

۱- ذره‌ای با بار  $q$  و جرم  $m$  را در پتانسیل یک نوسانگر هماهنگ ساده ( $V = \frac{1}{2}m\omega^2x^2$ ) در نظر بگیرید. فرض کنید یک میدان الکتریکی خارجی در جهت محور  $x$  در سیستم اعمال می‌کنیم. در نتیجه انرژی پتانسیل  $V' = -qEx$  به هامیلتونی اضافه می‌شود.

الف) با استفاده از نظریه اختلال، انرژی تصحیح شده را تا مرتبه‌ی دوم و تصحیح مرتبه‌ی اول تابع موج را در تراز  $m$  بدست آورید.

ب) اگر هامیلتونی را بصورت  $H = \frac{p^2}{2m} + \frac{1}{2}m\omega^2\left(x - \frac{qE}{m\omega^2}\right)^2 - \frac{1}{2}\frac{q^2E^2}{m\omega^2}$  بازنویسی کنیم، جوابهای دقیق انرژی و ویژه حالت‌های این نوسانگر هماهنگ ساده حول نقطه‌ی  $\frac{qE}{m\omega^2}$  را با جواب بدست آمده از قسمت الف مقایسه کنید.

۲- با استفاده از بیان نسبیتی انرژی جنبشی در یک نوسانگر هماهنگ ساده در سه بعد، تغییر انرژی حالت پایه را بدست آورید.

۳- اگر حالت کلی برای یک ذره به جرم  $m$  و اسپین  $S$  که در پتانسیل  $V(r)$  در حرکت است بصورت زیر باشد:

$$H = \frac{1}{2m^2c^2} S \cdot L \frac{1}{r} \frac{dV(r)}{dr}$$

تاثیر این جفتشدگی بر روی طیف انرژی یک نوسانگر هماهنگ ساده‌ی سه بعدی چیست؟ (طیف انرژی نوسانگر هماهنگ ساده‌ی بدون اختلال  $\hbar\omega(2n_r + l + 3/2)$  است که در آن  $n_r = 0, 1, 2, \dots$  و  $l$  اندازه حرکت زاویه‌ای می‌باشد).

۴- در بررسی اثر استارک روی تراز دوم اتم هیدروژن ( $n = 2$ ) که دارای تبهگنی چهارگانه است (بدون در نظر گرفتن اسپین)، می‌بینیم که میدان الکتریکی دو ویژه حالت غیر اختلالی با  $m_l = 0$  را با هم ترکیب می‌کند اما دو حالت با

۱- و  $m_l = 1$  را در انرژی  $E_n^{(0)}$  تبهگن باقی می‌گذارد. یعنی ویژه حالت‌های جدید عبارتند از:

$$\varphi_+ = \frac{1}{\sqrt{2}}(|\varphi_{200}\rangle - |\varphi_{210}\rangle) \quad E_2^+$$

$$\varphi_- = \frac{1}{\sqrt{2}}(|\varphi_{200}\rangle + |\varphi_{210}\rangle) \quad E_2^-$$

و برای  $1 -$  و  $m_l = 1$  دو حالت زیر هر دو با انرژی  $E_2^{(0)}$ :

$$\varphi = |\varphi_{211}\rangle$$

$$\varphi = |\varphi_{21-1}\rangle$$

با توجه به انرژی تعاملی بین اتم و میدان الکتریکی توضیح دهید کدامیک از حالت‌های  $\varphi_+$  و  $\varphi_-$  می‌تواند پایدارتر باشد.