  $a_0$  و  $\vec{a} = (a_x, a_y, a_z)$  ثابت‌اند. اگر این دستگاه گسیل الکترومغناطیسی انجام دهد، طول موج آن چقدر است؟ ( $h$  ثابت پلانک و  $c$  سرعت نور در خلأ است.)

$$(1) \frac{\lambda}{\sqrt{a_x^2 + a_y^2 + a_z^2}}$$

$$(2) \frac{\lambda}{\sqrt{a_x^2 + a_y^2 + a_z^2}}$$

$$(3) \frac{\lambda a_0}{\sqrt{a_x^2 + a_y^2 + a_z^2}}$$

$$(4) \frac{\lambda a_0}{\sqrt{a_x^2 + a_y^2 + a_z^2}}$$

۲- ذره‌ای به جرم  $m$  در چاه پتانسیل یک بعدی  $V(x) = \begin{cases} \infty & x < 0 \\ -\frac{\hbar^2}{ma} \delta(x-a) & x \geq 0 \end{cases}$  در نظر بگیرید ( $a > 0$ ). اگر

انرژی حالت مقید را به صورت  $E = \frac{-\hbar^2 k^2}{2m}$  نشان دهیم، مقدار  $k$  از کدام رابطه به دست می‌آید؟

$$(1) \tan(ka) = \frac{2}{ka} - 1$$

$$(2) \tan h(ka) = \frac{2}{ka} - 1$$

$$(3) \tan(ka) = \left(\frac{2}{ka} - 1\right)^{-1}$$

$$(4) \tan h(ka) = \left(\frac{2}{ka} - 1\right)^{-1}$$

۳- نمایش عملگر  $\hat{O}$  روی حالت  $|\alpha\rangle$  در فضای مکان به صورت  $\langle x'|\hat{O}|\alpha\rangle = \left(\frac{d}{dx'} + \frac{d^2}{dx'^2}\right)\langle x'|\alpha\rangle$  است.

مقدار  $\langle x'|\hat{O}|x''\rangle$  با کدام رابطه برابر است؟

$$(1) \left(\frac{2}{(x'-x'')^2} - \frac{1}{(x'-x'')}\right)\delta(x'-x'')$$

$$(2) \left(\frac{1}{(x'-x'')^2} - \frac{1}{(x'-x'')}\right)\delta(x'-x'')$$

$$(3) \left(\frac{2}{(x'-x'')^2} + \frac{1}{(x'-x'')}\right)\delta(x'-x'')$$

$$(4) \left(\frac{1}{(x'-x'')^2} + \frac{1}{(x'-x'')}\right)\delta(x'-x'')$$

۴- هامیلتونی یک دستگاه کوانتومی در پایه‌های راست هنجار  $\{|+\rangle, |-\rangle\}$  به صورت  $H = \hbar\omega(|+\rangle\langle+| - i\sqrt{5}|+\rangle\langle-| + i\sqrt{5}|-\rangle\langle+| - 3|-\rangle\langle-|)$  است. در لحظه  $t=0$  دستگاه در حالت  $|+\rangle$  است احتمال این که این دستگاه در لحظه  $t > 0$  در حالت مانای متناظر با ویژه مقدار بزرگ‌تر انرژی باشد، چقدر است؟

$$(1) \frac{11}{36}$$

$$(2) \frac{5}{6}$$

$$(3) \frac{1}{6}$$

$$(4) \frac{25}{36}$$

۵- هامیلتونی سیستمی متشکل از دو نوسانگر هماهنگ ساده یک بعدی جفت شده به صورت

$$H = \frac{P_x^2}{2m} + \frac{P_y^2}{2m} + \frac{1}{2}m\omega^2(x^2 + y^2) + \frac{1}{2}m\omega^2 xy$$

$$(1) \sqrt{\frac{3}{\lambda}}(1 + \sqrt{2})\hbar\omega$$

$$(2) \frac{3}{\sqrt{\lambda}}(1 + \sqrt{2})\hbar\omega$$

$$(3) \sqrt{\frac{3}{\lambda}}(1 + \sqrt{2})\hbar\omega$$

$$(4) \frac{3}{\sqrt{\lambda}}(1 + \sqrt{2})\hbar\omega$$

۶- ذره‌ای به جرم  $m$  و مقید در چاه پتانسیل یک بعدی  $V(x) = -\frac{e^{\gamma}}{4\pi\epsilon_0 |x|}$  در محدوده  $-\infty < x < +\infty$  در نظر

بگیرید. در تقریب WKB انرژی حالت پایه کدام گزینه است؟  $\left( \int_0^1 \frac{\sqrt{1-u}}{\sqrt{u}} du = \frac{\pi}{2} \right)$

$$-\frac{\lambda m}{9\hbar^2} \left( \frac{e^{\gamma}}{4\pi\epsilon_0} \right)^2 \quad (1)$$

$$-\frac{16m}{9\hbar^2} \left( \frac{e^{\gamma}}{4\pi\epsilon_0} \right)^2 \quad (2)$$

$$-\frac{16m}{\hbar^2} \left( \frac{e^{\gamma}}{4\pi\epsilon_0} \right)^2 \quad (3)$$

$$-\frac{\lambda m}{\hbar^2} \left( \frac{e^{\gamma}}{4\pi\epsilon_0} \right)^2 \quad (4)$$

۷- انتشارگر یک ذره بین دو نقطه  $\bar{x}'$ ،  $\bar{x}''$  به صورت  $\langle \bar{x}'' | e^{-\frac{i(t-t_0)H}{\hbar}} | \bar{x}' \rangle$  تعریف می‌شود.

اگر  $[T(\vec{\ell}), H] = 0$  که در آن  $T(\vec{\ell}) = e^{-\frac{i}{\hbar} \vec{\ell} \cdot \vec{P}}$  عملگر انتقال و  $\vec{\ell}$  برداری دلخواه است، کدام خاصیت برای انتشارگر درست است؟

$$K(\bar{x}'', \bar{x}', t-t_0) = K(-\bar{x}'', -\bar{x}'; t-t_0) \quad (1)$$

$$K(\bar{x}'', \bar{x}', t-t_0) = K(\bar{x}', \bar{x}''; t-t_0) \quad (2)$$

$$K(\bar{x}'', \bar{x}', t-t_0) = K(\bar{x}'' - \bar{x}'; t-t_0) \quad (3)$$

$$K(\bar{x}'', \bar{x}', t-t_0) = K^*(\bar{x}'', \bar{x}'; t-t_0) \quad (4)$$

۸- کدام ماتریس می‌تواند نمایش ماتریسی یک عملگر دوران در فضای هیلبرت دو بعدی باشد؟  $(\vec{\sigma} = (\sigma_x, \sigma_y, \sigma_z))$

ماتریس‌های پاولی،  $\vec{a} = \sin\beta \cos\alpha \hat{i} + \sin\beta \sin\alpha \hat{j}$  است و  $\alpha, \beta$  هر مقدار دلخواهی می‌توانند اختیار کنند.

$$\frac{\cos\beta + i\vec{\sigma} \cdot \vec{a}}{\sin\beta - i\vec{\sigma} \cdot \vec{a}} \quad (1)$$

$$\cos\beta + i\vec{\sigma} \cdot \vec{a} \quad (2)$$

$$\sin\beta - i\vec{\sigma} \cdot \vec{a} \quad (3)$$

$$\frac{\cos\beta + i\vec{\sigma} \cdot \vec{a}}{\cos\beta - i\vec{\sigma} \cdot \vec{a}} \quad (4)$$

۹- اگر  $\hat{D}^{(j=\frac{1}{2})}(\hat{n}, \phi)$  عملگر دوران یک دستگاه کوانتومی حول محور  $\hat{j} = \frac{1}{\sqrt{3}}\hat{i} + \sqrt{\frac{2}{3}}\hat{j}$  به اندازه زاویه  $\phi = +60^\circ$  باشد. دوران یافته حالت  $|+\rangle$  تحت این عملگر کدام است؟  $(|\pm\rangle)$  ویژه بردارهای ماتریس پاولی  $\sigma_z$  و  $\hat{i}, \hat{j}$  بردارهای یکه در جهت محورهای  $x$  و  $y$  هستند.

$$(1) \frac{1}{2\sqrt{3}}((\sqrt{2}-i)|+\rangle + 2|-\rangle)$$

$$(2) \frac{1}{2\sqrt{3}}(2|+\rangle + (\sqrt{2}-i)|-\rangle)$$

$$(3) \frac{1}{\sqrt{6}}(\sqrt{3}|+\rangle + (\sqrt{2}+i)|-\rangle)$$

$$(4) \frac{1}{\sqrt{6}}((\sqrt{2}+i)|+\rangle + \sqrt{3}|-\rangle)$$

۱۰- مجموعه‌ای متشکل از دو ذره هر یک با اسپین یک  $(s_1 = 1, s_2 = 1)$  در نظر بگیرید. ویژه مقدار  $\hat{S}_z$  مجموعه برابر  $\hbar + \hbar$  است که  $\hat{S}_z = \hat{S}_{1z} \otimes \hat{I}_2 + \hat{I}_1 \otimes \hat{S}_{2z}$  است. اگر  $P_2$  احتمال این که اسپین کل مجموعه  $s = 2$  و  $P_1$  احتمال این که اسپین کل آن  $s = 1$  باشد، مقدار  $\frac{P_2}{P_1}$  کدام است؟

$$(1) 1$$

$$(2) \frac{1}{2}$$

$$(3) \frac{3}{5}$$

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

۱۱- اگر  $\psi_{\ell}^{j, m_j}$  ویژه تابع مشترک عملگرهای  $J^2, L^2, J_z$  به ترتیب با ویژه مقادیر  $\hbar^2 j(j+1), \hbar^2 \ell(\ell+1), m_j \hbar$  باشد، کدام عبارت در مورد توابع  $\phi_1 = \frac{1}{\sqrt{2}}\left(\psi_{\ell}^{\frac{5}{2}, \frac{3}{2}} + i \psi_{\ell}^{\frac{5}{2}, -\frac{3}{2}}\right)$  و  $\phi_2 = \frac{1}{\sqrt{2}}\left(\psi_{\ell}^{\frac{5}{2}, 2} - \psi_{\ell}^{\frac{5}{2}, -2}\right)$  درست است؟

(۱)  $\phi_2$  ویژه تابع مشترک عملگرهای پاریته و وارونی زمان است.

(۲)  $\phi_1$  ویژه تابع مشترک عملگرهای پاریته و وارونی زمان است.

(۳)  $\phi_1$  و  $\phi_2$  هر دو ویژه تابع عملگر وارونی زمان هستند اما  $\phi_1$  ویژه تابع عملگر پاریته نیست.

(۴)  $\phi_1$  و  $\phi_2$  هر دو ویژه تابع عملگر پاریته هستند اما هیچ یک ویژه تابع عملگر وارونی زمان نیستند.

۱۲- ذره‌ای به جرم  $m$  در چاه پتانسیل نامتناهی یک بعدی  $V(x) = \begin{cases} 0 & |x| \leq a \\ \infty & |x| > a \end{cases}$  در نظر بگیرید. با تابع موج آزمون و

بهنجار  $\Psi(x) = \begin{cases} \frac{\sqrt{(2\lambda+1)(\lambda+1)}}{2\lambda a^\lambda \sqrt{a}} (a^\lambda - |x|^\lambda) & |x| < a \\ 0 & |x| > a \end{cases}$  و روش وردش، انرژی حالت پایه به ازای کدام  $\lambda$  کمینه است؟

( $\lambda > 1$ )

$$\lambda = \frac{1}{2}(\sqrt{6} - 1) \quad (1)$$

$$\lambda = \frac{1}{4}(\sqrt{6} + 1) \quad (2)$$

$$\lambda = \frac{1}{2}(\sqrt{6} + 1) \quad (3)$$

$$\lambda = \frac{1}{4}(\sqrt{6} - 1) \quad (4)$$

۱۳- اتم هیدروژنی در حالت برانگیخته  $|n\ell m\rangle$  توسط میدان الکتریکی یکنواخت  $\vec{E}_0$  مختل می‌شود به طوری که انرژی

پتانسیل برهمکنش به شکل  $V(t) = \begin{cases} e\vec{E}_0 \cdot \vec{r} \sin(\omega t) & 0 \leq t \leq T \\ 0 & t < 0, t > T \end{cases}$  است. با استفاده از نظریه اختلال وابسته

به زمان مرتبه اول، گذار به کدام حالت‌های نهایی  $|n'\ell'm'\rangle$  امکان‌پذیر است؟ ( $\Delta m = m' - m, \Delta \ell = \ell' - \ell$ )

$$\Delta m = 0, \pm 1, \Delta \ell = 0 \quad (1)$$

$$\Delta m = 0, \pm 1, \Delta \ell = \pm 1 \quad (2)$$

$$\Delta m = \pm 1, \pm 2, \Delta \ell = 0, \pm 1 \quad (3)$$

$$\Delta m = \pm 1, \pm 2, \Delta \ell = \pm 1, \pm 2 \quad (4)$$

۱۴- پرتویی از پروتون که جریانی به شدت  $5 \times 10^{-9} \text{ A}$  تولید می‌کند به هدفی از مس برخورد می‌کند. ضخامت هدف

چنان است که چگالی سطحی آن  $\frac{mg}{cm^2}$  است. آشکارسازی با مساحت  $5cm^2$  عمود بر پرتوی پراکنده

شده در راستایی معین و به فاصله  $20cm$  از هدف قرار دارد. اگر در هر ثانیه  $10$  پروتون توسط آشکارساز شمرده

شود، سطح مقطع دیفرانسیلی پراکندگی از مس در این راستا چند  $cm^2/atom/steradian$  است؟

$$4.0 \times 10^{-6} \quad (1)$$

$$8.1 \times 10^{-7} \quad (2)$$

$$1.3 \times 10^{-25} \quad (3)$$

$$6.7 \times 10^{-25} \quad (4)$$

۱۵- اگر دامنه پراکندگی ذره‌ای به جرم  $m$  از یک چاه پتانسیل کروی به عرض  $a$  و عمق  $-V_0$  تا مرتبه اول تقریب بورن

به شکل  $f(k, \theta) = -\frac{\gamma m V_0 a}{q^2 \hbar^2} \left[ \cos(qa) - \frac{\sin(qa)}{qa} \right]$  باشد، جابه‌جایی فاز برای پراکندگی موج  $S$  در انرژی‌های

پایین ( $ka \ll 1$ ) کدام است؟ ( $q = \gamma k \sin \frac{\theta}{2}$ ) که در آن  $\theta$  زاویه پراکندگی نسبت به راستای ذره تابشی و

$$E_i = \frac{\hbar^2 k^2}{2m} \text{ (انرژی ذره تابشی است.)}$$

$$\delta_0 \approx \frac{\hbar^2}{\gamma m V_0 k a^2} \left( 1 - \frac{\sin(\gamma k a)}{\gamma k a} \right) \quad (1)$$

$$\delta_0 \approx \frac{\gamma m V_0 k a^2}{\hbar^2} \left( 1 - \frac{\sin(\gamma k a)}{\gamma k a} \right) \quad (2)$$

$$\delta_0 \approx \frac{\hbar^2}{\gamma m V_0 k a^2} \left( \cos(\gamma k a) - \frac{\sin(\gamma k a)}{\gamma k a} \right) \quad (3)$$

$$\delta_0 \approx \frac{\gamma m V_0 k a^2}{\hbar^2} \left( \cos(\gamma k a) - \frac{\sin(\gamma k a)}{\gamma k a} \right) \quad (4)$$

۱۶- در ناحیه‌ای از فضا شامل مبدأ مختصات میدان الکتریکی به شکل  $\vec{E} = \frac{q}{4\pi\epsilon_0} \left( 1 - e^{-\frac{r}{R}} \right) \frac{\hat{r}}{r^2}$  وجود دارد که در آن

$R$  و  $q$  ثابت و  $r$  فاصله از مبدأ مختصات است. بار الکتریکی موجود در پوسته کروی با شعاع داخلی  $R_1 = R$  و

شعاع خارجی  $R_2 = 2R$  کدام است؟ ( $\hat{r}$  بردار یگانه در امتداد بردار مکان یک نقطه و مرکز پوسته کروی منطبق

بر مبدأ مختصات است.)

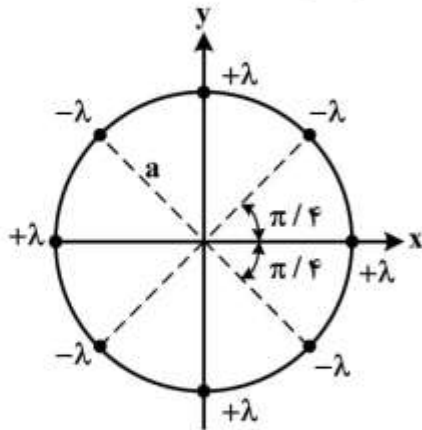
$$q \left( \frac{1}{2} + \frac{\sinh(\frac{1}{2})}{\exp(\frac{1}{2})} \right) \quad (1)$$

$$q \left( 1 + \frac{\gamma \sinh(\frac{1}{2})}{\exp(\frac{1}{2})} \right) \quad (2)$$

$$\frac{\gamma q \sinh(\frac{1}{2})}{\exp(\frac{1}{2})} \quad (3)$$

$$\frac{q \sinh(\frac{1}{2})}{\exp(\frac{1}{2})} \quad (4)$$

۱۷- خط بار نامتناهی با چگالی بار خطی  $+\lambda$  و  $-\lambda$  مطابق شکل موازی محور  $z$  (محور استوانه‌ای به شعاع  $a$ ) قرار دارند. کدام رابطه نشان دهنده چگالی حجمی بار این مجموعه در مختصات استوانه‌ای  $(\rho, \varphi, z)$  است؟



$$\frac{\lambda}{a^2} \sum_{n=1}^{\infty} (-1)^n \delta(\rho - a) \delta(\varphi - \frac{n\pi}{\varphi}) \quad (۱)$$

$$\frac{\lambda}{2\pi a} \sum_{n=0}^{\infty} (-1)^n \delta(\rho - a) \delta(\varphi - \frac{n\pi}{\varphi}) \quad (۲)$$

$$\frac{\lambda}{2\pi a^2} \sum_{n=1}^{\infty} (-1)^n \rho \delta(\rho - a) \delta(\varphi - \frac{n\pi}{\varphi}) \quad (۳)$$

$$\frac{\lambda}{a} \sum_{n=0}^{\infty} (-1)^n \delta(\rho - a) \delta(\varphi - \frac{n\pi}{\varphi}) \quad (۴)$$

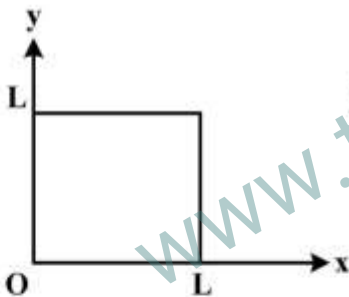
۱۸- در شکل زیر مقطع یک چهار وجهی که در امتداد  $z$  دارای گسترش نامتناهی است نشان داده شده است. حجم داخل چهار وجهی با بار حجمی  $\rho$  پر شده و وجوه آن در پتانسیل الکتریکی صفر نگه داشته شده‌اند. پتانسیل الکتریکی در نقطه  $(x, y)$  داخل چهار وجهی کدام است؟

$$\phi(x, y) = \frac{\rho L^2}{\pi^2 \epsilon_0} \sum_{m=0}^{\infty} \frac{\sin(\gamma m + 1) \pi x / L}{(\gamma m + 1)^{\gamma}} \left( 1 - \frac{\cosh(\gamma m + 1) \pi (\frac{y}{L} - \frac{1}{2})}{\cosh(\gamma m + 1) \frac{\pi}{\gamma}} \right) \quad (۱)$$

$$\phi(x, y) = \frac{\rho L^2}{\pi^2 \epsilon_0} \sum_{m=0}^{\infty} \frac{\sin(\gamma m + 1) \pi x / L}{(\gamma m + 1)^{\gamma}} \left( 1 - \frac{\sinh(\gamma m + 1) \pi \frac{y}{L}}{\sinh(\gamma m + 1) \pi} \right) \quad (۲)$$

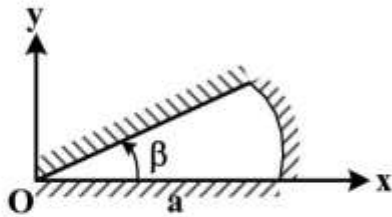
$$\phi(x, y) = \frac{\rho L^2}{\pi^2 \epsilon_0} \sum_{m=0}^{\infty} \frac{\sin(\gamma m + 1) \pi x / L}{(\gamma m + 1)^{\gamma}} \frac{\sinh(\gamma m + 1) \frac{\pi y}{L}}{\sinh(\gamma m + 1) \pi} \quad (۳)$$

$$\phi(x, y) = \frac{\rho L^2}{\pi^2 \epsilon_0} \sum_{m=0}^{\infty} \frac{\sin(\gamma m + 1) \pi x / L}{(\gamma m + 1)^{\gamma}} \left( 1 - \frac{\cosh(\gamma m + 1) \pi (\frac{y}{L} - \frac{1}{2})}{\cosh(\gamma m + 1) \frac{\pi}{\gamma}} \right) \quad (۴)$$





۱۹- تابع گرین معادله لاپلاس با شرایط مرزی دیریشله در مختصات استوانه‌ای  $(\rho, \varphi)$  در یک مسأله دو بعدی مطابق شکل با مرزهایی در  $\varphi = 0$ ،  $\varphi = \beta$  و  $\rho = a$  کدام است؟  $\rho <$  و  $\rho >$  به ترتیب اندازه بزرگتر و کوچکتر میان  $\rho$  و  $\rho'$  هستند.



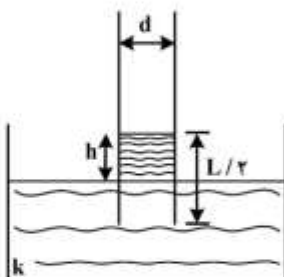
$$G(\rho, \varphi; \rho', \varphi') = \sum_{m=1}^{\infty} \frac{r}{m} \left( \left( \frac{\rho <}{\rho >} \right)^{\frac{r\pi m}{\beta}} - \left( \frac{\rho > \rho <}{a^r} \right)^{\frac{r\pi m}{\beta}} \right) \sin\left(\frac{\pi m \varphi}{\beta}\right) \sin\left(\frac{m \pi \varphi'}{\beta}\right) \quad (۱)$$

$$G(\rho, \varphi; \rho', \varphi') = \sum_{m=1}^{\infty} \frac{r}{m} \left( \left( \frac{a}{\rho >} \right)^{\frac{r\pi m}{\beta}} - \left( \frac{\rho <}{a} \right)^{\frac{r\pi m}{\beta}} \right) \sin\left(\frac{r\pi m \varphi}{\beta}\right) \sin\left(\frac{r\pi m \varphi'}{\beta}\right) \quad (۲)$$

$$G(\rho, \varphi; \rho', \varphi') = \sum_{m=1}^{\infty} \frac{r}{m} \left( \left( \frac{\rho <}{\rho >} \right)^{\frac{\pi m}{\beta}} - \left( \frac{\rho > \rho <}{a^r} \right)^{\frac{\pi m}{\beta}} \right) \sin\left(\frac{\pi m \varphi}{\beta}\right) \sin\left(\frac{m \pi \varphi'}{\beta}\right) \quad (۳)$$

$$G(\rho, \varphi; \rho', \varphi') = \sum_{m=1}^{\infty} \frac{r}{m} \left( \left( \frac{\rho <}{a} \right)^{\frac{\pi m}{\beta}} - \left( \frac{a}{\rho >} \right)^{\frac{\pi m}{\beta}} \right) \sin\left(\frac{r\pi m \varphi}{\beta}\right) \sin\left(\frac{r\pi m \varphi'}{\beta}\right) \quad (۴)$$

۲۰- صفحات یک خازن تخت به شکل مربعی به ضلع  $L$  هستند و فاصله دو صفحه از هم برابر  $d$  است این خازن تا پتانسیل  $V_0$  شارژ شده و از باتری جدا می‌شود. سپس این خازن به‌طور عمودی در یک ظرف پر از مایع با ثابت دی‌الکتریک  $k$  و چگالی جرمی  $\rho_m$  فرو برده می‌شود به‌طوری که این مایع نصف حجم خازن را اشغال می‌کند.  $h$  ارتفاع مایع درون خازن تا سطح آزاد مایع در ظرف، کدام است؟



$$\frac{r\epsilon_0 V_0^r}{\rho_m g d^r} \left( \frac{k-1}{k+1} \right)^r \quad (۱)$$

$$\frac{r\epsilon_0 V_0^r}{\rho_m g d^r} \frac{(k-1)}{(k+1)^r} \quad (۲)$$

$$\frac{r\epsilon_0 V_0^r}{\rho_m g d^r} \left( \frac{k-1}{k+1} \right)^r \quad (۳)$$

$$\frac{r\epsilon_0 V_0^r}{\rho_m g d^r} \frac{(k-1)}{(k+1)^r} \quad (۴)$$

۲۱- در ناحیه‌ای از فضا میدان مغناطیسی ثابت  $\vec{B} = B_0 \hat{j}$  موجود است. کره رسانای کامل بدون باری با سرعت غیرنسبیتی  $\vec{v} = v_0 \hat{i}$  در این ناحیه در حرکت است. چگالی بار القایی روی سطح این کره کدام است؟ (پتانسیل الکتریکی در خارج از یک پوسته کروی رسانای بدون بار به شعاع  $a$  در میدان الکتریکی یکنواخت  $E_0 \hat{k}$  به صورت

$$\phi = -E_0 r \cos \theta \left( 1 - \frac{a^3}{r^3} \right) + \phi_0$$

که  $\theta$  زاویه بین بردار  $\hat{k}$  و بردار  $\vec{r}$  است.)

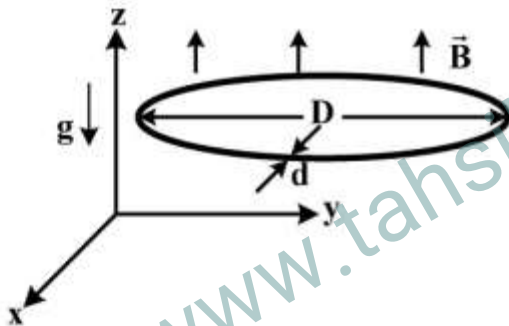
(۱)  $3\epsilon_0 B_0 v_0 \cos \theta$

(۲)  $3\epsilon_0 B_0 v_0 \sin \theta$

(۳)  $3\epsilon_0 B_0 v_0 \cos^2 \theta$

(۴)  $3\epsilon_0 B_0 v_0 \sin \theta \cos \theta$

۲۲- یک حلقه رسانای دایره‌ای شکل از سیمی به قطر  $d$ ، مقاومت ویژه  $\rho$  و چگالی جرمی  $\rho_m$  ساخته شده است. قطر حلقه برابر  $D$  است. این حلقه مطابق شکل از ارتفاعی بالای سطح زمین از حالت سکون در میدان مغناطیسی  $\vec{B} = B_0 (1 + \alpha z) \hat{k}$  رها می‌شود که  $\alpha$  ضریبی ثابت است. صفحه حلقه همواره موازی سطح افق (صفحه  $xy$ ) است. سرعت حدی این حلقه کدام است؟



(۱)  $\frac{\rho_m g d^2}{4 B_0^2 \alpha D^2 \rho}$

(۲)  $\frac{4 B_0^2 \alpha^2 D^2 \rho}{\rho_m g d^2}$

(۳)  $\frac{16 \rho_m \rho g}{B_0^2 \alpha^2 D^2}$

(۴)  $\frac{D^2 B_0^2 \alpha^2}{16 \rho_m \rho g}$

۲۳- دو پوسته کروی بسیار نازک رسانای هم مرکز یکی به شعاع  $R$  و دیگری به شعاع  $2R$  در نظر بگیرید. روی پوسته داخلی بار  $Q$  و روی پوسته خارجی بار  $-Q$  توزیع شده است در مرکز دو کره یک دو قطبی مغناطیسی نقطه‌ای با گشتاور دو قطبی مغناطیسی  $\vec{m} = m_0 \hat{k}$  قرار دارد. تکانه زاویه‌ای کل میدان الکترومغناطیسی این مجموعه کدام است؟

(۱) صفر

(۲)  $\frac{\mu_0 m_0 Q}{24 \pi^2 R}$

(۳)  $\frac{\mu_0 m_0 Q}{6 \pi R}$

(۴)  $\frac{\mu_0 m_0 Q}{12 \pi R}$

۲۴- سیم‌لوله‌ای طویل به شعاع  $R$  که در واحد طول آن  $n$  دور سیم حامل جریان  $I_0 \cos \omega t$  پیچیده شده است در نظر بگیرید. متوسط زمانی انرژی الکترومغناطیسی در بازه  $0 \leq t \leq \frac{2\pi}{\omega}$  در واحد طول سیم‌لوله چقدر است؟

(۱)  $\frac{\mu_0}{2} \pi R^2 n^2 I_0^2 \left( 1 + \frac{\omega^2 R^2}{\lambda c^2} \right)$

(۲)  $\frac{\mu_0}{4} \pi R^2 n^2 I_0^2 \left( 1 + \frac{\omega^2 R^2}{\lambda c^2} \right)$

(۳)  $\frac{\mu_0}{2} \pi R^2 n^2 I_0^2 \left( 1 + \frac{\omega^2 R^2}{\lambda c^2} \right)$

(۴)  $\frac{\mu_0}{4} \pi R^2 n^2 I_0^2 \left( 1 + \frac{\omega^2 R^2}{\lambda c^2} \right)$

۲۵- اگر در یک موجبر با ضریب شکست  $n$  بسامدهای زاویه‌ای قابل انتشار برای امواج الکترومغناطیسی با طول موج  $\lambda$

به شکل  $\omega_m = \frac{c}{n} \sqrt{\left(\frac{2\pi}{\lambda}\right)^2 + \left(\frac{m\pi}{a}\right)^2}$  ( $m = 1, 2, 3, \dots$ ) باشد، سرعت گروه هر کدام از این مدها کدام است؟  
 $c$  سرعت نور در خلأ و  $a$  عدد ثابتی است.

$$\frac{c}{n} \left[ 1 + \left( \frac{m\lambda}{2a} \right)^2 \right]^{\frac{1}{2}} \quad (1)$$

$$\frac{c}{2n} \left[ 1 + \left( \frac{m\lambda}{2a} \right)^2 \right]^{\frac{1}{2}} \quad (2)$$

$$\frac{c}{n} \left[ 1 + \left( \frac{m\lambda}{2a} \right)^2 \right]^{\frac{1}{2}} \quad (3)$$

$$\frac{2c}{n} \left[ 1 + \left( \frac{m\lambda}{2a} \right)^2 \right]^{\frac{1}{2}} \quad (4)$$

۲۶- امواج الکترومغناطیسی تخت با شدت  $I$  به‌طور عمودی از هوا ( $n = 1$ ) بر یک تیغه شیشه‌ای با ضریب شکست  $n$  می‌تابند. اگر از هر نوع اثر تداخلی چشم‌پوشی شود فشار تابشی وارد بر تیغه شیشه‌ای کدام است؟ ضرایب فرنیل عبور و بازتاب برای یک موج الکترومغناطیسی که از محیط عایقی با ضریب شکست  $n_1$  به محیط عایق دیگری با

ضریب شکست  $n_2$  به‌طور عمودی می‌تابد به ترتیب  $\frac{n_2 - n_1}{n_2 + n_1}$  و  $\frac{2n_1}{n_1 + n_2}$  است. ( $c$  سرعت نور در خلأ است).

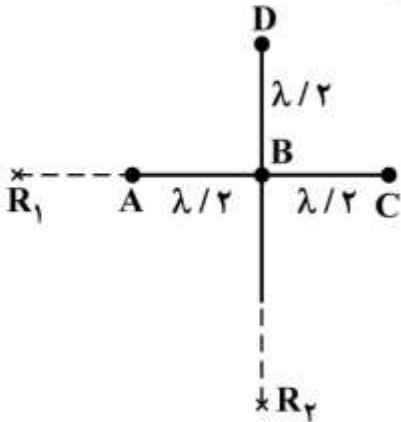
$$\frac{I}{c} \left( \frac{n-1}{n+1} \right) \quad (1)$$

$$2 \frac{I}{c} \left( \frac{n-1}{n+1} \right) \quad (2)$$

$$2 \frac{I}{c} \left( \frac{n-1}{n+1} \right)^2 \quad (3)$$

$$\frac{I}{c} \left( \frac{n-1}{n+1} \right)^2 \quad (4)$$

۲۷- چهار چشمه امواج الکترومغناطیسی نقطه‌ای یکسان هم‌دوس  $A, B, C$  و  $D$  مطابق شکل زیر نسبت به هم قرار دارند و امواجی با طول موج یکسان  $\lambda$  منتشر می‌کنند. دو گیرنده  $R_1$  و  $R_2$  در فواصل دور و یکسان از چشمه  $B$  قرار دارند. کدام عبارت در مورد شدت دریافتی توسط دو گیرنده درست است؟



(۱) شدت دریافتی گیرنده (۲) بیشتر از گیرنده (۱) است.

(۲) شدت دریافتی گیرنده (۱) بیشتر از گیرنده (۲) است.

(۳) شدت دریافتی هر دو گیرنده با هم برابر است.

(۴) اگر چشمه  $D$  خاموش شود شدت دریافتی هر دو گیرنده با هم برابر می‌شود.

۲۸- محیط شفاف فعالی را در نظر بگیرید که ضریب شکست آن برای نور با قطبش دایروی راستگرد برابر  $n_+ = n + \beta$  و برای نور با قطبش دایروی چپگرد برابر  $n_- = n - \beta$  است ( $\beta, n$  اعداد حقیقی مثبتند). نوری با قطبش خطی و بسامد زاویه‌ای  $\omega$  وارد این محیط می‌شود پس از طی کردن فاصله  $d$  درون این محیط مقدار زاویه‌ای که قطبش نور می‌چرخد کدام است؟

$$2 \frac{\omega}{c} \beta d \quad (۱)$$

$$2 \frac{\omega}{c} n \beta d \quad (۲)$$

$$\frac{\omega}{c} \beta d \quad (۳)$$

$$\frac{\omega}{c} n \beta d \quad (۴)$$

۲۹- ذره‌ای به جرم  $m$  و بار  $q$  تحت تأثیر نیروی کولنی ذره ثابتی با بار  $-q$  در حرکت است. اگر در لحظه  $t = 0$  ذره  $m$  در مداری تقریباً دایروی به شعاع  $R$  حول ذره ثابت در حرکت باشد. در چه زمانی فاصله ذره متحرک از ذره ثابت به  $\frac{R}{2}$  کاهش می‌یابد. توان تابشی کل لحظه‌ای از یک بار نقطه‌ای  $q$  که با شتاب  $\vec{a}$  حرکت می‌کند برابر با

است  $\frac{q^2 |\vec{a}|^2}{6\pi\epsilon_0 c^3}$  (c سرعت نور در خلا است).

(۱)  $\frac{\sqrt{\pi^2 \epsilon_0^2 c^2 R^2 m^2}}{2q^2}$

(۲)  $\frac{\sqrt{\pi^2 \epsilon_0^2 c^2 R^2 m^2}}{4q^2}$

(۳)  $\frac{\sqrt{\pi^2 \epsilon_0^2 c^2 R^2 m^2}}{6q^2}$

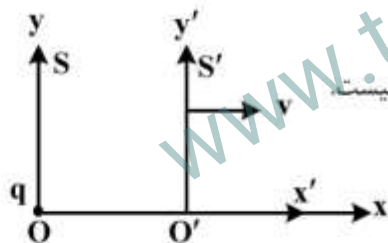
(۴)  $\frac{\sqrt{\pi^2 \epsilon_0^2 c^2 R^2 m^2}}{2q^2}$

۳۰- دو چارچوب لخت  $S$  و  $S'$  در نظر بگیرید که  $S'$  با سرعت  $v$  به موازات محور  $x$  چارچوب لخت  $S$  در حرکت است. مبدأهای دو چارچوب در لحظه صفر از نظر ناظرهای هر دو چارچوب برهم منطبق است. بار نقطه‌ای  $q$  در نقطه  $O$  و همواره نسبت به چارچوب  $S$  ساکن است. کدام عبارت در لحظه  $t = t' = 0$  درست است؟

(۱)  $E_y = E'_y$

(۲) در هر دو چارچوب میدان الکتریکی شعاعی است.

(۳) میدان الکتریکی در چارچوب  $S'$  شعاعی است ولی در چارچوب  $S$  شعاعی نیست.



(۴)  $E_x = \gamma E'_x$  که  $\gamma = \frac{1}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$

۳۱- دمای ۵ مول گاز ایدئال تک اتمی در یک فرایند بی‌دررو از  $300K$  به  $400K$  افزایش می‌یابد. گرمای ویژه مولی

در فشار ثابت برای این گاز به صورت  $C_p = \frac{7}{2}R + 0.2T$  با دما تغییر می‌کند.  $R = 8.3 \frac{J}{mol.K}$  ثابت جهانی

گازها،  $T$  دما برحسب کلوین و  $C_p$  برحسب  $\frac{J}{mol.K}$  است. کار انجام شده در این فرایند چند ژول است؟

(۱) ۵۵۷۵

(۲) ۶۸۷۵

(۳) ۹۷۲۵

(۴) ۱۳۸۷۵

۳۲- سیالی درون ظرفی به صورت تک‌دما فشرده می‌شود. این فرایند به آرامی انجام می‌شود و معادله سیال در این

فرایند به شکل  $\ln \frac{V}{V_0} = -A(P - P_0)$  است که  $P$  و  $V$  فشار و حجم سیال و  $A$ ،  $P_0$  و  $V_0$  مقادیر ثابت مثبتی

هستند. اگر حجم سیال از  $V_1 = \alpha V_0$  به  $V_2 = \beta V_0$  تغییر کند، کار انجام شده در این فرایند کدام است؟

$$P_0 V_0 (\beta - \alpha) + \frac{V_0}{A} \ln\left(\frac{\beta}{\alpha}\right) \quad (1)$$

$$P_0 V_0 (\beta - \alpha) + \frac{V_0}{A} (\alpha \ln \alpha - \beta \ln \beta) \quad (2)$$

$$\left(P_0 + \frac{1}{A}\right) (\beta - \alpha) V_0 + \frac{V_0}{A} \ln\left(\frac{\beta}{\alpha}\right) \quad (3)$$

$$\left(P_0 + \frac{1}{A}\right) (\beta - \alpha) V_0 + \frac{V_0}{A} (\alpha \ln \alpha - \beta \ln \beta) \quad (4)$$

۳۳- یک ماده مغناطیسی به حجم  $20 \text{ cm}^3$  در دمای ثابت  $300 \text{ K}$  درون یک میدان مغناطیسی قرار می‌گیرد که مقدارش

از صفر تا  $10^4 \frac{\text{A}}{\text{m}}$  تغییر می‌کند. اگر بردار مغناطش بر حسب شدت میدان مغناطیسی و دما به شکل  $\vec{M} = \frac{1}{8} \frac{\vec{H}}{T}$

تغییر کند که  $M$  و  $H$  بر حسب  $\frac{\text{A}}{\text{m}}$  و  $T$  بر حسب کلون است، چند ژول کار برای انجام این فرایند نیاز است؟

$$0.06 \quad (1)$$

$$0.075 \quad (2)$$

$$6 \times 10^4 \quad (3)$$

$$7.5 \times 10^4 \quad (4)$$

۳۴- یک گاز ایدئال تک اتمی از یک حالت تعادل اولیه طی دو فرایند مستقل، از دمای  $T_1$  به دمای  $T_2$  تحول می‌یابد. اگر

تحول تک فشار باشد تغییر آنتروپی  $\Delta S_p$  و اگر تحول تک حجم باشد تغییر آنتروپی  $\Delta S_v$  است. نسبت  $\frac{\Delta S_v}{\Delta S_p}$

کدام است؟

$$0.4 \quad (1)$$

$$0.6 \quad (2)$$

$$0.8 \quad (3)$$

$$1 \quad (4)$$

۳۵- انرژی یک دستگاه بسته شامل  $N$  نوسانگر هماهنگ سه بعدی همسانگرد با بسامد زاویه‌ای یکسان  $\omega$ ، برابر  $U$  است. در حد ترمودینامیکی،  $T$  دمای متناسب به این دستگاه در کدام رابطه صدق می‌کند؟

$$\frac{\hbar\omega}{k_B T} = \ln\left(\frac{U + \frac{1}{2}N\hbar\omega}{U - \frac{1}{2}N\hbar\omega}\right) \quad (1)$$

$$\frac{\hbar\omega}{k_B T} = \ln\left(\frac{\frac{1}{2}U + \frac{1}{2}N\hbar\omega}{U - \frac{1}{2}N\hbar\omega}\right) \quad (2)$$

$$\frac{\hbar\omega}{k_B T} = \ln\left(\frac{U + \frac{1}{2}N\hbar\omega}{\frac{1}{2}U - \frac{1}{2}N\hbar\omega}\right) \quad (3)$$

$$\frac{\hbar\omega}{k_B T} = \ln\left(\frac{\frac{1}{2}U + \frac{1}{2}N\hbar\omega}{\frac{1}{2}U - \frac{1}{2}N\hbar\omega}\right) \quad (4)$$

۳۶- هامیلتونی یک دستگاه ترمودینامیکی یک بعدی  $H = \frac{p^2}{2m} + V_0 |x|^n$  است که  $-\infty < x < +\infty$ ، متوسط انرژی گرمایی دستگاه در مجاورت با منبعی به دمای  $T$  کدام است؟

$$\left(\int_0^\infty dx x^m e^{-\alpha x^n} = \frac{1}{n} \frac{\Gamma\left(\frac{m+1}{n}\right)}{\alpha^{\frac{m+1}{n}}}\right) \quad \text{به ازای } m \geq 0 \text{ و } n \geq 0 \text{ داریم:}$$

$$k_B T \quad (1)$$

$$\frac{4}{3} k_B T \quad (2)$$

$$\frac{5}{6} k_B T \quad (3)$$

$$\frac{7}{6} k_B T \quad (4)$$

۳۷- اگر  $A(N, V, T)$  انرژی آزاد هلمهولتز یک دستگاه ترمودینامیکی باشد، کدام رابطه صحیح است؟

$$A = N \left(\frac{\partial A}{\partial N}\right)_{V, T} + V \left(\frac{\partial A}{\partial V}\right)_{N, T} \quad (1)$$

$$A = T \left(\frac{\partial A}{\partial T}\right)_{N, V} + V \left(\frac{\partial A}{\partial V}\right)_{N, T} \quad (2)$$

$$A = N \left(\frac{\partial A}{\partial N}\right)_{V, T} + T \left(\frac{\partial A}{\partial T}\right)_{N, V} \quad (3)$$

$$A = N \left(\frac{\partial A}{\partial N}\right)_{V, T} + V \left(\frac{\partial A}{\partial V}\right)_{N, T} + T \left(\frac{\partial A}{\partial T}\right)_{N, V} \quad (4)$$



۳۸- یک دستگاه ترمودینامیکی شامل  $N$  نوسانگر هماهنگ و همسانگرد سه بعدی هر یک به جرم  $m$ ، بار  $q$  و بسامد

زاویه‌ای  $\omega$  تحت تأثیر میدان الکتریکی  $\vec{E} = E_0 \hat{z}$  در نظر بگیرید. تابع پارش این دستگاه کدام است؟  $\beta = \frac{1}{k_B T}$

$$\frac{e^{\beta N q^2 E_0^2 / \gamma m \omega^2}}{\left( \gamma \sinh\left(\frac{\beta \hbar \omega}{\gamma}\right) \right)^{\gamma N}} \quad (۱)$$

$$\frac{e^{-\gamma \beta N q^2 E_0^2 / \gamma m \omega^2}}{[\gamma \sinh(\beta \hbar \omega)]^N} \quad (۲)$$

$$\frac{e^{\gamma \beta N q^2 E_0^2 / \gamma m \omega^2}}{\left( \gamma \sinh\left(\frac{\beta \hbar \omega}{\gamma}\right) \right)^{\gamma N}} \quad (۳)$$

$$\frac{e^{-\beta N q^2 E_0^2 / \gamma m \omega^2}}{[\gamma \sinh(\beta \hbar \omega)]^N} \quad (۴)$$

۳۹- تابع پارش کانونی بزرگ یک گاز به حجم  $V$ ، فشار  $P$  و دمای  $T$  به شکل  $Z = \exp\left( e^{\beta \mu} \frac{\lambda \pi V}{(\beta \hbar)^{\gamma}} \right)$  است.

$\mu(T, P)$  پتانسیل شیمیایی گاز کدام است؟  $\beta = \frac{1}{k_B T}$

$$\frac{1}{\beta} \ln \left( \frac{h^{\gamma} c^{\gamma} \beta^{\gamma}}{\lambda \pi V} \right) \quad (۱)$$

$$\frac{1}{\beta} \ln \left( \frac{h^{\gamma} c^{\gamma} \beta^{\gamma} P}{\lambda \pi} \right) \quad (۲)$$

$$\frac{1}{\beta} \ln \left( \frac{h^{\gamma} c^{\gamma} \beta^{\gamma}}{\lambda \pi P^{\gamma} V^{\gamma}} \right) \quad (۳)$$

$$\frac{1}{\beta} \ln \left( \frac{h^{\gamma} c^{\gamma} \beta P}{\lambda \pi V} \right) \quad (۴)$$

۴۰- کاواکی به حجم  $V_0$  در دمای  $T_0$  در نظر بگیرید. اگر حجم این کاواک به آرامی (برگشت پذیر) و بی دررو افزایش یافته و به  $2V_0$  برسد، دمای نهایی کاواک چند برابر  $T_0$  است؟ (کاواک را جسم سیاه در نظر بگیرید.)

$$\frac{1}{\sqrt{2}} \quad (1)$$

$$\frac{1}{2\sqrt{2}} \quad (2)$$

$$\frac{1}{\sqrt{2}} \quad (3)$$

$$\frac{1}{2\sqrt{2}} \quad (4)$$

۴۱- ماتریس جهالی یک دستگاه ترمودینامیکی در پایه ویژنه بردارهای عملگر  $S_z$  به شکل

است.  $\rho = \frac{1}{2} \begin{pmatrix} 1 + \cos\beta & e^{-i\alpha} \sin\beta \\ e^{i\alpha} \sin\beta & 1 - \cos\beta \end{pmatrix}$  است.  $\alpha$  و  $\beta$  پارامترهای ثابت حقیقی هستند. مقدار کمیت  $\langle S_x \rangle$  کدام است؟

$$\frac{\hbar}{2} \cos\beta \quad (1)$$

$$\frac{\hbar}{2} \sin\beta \cos\alpha \quad (2)$$

$$\frac{\hbar}{2} \sin\alpha \quad (3)$$

$$\frac{\hbar}{2} \cos\beta \sin\alpha \quad (4)$$

۴۲- برای مدل آیزینگ یک بعدی  $H = -\varepsilon \sum_{i=1}^N S_i S_{i+1}$  با شرط مرزی دوره‌ای،  $S_{N+1} = S_1$ ، تابع پارش (به ازای

$S_i = \pm 1$ ) به صورت  $Z = 2^N (\cosh^N(\beta\varepsilon) + \sinh^N(\beta\varepsilon))$  است. ظرفیت گرمایی این سیستم در حد

ترمودینامیکی،  $N \rightarrow \infty$ ، کدام است؟  $\beta = \frac{1}{k_B T}$

$$Nk_B(\beta\varepsilon)^2 \operatorname{sech}^2(\beta\varepsilon) \quad (1)$$

$$Nk_B(\beta\varepsilon)^2 (\operatorname{csch}^2(\beta\varepsilon) + \operatorname{sech}^2(\beta\varepsilon)) \quad (2)$$

$$Nk_B(\beta\varepsilon)^2 \operatorname{csch}^2(\beta\varepsilon) \quad (3)$$

$$Nk_B(\beta\varepsilon)^2 (\operatorname{csch}^2(\beta\varepsilon) - \operatorname{sech}^2(\beta\varepsilon)) \quad (4)$$

۴۳- معادله حالت  $n$  مول گاز واندر والس به شکل  $(P + \frac{an^2}{V^2})(V - nb) = nRT$  است. اگر  $C_p$  و  $C_v$  به ترتیب

ظرفیت گرمایی گاز در فشار و حجم ثابت باشند، حاصل  $(C_p - C_v)$  کدام است؟

$$nR \left( 1 - \frac{2ab^2 n^2}{V^2 RT} \right)^{-1} \quad (۱)$$

$$nR \left( 1 + \frac{2ab^2 n^2}{V^2 RT} \right) \quad (۲)$$

$$nR \left( 1 + \frac{2an(V - nb)^2}{V^2 RT} \right) \quad (۳)$$

$$nR \left( 1 - \frac{2an(V - nb)^2}{V^2 RT} \right)^{-1} \quad (۴)$$

۴۴- میانگین عدد اشغال در دمای  $T$  برای تراز انرژی  $\epsilon_i$  در یک سیستم فرمیونی به شکل  $\langle n_i \rangle = \frac{1}{e^{\beta(\epsilon_i - \mu)} + 1}$

است. برای این سیستم حاصل عبارت  $\frac{\sqrt{\langle n_i \rangle} - \langle n_i \rangle^2}{\langle n_i \rangle}$  کدام است؟  $\beta = \frac{1}{k_B T}$

$$\sqrt{1 + e^{\beta(\epsilon_i - \mu)}} \quad (۱)$$

$$e^{\frac{\beta}{2}(\epsilon_i - \mu)} \quad (۲)$$

$$\sqrt{1 - e^{-\beta(\epsilon_i - \mu)}} \quad (۳)$$

$$e^{-\frac{\beta}{2}(\epsilon_i - \mu)} \quad (۴)$$

۴۵- برای یک گاز فرمیونی با چگالی حالت‌های  $g(\epsilon)$ ، رابطه  $\mu(T)$  انرژی پتانسیل شیمیایی در دمای  $T$  بر حسب

انرژی فرمی  $(\epsilon_F)$  کدام است؟  $(g'(\epsilon_F))$  مشتق تابع  $g(\epsilon)$  در نقطه  $\epsilon = \epsilon_F$  است.

$$\mu(T) = \epsilon_F + \frac{\pi^2}{6} (k_B T)^2 \frac{g'(\epsilon_F)}{g(\epsilon_F)} \quad (۱)$$

$$\mu(T) = \epsilon_F - \frac{\pi^2}{6} \epsilon_F (k_B T)^2 \frac{g'(\epsilon_F)}{g(\epsilon_F)} \quad (۲)$$

$$\mu(T) = \epsilon_F + \frac{\pi^2}{6} \epsilon_F (k_B T)^2 \frac{g'(\epsilon_F)}{g(\epsilon_F)} \quad (۳)$$

$$\mu(T) = \epsilon_F - \frac{\pi^2}{6} (k_B T)^2 \frac{g'(\epsilon_F)}{g(\epsilon_F)} \quad (۴)$$

www.tahsilatetakmili.com