



باسمه تعالی  
وزارت آموزش و پرورش  
باشگاه دانش پژوهان جوان

«مبارزه‌ی علمی برای جوانان، زنده کردن روح جست‌وجو و کشف واقعیت‌هاست.»

امام خمینی (ره)

**بیست و دومین المپیاد فیزیک کشور**  
**مرحله‌ی دوم**  
**آزمون نظری: ۲ اردیبهشت ۱۳۸۸**

شروع: ۹:۴۵ الی ۱۳:۱۵

مدت آزمون: ۳ ساعت و ۳۰ دقیقه

**تذکرات:**

ضمن آرزوی موفقیت برای شما داوطلب گرامی، خواهشمند است به نکات زیر دقیقاً توجه فرمایید:

۱- این قسمت از آزمون شامل ۹ سؤال و وقت آن ۳ ساعت و ۳۰ دقیقه است.

۲- همه‌ی سؤال‌ها نمره‌ی مساوی دارد.

۳- نتایج این آزمون در اواخر خرداد ماه اعلام خواهد شد.

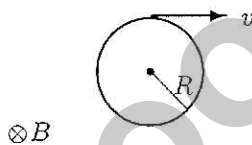
۴- هنگام آزمون همراه داشتن ماشین حساب و تلفن همراه (خاموش یا روشن) تخلف

محسوب می‌شود. لذا تلفن همراه و ماشین حساب خود را قبل از شروع آزمون به مسئول

حوزه تحویل دهید.

(۱) گشتاور دوقطبی مغناطیسی یک حلقه سیم دایره‌ای به شعاع  $R$  که جریان  $i$  از آن می‌گذرد برداری است که اندازه‌ی آن  $\mu = \pi R^2 i$  و جهت آن همان جهت میدان مغناطیسی در مرکز حلقه است. در فیزیک کلاسیک ساده‌ترین مدل برای حرکت الکترون‌ها حول هسته حرکت دایره‌ای یکنواخت است. این حرکت را می‌توان با یک حلقه‌ی جریان یک‌نواخت نشان داد.

الف) برای الکترونی که بار الکتریکی آن  $-e$  است، و مطابق شکل بر روی دایره‌ای به شعاع  $R$  با سرعت یک نواخت  $v$  می‌چرخد گشتاور دوقطبی مغناطیسی را به دست آورید. این شکل را روی پاسخنامه‌ی خود بکشید و جهت  $\mu$  را با علامت  $\otimes$  یا  $\odot$  مشخص کنید.



یک میدان مغناطیسی  $B$  که جهت آن در شکل مشخص شده است به اتم اعمال می‌کنیم. فرض کنید میدان مغناطیسی بر صفحه‌ی حرکت دایره‌ای یک نواخت الکترون عمود است. فرض کنید شعاع حرکت الکترون با اعمال میدان مغناطیسی ثابت می‌ماند ولی سرعت آن به اندازه‌ی  $\Delta v$  تغییر می‌کند. حتی برای قوی‌ترین میدان‌های مغناطیسی قابل تولید در آزمایشگاه  $\Delta v$  از  $v$  بسیار کوچک‌تر است.

ب)  $\Delta v$  را به دست آورید. جرم الکترون را  $m$  بگیرید.

ج) با اعمال این میدان مغناطیسی گشتاور دوقطبی مغناطیسی مربوط به حرکت الکترون دور هسته  $\mu + \Delta\mu$  می‌شود.  $\Delta\mu$  را به دست آورید.

د) برای الکترونی به جرم  $9/1 \times 10^{-31}$  kg و بار  $1/6 \times 10^{-19}$  C که در میدان مغناطیسی  $2/0$  T بر روی دایره‌ای به شعاع  $0/51$  Å می‌چرخد  $\Delta\mu$  چقدر است؟

۲) تلمبه ابزاری است که با وارد کردن نیرو به شاره‌ی درونش، مثلاً آب، میان شاره‌ی ورودی به تلمبه و شاره‌ی خروجی از تلمبه، اختلاف فشار پدید می‌آورد.

یک تلمبه با لوله‌ای به سطح مقطع  $A$ ، آب را از چاه بالا می‌کشد و آن را درون لوله‌ی قائمی به همان سطح مقطع می‌فرستد. فاصله‌ی تلمبه با سطح آب درون چاه  $h_1$  و ارتفاع لوله‌ی قائم بالای تلمبه  $h_2$  است. آب از بالای لوله‌ی قائم با سرعت  $u$  بیرون می‌جهد. فشار هوا  $P_0$  و چگالی آب را  $\rho$  بگیرید و از ارتفاع خود تلمبه چشم‌پوشید. دهانه‌ی چاه از قطر لوله‌ها بسیار بزرگ‌تر است. شتاب گرانش را  $g$  بگیرید. از اتلاف انرژی چشم‌پوشید.

الف) توان تلمبه،  $Q$ ، را حساب کنید.

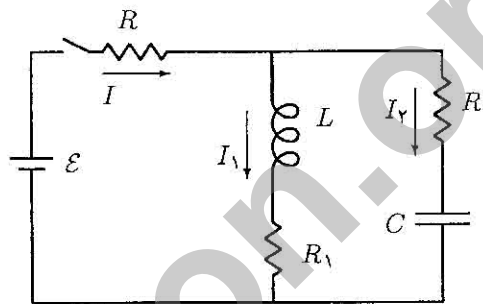
ب) فشار آب در خروجی تلمبه،  $P_2$  چه قدر است؟

ج) فشار آب در ورودی تلمبه،  $P_1$  چه قدر است؟

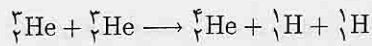
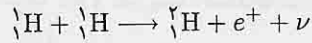
۳) مداری مانند شکل در نظر بگیرید. پیش از بستن کلید خالی است و از خودالفا جریانی نمی‌گذرد.

الف) بلافاصله پس از بستن کلید، مقدار بار خازن،  $q$ ، جریان‌های  $I_1$  و  $I_2$  و  $I$ ، و اختلاف پتانسیل دوسر خودالفا،  $V_L$ ، چه قدر است؟

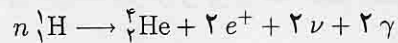
ب) پس از زمان طولانی از بستن کلید، مقدار همان کمیت‌های بند الف چه قدر است؟



۴) منبع انرژی خورشید واکنشهای هسته‌ای زیر است که به زنجیره‌ی پروتون - پروتون مشهور است.



در این واکنش‌ها،  $\nu$  ذره‌ای به نام نوترینو است. مجموع واکنشهای بالا به صورت



است.

الف) با توجه به واکنشهای بالا عدد  $n$  چیست؟

ب) برای تولید هر هسته‌ی هلیوم ( ${}^4_2\text{He}$ ) چند واکنش باید انجام شود؟

ج) می‌دانیم توان کل تابشی خورشید تقریباً  $4 \times 10^{26} \text{ W}$  است. جرم هسته‌ی هلیوم  $3.97 m_p$  است که در آن  $m_p$  جرم هسته‌ی هیدروژن (پروتون) است. تعداد واکنش‌هایی که در هر ثانیه باید درون خورشید انجام شود تا توان تابشی خورشید را تأمین کند چند تا است؟

$$m_p = 1.7 \times 10^{-27} \text{ kg}, \quad c = 3 \times 10^8 \text{ m/s.}$$

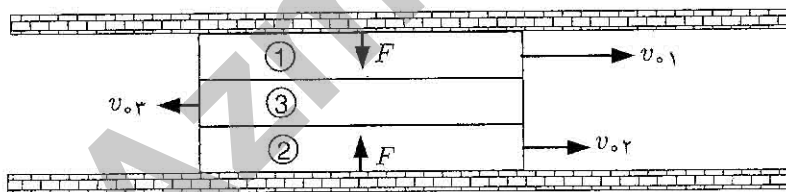
د) چند کیلوگرم هیدروژن بر ثانیه باید تبدیل به هلیوم شود تا این توان تابشی تأمین شود؟

۵) سه مکعب مستطیل بسیار طولی یک‌سان به جرم  $M$  روی زمین و بین دو دیوار ثابت قائم، در تماس با هم در حرکت‌اند، به طوری که تصویر آن‌ها از بالا مانند شکل است. ضریب اصطکاک ایستایی بین جسم‌ها  $\mu_s$  و ضریب اصطکاک لغزشی  $\mu_k$  است.  $\mu_s > \mu_k$ . اصطکاک بین جسم‌ها و زمین و هم چنین بین جسم‌ها و دیوار قابل چشم‌پوشی است. نیروی عمودی‌ای که دیوارها به جسم مجاورشان وارد می‌کنند را  $F$  بگیرید. اندازه‌ی سرعت اولیه‌ی جسم‌ها  $v_{0,1}$ ،  $v_{0,2}$  و  $v_{0,3}$  است.  $v_{0,1} > v_{0,2} > v_{0,3}$ . فرض کنید جسم‌ها و دیوارها آن‌قدر طولی‌اند که در تمام مدت حرکت در تماس با هم باقی می‌مانند.

الف) در یک نمودار منحنی سرعت - زمان را برای سه جسم بکشید.

ب) پس از چه مدت سرعت سه جسم یکی می‌شود؟

ج) انرژی تلف‌شده در این مدت چه قدر است؟

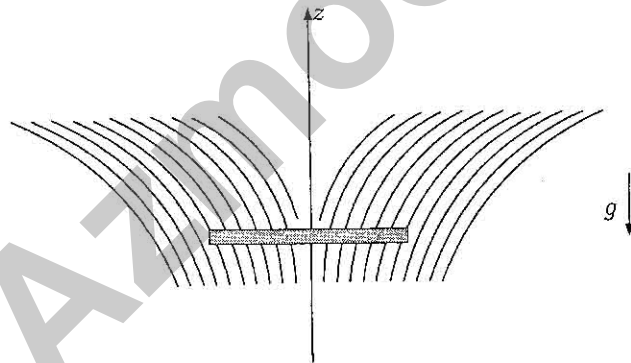


۶) رسانایی به شکل یک حلقه به مقاومت الکتریکی  $R$ ، و جرم  $m$  از ارتفاع بلندی در حضور یک میدان مغناطیسی سقوط می‌کند. میدان مغناطیسی حول محور قائم  $z$ ، که همان محور حلقه است، تقارن دارد و مؤلفه‌ی قائم آن  $B_z = B_0(1 + \alpha z)$  است. محور  $z$  در جهت قائم است.  $\alpha$  ثابت است. قطر حلقه  $D$  است، و صفحه‌ی حلقه هم‌واره افقی می‌ماند. از مقاوت هوا چشم‌پوشی کنید.

الف) جریان القایی در حلقه،  $I$ ، وقتی که حلقه در ارتفاع  $z$  است، چه قدر است؟ در این لحظه سرعت حلقه  $v$  است.  $I$  را بر حسب  $B_0, \alpha, D, R$  و  $v$  به دست آورید.

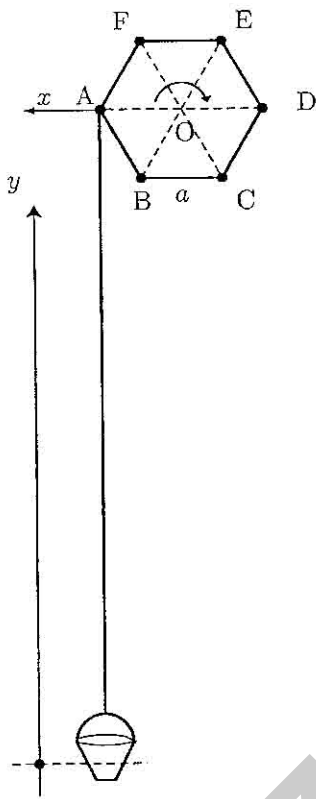
ب) پس از مدتی سرعت حلقه به سرعت حد  $v_f$ ، که ثابت است، میل می‌کند.  $v_f$  را بر حسب  $B_0, \alpha, D, m, R$  و شتاب گرانش  $g$  به دست آورید.

راه‌نمایی: وقتی سرعت حلقه به سرعت حد می‌رسد اتلاف انرژی در مقاومت الکتریکی باید از طریق انرژی پتانسیل گرانشی تأمین شود.



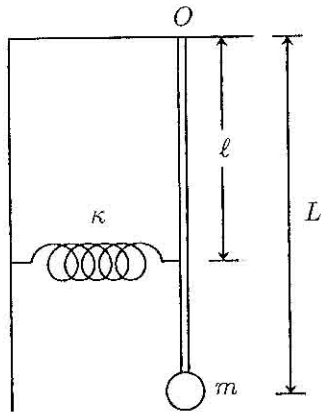
(۷) شکل مقابل مقطع قائم یک چرخ چاه قدیمی را نشان می‌دهد که از میله‌های افقی  $A, B, C, D, E, F$  تشکیل شده است که توسط پره‌هایی به محور دستگاه،  $O$ ، متصل شده‌اند. مقطع دستگاه یک شش ضلعی منتظم به طول ضلع  $a$  است. زاویه  $\theta$ ، زاویه‌ی میان پره‌ی  $OA$  و امتداد افقی  $Ox$  است. در ابتدا قسمت آزاد طناب از میله‌ی افقی  $A$  آویزان است و سطل در نقطه‌ی  $y = 0$  قرار دارد، و زاویه‌ی چرخش دستگاه،  $\theta$ ، نیز صفر است.

با چرخش دستگاه ارتفاع سطل،  $y$  را به عنوان تابعی از  $\theta$  به دست آورید و  $y(\theta)$  را برای  $0 < \theta < \pi$  رسم کنید. فرض کنید طناب هم‌واره قائم می‌ماند.





(۸)



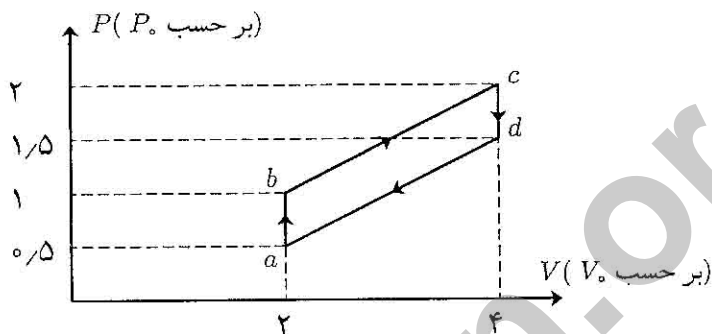
در دستگاه رویرو جرم وزنه  $m$  است، و جرم میله‌ی قائم متصل به آن ناچیز است. راستای فنر افقی و ضریب سختی آن  $\kappa$  است. میله می‌تواند حول محور افقی که از نقطه‌ی  $O$  می‌گذرد در صفحه‌ی قائم نوسان کند. یک سر فنر به دیوار قائم و سر دیگر آن به میله‌ی قائم محکم شده است. هنگامی که میله قائم است فنر کشیده یا فشرده نیست. میله را کمی از حال تعادل خارج و رها می‌کنیم. شتاب گرانش  $g$ ، طول میله  $L$ ، و فاصله‌ی نقطه‌ی  $O$  تا محل اتصال فنر به میله  $l$  است.

الف) عبارتی برای انرژی پتانسیل دستگاه بر حسب  $x$ ، جابه‌جایی افقی وزنه از حالت تعادل،  $\kappa$ ،  $l$ ، و  $L$  به دست آورید. توجه داشته باشید که برای زوایای کوچک (بر حسب رادیان) داریم

$$\sin \theta \simeq \theta, \quad \cos \theta \simeq 1 - \frac{\theta^2}{2}.$$

ب) انرژی مکانیکی دستگاه،  $E$  را بر حسب  $x$ ،  $v$ ،  $m$ ،  $\kappa$ ،  $l$ ، و  $L$  بنویسید و از طریق مشابهت آن با نوسانگر ساده، دوره‌ی تناوب حرکت نوسانی دستگاه را محاسبه کنید. در محاسبه‌ی انرژی، مؤلفه‌ی سرعت وزنه در راستای قائم را نادیده بگیرید.

۹) انرژی درونی گاز کامل تک‌اتمی  $U = \frac{3}{2}PV$  است، که  $P$  فشار، و  $V$  حجم گاز است. یک مول گاز کامل تک‌اتمی، چرخه‌ای مانند شکل را می‌بیناید.



الف) برای هر یک از چهار بخش چرخه، مقدار کار انجام شده روی گاز،  $W$ ، و مقدار گرمای داده شده به گاز،  $Q$ ، را به دست آورید. تمام پاسخ‌ها بر حسب  $P_0$  و  $V_0$  باشد.

ب) بازده چرخه را حساب کنید.