باسمه تعالی

جمهوری اسلامی ایران

وزارت آموزش و پرورش

سازمان ملّی پرورش استعدادهای درخشان

مبارزهٔ علمی برای جوانان، زنده‌کردن روح جست‌وجو و کشف واقعیّت‌هاست. «امام خمینی(ره)»

دفترچهٔ سؤالات مرحلهٔ اوّل سال ۱۴۰۱

سی و ششمین دورهٔ المپیاد فیزیک

کد دفترچه: ۱

تعداد سؤالات		مدّت آزمون
چهارگزینه‌ای	مسأله کوتاه	
۲۳	۸	۲۱۰ دقیقه

نام:	نام‌خانوادگی:	شمارهٔ صندلی:

توضیحات مهم

استفاده از هرنوع ماشین‌حساب ممنوع است.

۱- کد دفترچهٔ سؤالات شما ۱ است. این کد را در محلّ مربوط روی پاسخ‌نامه با مداد پر کنید، در غیر این‌صورت پاسخ‌نامهٔ شما تصحیح نخواهد شد.

۲- بلافاصله پس از آغاز آزمون، تعداد سؤالات داخل دفترچه و همهٔ برگه‌های دفترچهٔ سؤالات را بررسی نمایید، در صورت هرگونه نقصی در دفترچه، در اسرع وقت مسئول جلسه را مطّلع کنید.

۳- یک برگ پاسخ‌نامه در اختیار شما قرار گرفته که مشخّصات شما بر روی آن نوشته شده است، در صورت نادرست بودن آن، در اسرع وقت مسئول جلسه را مطّلع کنید. ضمناً مشخّصات خواسته شده در پایین پاسخ‌نامه را با مداد مشکی بنویسید.

۴- برگهٔ پاسخ‌نامه را دستگاه تصحیح می‌کند، پس آن را تا نکنید و تمیز نگه دارید و به علاوه، پاسخ هر پرسش را با مداد مشکی نرم در محلّ مربوط علامت بزنید. لطفاً خانهٔ مورد نظر را کاملاً سیاه کنید.

۵- دفترچه باید همراه پاسخ‌نامه تحویل داده شود.

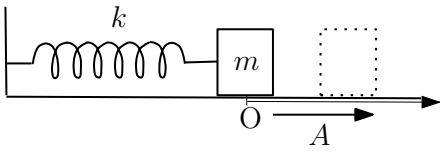
۶- در سوال‌های چهارگزینه‌ای هر پاسخ درست ۳ نمرهٔ مثبت و هر پاسخ نادرست ۱ نمرهٔ منفی دارد. در مسئله‌های کوتاه، هر پاسخ درست ۵ نمرهٔ مثبت و پاسخ نادرست نمرهٔ منفی ندارد.

۷- آزمون مرحلهٔ دوّم برای دانش‌آموزان پایهٔ دهم، صرفاً جنبهٔ آزمایشی و آمادگی دارد و شرکت‌کنندگان در دورهٔ تابستانی از بین دانش‌آموزان پایهٔ یازدهم انتخاب می‌شوند.

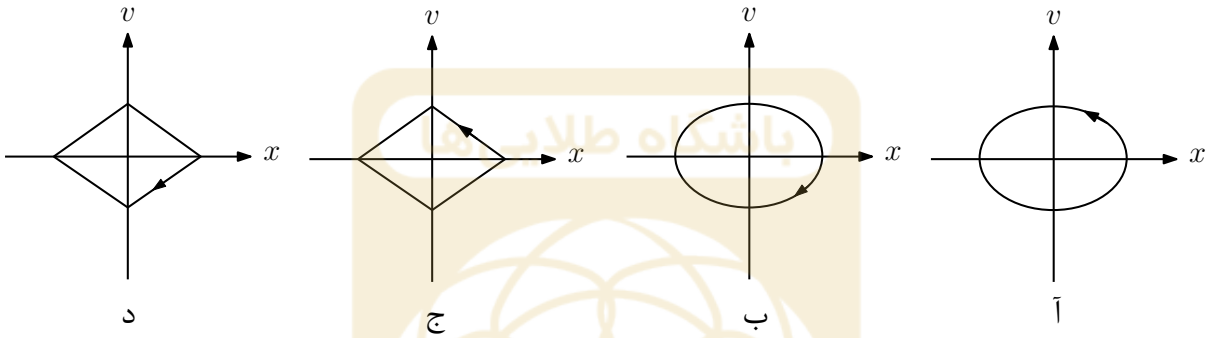
کلّیهٔ حقوق این سؤالات برای سازمان ملّی پرورش استعدادهای درخشان محفوظ است.

آدرس سایت اینترنتی: sampad.medu.ir

۱) جرم m در انتهای فنری به ضریب k بسته شده است. مطابق شکل، جرم m را از نقطهٔ تعادل به اندازهٔ طول A می‌کشیم و آن را بر روی میز افقی بدون اصطکاکی رها می‌کنیم.



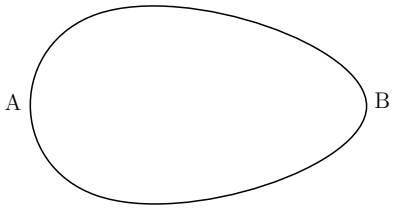
فرض کنید حالت لحظه‌ای دستگاه با نقطه‌ای به مختصات (x, v) در صفحهٔ $x - v$ داده می‌شود که x مکان و v سرعت ذره است. در طی زمان، نقطهٔ معرف دستگاه در صفحهٔ $x - v$ مسیری را طی می‌کند که به نمودار فاز معروف است. معمولاً با رسم یک پیکان بر روی نمودار فاز جهت حرکت نقطهٔ معرف دستگاه را مشخص می‌کنند. نمودار فاز نوسانگر فوق کدام گزینه است؟



۱) آ **۲)** ب **۳)** ج **۴)** د

---

۲) خودرویی در مسیری مطابق شکل دور می‌زند و اندازهٔ سرعت آن در طی حرکت ثابت است. کدام گزینه در مورد شتاب ذره درست است؟



۱) حرکت شتاب‌دار است و اندازهٔ شتاب خودرو در تمام مسیر یکسان است.

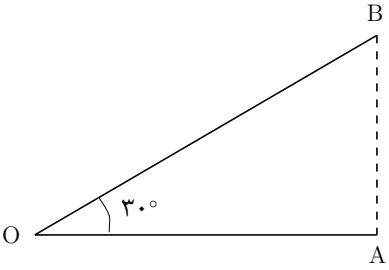
۲) حرکت شتاب‌دار است و اندازهٔ شتاب خودرو در نقطهٔ B بیشینه است.

۳) حرکت شتاب‌دار است و اندازهٔ شتاب خودرو در نقطهٔ A بیشینه است.

۴) حرکت بدون شتاب است.

---

۳) در شکل مقابل، یک چشمهٔ صوتی در نقطهٔ O قرار دارد و در تمام جهات فضا صدا را به طور یکسان پخش می‌کند. اگر تراز شدت صوت در نقطهٔ A، برابر ۲۰/۰ dB باشد، در نقطهٔ B تقریباً چقدر است؟ لگاریتم اعداد اول ۲ تا ۱۰ عبارتند از:

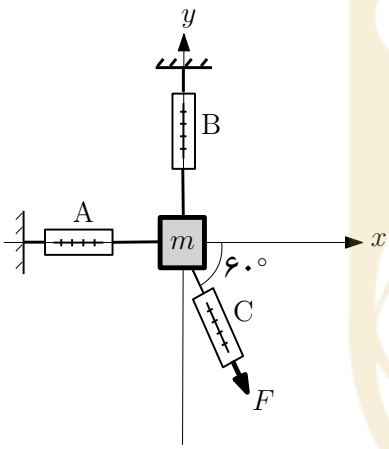


$\log ۲ = ۰/۳۰۱$ $\log ۳ = ۰/۴۷۷$ $\log ۵ = ۰/۶۹۹$ $\log ۷ = ۰/۸۴۵$

۱) ۱۵/۰ dB **۲)** ۱۷/۳ dB **۳)** ۱۸/۸ dB **۴)** ۲۱/۲ dB

---

۴) در شکل مقابل قطعهٔ مکعبی شکلی به جرم m بر روی میز افقی دارای اصطکاک قرار گرفته است. این جسم به سه نیروسنج متصل شده که نیروسنج‌های A و B بر روی محورهای x و y قرار دارند و به دو دیوار ثابت متصل‌اند. شکل، تصویر دستگاه را از بالا نشان می‌دهد. نیروسنج C در زاویهٔ ۶۰° نسبت به محور x قرار دارد. جسم m و نیروسنج‌ها همگی ساکن هستند. نیروسنج‌های A، B و C به ترتیب اعداد ۲۰ N، ۱۰ N و ۲۰ N را نشان می‌دهند. اندازهٔ نیروی اصطکاک ایستایی جسم m با میز چند نیوتن است؟



۱) ۵۰ **۲)** $۱۰\sqrt{۲-\sqrt{۳}}$ **۳)** $۱۰(۲-\sqrt{۳})$ **۴)** $۱۰\sqrt{۵-۲\sqrt{۳}}$

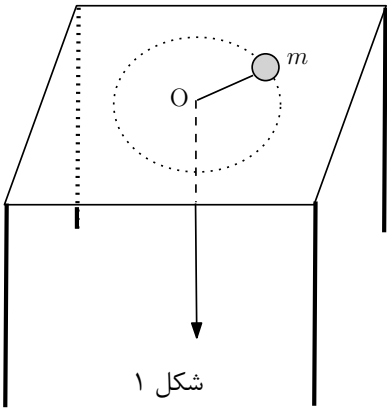
---

۵) فاصلهٔ کهکشان‌های مجاور از یکدیگر تقریباً ۱ Mpc (۱ مگا پارسک) است و هر کهکشان حدوداً $۱۰^{۱۱}$ ستاره با جرمی حدود جرم خورشید ($۲/۰ \times ۱۰^{۳۰}$ kg) دارد. با فرض این که جرم همهٔ کهکشان‌ها را به طور یکنواخت در جهان توزیع کنیم چگالی آن تقریباً چند برابر چگالی هوا در شرایط متعارفی خواهد شد؟ جرم مولی و حجم مولی هوا در شرایط متعارفی به ترتیب ۲۹ g/mol و ۲۲/۴ L/mol است. همچنین $۱ \text{ pc} = ۳/۱ \times ۱۰^{۱۳}$ km.

۱) $۱۰^{-۳۹}$ **۲)** $۱۰^{-۲۶}$ **۳)** $۱۰^{-۸}$ **۴)** $۱۰^{۱۹}$

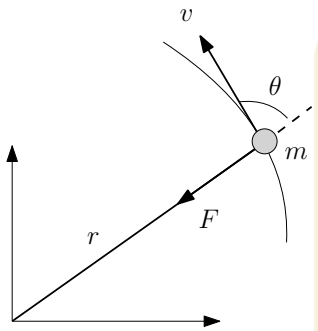
---

۶) بر روی میز افقی بدون اصطکاکی جرم کوچک m را به انتهای یک نخ بسته‌ایم. نخ از سوراخ O بر روی میز عبور کرده و از زیر میز قابل کشیدن است. با حرکت دادن جرم m در امتداد عمود بر نخ به نحوی که طول نخ روی میز ثابت باشد و اعمال نیروی کشش T بر نخ زیر میز، می‌توان جرم m را در مسیری دایره‌ای حرکت داد. اگر نخ زیر میز را به آرامی به سمت پایین بکشیم، سرعت و شعاع حرکت جرم m تغییر می‌کند.



شکل ۱

بنا بر قانونی موسوم به قانون پایستگی تکانهٔ زاویه‌ای هرگاه مطابق شکل ۲ به جرم m نیروی F در راستای شعاعی r وارد شود، کمیت $L = mvr\sin\theta$ که به آن اندازه حرکت زاویه‌ای می‌گوییم، ثابت می‌ماند. فرض کنید در ابتدا جرم m بر روی دایره‌ای به شعاع ثابت $r_۱$ می‌چرخد. نخ را به آرامی می‌کشیم تا طول نخ روی میز $r_۲$ شود به طوری که $r_۲ < r_۱$. مجدداً نخ را ثابت نگه می‌داریم تا جرم m بر روی دایره‌ای به شعاع $r_۲$ بچرخد. نسبت نیروی کشش نخ در وضعیت دوم به نیروی کشش نخ در وضعیت اول کدام گزینه است؟

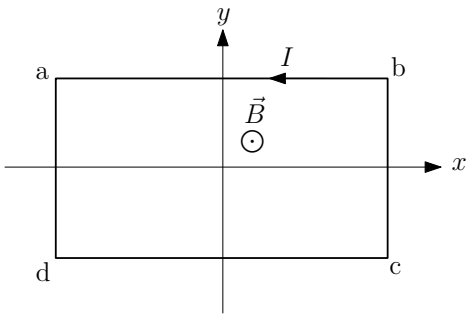


شکل ۲

۱) $\frac{r_۲}{r_۱}$ **۲)** $\frac{r_۱}{r_۲}$ **۳)** $(\frac{r_۲}{r_۱})^۳$ **۴)** $(\frac{r_۱}{r_۲})^۳$

---

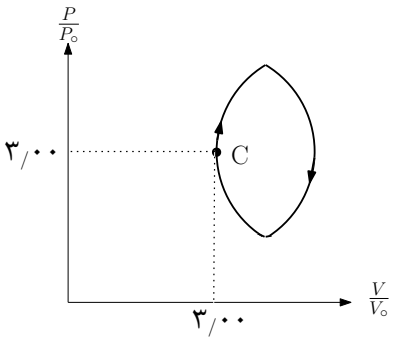
۷) در شکل مقابل، میدان مغناطیسی یکنواخت $\vec{B}$ عمود بر صفحهٔ شکل (در راستای محور z) و به سمت بیرون برقرار است. در سیم مستطیل شکل abcd به طور ناگهانی جریان I را برقرار می‌کنیم. کدام گزینه بعد از برقراری جریان صحیح است؟



۱) مستطیل حول محور x می‌چرخد.
۲) مستطیل حول محور y می‌چرخد.
۳) مستطیل حول محور z می‌چرخد.
۴) مستطیل نمی‌چرخد.

---

۸) در شکل مقابل یک چرخهٔ ترمودینامیکی در نمودار $P-V$ نشان داده شده است. فشارها بر حسب فشار معین $P_\circ$ و حجم‌ها بر حسب حجم معین $V_\circ$ اندازه‌گیری شده‌اند. به این ترتیب کمیت بدون یکای $P/P_\circ$ بر حسب کمیت بدون یکای $V/V_\circ$ رسم شده است.

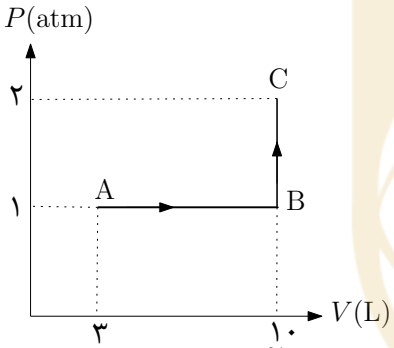


چرخه مورد نظر از تقاطع دو دایرهٔ یکسان به شعاع ۲/۰۰ تشکیل شده است که مرکز یکی از آن‌ها نقطهٔ $\mathrm{C}\,(۳/۰۰, ۳/۰۰)$ است. مرکز دایرهٔ دیگر نیز بر روی خط $P/P_\circ = ۳/۰۰$ و به فاصلهٔ ۲/۰۰ از نقطهٔ C قرار دارد. مقدار کار چرخه چقدر است؟

۱) $۲/۴۶\,P_\circ V_\circ$ **۲)** $۳/۳۲\,P_\circ V_\circ$ **۳)** $۴/۹۱\,P_\circ V_\circ$ **۴)** $۶/۶۴\,P_\circ V_\circ$

---

۹) معادلهٔ حالت گاز آرمانی با فرض نقطه‌ای بودن ذرات گاز به دست می‌آید. اگر به جای آن فرض کنیم ذرات گاز کره‌های کوچکی هستند، معادلهٔ حالت گاز به صورت $P(V-nb)=nRT$ خواهد شد که n تعداد مول‌های گاز و b ثابتی است که به نوع گاز بستگی دارد.



فرض کنید یک گاز غیرآرمانی که برای آن $b = ۰/۰۴\ \mathrm{L/mol}$ است فرآیند $\mathrm{A}\to\mathrm{B}\to\mathrm{C}$ را مطابق شکل در نمودار $P-V$ طی کند. تغییر انرژی داخلی برای n مول از این گاز و نیز n مول گاز آرمانی مشابه آن، از رابطهٔ $\Delta U = \frac{۵}{۲}nR\Delta T$ به دست می‌آید. اگر گرمای مبادله شده در این فرایند برای یک مول از این گاز، Q و برای یک مول از گاز آرمانی مشابه، Q' باشد، $Q-Q'$ کدام گزینه است؟

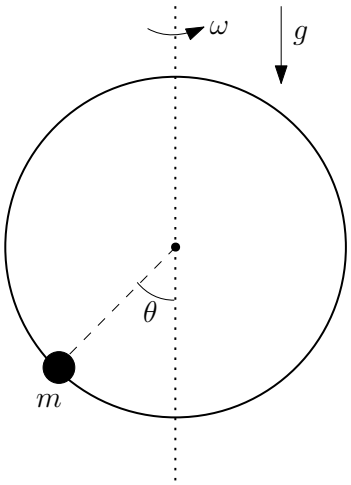
۱) $-۱۰\ \mathrm{J}$ **۲)** $-۶\ \mathrm{J}$ **۳)** $۶\ \mathrm{J}$ **۴)** $۱۰\ \mathrm{J}$

---

۱۰) برخی از ایزوتوپ‌های پرتوزا به چند طریق واپاشیده می‌شوند. ایزوتوپ پرتوزایی را در نظر بگیرید که از دو طریق مستقل با نیمه‌عمرهای ۶ روز و ۲ روز واپاشیده شود. بعد از ۶ روز چه کسری از هسته‌های این ایزوتوپ واپاشیده می‌شود؟

۱) $\frac{۳}{۸}$ **۲)** $\frac{۵}{۸}$ **۳)** $\frac{۷}{۱۶}$ **۴)** $\frac{۱۵}{۱۶}$

۱۱) سیم نازکی، به شکل حلقه‌ای دایره‌ای، مطابق شکل حول محور قائمی که از مرکز آن می‌گذرد با سرعت زاویه‌ای ثابت ω دوران می‌کند. محور دوران همواره منطبق بر قطر حلقه است. مهره کوچکی به جرم m همراه حلقه می‌چرخد، طوری که شعاع واصل به آن از مرکز حلقه با امتداد قائم همواره زاویهٔ ثابت θ می‌سازد. در سرعت زاویه‌ای ثابت، نیروی عمودی حلقه به مهره در صفحهٔ حلقه است. ضریب اصطکاک ایستایی بین حلقه و مهره μ_s است. نسبت بین بیشینه و کمینهٔ سرعت زاویه‌ای دوران $\omega_{\max}/\omega_{\min}$ برای این که مهره در امتداد حلقه به حرکت در نیاید، کدام است؟



۱) $\sqrt{\dfrac{\tan\theta+\mu_s}{\tan\theta-\mu_s}}$

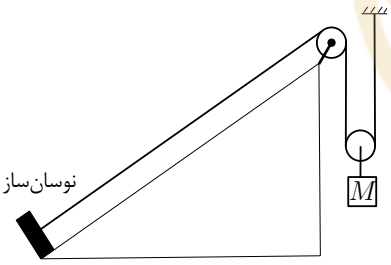
۲) $\sqrt{\left(\dfrac{1+\mu_s\tan\theta}{1-\mu_s\tan\theta}\right)\left(\dfrac{\tan\theta+\mu_s}{\tan\theta-\mu_s}\right)}$

۳) $\sqrt{\dfrac{1+\mu_s\tan\theta}{1-\mu_s\tan\theta}}$

۴) $\sqrt{\left(\dfrac{1-\mu_s\tan\theta}{1+\mu_s\tan\theta}\right)\left(\dfrac{\tan\theta+\mu_s}{\tan\theta-\mu_s}\right)}$

---

۱۲) در شکل مقابل ریسمانی که با سطح شیب‌دار موازی است توسط یک دستگاه نوسان‌ساز به طور عرضی به ارتعاش در آمده است. می‌خواهیم بسامد اولین هماهنگ وقتی جرم آویخته M است با بسامد دومین هماهنگ وقتی جرم آویخته $M+\Delta M$ است برابر باشد. ΔM کدام گزینه است؟ جرم قرقره‌ها را ناچیز بگیرید.



۱) $-\frac{3}{4}M$

۲) $-\frac{2}{3}M$

۳) $\frac{2}{3}M$

۴) $\frac{3}{4}M$

---

۱۳) در دستگاه بین‌المللی یکاها (SI) قانون کولن به صورت $F=k\frac{|q_1||q_2|}{r^2}$ است که نیرو بر حسب یکای N، بار الکتریکی بر حسب یکای C، فاصله بر حسب یکای m و $k=9/0\times10^9\ \mathrm{N\cdot m^2/C^2}$ است. در دستگاه یکاهای دیگری، قانون کولن را به صورت $F=\frac{|q_1||q_2|}{r^2}$ می‌نویسند که نیرو بر حسب یکای dyne (۱ N = 10^5 dyne)، بار الکتریکی بر حسب یکای esu و فاصله بر حسب یکای cm است. ۱ C معادل چند esu است؟

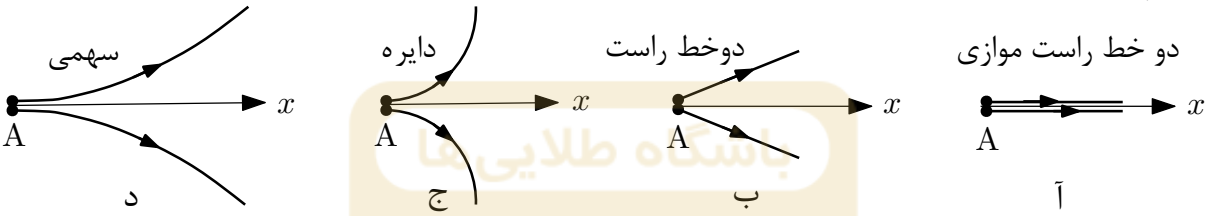
۱) $\sqrt{9\times10^{11}}$

۲) $\sqrt{9\times10^{13}}$

۳) 3×10^7

۴) 3×10^9

۱۴) یکی از فرایندهای شناخته شده در فیزیک ذرات، فرایند تولید زوج نام دارد. در این فرایند یک فوتون پرانرژی در برهم‌کنش با یک هستهٔ سنگین از بین می‌رود و یک زوج الکترون ـ پوزیترون تولید می‌کند. به کمک دستگاهی موسوم به اتاقک ابر می‌توان مسیر الکترون و پوزیترون را ترسیم کرد. فرض کنید یک زوج الکترون ـ پوزیترون در نقطهٔ A روی محور x در فاصلهٔ کمی از یکدیگر تولید شده‌اند و سرعت اولیهٔ هر دو در جهت x و تقریباً مساوی است. میدان مغناطیسی B عمود بر صفحهٔ شکل است. کدام شکل، مسیر این زوج در اتاقک ابر را نشان می‌دهد؟ از نیروی جاذبهٔ الکتریکی بین الکترون و پوزیترون در مقایسه با نیروی ناشی از میدان مغناطیسی چشم‌پوشی کنید.



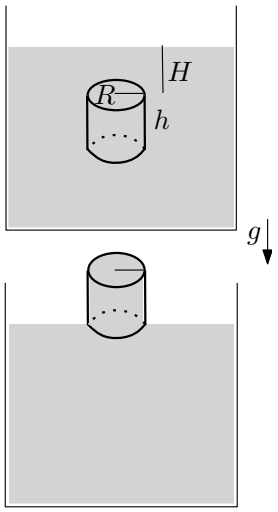
۱) آ ۲) ب ۳) ج ۴) د

---

۱۵) یکی از بازی‌های رایج در برنامه‌های تفریحی ژانگولر نام دارد. در یکی از انواع این نمایش تفریحی، بازیگر هم‌زمان N توپ کوچک یکسان را به پرواز در می‌آورد؛ به طوری که هر توپ هنگام بازگشت توسط بازیگر دست به دست شده و مجدداً به بالا پرتاب می‌شود. فرض کنید بازهٔ زمانی بین پرتاب دو توپ متوالی T باشد.

انرژی جنبشی هر توپ ضمن برخورد با دست بازیگر تلف می‌شود و بازیگر برای پرتاب مجدد باید به آن انرژی بدهد. با چشم‌پوشی از نیروی مقاومت هوا، کمینهٔ توان میانگین لازم برای انجام این بازی متناسب با کدام گزینه است؟

۱) $(N-۱)T$ ۲) $\frac{N-۱}{T}$ ۳) $(N-۱)^۲T$ ۴) $\frac{(N-۱)^۲}{T}$



۱۶) یک سطل استوانه‌ای به شعاع قاعدهٔ R و ارتفاع h دارای جرم و ضخامت ناچیز است. این سطل در ابتدا داخل یک استخر آب به حالت عمودی قرار دارد به طوری که فاصلهٔ لبهٔ بالایی آن از سطح آزاد آب استخر H است. شتاب گرانش g و چگالی آب ρ است. سطل را به آرامی و بدون ایجاد تلاطم به سمت بالا می‌کشیم تا جایی که سطل پر از آب، از استخر خارج شود و کف آن بر سطح آب مماس شود. در این فرایند چقدر باید روی سطل آب کار انجام دهیم؟

راهنمایی: برای محاسبهٔ انرژی پتانسیل سطل آب، آن را به صورت لایه‌های نازک آب در نظر بگیرید و با میانگین‌گیری، انرژی پتانسیل مجموع آن‌ها را به دست آورید.

۱) $\pi R^۲ \rho g h^۲$ **۲)** $\frac{۱}{۲}\pi R^۲ \rho g h^۲$ **۳)** $\pi R^۲ \rho g h(H+h)$ **۴)** $\pi R^۲ \rho g h(H+\frac{h}{۲})$

---

۱۷) گرمای تولید شده در خورشید ناشی از سوختن هیدروژن و تولید هلیوم است. سوختن هیدروژن در نتیجهٔ زنجیره‌ای از واکنش‌های هسته‌ای رخ می‌دهد. این زنجیره را می‌توان به طور خلاصه با واکنش

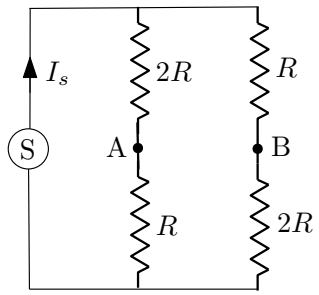
$$۴({}^{۱}_{۱}\mathrm{H}) + ۲\mathrm{e}^- \rightarrow {}^{۴}_{۲}\mathrm{He} + Q$$

بیان کرد که Q انرژی ایجاد شده در این واکنش به ازای تولید یک هستهٔ هلیوم است و مقدار تقریبی آن $Q \approx ۲۷\ \mathrm{MeV}$ است. توان تابشی خورشید معادل تغییر جرم خورشید به میزان ۴/۵ میلیون تن بر ثانیه است. تعداد پروتون‌های سوخته شده در خورشید در یک ثانیه کدام گزینه است؟

۱) ۴×۱۰^{۴۲} **۲)** ۴×۱۰^{۳۹} **۳)** ۴×۱۰^{۳۸} **۴)** ۴×۱۰^{۳۵}

---

۱۸) در مدار شکل مقابل، منبع جریان ثابت S جریان I_s تولید می‌کند. این جریان مستقل از آن که چه وسیله‌ای بین نقاط A و B وصل شود همواره ثابت است. اگر بین این دو نقطه ولت‌متر نصب کنیم ولتاژ V و اگر آمپرمتر وصل کنیم جریان I را نشان می‌دهد. نسبت V/I کدام گزینه است؟



۱) $\frac{۳}{۲}R$ ۲) $\frac{۳}{۴}R$ ۳) $۳R$ ۴) $۴R$

---

۱۹) دوقطبی الکتریکی، دستگاهی متشکل از دو بار الکتریکی نقطه‌ای $+q$ و $-q$ است که در فاصلهٔ کوچک d از یکدیگر قرار گرفته‌اند به طوری که حاصل ضرب qd کمیتی متناهی باشد. به این کمیت ممان دوقطبی الکتریکی گفته می‌شود. به این ترتیب اگر $\vec{d}$ را برداری از بار منفی به بار مثبت بگیریم، ممان دوقطبی با بردار $\vec{p} = q\vec{d}$ تعریف می‌شود. همان طور که می‌دانیم مولکول آب یک مولکول قطبی است که از دو اتم هیدروژن و یک اتم اکسیژن تشکیل شده است. فرض کنید در یک مدل ساده شده، دوقطبی الکتریکی مربوط به مولکول آب از بارهای نقطه‌ای $+۲e$ و $-۲e$ تشکیل شده که به فاصلهٔ ۱۹ pm از هم قرار دارند. این مولکول در فاصلهٔ ۱ cm از یک بار الکتریکی نقطه‌ای ۲ pC قرار می‌گیرد به طوری که هر سه بار در یک خط قرار داشته باشند. در این حالت نیروی الکتریکی وارد بر مولکول آب ۲×۱۰^{-n} نیوتن است. n کدام گزینه است؟
$e = ۱/۶ \times ۱۰^{-۱۹}\ \mathrm{C}$ و $k = ۹/۰ \times ۱۰^{۹}\ \mathrm{N \cdot m^۲/C^۲}$.

برای کمیت ϵ که قدرمطلق آن خیلی کوچک‌تر از عدد ۱ است می‌توانیم بنویسیم $(۱ + \epsilon)^m \approx ۱ + m\epsilon$.

۱) ۲۸ ۲) ۲۵ ۳) ۲۲ ۴) ۱۹

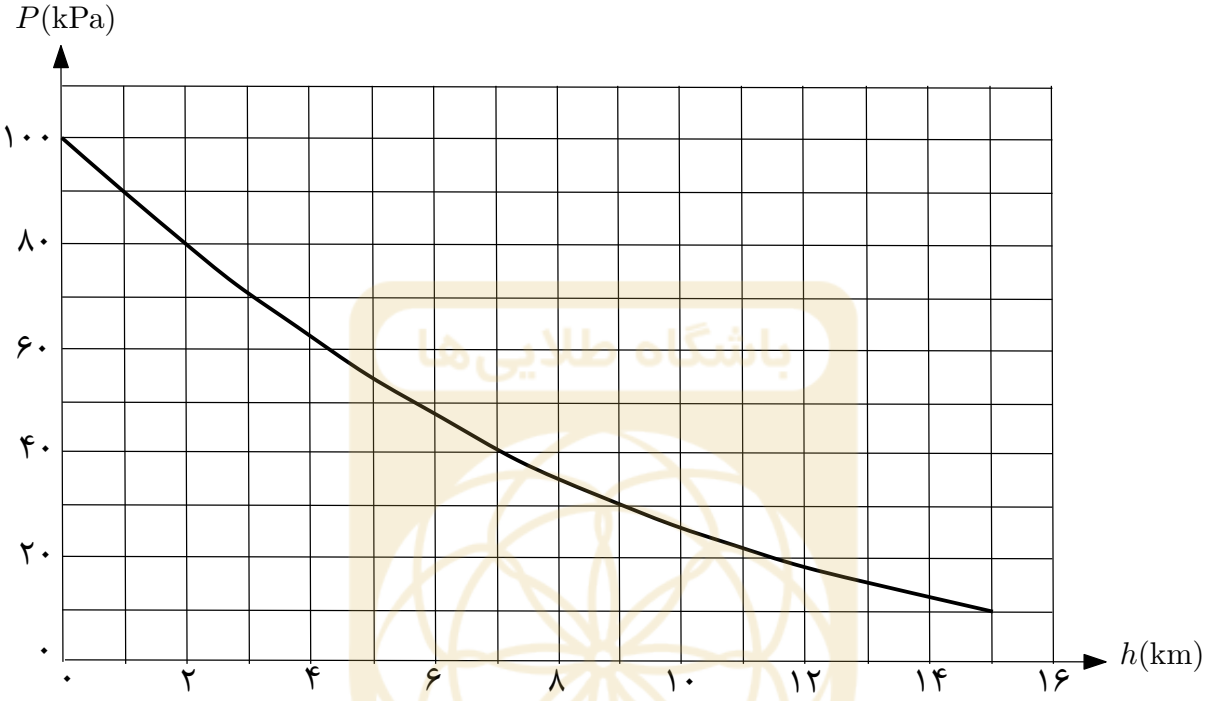
---

۲۰) سه گلولهٔ کوچک هر یک به جرم m و بار الکتریکی q از یک نقطهٔ مشترک به وسیلهٔ نخ‌های ابریشمی که طول هر کدام l است آویزان شده‌اند. شتاب گرانش g است. q چقدر باشد تا گلوله‌ها در گوشه‌های یک مثلث متساوی‌الاضلاع به طول ضلع d قرار گیرند؟ $k = ۱/۴\pi\epsilon_۰$

۱) $\sqrt{\frac{mgd^۳}{k\sqrt{۹l^۲ - ۳d^۲}}}$ ۲) $\sqrt{\frac{mgd^۳}{k\sqrt{۳l^۲ - d^۲}}}$ ۳) $\sqrt{\frac{mgd^۳}{\sqrt{۳}kl}}$ ۴) $\sqrt{\frac{mgd^۳}{۳kl}}$

---

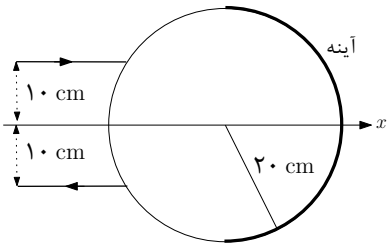
۲۱) در نمودار شکل زیر محور عمودی فشار هوا بر حسب کیلوپاسکال و محور افقی ارتفاع از سطح دریا را بر حسب کیلومتر نشان می‌دهد. با فرض ثابت بودن شتاب گرانش g، در فواصل کوتاه عمودی می‌توان از رابطهٔ $\Delta P = -\rho g \Delta h$ استفاده کرد که ρ چگالی، ΔP اختلاف فشار و Δh اختلاف ارتفاع است. نسبت چگالی هوا در ارتفاع ۱۵ کیلومتری به چگالی هوا در سطح دریا کدام گزینه است؟



۱) ۰/۹ ۲) ۰/۵ ۳) ۰/۲۵ ۴) ۰/۱

---

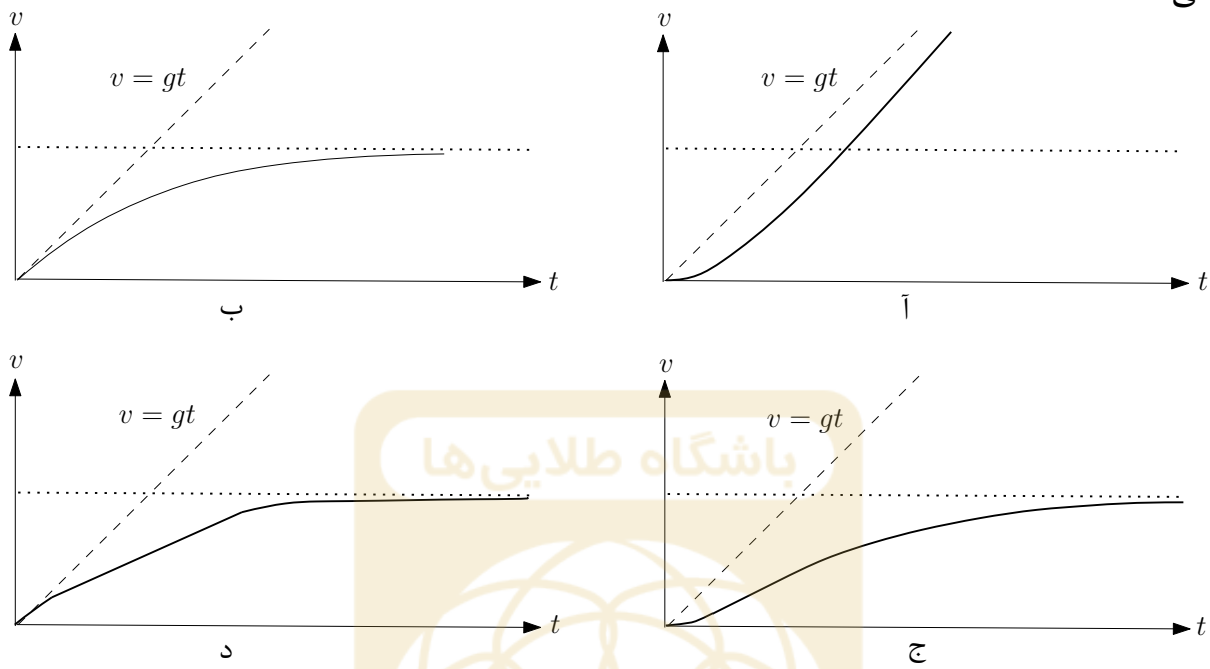
۲۲) مطابق شکل نیمی از سطح جانبی یک استوانهٔ شفاف به شعاع ۲۰ cm نقره‌اندود شده و مانند یک آینه می‌تواند نور را بازتاب کند. یک پرتو نور تک‌فام به موازات محور x (عمود بر محور استوانه) و به فاصلهٔ ۱۰ cm از آن به استوانه می‌تابد و پس از یک بار بازتاب از سطح نقره‌اندود شده به موازات محور x و زیر آن به صورت متقارن از استوانه خارج می‌شود.



پرتو تابش و بازتاب در صفحه‌ای عمود بر محور استوانه واقع‌اند. بر روی شکل پرتوهای یاد شده فقط در بیرون استوانه رسم شده‌اند. ضریب شکست ماده‌ای که استوانه از آن ساخته شده کدام گزینه است؟

۱) $2\cos(\frac{\pi}{12})$ ۲) $2\cos(\frac{\pi}{6})$ ۳) $\cos(\frac{\pi}{12}) + 1$ ۴) $\cos(\frac{\pi}{6}) + 1$

۲۳) یک قطرهٔ باران از زمان شروع سقوط در لحظهٔ $t = ۰$ تحت اثر نیروی مقاومت $F = -\gamma v$ از طرف هوا قرار دارد، که v سرعت قطره و γ ثابت است. کدام نمودار سرعت قطره با زمان را نشان می‌دهد؟



۱) آ ۲) ب ۳) ج ۴) د

مسئله‌های کوتاه

پیش از شروع به حل مسئله‌های کوتاه توضیح زیر را به **دقت** بخوانید.

در این مسئله‌ها باید پاسخ را برحسب واحدهای مورد نظر (مثلاً **میلی‌آمپر**، **متر**، **کیلوگرم**، **دقیقه** و غیره) که در صورت مسئله خواسته شده، با دو رقم به دست آورید. سپس خانه‌های مربوط به رقم‌های این عدد را در پاسخ‌نامه سیاه کنید. توجه کنید که رقم یکان عدد در ستون یکان، و رقم دهگان در ستون دهگان علامت زده شود.

مثال: فرض کنید ظرفیت خازنی برحسب **میکروفاراد** خواسته شده باشد و شما عدد $۲۶/۷\,\mu F$ را به دست آورده باشید. ابتدا آن را به نزدیک‌ترین عدد صحیح گرد کنید تا عدد ۲۷ میکروفاراد به دست آید. سپس مطابق شکل پاسخ خود را در پاسخ‌نامه وارد کنید.

پاسخ نادرست در این بخش نمره‌ی منفی ندارد.

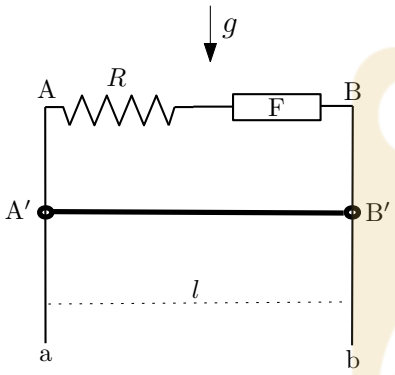
دهگان	یکان
0	0
1	1
2	2
3	3
4	4
5	5
6	6
7	7
8	8
9	9

۱) شخصی برای اندازه‌گیری عمق یک چاه، سنگ کوچکی را درست از لبهٔ چاه رها می‌کند. پس از T ثانیه از لحظهٔ رها کردن سنگ، صدای برخورد آن با کف چاه به گوش شخص، که در لبهٔ چاه است، می‌رسد. اگر سرعت صوت را مقدار معین ۳۳۰ m/s بگیریم عمق چاه h_1 به دست می‌آید و اگر سرعت صوت را نامتناهی بگیریم عمق چاه h_2 به دست می‌آید. نسبت این دو عمق ۰/۹۵ است. عمق واقعی چاه چند **متر** است؟ $g = ۹/۸\ \mathrm{m/s^2}$.

برای کمیت ϵ که قدرمطلق آن خیلی کوچک‌تر از عدد ۱ است می‌توانیم بنویسیم $\sqrt{۱+\epsilon} \approx ۱ + \frac{\epsilon}{۲}$.

---

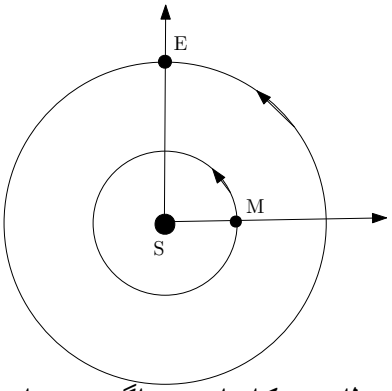
۲) دو میلهٔ رسانای بلند Aa و Bb در صفحهٔ قائم به موازات یکدیگر و به فاصلهٔ $l = ۳۰\ \mathrm{cm}$ از هم قرار دارند. بین نقاط A و B مقاومت الکتریکی R و فیوز با مقاومت ناچیز F مطابق شکل متصل‌اند. میلهٔ رسانا و افقی $A'B'$ توسط دو حلقهٔ اتصال در تماس الکتریکی دائمی با میله‌های قائم است و می‌تواند بدون اصطکاک بر روی آن‌ها بلغزد. شتاب گرانش g است و میله از حالت سکون شروع به حرکت می‌کند. از مقاومت الکتریکی میله‌ها چشم‌پوشی کنید.



میدان مغناطیسی افقی و یکنواخت $B = ۱/۰\ \mathrm{T}$ عمود بر سطح این مجموعه برقرار است. فیوز F حداکثر می‌تواند اجازهٔ عبور جریان ۰/۵۰ A بدهد. حداکثر جرم میلهٔ $A'B'$ چند **گرم** باشد تا فیوز جریان مدار را قطع نکند؟

---

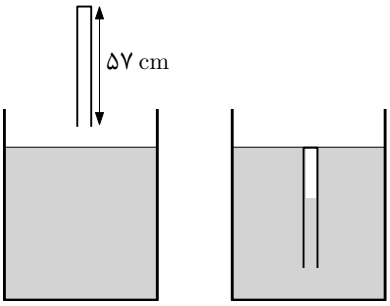
۳) در یک منظومه مشابه منظومهٔ شمسی سیاره‌های M و E به صورت هم‌جهت، مطابق شکل در مدارهایی با حرکت دایره‌ای یکنواخت به دور ستارهٔ S که در مرکز مدارها قرار دارد، می‌چرخند. مدارهای حرکت دو سیاره در یک صفحه قرار دارند. زمان یک دور چرخش سیارهٔ M به دور ستاره ۶۰ روز و زمان یک دور چرخش سیارهٔ E به دور ستاره ۳۶۰ روز است.



فرض کنید در زمان t_1 وضعیت قرار گرفتن سیاره‌ها در مدارهایشان مطابق شکل است. اگر در زمان t_2 سیاره‌ها برای اولین بار در دورترین فاصله از یکدیگر قرار گیرند، $t_2 - t_1$ چند **روز** است؟

---

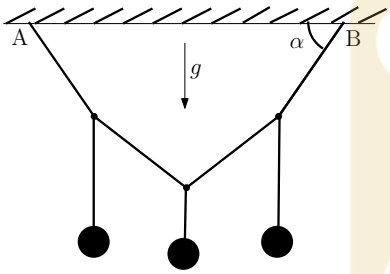
۴) لوله‌ای به ارتفاع ۵۷ سانتی‌متر که انتهای آن بسته است را وارونه کرده و از هوا به طور کامل داخل مایع جیوه می‌کنیم، به طوری که لوله در حالت قائم قرار گیرد و انتهای بستهٔ لوله هم‌تراز سطح آزاد مایع جیوه باشد. به این ترتیب مقداری جیوه داخل لوله می‌شود و حجم هوای محبوس شده را کاهش می‌دهد. از خاصیت مویینگی چشم‌پوشی کنید.



اگر آنقدر صبر کنیم که دمای هوای داخل لوله به دمای محیط برسد، طول ستون هوای داخل لوله چند **سانتی‌متر** است؟ فشار هوای محیط برابر ۷۶ سانتی‌متر جیوه است.

---

۵) ریسمانی را در نظر بگیرید که مطابق شکل به دو نقطهٔ A و B از سقف متصل است. سه جسم هر یک به جرم ۱۰۰ g را به سه نقطه از این ریسمان طوری آویزان کرده‌ایم که طول ریسمان به چهار قسمت مساوی تقسیم شود. اگر زاویهٔ α برابر ۶۰° و فاصلهٔ A تا B برابر ۵۰ cm باشد، طول کل ریسمان چند **سانتی‌متر** است؟ $\sqrt{۳} \cong ۱/۷۳$



---

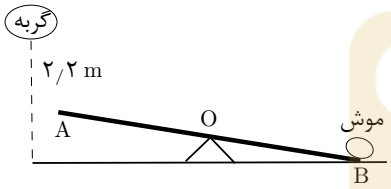
۶) یک بالن در هوای بالای سطح یک دریاچه که فشار هوا $۱/۰ \times ۱۰^۵$ Pa است قرار دارد. در این هوا حجم بالن ۰/۵۰ L است و از هوا با چگالی $۱/۳$ kg/m^۳ پر شده است. یک وزنهٔ آهنی به جرم ۲۴۰ g به آن می‌بندیم. اگر این مجموعه را روی سطح آب یک دریاچه رها کنیم به دلیل اثر نیروی شناوری کاملاً زیر آب نمی‌رود. اگر با وارد کردن نیروی خارجی این مجموعه را به زیر آب ببریم، به طوری که مرکز بالن از عمق $h_۰$ پایین‌تر برود دیگر نیروی شناوری آن را به بالا برنمی‌گرداند. $h_۰$ چند **متر** است؟ چگالی آهن را ۷۹۰۰ kg/m^۳، چگالی آب دریاچه را $۱/۰ \times ۱۰^۳$ kg/m^۳ و شتاب گرانش را ۹/۸ m/s^۲ بگیرید. هوا را گاز آرمانی فرض کنید. همچنین فرض کنید دمای آب دریاچه با دمای هوا در سطح دریاچه یکسان است. در زیر آب، فشار هوای داخل بالن را با فشار آب هم‌تراز با مرکز بالن یکسان بگیرید.

---

۷) فرض کنید تمام الکترون‌های بدن یک انسان ۵۰ کیلوگرمی را از او جدا کنیم و در نقطه‌ای به فاصلهٔ ۱۰۰ متری او قرار دهیم. اندازهٔ نیروی جاذبهٔ الکتریکی که به وی وارد می‌شود را بر حسب **نیوتن** حساب کنید. اگر جواب شما بین $۰/۳ \times ۱۰^{n}$ و ۳×۱۰^{n} باشد می‌گوییم مرتبهٔ بزرگی نیرو ۱۰^{n} است. عدد n در این مسئله چقدر است؟ فرض کنید عمدهٔ حجم بدن انسان از آب تشکیل شده است. جرم هر مول آب $18\ \mathrm{g}$، عدد اتمی اکسیژن ۸، عدد اتمی هیدروژن ۱، بار الکتریکی الکترون $۱/۶ \times ۱۰^{-۱۹}\ \mathrm{C}$، عدد آووگادرو $۶/۰۲ \times ۱۰^{۲۳}\ \mathrm{mol^{-۱}}$ و $k = ۹/۰ \times ۱۰^{۹}\ \mathrm{N \cdot m^{۲}/C^{۲}}$ است.

---

۸) در کارتون معروف موش و گربه گاهی دیده‌اید که مثلاً گربه با پریدن بر روی یک سر آزاد الاکلنگ، موش را تا فراز ابرها به آسمان می‌پراند. برای بررسی درستی این پدیده فرض کنید الاکلنگ AB مطابق شکل ساکن است و تکیه‌گاه O در وسط آن قرار دارد.



موش در نقطهٔ B ساکن است و نقطهٔ A در فاصلهٔ یک متری از سطح زمین است. گربه از ارتفاع $۲/۲\ \mathrm{m}$ نسبت به سطح زمین بر روی نقطهٔ A فرود می‌آید. با استفاده از فرض‌های زیر معلوم کنید موش حداکثر چند **دسی‌متر** از سطح زمین بالاتر می‌رود؟

فرض‌ها:

۱) جرم موش در مقابل جرم گربه و الاکلنگ ناچیز است.

۲) هنگام برخورد گربه به الاکلنگ سرعت آن نصف می‌شود.

۳) در مدتی که الاکلنگ در حال حرکت است انرژی جنبشی آن با انرژی جنبشی گربه برابر است.

۴) الاکلنگ تغییر شکل نمی‌دهد و موقع رسیدن نقطهٔ A به زمین، گربه و الاکلنگ ناگهان ساکن می‌شوند.

باسمه تعالی

جمهوری اسلامی ایران

وزارت آموزش و پرورش

سازمان ملّی پرورش استعدادهای درخشان

مبارزهٔ علمی برای جوانان، زنده‌کردن روح جست‌وجو و کشف واقعیّت‌هاست. «امام خمینی(ره)»

دفترچهٔ سؤالات مرحلهٔ اوّل سال ۱۴۰۱

سی و ششمین دورهٔ المپیاد فیزیک

کد دفترچه: ۲

تعداد سؤالات		مدّت آزمون
چهارگزینه‌ای	مسأله کوتاه	
۲۳	۸	۲۱۰ دقیقه

نام:	نام‌خانوادگی:	شمارهٔ صندلی:

توضیحات مهم

استفاده از هرنوع ماشین‌حساب ممنوع است.

۱- کد دفترچهٔ سؤالات شما ۲ است. این کد را در محلّ مربوط روی پاسخ‌نامه با مداد پر کنید، در غیر این‌صورت پاسخ‌نامهٔ شما تصحیح نخواهد شد.

۲- بلافاصله پس از آغاز آزمون، تعداد سؤالات داخل دفترچه و همهٔ برگه‌های دفترچهٔ سؤالات را بررسی نمایید، در صورت هرگونه نقصی در دفترچه، در اسرع وقت مسئول جلسه را مطّلع کنید.

۳- یک برگ پاسخ‌نامه در اختیار شما قرار گرفته که مشخّصات شما بر روی آن نوشته شده است، در صورت نادرست بودن آن، در اسرع وقت مسئول جلسه را مطّلع کنید. ضمناً مشخّصات خواسته شده در پایین پاسخ‌نامه را با مداد مشکی بنویسید.

۴- برگهٔ پاسخ‌نامه را دستگاه تصحیح می‌کند، پس آن را تا نکنید و تمیز نگه دارید و به علاوه، پاسخ هر پرسش را با مداد مشکی نرم در محلّ مربوط علامت بزنید. لطفاً خانهٔ مورد نظر را کاملاً سیاه کنید.

۵- دفترچه باید همراه پاسخ‌نامه تحویل داده شود.

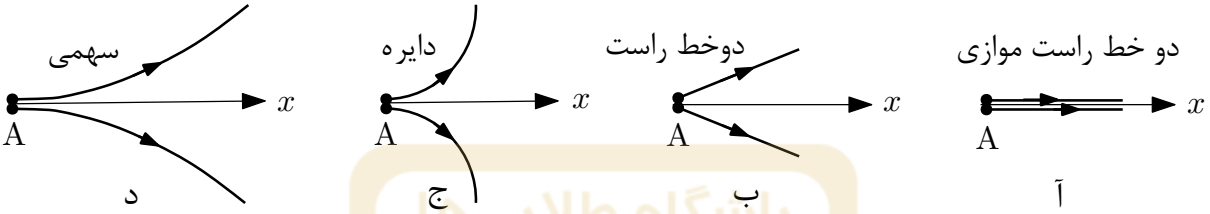
۶- در سوال‌های چهارگزینه‌ای هر پاسخ درست ۳ نمرهٔ مثبت و هر پاسخ نادرست ۱ نمرهٔ منفی دارد. در مسئله‌های کوتاه، هر پاسخ درست ۵ نمرهٔ مثبت و پاسخ نادرست نمرهٔ منفی ندارد.

۷- آزمون مرحلهٔ دوّم برای دانش‌آموزان پایهٔ دهم، صرفاً جنبهٔ آزمایشی و آمادگی دارد و شرکت‌کنندگان در دورهٔ تابستانی از بین دانش‌آموزان پایهٔ یازدهم انتخاب می‌شوند.

کلّیهٔ حقوق این سؤالات برای سازمان ملّی پرورش استعدادهای درخشان محفوظ است.

آدرس سایت اینترنتی: sampad.medu.ir

۱) یکی از فرایندهای شناخته شده در فیزیک ذرات، فرایند تولید زوج نام دارد. در این فرایند یک فوتون پرانرژی در برهم‌کنش با یک هستهٔ سنگین از بین می‌رود و یک زوج الکترون ـ پوزیترون تولید می‌کند. به کمک دستگاهی موسوم به اتاقک ابر می‌توان مسیر الکترون و پوزیترون را ترسیم کرد. فرض کنید یک زوج الکترون ـ پوزیترون در نقطهٔ A روی محور x در فاصلهٔ کمی از یکدیگر تولید شده‌اند و سرعت اولیهٔ هر دو در جهت x و تقریباً مساوی است. میدان مغناطیسی B عمود بر صفحهٔ شکل است. کدام شکل، مسیر این زوج در اتاقک ابر را نشان می‌دهد؟ از نیروی جاذبهٔ الکتریکی بین الکترون و پوزیترون در مقایسه با نیروی ناشی از میدان مغناطیسی چشم‌پوشی کنید.



آ ب ج د

۱) آ **۲)** ب **۳)** ج **۴)** د

---

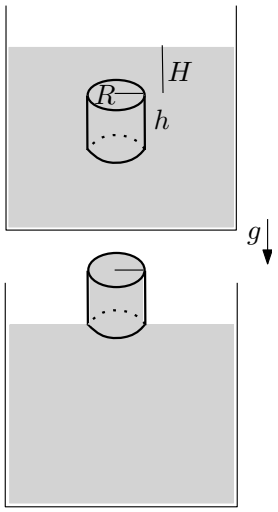
۲) یکی از بازی‌های رایج در برنامه‌های تفریحی ژانگولر نام دارد. در یکی از انواع این نمایش تفریحی، بازیگر هم‌زمان N توپ کوچک یکسان را به پرواز در می‌آورد؛ به طوری که هر توپ هنگام بازگشت توسط بازیگر دست به دست شده و مجدداً به بالا پرتاب می‌شود. فرض کنید بازهٔ زمانی بین پرتاب دو توپ متوالی T باشد.

انرژی جنبشی هر توپ ضمن برخورد با دست بازیگر تلف می‌شود و بازیگر برای پرتاب مجدد باید به آن انرژی بدهد. با چشم‌پوشی از نیروی مقاومت هوا، کمینهٔ توان میانگین لازم برای انجام این بازی متناسب با کدام گزینه است؟

۱) $(N-۱)T$ **۲)** $\frac{N-۱}{T}$ **۳)** $(N-۱)^۲T$ **۴)** $\frac{(N-۱)^۲}{T}$

---

۳) یک سطل استوانه‌ای به شعاع قاعدهٔ R و ارتفاع h دارای جرم و ضخامت ناچیز است. این سطل در ابتدا داخل یک استخر آب به حالت عمودی قرار دارد به طوری که فاصلهٔ لبهٔ بالایی آن از سطح آزاد آب استخر H است. شتاب گرانش g و چگالی آب ρ است. سطل را به آرامی و بدون ایجاد تلاطم به سمت بالا می‌کشیم تا جایی که سطل پر از آب، از استخر خارج شود و کف آن بر سطح آب مماس شود. در این فرایند چقدر باید روی سطل آب کار انجام دهیم؟



راهنمایی: برای محاسبهٔ انرژی پتانسیل سطل آب، آن را به صورت لایه‌های نازک آب در نظر بگیرید و با میانگین‌گیری، انرژی پتانسیل مجموع آن‌ها را به دست آورید.

۱) $\pi R^۲ \rho g h^۲$ **۲)** $\frac{۱}{۲}\pi R^۲ \rho g h^۲$ **۳)** $\pi R^۲ \rho g h(H+h)$ **۴)** $\pi R^۲ \rho g h(H+\frac{h}{۲})$

---

۴) گرمای تولید شده در خورشید ناشی از سوختن هیدروژن و تولید هلیوم است. سوختن هیدروژن در نتیجهٔ زنجیره‌ای از واکنش‌های هسته‌ای رخ می‌دهد. این زنجیره را می‌توان به طور خلاصه با واکنش

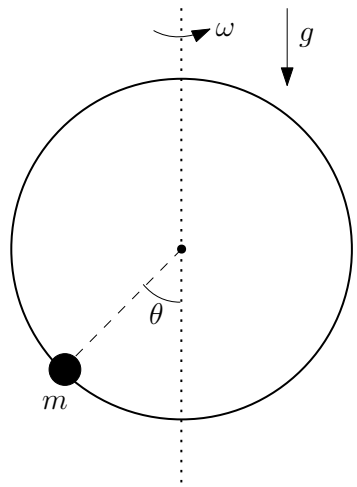
$$۴(^{۱}_{۱}\mathrm{H}) + ۲\mathrm{e}^- \rightarrow ^{۴}_{۲}\mathrm{He} + Q$$

بیان کرد که Q انرژی ایجاد شده در این واکنش به ازای تولید یک هستهٔ هلیوم است و مقدار تقریبی آن $Q \approx ۲۷\ \mathrm{MeV}$ است. توان تابشی خورشید معادل تغییر جرم خورشید به میزان ۴٫۵ میلیون تن بر ثانیه است. تعداد پروتون‌های سوخته شده در خورشید در یک ثانیه کدام گزینه است؟

۱) ۴×۱۰^{۴۲} **۲)** ۴×۱۰^{۳۹} **۳)** ۴×۱۰^{۳۸} **۴)** ۴×۱۰^{۳۵}

---

۵) سیم نازکی، به شکل حلقه‌ای دایره‌ای، مطابق شکل حول محور قائمی که از مرکز آن می‌گذرد با سرعت زاویه‌ای ثابت ω دوران می‌کند. محور دوران همواره منطبق بر قطر حلقه است. مهره کوچکی به جرم m همراه حلقه می‌چرخد، طوری که شعاع واصل به آن از مرکز حلقه با امتداد قائم همواره زاویهٔ ثابت θ می‌سازد. در سرعت زاویه‌ای ثابت، نیروی عمودی حلقه به مهره در صفحهٔ حلقه است. ضریب اصطکاک ایستایی بین حلقه و مهره μ_s است. نسبت بین بیشینه و کمینهٔ سرعت زاویه‌ای دوران $\omega_{\max}/\omega_{\min}$ برای این که مهره در امتداد حلقه به حرکت در نیاید، کدام است؟



۱) $\sqrt{\dfrac{\tan\theta+\mu_s}{\tan\theta-\mu_s}}$

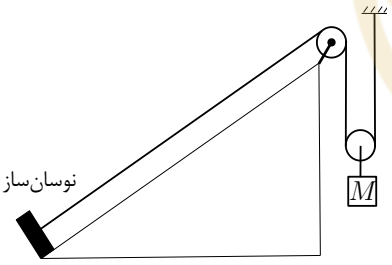
۲) $\sqrt{\left(\dfrac{1+\mu_s\tan\theta}{1-\mu_s\tan\theta}\right)\left(\dfrac{\tan\theta+\mu_s}{\tan\theta-\mu_s}\right)}$

۳) $\sqrt{\dfrac{1+\mu_s\tan\theta}{1-\mu_s\tan\theta}}$

۴) $\sqrt{\left(\dfrac{1-\mu_s\tan\theta}{1+\mu_s\tan\theta}\right)\left(\dfrac{\tan\theta+\mu_s}{\tan\theta-\mu_s}\right)}$

---

۶) در شکل مقابل ریسمانی که با سطح شیب‌دار موازی است توسط یک دستگاه نوسان‌ساز به طور عرضی به ارتعاش در آمده است. می‌خواهیم بسامد اولین هماهنگ وقتی جرم آویخته M است با بسامد دومین هماهنگ وقتی جرم آویخته $M+\Delta M$ است برابر باشد. ΔM کدام گزینه است؟ جرم قرقره‌ها را ناچیز بگیرید.



۱) $-\frac{3}{4}M$

۲) $-\frac{2}{3}M$

۳) $\frac{2}{3}M$

۴) $\frac{3}{4}M$

---

۷) در دستگاه بین‌المللی یکاها (SI) قانون کولن به صورت $F=k\frac{|q_1||q_2|}{r^2}$ است که نیرو بر حسب یکای N، بار الکتریکی بر حسب یکای C، فاصله بر حسب یکای m و $k=9/0\times10^9\,\mathrm{N\cdot m^2/C^2}$ است. در دستگاه یکاهای دیگری، قانون کولن را به صورت $F=\frac{|q_1||q_2|}{r^2}$ می‌نویسند که نیرو بر حسب یکای dyne ($1\,\mathrm{N}=10^5\,\mathrm{dyne}$)، بار الکتریکی بر حسب یکای esu و فاصله بر حسب یکای cm است. $1\,\mathrm{C}$ معادل چند esu است؟

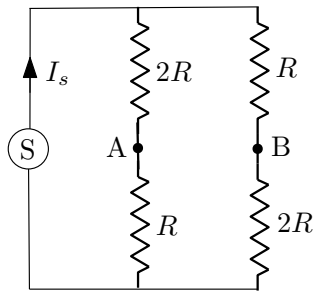
۱) $\sqrt{9\times10^{11}}$

۲) $\sqrt{9\times10^{13}}$

۳) 3×10^7

۴) 3×10^9

۸) در مدار شکل مقابل، منبع جریان ثابت S جریان I_s تولید می‌کند. این جریان مستقل از آن که چه وسیله‌ای بین نقاط A و B وصل شود همواره ثابت است. اگر بین این دو نقطه ولت‌متر نصب کنیم ولتاژ V و اگر آمپرمتر وصل کنیم جریان I را نشان می‌دهد. نسبت V/I کدام گزینه است؟



۱) $\frac{۳}{۲}R$ ۲) $\frac{۳}{۴}R$ ۳) $۳R$ ۴) $۴R$

---

۹) دوقطبی الکتریکی، دستگاهی متشکل از دو بار الکتریکی نقطه‌ای $+q$ و $-q$ است که در فاصلهٔ کوچک d از یکدیگر قرار گرفته‌اند به طوری که حاصل ضرب qd کمیتی متناهی باشد. به این کمیت ممان دوقطبی الکتریکی گفته می‌شود. به این ترتیب اگر $\vec{d}$ را برداری از بار منفی به بار مثبت بگیریم، ممان دوقطبی با بردار $\vec{p} = q\vec{d}$ تعریف می‌شود. همان طور که می‌دانیم مولکول آب یک مولکول قطبی است که از دو اتم هیدروژن و یک اتم اکسیژن تشکیل شده است. فرض کنید در یک مدل ساده شده، دوقطبی الکتریکی مربوط به مولکول آب از بارهای نقطه‌ای $+۲e$ و $-۲e$ تشکیل شده که به فاصلهٔ ۱۹ pm از هم قرار دارند. این مولکول در فاصلهٔ ۱ cm از یک بار الکتریکی نقطه‌ای ۲ pC قرار می‌گیرد به طوری که هر سه بار در یک خط قرار داشته باشند. در این حالت نیروی الکتریکی وارد بر مولکول آب ۲×۱۰^{-n} نیوتن است. n کدام گزینه است؟
$e = ۱/۶ \times ۱۰^{-۱۹}\ \mathrm{C}$ و $k = ۹/۰ \times ۱۰^{۹}\ \mathrm{N \cdot m^۲/C^۲}$.

برای کمیت ϵ که قدرمطلق آن خیلی کوچک‌تر از عدد ۱ است می‌توانیم بنویسیم $(۱ + \epsilon)^m \approx ۱ + m\epsilon$.

۱) ۲۸ ۲) ۲۵ ۳) ۲۲ ۴) ۱۹

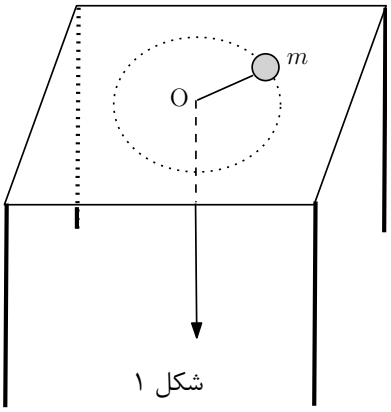
---

۱۰) سه گلولهٔ کوچک هر یک به جرم m و بار الکتریکی q از یک نقطهٔ مشترک به وسیلهٔ نخ‌های ابریشمی که طول هر کدام l است آویزان شده‌اند. شتاب گرانش g است. q چقدر باشد تا گلوله‌ها در گوشه‌های یک مثلث متساوی‌الاضلاع به طول ضلع d قرار گیرند؟ $k = ۱/۴\pi\epsilon_۰$

۱) $\sqrt{\frac{mgd^۳}{k\sqrt{۹l^۲ - ۳d^۲}}}$ ۲) $\sqrt{\frac{mgd^۳}{k\sqrt{۳l^۲ - d^۲}}}$ ۳) $\sqrt{\frac{mgd^۳}{\sqrt{۳}kl}}$ ۴) $\sqrt{\frac{mgd^۳}{۳kl}}$

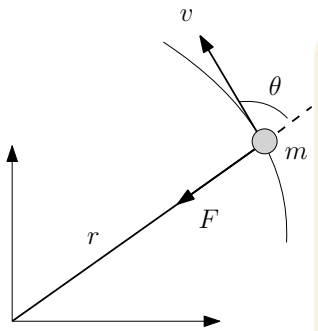
---

۱۱) بر روی میز افقی بدون اصطکاکی جرم کوچک m را به انتهای یک نخ بسته‌ایم. نخ از سوراخ O بر روی میز عبور کرده و از زیر میز قابل کشیدن است. با حرکت دادن جرم m در امتداد عمود بر نخ به نحوی که طول نخ روی میز ثابت باشد و اعمال نیروی کشش T بر نخ زیر میز، می‌توان جرم m را در مسیری دایره‌ای حرکت داد. اگر نخ زیر میز را به آرامی به سمت پایین بکشیم، سرعت و شعاع حرکت جرم m تغییر می‌کند.



شکل ۱

بنا بر قانونی موسوم به قانون پایستگی تکانهٔ زاویه‌ای هرگاه مطابق شکل ۲ به جرم m نیروی F در راستای شعاعی r وارد شود، کمیت $L = mvr\sin\theta$ که به آن اندازه حرکت زاویه‌ای می‌گوییم، ثابت می‌ماند. فرض کنید در ابتدا جرم m بر روی دایره‌ای به شعاع ثابت r_1 می‌چرخد. نخ را به آرامی می‌کشیم تا طول نخ روی میز r_2 شود به طوری که $r_2 < r_1$. مجدداً نخ را ثابت نگه می‌داریم تا جرم m بر روی دایره‌ای به شعاع r_2 بچرخد. نسبت نیروی کشش نخ در وضعیت دوم به نیروی کشش نخ در وضعیت اول کدام گزینه است؟

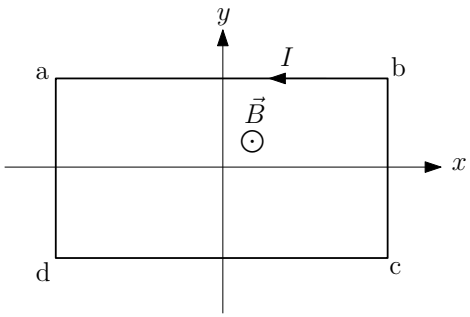


شکل ۲

۱) $\frac{r_2}{r_1}$ ۲) $\frac{r_1}{r_2}$ ۳) $(\frac{r_2}{r_1})^3$ ۴) $(\frac{r_1}{r_2})^3$

---

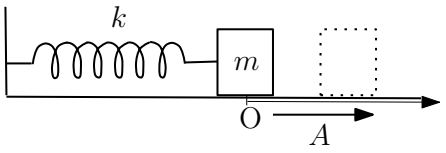
۱۲) در شکل مقابل، میدان مغناطیسی یکنواخت $\vec{B}$ عمود بر صفحهٔ شکل (در راستای محور z) و به سمت بیرون برقرار است. در سیم مستطیل شکل abcd به طور ناگهانی جریان I را برقرار می‌کنیم. کدام گزینه بعد از برقراری جریان صحیح است؟



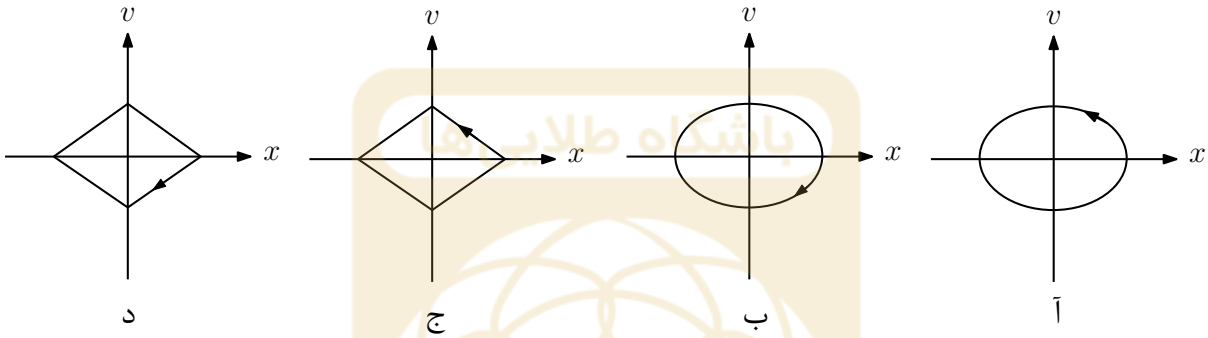
۱) مستطیل حول محور x می‌چرخد.
۲) مستطیل حول محور y می‌چرخد.
۳) مستطیل حول محور z می‌چرخد.
۴) مستطیل نمی‌چرخد.

---

۱۳) جرم m در انتهای فنری به ضریب k بسته شده است. مطابق شکل، جرم m را از نقطهٔ تعادل به اندازهٔ طول A می‌کشیم و آن را بر روی میز افقی بدون اصطکاکی رها می‌کنیم.



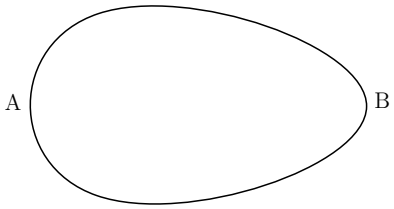
فرض کنید حالت لحظه‌ای دستگاه با نقطه‌ای به مختصات (x, v) در صفحهٔ $x - v$ داده می‌شود که x مکان و v سرعت ذره است. در طی زمان، نقطهٔ معرف دستگاه در صفحهٔ $x - v$ مسیری را طی می‌کند که به نمودار فاز معروف است. معمولاً با رسم یک پیکان بر روی نمودار فاز جهت حرکت نقطهٔ معرف دستگاه را مشخص می‌کنند. نمودار فاز نوسانگر فوق کدام گزینه است؟



۱) آ **۲)** ب **۳)** ج **۴)** د

---

۱۴) خودرویی در مسیری مطابق شکل دور می‌زند و اندازهٔ سرعت آن در طی حرکت ثابت است. کدام گزینه در مورد شتاب ذره درست است؟



۱) حرکت شتاب‌دار است و اندازهٔ شتاب خودرو در تمام مسیر یکسان است.

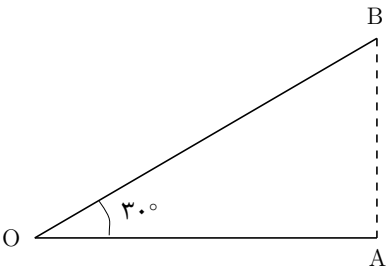
۲) حرکت شتاب‌دار است و اندازهٔ شتاب خودرو در نقطهٔ B بیشینه است.

۳) حرکت شتاب‌دار است و اندازهٔ شتاب خودرو در نقطهٔ A بیشینه است.

۴) حرکت بدون شتاب است.

---

۱۵) در شکل مقابل، یک چشمهٔ صوتی در نقطهٔ O قرار دارد و در تمام جهات فضا صدا را به طور یکسان پخش می‌کند. اگر تراز شدت صوت در نقطهٔ A، برابر ۲۰/۰ dB باشد، در نقطهٔ B تقریباً چقدر است؟ لگاریتم اعداد اول ۲ تا ۱۰ عبارتند از:

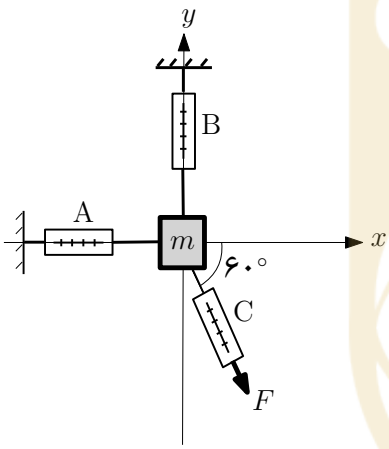


$\log ۲ = ۰/۳۰۱$ $\log ۳ = ۰/۴۷۷$ $\log ۵ = ۰/۶۹۹$ $\log ۷ = ۰/۸۴۵$

۱) ۱۵/۰ dB ۲) ۱۷/۳ dB ۳) ۱۸/۸ dB ۴) ۲۱/۲ dB

---

۱۶) در شکل مقابل قطعهٔ مکعبی شکلی به جرم m بر روی میز افقی دارای اصطکاک قرار گرفته است. این جسم به سه نیروسنج متصل شده که نیروسنج‌های A و B بر روی محورهای x و y قرار دارند و به دو دیوار ثابت متصل‌اند. شکل، تصویر دستگاه را از بالا نشان می‌دهد. نیروسنج C در زاویهٔ ۶۰° نسبت به محور x قرار دارد. جسم m و نیروسنج‌ها همگی ساکن هستند. نیروسنج‌های A، B و C به ترتیب اعداد ۲۰ N، ۱۰ N و ۲۰ N را نشان می‌دهند. اندازهٔ نیروی اصطکاک ایستایی جسم m با میز چند نیوتن است؟



۱) ۵۰ ۲) $۱۰\sqrt{۲-\sqrt{۳}}$ ۳) $۱۰(۲-\sqrt{۳})$ ۴) $۱۰\sqrt{۵-۲\sqrt{۳}}$

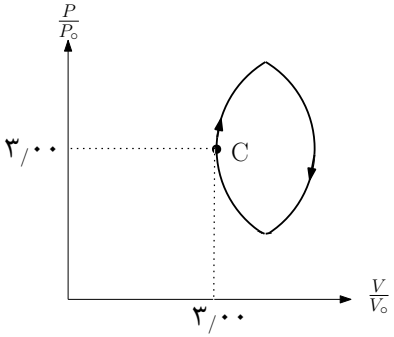
---

۱۷) فاصلهٔ کهکشان‌های مجاور از یکدیگر تقریباً ۱ Mpc (۱ مگا پارسک) است و هر کهکشان حدوداً $۱۰^{۱۱}$ ستاره با جرمی حدود جرم خورشید ($۲/۰ \times ۱۰^{۳۰}$ kg) دارد. با فرض این که جرم همهٔ کهکشان‌ها را به طور یکنواخت در جهان توزیع کنیم چگالی آن تقریباً چند برابر چگالی هوا در شرایط متعارفی خواهد شد؟ جرم مولی و حجم مولی هوا در شرایط متعارفی به ترتیب ۲۹ g/mol و ۲۲/۴ L/mol است. همچنین $۱ \text{ pc} = ۳/۱ \times ۱۰^{۱۳}$ km.

۱) $۱۰^{-۳۹}$ ۲) $۱۰^{-۲۶}$ ۳) $۱۰^{-۸}$ ۴) $۱۰^{۱۹}$

---

۱۸) در شکل مقابل یک چرخهٔ ترمودینامیکی در نمودار $P-V$ نشان داده شده است. فشارها بر حسب فشار معین $P_\circ$ و حجم‌ها بر حسب حجم معین $V_\circ$ اندازه‌گیری شده‌اند. به این ترتیب کمیت بدون یکای $P/P_\circ$ بر حسب کمیت بدون یکای $V/V_\circ$ رسم شده است.

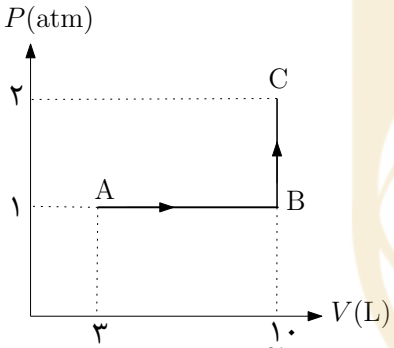


چرخه مورد نظر از تقاطع دو دایرهٔ یکسان به شعاع ۲/۰۰ تشکیل شده است که مرکز یکی از آن‌ها نقطهٔ $\mathrm{C}\,(۳/۰۰, ۳/۰۰)$ است. مرکز دایرهٔ دیگر نیز بر روی خط $P/P_\circ = ۳/۰۰$ و به فاصلهٔ ۲/۰۰ از نقطهٔ C قرار دارد. مقدار کار چرخه چقدر است؟

۱) $۲/۴۶\,P_\circ V_\circ$ ۲) $۳/۳۲\,P_\circ V_\circ$ ۳) $۴/۹۱\,P_\circ V_\circ$ ۴) $۶/۶۴\,P_\circ V_\circ$

---

۱۹) معادلهٔ حالت گاز آرمانی با فرض نقطه‌ای بودن ذرات گاز به دست می‌آید. اگر به جای آن فرض کنیم ذرات گاز کره‌های کوچکی هستند، معادلهٔ حالت گاز به صورت $P(V-nb)=nRT$ خواهد شد که n تعداد مول‌های گاز و b ثابتی است که به نوع گاز بستگی دارد.



فرض کنید یک گاز غیرآرمانی که برای آن $b = ۰/۰۴\ \mathrm{L/mol}$ است فرآیند $\mathrm{A}\to\mathrm{B}\to\mathrm{C}$ را مطابق شکل در نمودار $P-V$ طی کند. تغییر انرژی داخلی برای n مول از این گاز و نیز n مول گاز آرمانی مشابه آن، از رابطهٔ $\Delta U = \frac{۵}{۲}nR\Delta T$ به دست می‌آید. اگر گرمای مبادله شده در این فرایند برای یک مول از این گاز، Q و برای یک مول از گاز آرمانی مشابه، Q' باشد، $Q-Q'$ کدام گزینه است؟

۱) $-۱۰\ \mathrm{J}$ ۲) $-۶\ \mathrm{J}$ ۳) $۶\ \mathrm{J}$ ۴) $۱۰\ \mathrm{J}$

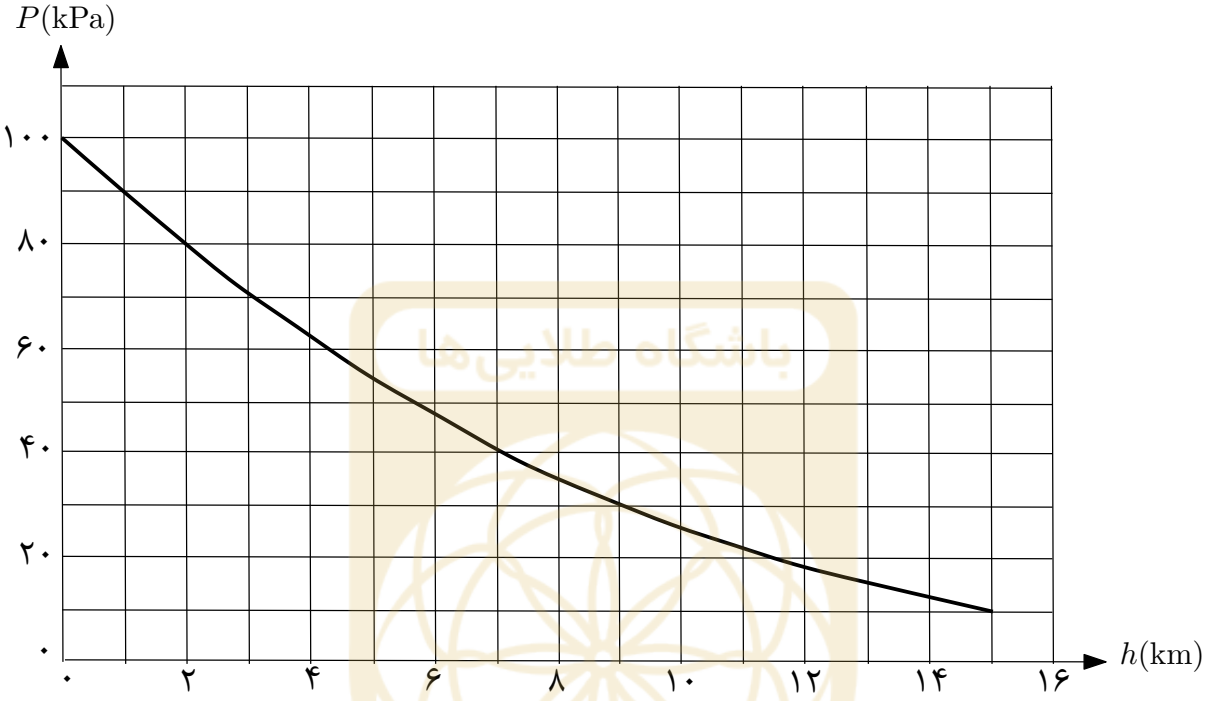
---

۲۰) برخی از ایزوتوپ‌های پرتوزا به چند طریق واپاشیده می‌شوند. ایزوتوپ پرتوزایی را در نظر بگیرید که از دو طریق مستقل با نیمه‌عمرهای ۶ روز و ۲ روز واپاشیده شود. بعد از ۶ روز چه کسری از هسته‌های این ایزوتوپ واپاشیده می‌شود؟

۱) $\frac{۳}{۸}$ ۲) $\frac{۵}{۸}$ ۳) $\frac{۷}{۱۶}$ ۴) $\frac{۱۵}{۱۶}$

---

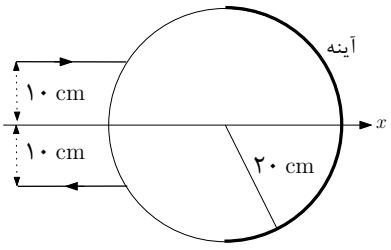
۲۱) در نمودار شکل زیر محور عمودی فشار هوا بر حسب کیلوپاسکال و محور افقی ارتفاع از سطح دریا را بر حسب کیلومتر نشان می‌دهد. با فرض ثابت بودن شتاب گرانش g، در فواصل کوتاه عمودی می‌توان از رابطهٔ $\Delta P = -\rho g \Delta h$ استفاده کرد که ρ چگالی، ΔP اختلاف فشار و Δh اختلاف ارتفاع است. نسبت چگالی هوا در ارتفاع ۱۵ کیلومتری به چگالی هوا در سطح دریا کدام گزینه است؟



۱) ۰/۹ ۲) ۰/۵ ۳) ۰/۲۵ ۴) ۰/۱

---

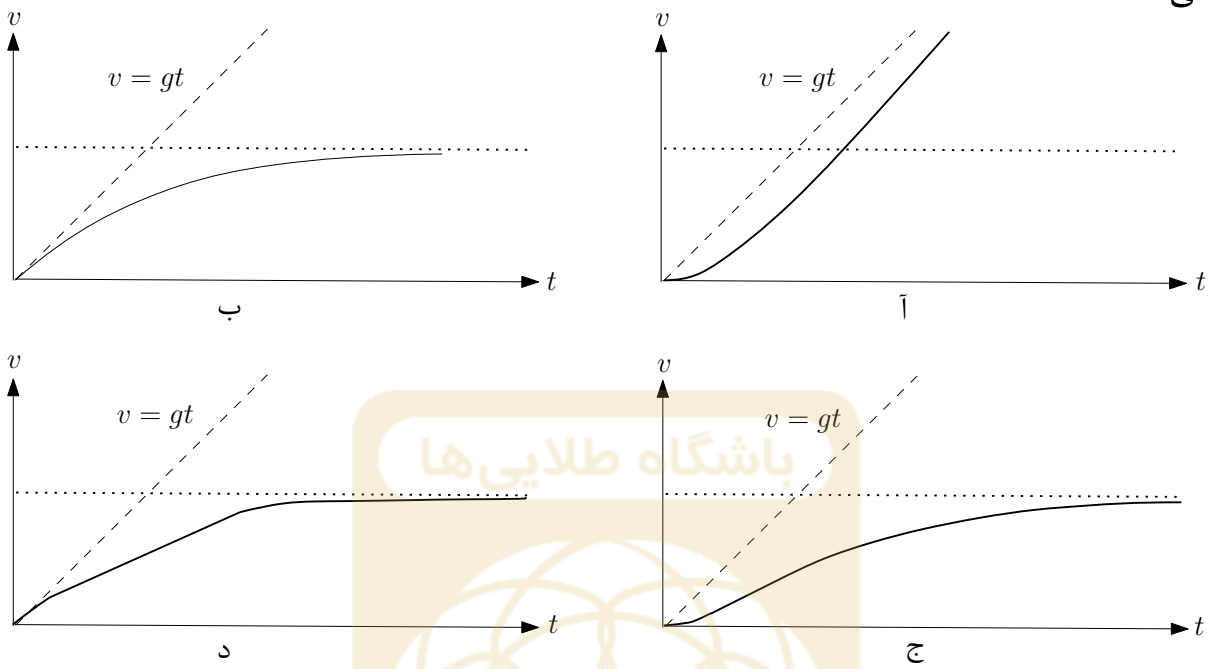
۲۲) مطابق شکل نیمی از سطح جانبی یک استوانهٔ شفاف به شعاع ۲۰ cm نقره‌اندود شده و مانند یک آینه می‌تواند نور را بازتاب کند. یک پرتو نور تک‌فام به موازات محور x (عمود بر محور استوانه) و به فاصلهٔ ۱۰ cm از آن به استوانه می‌تابد و پس از یک بار بازتاب از سطح نقره‌اندود شده به موازات محور x و زیر آن به صورت متقارن از استوانه خارج می‌شود.



پرتو تابش و بازتاب در صفحه‌ای عمود بر محور استوانه واقع‌اند. بر روی شکل پرتوهای یاد شده فقط در بیرون استوانه رسم شده‌اند. ضریب شکست ماده‌ای که استوانه از آن ساخته شده کدام گزینه است؟

۱) $2\cos(\frac{\pi}{12})$ ۲) $2\cos(\frac{\pi}{6})$ ۳) $\cos(\frac{\pi}{12}) + 1$ ۴) $\cos(\frac{\pi}{6}) + 1$

۲۳) یک قطرهٔ باران از زمان شروع سقوط در لحظهٔ $t = 0$ تحت اثر نیروی مقاومت $F = -\gamma v$ از طرف هوا قرار دارد، که v سرعت قطره و γ ثابت است. کدام نمودار سرعت قطره با زمان را نشان می‌دهد؟



۱) آ ۲) ب ۳) ج ۴) د

مسئله‌های کوتاه

پیش از شروع به حل مسئله‌های کوتاه توضیح زیر را به **دقت** بخوانید.

در این مسئله‌ها باید پاسخ را برحسب واحدهای مورد نظر (مثلاً **میلی‌آمپر**، **متر**، **کیلوگرم**، **دقیقه** و غیره) که در صورت مسئله خواسته شده، با دو رقم به دست آورید. سپس خانه‌های مربوط به رقم‌های این عدد را در پاسخ‌نامه سیاه کنید. توجه کنید که رقم یکان عدد در ستون یکان، و رقم دهگان در ستون دهگان علامت زده شود.

مثال: فرض کنید ظرفیت خازنی برحسب **میکروفاراد** خواسته شده باشد و شما عدد $۲۶/۷\,\mu F$ را به دست آورده باشید. ابتدا آن را به نزدیک‌ترین عدد صحیح گرد کنید تا عدد ۲۷ میکروفاراد به دست آید. سپس مطابق شکل پاسخ خود را در پاسخ‌نامه وارد کنید.

پاسخ نادرست در این بخش نمره‌ی منفی ندارد.

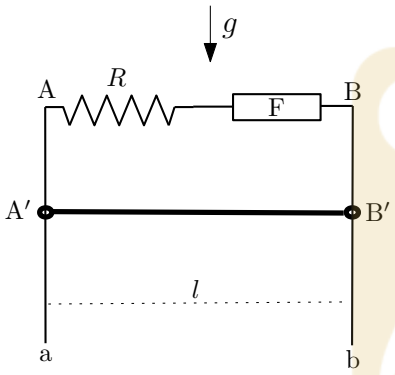
دهگان	یکان
0	0
1	1
2	2
3	3
4	4
5	5
6	6
7	7
8	8
9	9

۱) شخصی برای اندازه‌گیری عمق یک چاه، سنگ کوچکی را درست از لبهٔ چاه رها می‌کند. پس از T ثانیه از لحظهٔ رها کردن سنگ، صدای برخورد آن با کف چاه به گوش شخص، که در لبهٔ چاه است، می‌رسد. اگر سرعت صوت را مقدار معین ۳۳۰ m/s بگیریم عمق چاه h_1 به دست می‌آید و اگر سرعت صوت را نامتناهی بگیریم عمق چاه h_2 به دست می‌آید. نسبت این دو عمق ۰/۹۵ است. عمق واقعی چاه چند **متر** است؟ $g = 9/8\ \mathrm{m/s^2}$.

برای کمیت ϵ که قدرمطلق آن خیلی کوچک‌تر از عدد ۱ است می‌توانیم بنویسیم $\sqrt{1+\epsilon} \approx 1 + \frac{\epsilon}{2}$.

---

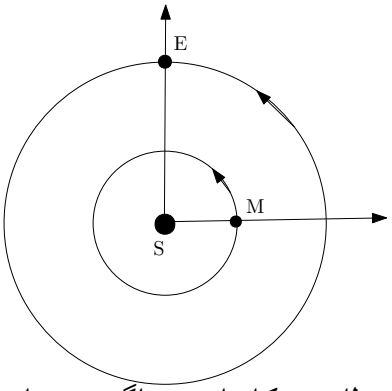
۲) دو میلهٔ رسانای بلند Aa و Bb در صفحهٔ قائم به موازات یکدیگر و به فاصلهٔ $l = 30\ \mathrm{cm}$ از هم قرار دارند. بین نقاط A و B مقاومت الکتریکی R و فیوز با مقاومت ناچیز F مطابق شکل متصل‌اند. میلهٔ رسانا و افقی $A'B'$ توسط دو حلقهٔ اتصال در تماس الکتریکی دائمی با میله‌های قائم است و می‌تواند بدون اصطکاک بر روی آن‌ها بلغزد. شتاب گرانش g است و میله از حالت سکون شروع به حرکت می‌کند. از مقاومت الکتریکی میله‌ها چشم‌پوشی کنید.



میدان مغناطیسی افقی و یکنواخت $B = 1/0\ \mathrm{T}$ عمود بر سطح این مجموعه برقرار است. فیوز F حداکثر می‌تواند اجازهٔ عبور جریان ۰/۵۰ A بدهد. حداکثر جرم میلهٔ $A'B'$ چند **گرم** باشد تا فیوز جریان مدار را قطع نکند؟

---

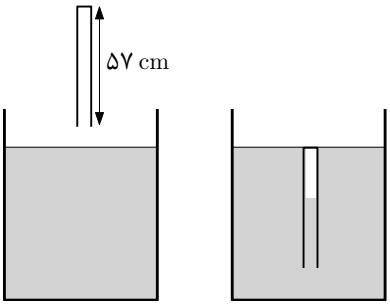
۳) در یک منظومه مشابه منظومهٔ شمسی سیاره‌های M و E به صورت هم‌جهت، مطابق شکل در مدارهایی با حرکت دایره‌ای یکنواخت به دور ستارهٔ S که در مرکز مدارها قرار دارد، می‌چرخند. مدارهای حرکت دو سیاره در یک صفحه قرار دارند. زمان یک دور چرخش سیارهٔ M به دور ستاره ۶۰ روز و زمان یک دور چرخش سیارهٔ E به دور ستاره ۳۶۰ روز است.



فرض کنید در زمان t_1 وضعیت قرار گرفتن سیاره‌ها در مدارهایشان مطابق شکل است. اگر در زمان t_2 سیاره‌ها برای اولین بار در دورترین فاصله از یکدیگر قرار گیرند، $t_2 - t_1$ چند **روز** است؟

---

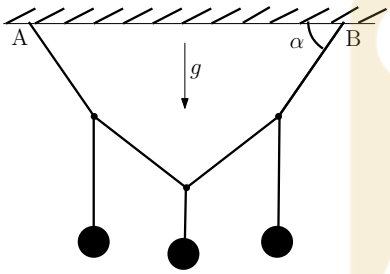
۴) لوله‌ای به ارتفاع ۵۷ سانتی‌متر که انتهای آن بسته است را وارونه کرده و از هوا به طور کامل داخل مایع جیوه می‌کنیم، به طوری که لوله در حالت قائم قرار گیرد و انتهای بستهٔ لوله هم‌تراز سطح آزاد مایع جیوه باشد. به این ترتیب مقداری جیوه داخل لوله می‌شود و حجم هوای محبوس شده را کاهش می‌دهد. از خاصیت مویینگی چشم‌پوشی کنید.



اگر آنقدر صبر کنیم که دمای هوای داخل لوله به دمای محیط برسد، طول ستون هوای داخل لوله چند **سانتی‌متر** است؟ فشار هوای محیط برابر ۷۶ سانتی‌متر جیوه است.

---

۵) ریسمانی را در نظر بگیرید که مطابق شکل به دو نقطهٔ A و B از سقف متصل است. سه جسم هر یک به جرم ۱۰۰ g را به سه نقطه از این ریسمان طوری آویزان کرده‌ایم که طول ریسمان به چهار قسمت مساوی تقسیم شود. اگر زاویهٔ α برابر ۶۰° و فاصلهٔ A تا B برابر ۵۰ cm باشد، طول کل ریسمان چند **سانتی‌متر** است؟ $\sqrt{۳} \cong ۱/۷۳$



---

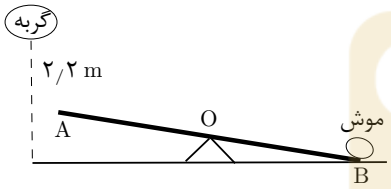
۶) یک بالن در هوای بالای سطح یک دریاچه که فشار هوا $۱/۰ \times ۱۰^۵$ Pa است قرار دارد. در این هوا حجم بالن ۰/۵۰ L است و از هوا با چگالی $۱/۳$ kg/m^۳ پر شده است. یک وزنهٔ آهنی به جرم ۲۴۰ g به آن می‌بندیم. اگر این مجموعه را روی سطح آب یک دریاچه رها کنیم به دلیل اثر نیروی شناوری کاملاً زیر آب نمی‌رود. اگر با وارد کردن نیروی خارجی این مجموعه را به زیر آب ببریم، به طوری که مرکز بالن از عمق $h_۰$ پایین‌تر برود دیگر نیروی شناوری آن را به بالا برنمی‌گرداند. $h_۰$ چند **متر** است؟ چگالی آهن را ۷۹۰۰ kg/m^۳، چگالی آب دریاچه را $۱/۰ \times ۱۰^۳$ kg/m^۳ و شتاب گرانش را ۹/۸ m/s^۲ بگیرید. هوا را گاز آرمانی فرض کنید. همچنین فرض کنید دمای آب دریاچه با دمای هوا در سطح دریاچه یکسان است. در زیر آب، فشار هوای داخل بالن را با فشار آب هم‌تراز با مرکز بالن یکسان بگیرید.

---

۷) فرض کنید تمام الکترون‌های بدن یک انسان ۵۰ کیلوگرمی را از او جدا کنیم و در نقطه‌ای به فاصلهٔ ۱۰۰ متری او قرار دهیم. اندازهٔ نیروی جاذبهٔ الکتریکی که به وی وارد می‌شود را بر حسب **نیوتن** حساب کنید. اگر جواب شما بین $۰/۳ \times ۱۰^{n}$ و ۳×۱۰^{n} باشد می‌گوییم مرتبهٔ بزرگی نیرو ۱۰^{n} است. عدد n در این مسئله چقدر است؟ فرض کنید عمدهٔ حجم بدن انسان از آب تشکیل شده است. جرم هر مول آب $18\ \mathrm{g}$، عدد اتمی اکسیژن ۸، عدد اتمی هیدروژن ۱، بار الکتریکی الکترون $۱/۶ \times ۱۰^{-۱۹}\ \mathrm{C}$، عدد آووگادرو $۶/۰۲ \times ۱۰^{۲۳}\ \mathrm{mol^{-1}}$ و $k = ۹/۰ \times ۱۰^{۹}\ \mathrm{N \cdot m^{۲}/C^{۲}}$ است.

---

۸) در کارتون معروف موش و گربه گاهی دیده‌اید که مثلاً گربه با پریدن بر روی یک سر آزاد الاکلنگ، موش را تا فراز ابرها به آسمان می‌پراند. برای بررسی درستی این پدیده فرض کنید الاکلنگ AB مطابق شکل ساکن است و تکیه‌گاه O در وسط آن قرار دارد.



موش در نقطهٔ B ساکن است و نقطهٔ A در فاصلهٔ یک متری از سطح زمین است. گربه از ارتفاع $۲/۲\ \mathrm{m}$ نسبت به سطح زمین بر روی نقطهٔ A فرود می‌آید. با استفاده از فرض‌های زیر معلوم کنید موش حداکثر چند **دسی‌متر** از سطح زمین بالاتر می‌رود؟

فرض‌ها:

۱) جرم موش در مقابل جرم گربه و الاکلنگ ناچیز است.

۲) هنگام برخورد گربه به الاکلنگ سرعت آن نصف می‌شود.

۳) در مدتی که الاکلنگ در حال حرکت است انرژی جنبشی آن با انرژی جنبشی گربه برابر است.

۴) الاکلنگ تغییر شکل نمی‌دهد و موقع رسیدن نقطهٔ A به زمین، گربه و الاکلنگ ناگهان ساکن می‌شوند.