



تعداد سؤالات: تستی: ۲۰ تشریحی: ۴

نام درس: مکانیک کوانتومی ۲

زمان آزمون: تستی: ۶۰ تشریحی: ۷۰ دقیقه

رشته تحصیلی/گد درس: فیزیک (هسته‌ای - جامد - اتمی) (۱۱۳۰۴۳)

آزمون نمره منفی دارد ○ ندارد ⊗

کد سری سؤال: یک (۱) استفاده از: ماشین حساب مجاز است. منبع:

پیامبر اعظم (ص): روزه سپر آتش جهنم است.

۱. اگر هامیلتونی ذره‌ای تحت دوران حول محوری ناورد، باشد کدام گزینه درست است؟

الف. متوسط تکانه زوایای ذره همیشه صفر است.

ب. متوسط مؤلفه تکانه خطی زده ثابت حرکت است.

ج. متوسط مؤلفه تکانه زوایای ذره در راستای این محور دوران به طور خطی با زمان تغییر می‌کند.

د. متوسط مؤلفه تکانه زوایای ذره در راستای این محور دوران ثابت حرکت است.

۲. تابع حالت یک اتم هیدروژن عبارت از  $\psi(r) = (2\psi_{100} + 5\psi_{200} + 6\psi_{210} + 8\psi_{320})X$  این تابع حالت می تواند

ویژه حالت همزمان چه عملگرهایی باشد؟  $(X, L_z)$  ویژه حالت عملگر  $S_z$  با ویژه مقدار  $\hbar/2$  است

الف.  $L^2, S^2, S_z$  ب.  $L_z, S_z, S^2$  ج.  $H, L_z, L^2$  د.  $H, L^2, S^2$

۳. کدام گزینه مقدار جابجاگر  $[L_-, L_z]$  می‌باشد.

الف.  $2\hbar L_z$  ب. صفر ج.  $-\hbar L_+$  د.  $\hbar L_-$

۴. هامیلتونی ذره‌ای در ۳ بعد  $H = \frac{A}{\hbar^2}(L_x^2 + L_y^2) + \frac{B}{\hbar}L_z$  است اگر مقدار اندازه حرکت مداری ذره‌ای  $\ell = 1$  باشد مقدار

انرژی آن کدام گزینه می‌باشد؟

الف.  $B, A, -B$  ب.  $2A, 2A - B, 2A + B$

ج.  $A - B, 2A, A + B$  د.  $A - B, A, A + B$

تعداد سوالات: تستی: ۲۰ تشریحی: ۴  
 زمان آزمون: تستی: ۶۰ تشریحی: ۷۰ دقیقه  
 آزمون نمره منفی دارد ○ ندارد ⊗

نام درس: مکانیک کوانتومی ۲  
 رشته تحصیلی/ گد درس: فیزیک (هسته‌ای - جامد - اتمی) (۱۱۳۰۴۳)

کد سری سؤال: یک (۱) استفاده از: ماشین حساب مجاز است. منبع:

۵. تابع موج  $\psi(r, t)$  تحت یک تبدیل پیمانه‌ای  $\psi(r, t) e^{-ie/\hbar c} x^3$  تبدیل می‌شود اگر  $\vec{A}$  پتانسیل برداری و  $\Phi$  پتانسیل الکتریکی باشد کدام گزینه نشان دهنده این تبدیل پیمانه‌ای است.

الف.  $\begin{cases} A(r, t) \rightarrow A(r, t) + \frac{ex^3}{\hbar c} \hat{i} \\ \varphi(r, t) \rightarrow \varphi(r, t) + 3x^3 \end{cases}$

ب.  $\begin{cases} A(r, t) \rightarrow A(r, t) - 3x \hat{i} \\ \varphi(r, t) \rightarrow \varphi(r, t) \end{cases}$

ج.  $\begin{cases} A(r, t) \rightarrow A(r, t) - 3x^3 \hat{i} \\ \varphi(r, t) \rightarrow \varphi(r, t) \end{cases}$

د.  $\begin{cases} A(r, t) \rightarrow A(r, t) + \frac{ie x^3}{\hbar c} \hat{i} \\ \varphi(r, t) \rightarrow \varphi(r, t) \end{cases}$

۶. تابع حالت ذره‌ای با اسپینور  $X = \frac{1}{\sqrt{2}} \begin{bmatrix} 1 \\ -1 \end{bmatrix}$  توصیف می‌شود احتمال این که اندازه گیری عملگر  $S_x$  به مقدار  $-\hbar/2$  منجر شود کدام است؟

الف. صفر  
 ب.  $\frac{1}{2}$   
 ج.  $\frac{1}{\sqrt{2}}$

۷. سیستمی متشکل از دو نوترون در حالت اندازه حرکت زاویه‌ای مداری  $L = 1$  است. نمایش طیفی مجاز این سیستم کدام است؟

الف.  $^3S_0, ^3P_0, ^3P_1$   
 ب.  $^1P_1, ^1P_3, ^1P_1$   
 ج.  $^3P_0, ^3P_1, ^3P_2$   
 د.  $^1P_1, ^3P_1, ^3P_0$

۸. در طیف اتمی ساختار فوق ریز ناشی از تصحیحات مربوط به کدام یک از بر همکنش‌های زیر است:

- الف. اسپین هسته و اندازه حرکت زاویه‌ای کل  
 ب. اسپین الکترون و اسپین هسته  
 ج. اسپین هسته و اندازه حرکت مداری الکترون  
 د. اسپین الکترون و اندازه حرکت مداری الکترون

نام درس: مکانیک کوانتومی ۲  
 رشته تحصیلی/ گد درس: فیزیک (هسته‌ای - جامد - اتمی) (۱۱۱۳۰۴۳)  
 تعداد سؤالات: تستی: ۲۰ تشریحی: ۴  
 زمان آزمون: تستی: ۶۰ تشریحی: ۷۰ دقیقه  
 آزمون نمره منفی دارد ○ ندارد ⊗

گد سری سؤال: یک (۱) استفاده از: ماشین حساب مجاز است. منبع:

۹. تابع موج کلی توصیف کننده اتم هلیوم در حالتی که یکی از الکترون‌های آن در حالت پایه  $\psi_{100}$  و الکترون دیگر آن در حالت  $\psi_{nlm}$  قرار گرفته است به صورت کدام یک از توابع می‌تواند باشد.

الف. سه تایی  $\psi_{100}(r_1)\psi_{nlm}(r_2)X$

ب. تک تایی  $\psi_{100}(r_1)\psi_{nlm}(r_2)X$

ج. تک تایی  $\frac{1}{\sqrt{2}}[\psi_{100}(r_1)\psi_{nlm}(r_2) + \psi_{nlm}(r_1)\psi_{100}(r_2)]X$

د. سه تایی  $\frac{1}{\sqrt{2}}[\psi_{100}(r_1)\psi_{nlm}(r_2) + \psi_{nlm}(r_1)\psi_{100}(r_2)]X$

۱۰. حالت  $n=2, \ell=1$  در اثر ناهنجار زیمان و در اثر میدان مغناطیسی خارجی بسیار قوی به ترتیب به چند حالت شکافته می‌شوند؟

الف. ۵ و ۶      ب. ۵ و ۶      ج. ۶ و ۶      د. ۴ و ۴

۱۱. تراز  $n$  ام از یک سیستم دارای تبهگنی دو گانه است اگر مؤلفه‌های ماتریس هامیلتونی اختلال  $H_1$  به صورت  $h_{11} = -h_{22} = 1, h_{21} = h_{12} = 2$  باشد اولین مرتبه اختلال در انرژی برای این زیر فضا چه مقدار است؟

الف. ۱ و ۳      ب. ۱- و ۱      ج.  $\sqrt{5}, -\sqrt{5}$       د.  $i\sqrt{3}, -i\sqrt{3}$

۱۲. تغییر انرژی الکترون اتم هیدروژن در حالت پایه تحت تأثیر میدان الکتریکی یکنواخت در اختلال مرتبه اول برابر است با:

الف. صفر      ب.  $eEa_0$       ج.  $\frac{3}{2}eEa_0$       د.  $\pm 3eEa_0$

۱۳. اختلال مرتبه دوم در نظریه اختلال غیر تبهگن برای انرژی حالت پایه درست است؟

الف. همیشه مقداری مثبت است.      ب. همیشه مقداری منفی است.  
 ج. بسته به علامت پتانسیل اختلال ممکن است مقدار آن مثبت یا منفی باشد.      د. همواره صفر است.

نام درس: مکانیک کوانتومی ۲  
 رشته تحصیلی: گد درس: فیزیک (هسته‌ای - جامد - اتمی) (۱۱۳۰۴۳)  
 تعداد سوالات: تستی: ۲۰ تشریحی: ۴  
 زمان آزمون: تستی: ۶۰ تشریحی: ۷۰ دقیقه  
 آزمون نمره منفی دارد ○ ندارد ⊗

گد سری سؤال: یک (۱) استفاده از: ماشین حساب مجاز است. منبع:

۱۴. هامیلتونی سیستمی  $H_0 = \begin{bmatrix} E_1 & 0 \\ 0 & E_2 \end{bmatrix}$  است که در آن  $E_1 > E_2$  است هامیلتونی اختلال  $H_1 = \begin{bmatrix} 0 & \delta \\ \delta & 0 \end{bmatrix}$  را به این هامیلتونی

می‌افزاییم با فرض این که  $E_1 - E_2 \gg \delta$  باشد ترازهای انرژی هامیلتونی  $H = H_0 + H_1$  کدام است؟ (از مرتبه  $\delta^2$  صرفنظر شود)

- الف.  $E_1, E_2 + \delta$   
 ب.  $E_1, E_2$   
 ج.  $E_1 + \delta, E_2$   
 د.  $E_1 + \delta, E_2 + \delta$

۱۵. اگر  $\psi_{nlm}$  ویژه تابع اتم هیدروژن باشد مقدار میانگین عملگر  $L_x$  در این حالت چقدر است؟

- الف. صفر  
 ب.  $mh$   
 ج.  $\sqrt{(l-x)(l+m+1)}$   
 د.  $\frac{\hbar}{2} \sqrt{(l-x)(l+m+1)} + \sqrt{(l+m)(l-m+1)}$

۱۶. اسپینی در  $t = 0$  با اسپینور  $\begin{bmatrix} 1 \\ 0 \end{bmatrix}$  توصیف می‌شود اسپین را در میدان  $\vec{B} = B\hat{k}$  قرار می‌دهیم پس از یک ثانیه احتمال این که

ذره در حالت اولیه باشد برابر کدام است؟

- الف.  $e^{-\pi i \omega}$   
 ب.  $\sin^2 \omega t$   
 ج. ۱  
 د. صفر

۱۷. مقدار چشم داشتی وارون فاصله الکترون از مرکز هسته در اتم‌های هیدروژن گونه توسط رابطه  $\langle \frac{1}{r} \rangle = \frac{Z}{a_0 n^2}$  داده می‌شود

که در آن  $Z$  عدد اتمی و  $a_0$  شعاع اتم بور و  $n$  شماره تراز الکترونی است با توجه به قضیه ویریا مقدار چشم داشتی انرژی

جنبشی یون هلیوم در حالت برانگیخته  $n = 2$  کدام است؟

- الف.  $-\frac{1}{2} \frac{e^2}{a_0}$   
 ب.  $-\frac{1}{4} \frac{e^2}{a_0}$   
 ج.  $\frac{1}{2} \frac{e^2}{a_0}$   
 د.  $\frac{1}{4} \frac{e^2}{a_0}$

نام درس: مکانیک کوانتومی ۲  
 رشته تحصیلی/ گد درس: فیزیک (هسته‌ای - جامد - اتمی) (۱۱۱۳۰۴۳)  
 تعداد سوالات: تستی: ۲۰ تشریحی: ۴  
 زمان آزمون: تستی: ۶۰ تشریحی: ۷۰ دقیقه  
 آزمون نمره منفی دارد ☐ ندارد ☒

گد سری سوال: یک (۱) استفاده از: ماشین حساب مجاز است. منبع:

۱۸. در فضای ترکیب دو الکترون با اسپین  $\frac{1}{2}$  ( $S = S_1 + S_2$ ) ویژه مقدار عبارت زیر کدام است؟  $S^2 (\frac{1}{\sqrt{2}} [1+ > 1- > +1- > 1+ >])$

الف. صفر ب.  $\frac{3}{2} \hbar^2$  ج.  $\frac{3}{4} \hbar^2$  د.  $2 \hbar^2$

۱۹. سیستمی شامل دو فرمیون با اسپین  $\frac{1}{2}$  و یک بوزون با اسپین ۱ است. اسپین کل سیستم چند حالت ممکن دارد؟

الف. ۱۲ ب. ۹ ج. ۶ د. ۳

۲۰. تعداد ماکزیمم‌های دامنه احتمال تابع موج شعاعی اتم هیدروژن برای  $\psi_{31}$  کدام است؟

الف. ۳ ب. ۲ ج. ۰ د. ۱

### سوالات تشریحی

(بارم هر سوال ۱/۷۵ می باشد)

۱. شار سه بعدی با رابطه زیر داده می‌شود  $\vec{J} = \frac{\hbar}{4\pi i m} [\psi^*(r) \nabla \psi(r) - \nabla \psi^*(r) \psi(r)]$ ، انتگرال شار شعاعی روی تمام

زاویه‌ها را محاسبه کنید. یعنی  $\int d\Omega \hat{r} \cdot \vec{J}$ ، را برای توابع موج زیر محاسبه کنید و نشان دهید این توابع به امواج کروی ورودی یا

خروجی مربوط می‌شوند.  

$$\psi(r) = C \frac{e^{\pm ikr}}{r} y_{L,m}(\theta, \Phi)$$

$$\int d\Omega |y_{L,m}(\theta, \Phi)|^2 = 1$$

۲. فرض کنید  $S = S_1 + S_2$ ، تکانه زاویه‌ای کل ذرات با اسپین ۱ است که از ترکیب آنها حالت‌های اسپین ۱ و ۰ بدست می‌آید بردارهای حالت این سه زیر فضا را بدست آورید از نماد زیر استفاده کنید.

$$|S, m_s\rangle = |S_1, m_1\rangle |S_2, m_2\rangle \equiv |m_1\rangle |m_2\rangle$$

مثال  $|2, 2\rangle = |1, 1\rangle |1, 1\rangle \equiv |1\rangle |1\rangle$



نام درس: مکانیک کوانتومی ۲

رشته تحصیلی/گد درس: فیزیک (هسته‌ای - جامد - اتمی) (۱۱۱۳۰۴۳)

تعداد سوالات: تستی: ۲۰ تشریحی: ۴

زمان آزمون: تستی: ۶۰ تشریحی: ۷۰ دقیقه

آزمون نمره منفی دارد ○ ندارد ⊗

گد سری سؤال: یک (۱)

استفاده از:

ماشین حساب

مجاز است.

منبع:

۳. دستگاهی با اسپین  $\frac{1}{2}$  را در نظر بگیرید ویژه مقدارها و ویژه بردارهای عمگر  $S_x + S_y$  را بدست آورید. فرض کنید این عملگر را اندازه‌گیری کرده‌ایم و دستگاه در حالت ویژه مقدار بزرگتر باشد. احتمال این را محاسبه کنید که از اندازه‌گیری  $S_z$  مقدار

$\frac{\hbar}{2}$  بدست آید.

$$V(x) = \begin{cases} \alpha x \rightarrow 0 \leq x \leq \frac{\pi}{2} \\ 0 \rightarrow \frac{\pi}{2} < x < \pi \end{cases}$$

۴. چاه پتانسیل بی نهایت که دیوارهای آن در  $x = \pi$  و  $x = 0$  قرار دارد با پتانسیل

مختل می‌شود در این صورت تغییر انرژی حالت پایه در مرتبه اول اختلال چقدر است؟