

کد کنترل

475

A



475A

## آزمون ورودی دوره دکتری (نیمه متمرکز) - سال ۱۴۰۰

دفترچه شماره (۱)

صبح جمعه

۹۹/۱۲/۱۵



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

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

### رشته فوتونیک - (کد ۲۲۳۹)

مدت پاسخ گویی: ۱۵۰ دقیقه

تعداد سؤال: ۴۵

عنوان مواد امتحانی، تعداد و شماره سؤالات

| ردیف | مواد امتحانی   | تعداد سؤال | از شماره | تا شماره |
|------|--|------------|----------|----------|
| ۱    | مجموعه دروس تخصصی:<br>- فیزیک مدرن<br>- مکانیک کوانتومی و مکانیک کوانتومی پیشرفته - الکترومغناطیس<br>و الکتروپنایمیک | ۴۵         | ۱        | ۴۵       |

استفاده از ماشین حساب مجاز نیست.

این آزمون نمره منفی دارد.

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

اینجانب ..... با شماره داوطلبی ..... با آگاهی کامل، یکسان بودن شماره صندلی خود را با شماره داوطلبی مندرج در بالای کارت ورود به جلسه، بالای پاسخنامه و دفترچه سؤالات، نوع و کد کنترل درج شده بر روی دفترچه سؤالات و پائین پاسخنامه‌ام را تأیید می‌نمایم.

امضا:

۱- بلندترین طول موج سری بالمر در نور تابشی از اتم‌های هیدروژن  $656\text{ nm}$  است. این نور از یک کهکشان دور دست که از ما دور می‌شود با طول موج  $1476\text{ nm}$  دریافت می‌شود. سرعت دور شدن کهکشان از زمین چقدر است؟ (فرض کنید این جابه‌جایی طول موج ناشی از جابجایی دوپلر است.)

- (۱)  $0.670c$   
 (۲)  $0.385c$   
 (۳)  $0.335c$   
 (۴)  $0.770c$

۲- در چارچوب مرجع S حادثه B به اندازه  $2\mu\text{s}$  بعد از حادثه A و به فاصله  $\Delta x = 2\text{ km}$  از آن اتفاق می‌افتد. یک ناظر با چه سرعتی در راستای مثبت محور X حرکت کند تا حوادث A و B را هم زمان اندازه‌گیری کند؟

- (۱)  $0.25c$   
 (۲)  $0.30c$   
 (۳)  $0.20c$   
 (۴)  $0.35c$

۳- شعاع متوسط مدار حرکت زمین به دور خورشید  $150$  میلیون کیلومتر و شدت تابش خورشیدی روی سطح زمین  $1360\text{ W/m}^2$  است. در یک شبانه روز چند کیلوگرم از جرم خورشید کاسته می‌شود؟

- (۱)  $3.70 \times 10^{14}$   
 (۲)  $3.70 \times 10^{12}$   
 (۳)  $4.30 \times 10^9$   
 (۴)  $4.30 \times 10^{11}$

۴- دو فوتون یکی با انرژی  $4\text{ MeV}$  و دیگری با انرژی  $2\text{ MeV}$  بر روی محور X به دنبال یکدیگر حرکت می‌کنند. جرم سکون این دستگاه دو فوتونی چند  $\text{MeV}/c^2$  است؟

- (۱) صفر  
 (۲)  $2.83$   
 (۳)  $6.0$   
 (۴)  $5.66$

- ۵- یک الکترون با انرژی  $15 \text{ MeV}$  عمود بر راستای میدان مغناطیسی وارد ناحیه‌ای می‌شود که در آن میدان مغناطیسی یکنواخت  $0.5 \text{ T}$  وجود دارد. شعاع دایره مسیر تقریباً چند متر است؟
- (۱)  $2.0$   
 (۲)  $0.5$   
 (۳)  $1.5$   
 (۴)  $1.0$
- ۶- نوری به طول موج  $550 \text{ nm}$  و شدت  $2 \text{ W/m}^2$  به صورت عمود به سطح فلز پتاسیم می‌تابد. تابع کار پتاسیم  $2.2 \text{ eV}$  است. اگر قرار باشد با ابزار فیزیک کلاسیک پدیده فوتوالکتریک توضیح داده شود فوتوالکترون‌ها تقریباً چند ثانیه پس از دریافت تابش، گسیل خواهند شد؟ (شعاع یک اتم را یک آنگستروم در نظر بگیرید و فرض کنید انرژی تابشی دریافتی توسط اتم‌های سطح فلز به اتم‌های زیر سطح منتقل نمی‌شود.)
- (۱)  $6 \times 10^{-2}$   
 (۲)  $6 \times 10^{-5}$   
 (۳)  $6 \times 10^2$   
 (۴)  $6 \times 10^{-9}$
- ۷- در پراکندگی کامپتون از الکترون‌ها، وقتی زاویه پراکندگی  $12^\circ$  است جابه‌جایی طول موج پرتو پراکنده شده،  $\Delta\lambda$ ، نسبت به طول موج پرتو فرودی پانزده درصد است. وقتی زاویه پراکندگی  $6^\circ$  است این نسبت چند درصد است؟
- (۱) ۵  
 (۲) ۱۵  
 (۳) ۳۰  
 (۴) ۴۵
- ۸- توان تابش گرمایی یک ستاره  $6.4 \times 10^{26} \text{ W}$  است. در طیف تابشی نور این ستاره بیشینه شدت مربوط به طول موج  $\lambda_{\text{max}} = 2900 \text{ \AA}$  است. شعاع ستاره تقریباً چند کیلومتر است؟ (ثابت استفان - بولتزمن برابر  $5.7 \times 10^{-8} \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}^4$  و ثابت وین برابر  $2.9 \times 10^{-3} \text{ m} \cdot \text{K}$  است.)
- (۱)  $3 \times 10^6$   
 (۲)  $3 \times 10^4$   
 (۳)  $3 \times 10^5$   
 (۴)  $3 \times 10^7$
- ۹- طول موج دوبروی الکترونی که در اختلاف پتانسیل  $3 \times 10^6 \text{ V}$  شتاب می‌گیرد تقریباً چند آنگستروم است؟
- (۱)  $6.6 \times 10^{-3}$   
 (۲)  $3.6 \times 10^{-3}$   
 (۳)  $3.6 \times 10^{-1}$   
 (۴)  $6.6 \times 10^{-1}$

۱۰- در پراکندگی راترفورد، نسبت کسری از ذرات آلفای پراکنده شده با انرژی جنبشی معین از یک هدف در زاویه بزرگتر از  $10^\circ$  به کسری از ذرات آلفای پراکنده شده در زاویه بزرگتر از  $60^\circ$  تقریباً چقدر است؟

(۱) ۱۱

(۲) ۱۷

(۳) ۹۷

(۴) ۴۴

۱۱- هسته ساکن  $X$  دچار تلاشی  $A_Z X \rightarrow A_{Z-2} Y + {}^4_2 \alpha$  می‌شود.  $m_X$ ،  $m_Y$  و  $m_\alpha$  جرم سکون هسته‌های موجود در این واکنش است. با فرض این که انرژی جنبشی هسته  $Y$  و ذره  $\alpha$  غیر نسبیتی باشد، انرژی جنبشی ذره  $\alpha$  کدام است؟

(۱)  $\frac{A}{4}(m_X - m_Y - m_\alpha)c^2$

(۲)  $\frac{A}{A-4}(m_X - m_Y - m_\alpha)c^2$

(۳)  $\frac{A-4}{A}(m_X - m_Y - m_\alpha)c^2$

(۴)  $\frac{4}{A}(m_X - m_Y - m_\alpha)c^2$

۱۲- گاف نواری نیمه‌رسانای یک دیود گسیل‌کننده نور  $2.06 \text{ eV}$  است. این لامپ چه نوری تابش می‌کند؟

(۱) قرمز

(۲) نارنجی

(۳) سبز

(۴) آبی

۱۳- در دمای اتاق گاف نواری ژرمانیوم  $E_g = 0.7 \text{ eV}$  و چگالی الکترون‌های رسانش آن  $2 \times 10^{13} \text{ cm}^{-3}$  است. مرتبه

بزرگی چگالی تعداد الکترون‌های رسانش الماس با گاف نواری  $E_g = 5.4 \text{ eV}$  در دمای اتاق برحسب  $\text{cm}^{-3}$

چقدر است؟ ( $e^{-47} \approx 4 \times 10^{-21}$ )

(۱)  $10^{-28}$ (۲)  $10^{-14}$ (۳)  $10^{-21}$ (۴)  $10^{-7}$ 

۱۴- در یک فلز با انرژی فرمی  $\epsilon_f$  احتمال آن که در دمای  $T$  الکترون‌های آزاد حالتی با انرژی  $\epsilon_+ = \epsilon_f + 4/6 kT$  را

اشغال کنند برابر  $0.1$  است. احتمال آن که در این دما الکترون‌های آزاد حالتی با انرژی  $\epsilon_- = \epsilon_f - 2/3 kT$  را

اشغال کنند چقدر است؟ ( $k$  ثابت بولتزمن است.)

(۱)  $0.25$ (۲)  $0.90$ (۳)  $0.45$ (۴)  $0.75$



۱۵- عدد اتمی عنصر سیلیسیوم، Si،  $Z = 14$  است. حالت پایه این اتم بر اساس نمادگذاری طیف‌سنجی کدام است؟

(۱)  ${}^3P_2$

(۲)  ${}^3P_0$

(۳)  ${}^3D_2$

(۴)  ${}^3D_1$

۱۶- پرتویی از اتم‌های خنثی (از لحاظ الکتریکی) از دستگاه آزمایش اشترن - گرلاخ عبور می‌کند. روی صفحه آشکارساز پنج خط دیده می‌شود.  $J$ ، تکانه زاویه‌ای کل این اتم‌ها کدام است؟

(۱) ۲

(۲) ۳

(۳)  $\frac{3}{2}$

(۴)  $\frac{5}{2}$

۱۷- هامیلتونی یک سیستم در سه بعد  $\hat{H} = \frac{\hat{p}_x^2 + \hat{p}_y^2 + \hat{p}_z^2}{2m} + \frac{1}{2} m\omega^2 (\hat{x}^2 + \hat{y}^2 + \hat{z}^2) - m\omega^2 x_0 \hat{x}$  است که

$\omega$ ،  $m$  و  $x_0$  مقادیر ثابت حقیقی و  $\psi_n$ ها ویژه‌حالت‌های هامیلتونی هستند. کدام رابطه در مورد این سیستم نادرست است؟

(۱)  $\langle \psi_n | \hat{x} | \psi_n \rangle = x_0$

(۲)  $\langle \psi_n | \hat{p}_x + \hat{p}_y + \hat{p}_z | \psi_n \rangle = 0$

(۳)  $\langle \psi_n | \hat{p}_x | \psi_n \rangle = 0$

(۴)  $\langle \psi_n | \hat{x} + \hat{y} + \hat{z} | \psi_n \rangle = 0$

۱۸- نیروی  $\vec{F}(\vec{r}) = -\vec{\nabla} V(\vec{r})$  به ذره‌ای به جرم  $m$  وارد می‌شود. اگر تابع موج این ذره در فضای تکانه در معادله

$$\left( \frac{\vec{p}^2}{2m} - a \nabla_{\vec{p}}^2 \right) \phi(\vec{p}, t) = i\hbar \frac{\partial \phi(\vec{p}, t)}{\partial t}$$

صدق کند که  $a$  ضریب ثابت مثبتی است، نیروی  $\vec{F}(\vec{r})$  کدام است؟

(۱)  $-\frac{a\hbar^2}{2} |\vec{r}| \vec{r}$

(۲)  $\frac{2a}{\hbar^2} \vec{r}$

(۳)  $\frac{a\hbar^2}{2} |\vec{r}| \vec{r}$

(۴)  $-\frac{2a}{\hbar^2} \vec{r}$

۱۹- تابع موج بهنجار یک نوسانگر هماهنگ ساده یک بعدی به صورت  $\psi(x) = A\psi_0(x) + B\psi_1(x)$  است که توابع بهنجار  $\psi_0(x)$  و  $\psi_1(x)$  به ترتیب حالت پایه و اولین حالت برانگیخته‌ی این نوسانگرند. به ازای چه مقادیری از  $A$  و  $B$  مقدار میانگین عملگر مکان  $\hat{x}$  بیشینه است؟ ( $A$  و  $B$  ضرایب حقیقی اند).

$$(۱) \quad A = 0, \quad B = 1$$

$$(۲) \quad A = 1, \quad B = 0$$

$$(۳) \quad A = B = \frac{1}{\sqrt{2}}$$

$$(۴) \quad A = \frac{1}{2}, \quad B = \frac{\sqrt{3}}{2}$$

۲۰- ذره‌ای به جرم  $m$  تحت تاثیر پتانسیل یک بعدی  $V(x) = bV_0\delta(x) + \frac{m\omega^2}{2}x^2$  حرکت می‌کند، که  $V_0$  و  $b$  مقادیر ثابت مثبتی هستند. برای گذار این ذره از حالت برانگیخته دوم به حالت برانگیخته سوم چه مقدار انرژی لازم است؟

$$(۱) \quad \hbar\omega$$

$$(۲) \quad 2\hbar\omega$$

$$(۳) \quad 1.5\hbar\omega$$

$$(۴) \quad 0.5\hbar\omega$$

۲۱- بردار حالت  $|\psi\rangle$  ویژه حالت مشترک عملگر خطی  $A$  و عملگر پارته  $\pi$  است. اگر  $A$  و  $\pi$  با یکدیگر پادجاباه‌جا شوند ( $A\pi + \pi A = 0$ ) حاصل  $A|\psi\rangle$  کدام است؟

$$(۱) \quad \text{صفر}$$

$$(۲) \quad |\psi\rangle$$

$$(۳) \quad -|\psi\rangle$$

$$(۴) \quad \frac{1}{2}|\psi\rangle$$

۲۲- عملگر دوران حول محور  $y$  به اندازه زاویه  $\theta$  یعنی عملگر  $d(\theta) = e^{-i\theta J_y}$  در فضای هیلبرتی که شرط  $J_y^3 = J_y$  برقرار است، به چه شکلی در می‌آید؟

$$(۱) \quad \cos\theta J_y + i\sin\theta J_y^2$$

$$(۲) \quad 1 + (\cos\theta - 1)J_y + i\sin\theta J_y^2$$

$$(۳) \quad \cos\theta J_y - i\sin\theta J_y^2$$

$$(۴) \quad 1 + (\cos\theta - 1)J_y - i\sin\theta J_y^2$$

۲۳- برای ذره‌ی آزاد، در تصویر هایزنبرگ حاصل ضرب عدم قطعیت مکان ذره در لحظه‌ی  $t = 0$  در عدم قطعیت مکان ذره در لحظه‌ی دلخواه  $t > 0$  یعنی کمیت  $\sigma = \langle (\Delta x_i)_{t=0}^2 \rangle \langle (\Delta x_i)_t^2 \rangle$  در کدام رابطه صدق می‌کند؟

$$\sigma \geq \frac{\hbar t}{2m} \quad (1)$$

$$\sigma \leq \frac{\hbar^2 t^2}{8m^2} \quad (2)$$

$$\sigma \geq \frac{\hbar^2 t^2}{4m^2} \quad (3)$$

$$\sigma \leq \frac{\hbar t}{m} \quad (4)$$

۲۴- اگر  $U$  عملگر تحول زمانی شرودینگری، بالانویس  $H$  نشان‌گر دیدگاه هایزنبرگی و بالانویس  $S$  نشان‌گر دیدگاه شرودینگری باشد، کدام دسته از چهار گزاره‌های زیر درست هستند؟

(الف) در دیدگاه هایزنبرگی پایه‌های فضای هیلبرت در طول زمان با عملگر  $U^{-1}$  متحول می‌شوند.

(ب) در دیدگاه شرودینگری پایه‌های مکان یا تکانه در فضای هیلبرت در طول زمان ثابت هستند.

(ج) اگر  $A^{(H)}$  مشاهده‌پذیری در دیدگاه هایزنبرگی و  $\{|\alpha_i, 0\rangle\}$  ویژه‌حالت‌های آن در لحظه  $t = 0$  با ویژه‌مقادیر  $\alpha_i$  باشند، حالت‌های  $\{U^\dagger |\alpha_i, 0\rangle\}$  نیز ویژه‌حالت‌های همان عملگر در لحظه دلخواه  $t > 0$  با همان ویژه‌مقادیر هستند.

(د) در دیدگاه شرودینگری، یک مشاهده‌پذیر تابع زمان همواره دارای ویژه‌مقادیری مستقل از زمان است.

(۱) الف، ب و ج (۲) ب، ج و د (۳) فقط الف و ب (۴) فقط ب و د

۲۵- انرژی‌های یک سامانه چهار ترازه به ترتیب  $E_1 = -14\text{eV}$ ،  $E_2 = -9\text{eV}$ ،  $E_3 = -7\text{eV}$  و  $E_4 = -5/5\text{eV}$  است. اگر آهنگ گذار از تراز سوم به ترازهای اول و دوم به ترتیب  $A_{31} = 7 \times 10^7 \text{s}^{-1}$  و  $A_{32} = 1/3 \times 10^8 \text{s}^{-1}$  و آهنگ گذار از تراز چهارم به تراز سوم  $A_{43} = 3 \times 10^8 \text{s}^{-1}$  باشد، طول عمر تابشی تراز سوم چند ثانیه است؟

$$2/0 \times 10^{-9} \quad (1)$$

$$4/5 \times 10^{-8} \quad (2)$$

$$1/0 \times 10^{-8} \quad (3)$$

$$5/0 \times 10^{-9} \quad (4)$$

۲۶- یک مولکول دو اتمی متشکل از دو اتم با جرم یکسان  $M$  و فاصله‌ی  $D$  از یکدیگر حول محور تقارن عمود بر  $\vec{D}$  دوران می‌کند. اختلاف انرژی دو خط متوالی در طیف تابشی دورانی این مولکول کدام است؟

$$\frac{\hbar^2 J}{2MD^2} \quad (1)$$

$$\frac{2\hbar^2 J}{MD^2} \quad (2)$$

$$\frac{J(J+1)\hbar^2}{2MD^2} \quad (3)$$

$$\frac{2(J+1)\hbar^2}{MD^2} \quad (4)$$

۲۷- انرژی پتانسیل الکترونی که در فاصله  $x$  از سطح آزاد یک مایع هیدروژن قرار دارد به شکل

$$V(x) = \begin{cases} -\frac{\lambda}{x} & x > 0 \\ \infty & x \leq 0 \end{cases}$$

است که  $\lambda$  ضریب ثابت مثبت و محور  $x$  عمود بر سطح مایع است. اگر میدان

الکتربیکی ثابت  $\vec{E} = E_0 \hat{i}$  روشن شود و الکترون فقط بتواند در راستای  $x$  حرکت کند، انرژی حالت پایه الکترون تا مرتبه اول از  $E_0$  کدام است؟

(تابع موج شعاعی اتم هیدروژن به شکل  $R_{1,0}(r) = \frac{\chi(r)}{r} = \frac{\gamma}{a_0^{3/2}} e^{-r/a_0}$  است که  $a_0 = \frac{\hbar^2}{m_e e^2}$ )

(۱)  $-\frac{m_e \lambda^2}{2\hbar^2} - \frac{\gamma \hbar^2 e E_0}{4m_e \lambda}$

(۲)  $-\frac{m_e \lambda^2}{2\hbar^2} + \frac{\gamma \hbar^2 e E_0}{2m_e \lambda}$

(۳)  $-\frac{m_e \lambda^2}{\hbar^2} + \frac{\hbar^2 e E_0}{2m_e \lambda}$

(۴)  $-\frac{m_e \lambda^2}{\hbar^2} - \frac{\gamma \hbar^2 e E_0}{3m_e \lambda}$

۲۸- بنابر داده‌های تجربی سه نوع نوترینوی  $\nu_e$ ،  $\nu_\mu$  و  $\nu_\tau$  در طبیعت وجود دارد که جرم ناچیزی دارند و در طول زمان این نوترینوها به یکدیگر تبدیل می‌شوند. در فضای هیلبرتی که پایه آن به ترتیب از سه حالت نوترینوی

نامبرده در بالا تشکیل شده است، هامیلتونی حاکم بر این رویداد به شکل 
$$H = \begin{pmatrix} m_0 c^2 & \hbar\omega & \hbar\omega \\ \hbar\omega & m_0 c^2 & \hbar\omega \\ \hbar\omega & \hbar\omega & m_0 c^2 \end{pmatrix}$$

است.  $m_0$  و  $\omega$  مقادیر ثابت مثبتی هستند.  $E_i$  ها، ویژه مقادیر این هامیلتونی، کدامند؟

(۱)  $E_1 = m_0 c^2 + 3\hbar\omega$ ،  $E_2 = m_0 c^2 - \hbar\omega$ ،  $E_3 = m_0 c^2 + \hbar\omega$

(۲)  $E_1 = m_0 c^2 - 2\hbar\omega$ ،  $E_2 = E_3 = m_0 c^2 + \hbar\omega$

(۳)  $E_1 = m_0 c^2 + 2\hbar\omega$ ،  $E_2 = E_3 = m_0 c^2 - \hbar\omega$

(۴)  $E_1 = m_0 c^2 - 3\hbar\omega$ ،  $E_2 = m_0 c^2 - \hbar\omega$ ،  $E_3 = m_0 c^2 - 2\hbar\omega$

۲۹- در سوال ۱۳ اگر در لحظه  $t = 0$  یک نوترینوی  $\nu_e$  به وجود آمده باشد، احتمال آن که این نوترینو در زمان دلخواه

$t > 0$  به نوترینوی  $\nu_\mu$  تبدیل شود، چقدر است؟

(۱)  $\frac{1}{9}(1 - \cos 2\omega t)$

(۲)  $\frac{2}{9}(1 - \cos 3\omega t)$

(۳)  $\frac{2}{3}(1 - \cos 4\omega t)$

(۴)  $\frac{1}{3}(1 - \cos \omega t)$



۳۰- ذره‌ای به جرم  $m$  و انرژی  $E = \frac{\hbar^2 k^2}{2m}$  از پتانسیل کروی  $V(r) = V_0 e^{-\lambda r^2}$  به طور کشسان پراکنده می‌شود.  $V_0$  و  $\lambda$  مقادیر ثابت مثبتی هستند. سطح مقطع دیفرانسیلی پراکندگی در تقریب اول بورن کدام است؟ ( $\theta$  زاویه پراکندگی است.)

$$\frac{\pi m^2 V_0^2}{4 \hbar^4 \lambda^3} \exp\left(-\frac{2k^2 \sin^2(\theta/2)}{\lambda}\right) \quad (۱)$$

$$\frac{m^2 V_0^2}{2 \hbar^4 \lambda^3} \exp\left(-\frac{k^2 \sin^2(\theta/2)}{2\lambda}\right) \quad (۲)$$

$$\frac{\pi m^2 V_0^2}{4 \hbar^4 \lambda^3} \exp\left(-\frac{2k^2 \sin^2 \theta}{\lambda}\right) \quad (۳)$$

$$\frac{m^2 V_0^2}{2 \hbar^4 \lambda^3} \exp\left(-\frac{k^2 \sin^2 \theta}{2\lambda}\right) \quad (۴)$$

۳۱- بار الکتریکی به صورت سطحی با چگالی  $\sigma(r, \theta)$  روی نیم‌صفحه نامتناهی  $\varphi = \varphi_0$  توزیع شده است که  $(r, \theta, \varphi)$  مختصات کروی یک نقطه در فضا است. معادله پواسون برای پتانسیل الکتریکی  $\Phi(r, \theta, \varphi)$  کدام است؟

$$\nabla^2 \Phi(r, \theta, \varphi) = -\frac{\sigma(r, \theta) \delta(\varphi - \varphi_0)}{2\pi \epsilon_0 r^2 \sin \theta} \quad (۱)$$

$$\nabla^2 \Phi(r, \theta, \varphi) = -\frac{\sigma(r, \theta) \delta(\varphi - \varphi_0)}{\epsilon_0 r \sin \theta} \quad (۲)$$

$$\nabla^2 \Phi(r, \theta, \varphi) = -\frac{\sigma(r, \theta) \delta(\varphi - \varphi_0)}{2\pi \epsilon_0 r^2 \sin \theta} \quad (۳)$$

$$\nabla^2 \Phi(r, \theta, \varphi) = -\frac{\sigma(r, \theta)}{\epsilon_0} \delta(\varphi - \varphi_0) \quad (۴)$$

۳۲- یک پوسته کروی فرضی به مرکز  $O$  و شعاع  $R$  در فضایی که در آن بار الکتریکی ساکن وجود دارد در نظر بگیرید. اگر  $\bar{\Phi}_s$  پتانسیل الکتریکی متوسط روی سطح این پوسته و  $\bar{\Phi}_0$  پتانسیل الکتریکی در مرکز این پوسته باشد، کدام عبارت همواره درست است؟ ( $Q_{in}$  بار الکتریکی خالص داخل پوسته و  $Q_{out}$  بار الکتریکی خالص خارج پوسته است.)

(۱) اگر بار الکتریکی داخل پوسته وجود نداشته باشد  $\bar{\Phi}_0 = \bar{\Phi}_s$ .

(۲) اگر بار الکتریکی داخل پوسته وجود نداشته باشد  $\bar{\Phi}_0 = \bar{\Phi}_s / 4\pi$ .

(۳) اگر  $Q_{in} \neq 0$  و  $Q_{out} \neq 0$  در این صورت  $\bar{\Phi}_s = Q_{in} / 4\pi \epsilon_0 R$ .

(۴) اگر  $Q_{in} \neq 0$  و  $Q_{out} \neq 0$  در این صورت  $\bar{\Phi}_s = Q_{out} / 4\pi \epsilon_0 R$ .

۳۳- پتانسیل الکتریکی در داخل یک ناحیه استوانه‌ای به شعاع  $R$  متشکل از دو نیم پوسته نازک رسانای نامتناهی استوانه‌ای به شعاع  $R$  (که محور آن در راستای  $z$  است) با شرایط مرزی

$$\Phi(\rho, \varphi) = \frac{2V_0}{\pi} \tan^{-1} \left( \frac{2\rho R \sin \varphi}{R^2 - \rho^2} \right) \quad \text{به صورت} \quad \Phi(\rho = R, \varphi) = \begin{cases} V_0 & 0 \leq \varphi \leq \pi \\ -V_0 & \pi \leq \varphi \leq 2\pi \end{cases}$$

سطحی روی سطح داخلی دو نیم استوانه کدام است؟

$$\frac{2\varepsilon_0 V_0 \sin \varphi}{\pi R} \quad (۱)$$

$$\frac{2\varepsilon_0 V_0}{\pi R \sin \varphi} \quad (۲)$$

$$\frac{2\varepsilon_0 V_0 \sin \varphi}{\pi R} \quad (۳)$$

$$\frac{2\varepsilon_0 V_0}{\pi R \sin \varphi} \quad (۴)$$

۳۴- تابع گرین  $G(\vec{x}, \vec{x}') = \sum_{\ell=0}^{\infty} \sum_{m=-\ell}^{\ell} \frac{4\pi}{2\ell+1} \left( \frac{r_{<}^{\ell}}{r_{>}^{\ell+1}} - \frac{r_{<}^{\ell} r_{>}^{\ell}}{R^{2\ell+1}} \right) Y_{\ell m}(\theta, \varphi) Y_{\ell m}^*(\theta', \varphi')$  مربوط به ناحیه داخلی

یک کره شعاع  $R$  با شرط مرزی دیریشله است. پتانسیل الکتریکی در ناحیه بین یک پوسته کره‌ای عایق به شعاع  $a$  با توزیع بار سطحی  $\sigma(a, \theta, \varphi)$  و یک پوسته رسانای کره‌ای به شعاع  $b$  که در پتانسیل الکتریکی صفر داشته شده کدام است؟ (دو پوسته به صورت هم مرکز قرار گرفته اند و

$$A_{\ell m} = \int_{\theta'=0}^{\pi} \int_{\varphi'=0}^{2\pi} \sigma(a, \theta', \varphi') Y_{\ell m}^*(\theta', \varphi') a^2 d\Omega' \quad \text{و} \quad b > a$$

$$\Phi(\vec{x}) = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0} \sum_{\ell=0}^{\infty} \sum_{m=-\ell}^{\ell} A_{\ell m} \frac{4\pi}{2\ell+1} \left( \frac{r}{b} \right)^{\ell} \left( \frac{1}{b} - \frac{1}{r} \left( \frac{b}{r} \right)^{2\ell} \right) Y_{\ell m}(\theta, \varphi) \quad (۱)$$

$$\Phi(\vec{x}) = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0} \sum_{\ell=0}^{\infty} \sum_{m=-\ell}^{\ell} A_{\ell m} \frac{4\pi}{2\ell+1} \left( \frac{r}{a} \right)^{\ell} \left( \frac{1}{r} - \frac{1}{b} \left( \frac{r}{b} \right)^{2\ell} \right) Y_{\ell m}(\theta, \varphi) \quad (۲)$$

$$\Phi(\vec{x}) = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0} \sum_{\ell=0}^{\infty} \sum_{m=-\ell}^{\ell} A_{\ell m} \frac{4\pi}{2\ell+1} \left( \frac{a}{r} \right)^{\ell} \left( \frac{1}{r} - \frac{1}{b} \left( \frac{r}{b} \right)^{2\ell} \right) Y_{\ell m}(\theta, \varphi) \quad (۳)$$

$$\Phi(\vec{x}) = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0} \sum_{\ell=0}^{\infty} \sum_{m=-\ell}^{\ell} A_{\ell m} \frac{4\pi}{2\ell+1} \left( \frac{a}{b} \right)^{\ell} \left( \frac{1}{r} - \frac{1}{r} \left( \frac{b}{r} \right)^{2\ell} \right) Y_{\ell m}(\theta, \varphi) \quad (۴)$$

۳۵- توزیع باری در کل فضا با چگالی  $\rho(\vec{x}) = \frac{1}{16} \sqrt{\frac{2}{15\pi}} \frac{e}{a_0^3} \left(\frac{r}{a_0}\right)^2 \exp(-r/a_0) Y_{22}(\theta, \phi)$  وجود دارد. اگر در

هر نقطه پتانسیل الکتریکی را به صورت  $\Phi(\vec{x}) = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \sum_{\ell=0}^{\infty} \sum_{m=-\ell}^{\ell} \frac{4\pi}{2\ell+1} q_{\ell m} \frac{Y_{\ell m}(\theta, \phi)}{r^{\ell+1}}$  بنویسیم،

ضریب‌های  $q_{\ell m}$  کدام‌اند؟ (  $a_0$  مقدار ثابتی است.)

$$q_{\ell m} = 45 \sqrt{\frac{2}{15\pi}} e a_0^2 \delta_{\ell 2} \delta_{m 2} \quad (1)$$

$$q_{\ell m} = 315 \sqrt{\frac{2}{15\pi}} e a_0^2 \delta_{\ell 2} \delta_{m 2} \quad (2)$$

$$q_{\ell m} = \frac{3}{2} \sqrt{\frac{2}{15\pi}} e a_0^2 \delta_{\ell 2} \delta_{m 2} \quad (3)$$

$$q_{\ell m} = \frac{15}{2} \sqrt{\frac{2}{15\pi}} e a_0^2 \delta_{\ell 2} \delta_{m 2} \quad (4)$$

۳۶- کدام گزینه نادرست است؟

(۱) برای هر توزیع بار دلخواه، تعداد عناصر دگارتی مستقل تانسور  $2^\ell$  قطبی الکتریکی برابر  $2\ell + 1$  است.

(۲) رد تانسور  $Q_{ij}$ ، تانسور چهارقطبی الکتریکی دگارتی، برای هر توزیع بار دلخواه صفر است.

(۳) برای یک توزیع بار دلخواه، ممان‌های چند قطبی الکتریکی دگارتی مرتبه  $\ell$  مستقل از مبدأ مختصات‌اند.

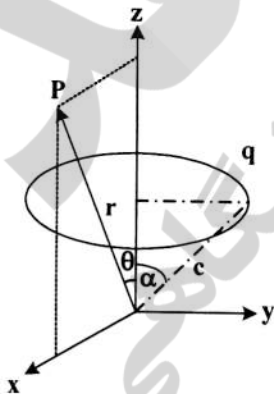
(۴) برای هر توزیع بار دلخواه، تانسور دگارتی  $2^\ell$  قطبی الکتریکی نسبت به تعویض هر دو اندیس دلخواه متقارن است.

۳۷- مرکز یک حلقه دایره‌ای مطابق شکل زیر روی محور  $z$  و صفحه حلقه موازی صفحه  $x-y$  است. شعاع

حلقه  $c \sin \alpha$  است و بار الکتریکی  $q$  به طور یکنواخت روی آن توزیع شده است. در نقطه  $P$  واقع در

صفحه  $x-z$  با مختصات کروی  $(r, \theta)$  پتانسیل الکتریکی کدام است؟ ( $r_>$  طول بزرگتر (کوچک‌تر)

بین  $r$  و  $c$  است.)



$$\Phi(r, \theta) = \frac{q}{4\pi\epsilon_0} \sum_{\ell=0}^{\infty} \left( \frac{r_>^\ell}{r_<^{\ell+1}} \right) P_\ell(\cos \alpha) P_\ell(\cos \theta) \quad (1)$$

$$\Phi(r, \theta) = \frac{q}{4\pi\epsilon_0} \sum_{\ell=0}^{\infty} \left( \frac{r_<^\ell}{r_>^{\ell+1}} \right) P_\ell(\cos \alpha) P_\ell(\cos \theta) \quad (2)$$

$$\Phi(r, \theta) = \frac{q}{4\pi\epsilon_0} \sum_{\ell=0}^{\infty} \left( \frac{r_>^\ell}{r_<^{\ell+1}} - \frac{r_<^\ell}{a^{\ell+1}} \right) P_{\ell+1}(\cos \alpha) P_\ell(\cos \theta) \quad (3)$$

$$\Phi(r, \theta) = \frac{q}{4\pi\epsilon_0} \sum_{\ell=0}^{\infty} \left( \frac{r_>^\ell}{a^{\ell+1}} - \frac{r_<^\ell}{a^{2\ell+1}} \right) P_{\ell+1}(\cos \alpha) P_\ell(\cos \theta) \quad (4)$$

۳۸- یک کره دی الکتریک خطی و همسانگرد به شعاع  $R$  و ثابت دی الکتریک  $K$  در هوا (با ثابت دی الکتریک تقریبی  $K_{\text{air}} = 1$ ) در حضور میدان الکتریکی ثابت خارجی  $\vec{E} = E_0 \hat{z}$  در نظر بگیرید. میدان الکتریکی در نقاط خارج از کره معادل مجموع میدان الکتریکی  $\vec{E}$  و میدان الکتریکی یک دو قطبی با ممان دو قطبی  $\vec{p}$  است. اندازه بردار  $\vec{p}$  کدام است؟

$$4\pi\epsilon_0 \left( \frac{K-1}{K+3} \right) E_0 R^3 \quad (1)$$

$$4\pi\epsilon_0 \left( \frac{K-1}{2K+1} \right) E_0 R^3 \quad (2)$$

$$4\pi\epsilon_0 \left( \frac{K-1}{3K+1} \right) E_0 R^3 \quad (3)$$

$$4\pi\epsilon_0 \left( \frac{K-1}{K+2} \right) E_0 R^3 \quad (4)$$

۳۹- پتانسیل نرده‌ای مغناطیسی در نقطه  $\vec{x}$  داخل و خارج کره‌ای به شعاع  $R$  با مغناطش یکنواخت  $\vec{M} = M_0 \hat{z}$  در مختصات کروی کدام است؟

$$\Phi_M(\vec{x}) = \frac{1}{3} M_0 R^2 \frac{r_{>}^2}{r_{<}^2} P_1(\cos\theta) \quad (1)$$

$$\Phi_M(\vec{x}) = \frac{1}{3} M_0 R^2 \frac{r_{>}^2}{r_{<}^2} P_1(\cos\theta) \quad (2)$$

$$\Phi_M(\vec{x}) = \frac{1}{3} M_0 R^2 \frac{r_{<}^2}{r_{>}^2} P_1(\cos\theta) \quad (3)$$

$$\Phi_M(\vec{x}) = \frac{1}{3} M_0 R^2 \frac{r_{>}^2}{r_{<}^2} P_1(\cos\theta) \quad (4)$$

۴۰- یک سیم لوله استوانه‌ای نامتناهی به شعاع  $R$  که در واحد طول آن  $n$  دور سیم حامل جریان  $I$  وجود دارد در نظر بگیرید. در مختصات استوانه‌ای که محور  $z$  آن منطبق بر محور سیم لوله است پتانسیل برداری در داخل و خارج سیم لوله کدام است؟ ( $\rho$  فاصله یک نقطه از محور  $z$  و  $\hat{\phi}$  بردار یکه در مختصات استوانه‌ای است.  $\rho_{>}$  طول بزرگتر (کوچک‌تر) بین  $\rho$  و  $R$  است.)

$$\mu_0 n I R \left( \frac{\rho_{<}}{\rho_{>}} \right) \hat{\phi} \quad (1)$$

$$\frac{1}{2} \mu_0 n I R \left( \frac{\rho_{>}}{\rho_{<}} \right) \hat{\phi} \quad (2)$$

$$\mu_0 n I R \left( \frac{\rho_{>}}{\rho_{<}} \right) \hat{\phi} \quad (3)$$

$$\frac{1}{2} \mu_0 n I R \left( \frac{\rho_{<}}{\rho_{>}} \right) \hat{\phi} \quad (4)$$



۴۱- اگر  $F^{\mu\nu}$  تانسور میدان الکترومغناطیسی باشد، حاصل عبارت  $\sum_{\mu=0}^3 \sum_{\nu=0}^3 F^{\mu\nu} F_{\mu\nu}$  متناسب با کدام کمیت

است؟ (۱)  $c=1$

(۱)  $E^2 - B^2$

(۲)  $E^2 + B^2$

(۳)  $\vec{E} \times \vec{B}$

(۴)  $(\vec{E} \times \vec{B}) \cdot (\vec{E} \times \vec{B})$

۴۲- یک موج الکترومغناطیسی تخت که در جهت  $\hat{z}$  منتشر می‌شود از ناحیه  $z < 0$  که عایق و دارای ضریب شکست  $n_1$  است به صورت عمود وارد ناحیه  $z > 0$  که عایق و دارای ضریب شکست  $n_2$  است، می‌شود. ضریب عبور کدام است؟

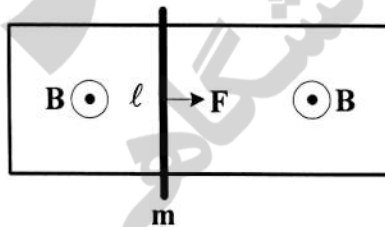
(۱)  $\left(\frac{n_2 - n_1}{n_2 + n_1}\right)^2$

(۲)  $\frac{4n_1 n_2}{(n_1 + n_2)^2}$

(۳)  $\frac{2n_2}{n_1 + n_2}$

(۴)  $\frac{2n_1}{n_1 + n_2}$

۴۳- سیمی به جرم  $m$  و طول  $\ell$  می‌تواند بدون اصطکاک روی ریل افقی  $U$  شکل رسانای بدون اصطکاکی بلغزد. از لحظه  $t=0$  سیم تحت تاثیر نیروی ثابت  $F$  که همواره به صورت افقی به آن وارد می‌شود از حالت سکون شروع به حرکت می‌کند. اگر مطابق شکل زیر میدان مغناطیسی یکنواخت  $\vec{B}$  عمود بر صفحه ریل اعمال شود، جریان القایی گذرنده از سیم کدام است؟ (مقاومت الکتریکی سیم را  $R$  فرض کنید و از مقاومت الکتریکی ریل و خودالقایی سیم صرف نظر کنید).



(۱)  $\frac{FB\ell}{mR} t \exp\left(-\frac{B^2 \ell^2}{mR} t\right)$

(۲)  $\frac{F}{B\ell} \left[1 - \cos\left(\frac{B^2 \ell^2}{mR} t\right)\right]$

(۳)  $\frac{F}{B\ell} \left[1 - \exp\left(-\frac{B^2 \ell^2}{mR} t\right)\right]$

(۴)  $\frac{FB\ell}{mR} t$

۴۴- در ناحیه بین دو پوسته استوانه‌ای هم‌محور نامتناهی به شعاع‌های  $a$  و  $b$  ( $b > a$ ) میدان‌های الکتریکی و مغناطیسی  $\vec{E} = \frac{\lambda}{2\pi\epsilon_0\rho}\hat{\rho}$  و  $\vec{B} = \frac{\mu_0 I}{2\pi\rho}\hat{\phi}$  ایجاد شده است. محور  $z$  منطبق بر محور مشترک استوانه‌ها و بردارهای  $(\hat{\rho}, \hat{\phi}, \hat{z})$  در مدارهای یکه در مختصات استوانه‌ای هستند. مقدار تکانه خطی الکترومغناطیسی ذخیره شده در واحد طول استوانه برای فضای میان دو پوسته کدام است؟

$$\frac{\mu_0 \lambda I}{\lambda \pi} \ln\left(\frac{b}{a}\right) \quad (۱)$$

$$\frac{\mu_0 \lambda I}{2\pi} \ln\left(\frac{b}{a}\right) \quad (۲)$$

$$\frac{\mu_0 \lambda I}{\lambda \pi} \left[ \frac{b}{a} - \ln\left(\frac{b}{a}\right) \right] \quad (۳)$$

$$\frac{\mu_0 \lambda I}{2\pi\epsilon_0} \left[ \frac{b}{a} - \ln\left(\frac{b}{a}\right) \right] \quad (۴)$$

۴۵-  $\vec{E}$  و  $\vec{B}$  به ترتیب بردارهای میدان الکتریکی و مغناطیسی در چارچوب مرجع  $S$  اند. از دید ناظری در چارچوب مرجع  $S'$  که با سرعت  $\vec{v}$  ( $\vec{\beta} = \vec{v}/c$ ) نسبت به  $S$  در حرکت است، میدان‌های الکتریکی و مغناطیسی  $\vec{E}'$  و  $\vec{B}'$  چه رابطه‌ای با  $\vec{E}$  و  $\vec{B}$  دارند؟

$$\vec{B}' = \gamma(\vec{B} + \vec{\beta} \times \vec{E}) - \frac{\gamma^2}{\gamma+1}(\vec{\beta} \cdot \vec{B})\vec{\beta} \quad \text{و} \quad \vec{E}' = \gamma(\vec{E} - \vec{\beta} \times \vec{B}) - \frac{\gamma^2}{\gamma+1}(\vec{\beta} \cdot \vec{E})\vec{\beta} \quad (۱)$$

$$\vec{B}' = \gamma(\vec{B} + \vec{\beta} \times \vec{E}) - \frac{\gamma^2}{\gamma+1}(\vec{\beta} \cdot \vec{B})\vec{\beta} \quad \text{و} \quad \vec{E}' = \gamma(\vec{E} + \vec{\beta} \times \vec{B}) - \frac{\gamma^2}{\gamma+1}(\vec{\beta} \cdot \vec{E})\vec{\beta} \quad (۲)$$

$$\vec{B}' = \gamma(\vec{B} - \vec{\beta} \times \vec{E}) - \frac{\gamma^2}{\gamma+1}(\vec{\beta} \cdot \vec{B})\vec{\beta} \quad \text{و} \quad \vec{E}' = \gamma(\vec{E} + \vec{\beta} \times \vec{B}) - \frac{\gamma^2}{\gamma+1}(\vec{\beta} \cdot \vec{E})\vec{\beta} \quad (۳)$$

$$\vec{B}' = \gamma(\vec{B} - \vec{\beta} \times \vec{E}) - \frac{\gamma^2}{\gamma+1}(\vec{\beta} \cdot \vec{B})\vec{\beta} \quad \text{و} \quad \vec{E}' = \gamma(\vec{E} - \vec{\beta} \times \vec{B}) - \frac{\gamma^2}{\gamma+1}(\vec{\beta} \cdot \vec{E})\vec{\beta} \quad (۴)$$



