



جمهوری اسلامی ایران  
وزارت آموزش و پرورش



مبارزه علمی برای جوانان، زنده کردن روح جست و جو و کشف واقعیت هاست. «لام خمینی (ره)»

اینجانب ..... (شرکت کننده) این دفترچه را به صورت کامل (۱۸ برگه با احتساب جلد) دریافت نمودم امضاء

اینجانب ..... (منشی حوزه) تعداد ..... برگه (با احتساب جلد) دریافت نمودم امضاء

## سی و ششمین دوره المپیاد فیزیک

تاریخ: ۱۴۰۲/۰۲/۱۰ - ساعت: ۸:۰۰ - مدت: ۲۴۰ دقیقه



شماره سندلی

.....

### تایید کمیته علمی

شماره پرونده: .  
کد ملی: .  
نام پدر: ----  
نام مدرسه: ----  
استان: ----  
منطقه: ----  
پایه تحصیلی: ----



حوزه: ----

### توضیحات مهم

استفاده از ماشین حساب ممنوع است

- این پاسخ نامه به صورت نیمه کامپیوتری تصحیح می شود، بنابراین از مجاله و کثیف کردن آن جداً خودداری نمایید.
- مشخصات خود را با اطلاعات بالای هر صفحه تطبیق دهید. در صورتی که حتی یکی از صفحات پاسخ نامه با مشخصات شما همخوانی ندارد، بلافاصله مراقبین را مطلع نمایید.
- پاسخ هر سوال را در محل تعیین شده خود بنویسید. چنانچه همه یا قسمتی از جواب سوال را در محل پاسخ سوال دیگری بنویسید، به شما نمره ای تعلق نمی گیرد.
- با توجه به آنکه برگه های پاسخ نامه به نام شما صادر شده است، امکان ارائه هیچگونه برگه اضافه وجود نخواهد داشت. لذا توصیه می شود ابتدا سوالات را در برگه چرک نویس، حل کرده و آنگاه در پاسخنامه پاکنویس نمایید.
- عملیات تصحیح توسط مصححین، پس از قطع سربرگ، به صورت ناشناس انجام خواهد شد. لذا از درج هرگونه نوشته یا علامت مشخصه که نشان دهنده صاحب برگه باشد، خودداری نمایید. در غیر این صورت تقلب محسوب شده و در هر مرحله ای که باشید از ادامه حضور در المپیاد محروم خواهید شد.
- از مخدوش کردن دایره ها در چهار گوشه صفحه و بارکدها خودداری کنید، در غیر این صورت برگه شما تصحیح نخواهد شد.
- همراه داشتن هرگونه کتاب، جزوه، یادداشت و لوازم الکترونیکی نظیر تلفن همراه، ساعت هوشمند، دستبند هوشمند و لپ تاپ ممنوع است. همراه داشتن این قبیل وسایل حتی اگر از آن استفاده نکنید یا خاموش باشد، تقلب محسوب خواهد شد.
- آزمون مرحله دوم برای دانش آموزان پایه دهم صرفاً جنبه آزمایشی و آمادگی دارد و شرکت کنندگان در دوره تابستانی از بین دانش آموزان پایه یازدهم انتخاب می شوند.
- هر سوال این دفترچه ۱۰ نمره دارد.

در صورت لزوم از این

صفحه به عنوان چرک

نویس استفاده کنید

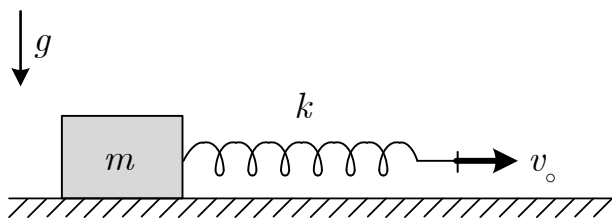
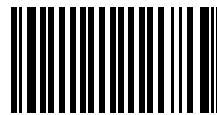
مطالب این صفحه

تحت هیچ شرایطی

تصحیح نخواهد شد



نام : ---  
 نام خانوادگی : ---  
 کد ملی : ---



شکل ۱

(۱) جعبه‌ای به جرم  $m$  روی یک سطح افقی ساکن است.

ضریب اصطکاک ایستایی و جنبشی بین جعبه و سطح به ترتیب

$\mu_k$  و  $\mu_s$  است ( $\mu_s > \mu_k$ ). یک سر فنری با ثابت  $k$  به سمت

راست جعبه متصل است و در ابتدا با طول آزاد به طور افقی نگه داشته شده است. سر آزاد فنر را طوری می کشیم که همواره

این سر فنر با سرعت ثابت  $v_0$  حرکت کند. جرم فنر ناچیز و شتاب گرانش  $g$  است.

(آ) فنر چقدر کشیده شود تا جعبه شروع به حرکت کند؟

(ب) فرض کنید مکان اولیه جعبه  $x = 0$  است و در لحظه  $t = 0$  شروع به حرکت کند، شتاب جعبه را بر حسب  $x$  (مکان

لحظه‌ای جعبه)،  $t$  و سایر کمیت‌های داده شده به دست آورید.

(پ) می‌توان نشان داد که مکان لحظه‌ای جعبه،  $x$ ، بر حسب زمان به صورت زیر است

$$x(t) = A(\omega t - \sin \omega t) + B(1 - \cos \omega t),$$

$A$ ،  $B$  و  $\omega$  را بر حسب داده‌های مسئله به دست آورید.

(ت) بیش‌ترین و کم‌ترین مقدار طول فنر برای اولین بار در چه زمان‌هایی رخ می‌دهد؟

(ث) در چه زمانی برای اولین بار جعبه متوقف می‌شود؟

(ج) فرض کنید به محض توقف جعبه، اصطکاک جعبه با زمین از نوع اصطکاک ایستایی می‌شود. در این صورت بعد از توقف

ذکر شده در بخش ث چه مدت جعبه متوقف می‌ماند تا دوباره حرکت کند؟

در صورت نیاز:

$$\sin x = 2 \sin \frac{x}{2} \cos \frac{x}{2}, \quad 1 - \cos x = 2 \sin^2 \frac{x}{2}, \quad \sin(x + y) = \sin x \cos y + \cos x \sin y$$



نام : ---  
نام خانوادگی : ---  
کد ملی : ---



پاسخ سوال ۱

از نوشتن جواب سوالات دیگر در قسمت تعیین شده برای این سوال خودداری کنید در غیر این صورت، پاسخ داده شده تصحیح نخواهد شد

A large rectangular area with horizontal dashed lines for writing the answer to question 1.



نام : ---  
نام خانوادگی : ---  
کد ملی : ---



ادامه پاسخ سوال ۱ از نوشتن جواب سوالات دیگر در قسمت تعیین شده برای این سوال خودداری کنید در غیر این صورت، پاسخ داده شده تصحیح نخواهد شد

A large rectangular area with horizontal dashed lines for writing the answer to question 1.



نام : ---  
نام خانوادگی : ---  
کد ملی : ---

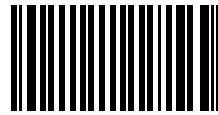


ادامه پاسخ سوال ۱ از نوشتن جواب سوالات دیگر در قسمت تعیین شده برای این سوال خودداری کنید در غیر این صورت، پاسخ داده شده تصحیح نخواهد شد

A large rectangular area with horizontal dashed lines for writing the answer to question 1.



نام : ---  
 نام خانوادگی : ---  
 کد ملی : ---



(۲) یک پینگ‌پنگ باز با حرکت منظم راکت به بالا و پایین می‌تواند توپ پینگ‌پنگ را به یک حرکت منظم رفت و برگشتی در جهت عمودی وادارد. در این مسئله می‌خواهیم حالت ساده‌ای از این حرکت را بررسی کنیم. فرض کنید راکت، صفحه‌ای افقی و صاف است که دارای حرکت منظم سینوسی با معادله  $y_1(t) = A \sin(\omega t + \phi)$  حول نقطه تعادل  $y = 0$  است. توپ پینگ‌پنگ را جرم نقطه‌ای  $m$  بگیرد که مکان لحظه‌ای آن با  $y_2(t)$  بیان می‌شود. برخورد توپ با راکت چنان است که سرعت راکت تغییر محسوسی نمی‌کند و اندازه سرعت نسبی توپ و راکت قبل و بعد از برخورد یکسان است. (منظور از سرعت نسبی، تفاضل مقادیر جبری سرعت‌های دو جسم است.) شتاب گرانش در راستای  $y$ ، رو به پایین و اندازه آن  $g$  است. این مسئله بنا به شرایط اولیه توپ و راکت در دو بخش مجزا مورد بررسی قرار می‌گیرد.

**بخش اول:** فرض کنید در لحظه  $t = 0$  راکت در پایین‌ترین نقطه مسیر یعنی در نقطه  $y_1 = -A$  قرار دارد و توپ از ارتفاع  $h = y_2$  رها می‌شود.

(آ) بسامد زاویه‌ای  $\omega$  را بر حسب  $h$  و  $g$  چنان تعیین کنید که وقتی راکت برای اولین بار از نقطه  $y_1 = -A$  به بالا می‌آید در نقطه  $y = 0$  با توپ برخورد کند.

(ب) دامنه نوسان راکت،  $A$ ، را چنان تعیین کنید که بعد از اولین برخورد، اندازه سرعت توپ دو برابر قبل از برخورد باشد.

(پ) سرعت و ارتفاع بیشینه توپ بعد از اولین، دومین، سومین و چهارمین برخورد را به دست آورید.

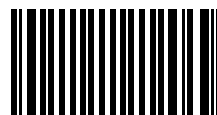
(ت) نمودار  $y_1(t)$  و  $y_2(t)$  را در بازه‌های زمانی بین برخوردهای ذکر شده رسم کنید. بعد از چهارمین برخورد حرکت چگونه خواهد بود؟

**بخش دوم:** این بار فرض کنید در لحظه  $t = 0$  راکت در نقطه  $y_1 = 0$  است و به سمت پایین حرکت می‌کند. توپ

نیز از ارتفاع  $h = y_2$  رها می‌شود.



نام : ---  
 نام خانوادگی : ---  
 کد ملی : ---



ث) بسامد زاویه‌ای  $\omega$  را بر حسب  $h$  و  $g$  چنان تعیین کنید که راکت بعد از رفتن به پایین و در ضمن برگشتن به بالا در نقطه  $y = 0$  با توپ برخورد کند.

ج) دامنه نوسان راکت،  $A$ ، را چنان تعیین کنید که بعد از اولین برخورد، اندازه سرعت توپ دو برابر قبل از برخورد باشد.

چ) سرعت و ارتفاع بیشینه توپ بعد از اولین، دومین و سومین برخورد را به دست آورید.

ح) نمودار  $y_1(t)$  و  $y_2(t)$  را در بازه‌های زمانی بین برخوردهای ذکر شده رسم کنید. بعد از سومین برخورد حرکت چگونه خواهد بود؟

در صورت لزوم از این قسمت به  
 عنوان چرک نویس استفاده کنید  
 مطالب این قسمت تحت هیچ  
 شرایطی تصحیح نخواهد شد



نام : ---  
نام خانوادگی : ---  
کد ملی : ---



پاسخ سوال ۲

از نوشتن جواب سوالات دیگر در قسمت تعیین شده برای این سوال خودداری کنید در غیر این صورت، پاسخ داده شده تصحیح نخواهد شد

A large rectangular area with horizontal dashed lines for writing the answer to question 2.



نام : ---  
نام خانوادگی : ---  
کد ملی : ---

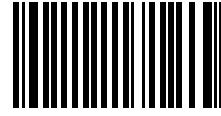


ادامه پاسخ سوال ۲ از نوشتن جواب سوالات دیگر در قسمت تعیین شده برای این سوال خودداری کنید در غیر این صورت، پاسخ داده شده تصحیح نخواهد شد

A large rectangular area with horizontal dashed lines for writing answers.



نام : ---  
نام خانوادگی : ---  
کد ملی : ---

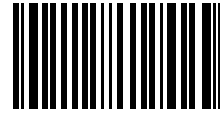


ادامه پاسخ سوال ۲ از نوشتن جواب سوالات دیگر در قسمت تعیین شده برای این سوال خودداری کنید در غیر این صورت، پاسخ داده شده تصحیح نخواهد شد

A large rectangular area with horizontal dashed lines for writing answers.



نام : ---  
 نام خانوادگی : ---  
 کد ملی : ---



۳) باغ فین یکی از جاذبه‌های گردشگری و مهندسی شهر کاشان است. در این باغ چند سامانه آبیاری بسیار دقیق وجود دارد. طراح این سامانه‌ها، دانشمند معروف قرن دهم، شیخ بهایی (و یا به روایتی غیاث‌الدین جمشید کاشانی) است که حدود دویست سال قبل از برنولی با استفاده از اختلاف ارتفاع و تغییر قطر لوله‌ها فواره‌هایی را ایجاد کرد که آب از همگی آن‌ها تا یک ارتفاع یکسان خارج می‌شود.

آب از ارتفاعات بالادست، به وسیله یک لوله از یک طرف وارد باغ می‌شود و چون انتهای آن بسته است تمام آب ورودی از فواره‌هایی که در طول مسیر با فواصل یکسان قرار دارند، خارج می‌شود. شیب لوله باعث افزایش فشار در طول لوله و اصطکاک آب با دیواره لوله باعث کاهش آن می‌شود. فرض می‌کنیم این دو اثر یکدیگر را خنثی می‌کنند و باعث می‌شوند سرعت آب در سرتاسر لوله یکنواخت و ثابت باشد. به این ترتیب، با وجود حرکت آب می‌توان قوانین شاره‌های ساکن را برای آن به کار برد و فرض کرد لوله‌ای افقی و بدون اصطکاک داریم که فشار در طول آن یکسان است. به این ترتیب مقدار پرش آب در تمام فواره‌های یکسانی که در طول مسیر نصب شده‌اند برابر است.

فرض کنید قطر لوله ورودی  $D_1$  و آهنگ

شارش حجمی ورودی در آن  $Q_1$  است. شکل ۱

موقعیت مکانی فواره‌ها در طول لوله را از بالا نشان

می‌دهد. از ابتدا تا انتهای لوله ۱۰ فواره نصب شده است که شماره آن‌ها را با  $k$  نشان می‌دهیم. فواره  $k$  ام در انتهای لوله‌ای

است که قطر آن  $D_k$  و آهنگ شارش حجمی گذرنده از آن  $Q_k$  است.

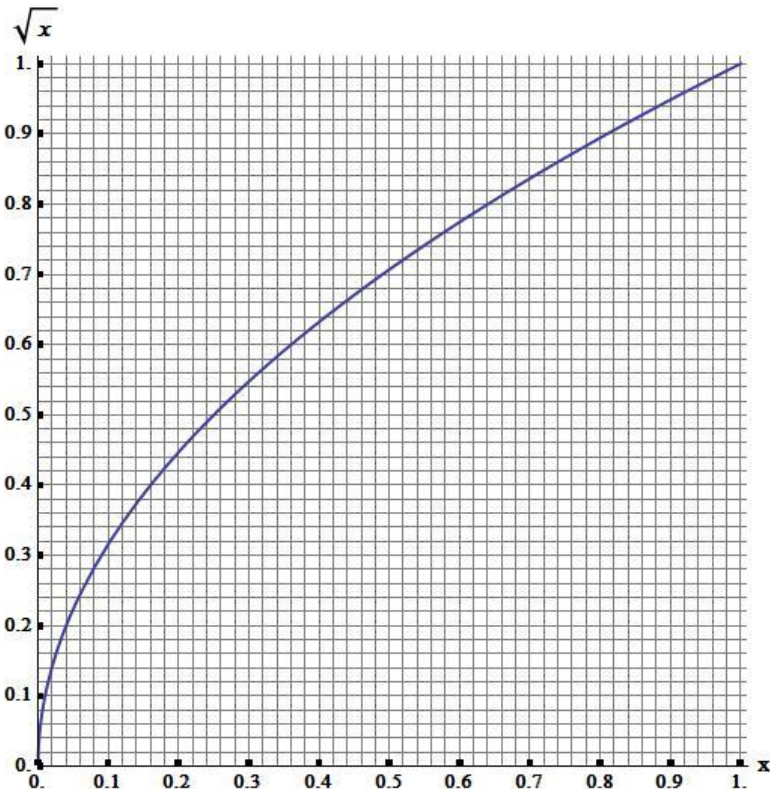
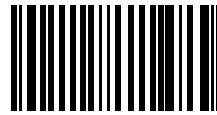
آ)  $Q_k$  را بر حسب  $Q_1$  و  $k$  بیابید.

ب)  $D_k$  را بر حسب  $D_1$  و  $k$  به دست آورید.

شکل ۱



نام : ---  
 نام خانوادگی : ---  
 کد ملی : ---



شکل ۲

پ) با استفاده از نمودار تابع  $f(x) = \sqrt{x}$  که در

شکل ۲ داده شده است مقادیر عددی  $\frac{D_2}{D_1}$  تا  $\frac{D_{10}}{D_1}$  را

تا دو رقم معنی‌دار به دست آورید. نتایج خود را در یک جدول نمایش دهید.

حال می‌خواهیم اثر اصطکاک و گرانش را نیز

بررسی کنیم. در فیزیک شارها نشان می‌دهند که اگر

در لوله‌ای به قطر  $D$  آهنگ شارش حجمی  $Q$  باشد،

اصطکاک در طولی به اندازه  $l$  از لوله باعث افت فشار

$\Delta p = -\frac{ClQ}{D^4}$  می‌شود که در آن ضریب ثابت  $C$  به

دما و جنس مایع و لوله بستگی دارد. (به این رابطه قانون پوازی می‌گویند).

ت) طول هر کدام از لوله‌ها را  $l$ ، چگالی آب را  $\rho$  و شتاب گرانش زمین را  $g$  بگیرید. برای جبران اثر اصطکاک و ثابت نگه

داشتن سرعت آب درون همه لوله‌ها، اختلاف ارتفاع مورد نیاز،  $\Delta h_k$ ، بین دو سر لوله  $k$  ام را بر حسب  $k$ ،  $C$ ،  $l$ ،  $\rho$ ،  $g$ ،

$D_1$  و  $Q_1$  به دست آورید. این کاهش ارتفاع را به وسط لوله نسبت می‌دهیم.

ث) به ازای مقادیر عددی  $l = 3/0 \text{ m}$ ،  $\rho = 1000 \text{ kg/m}^3$ ،  $g = 10 \text{ m/s}^2$ ،  $C = 0/040 \text{ N.s/m}^2$ ،

$Q_1 = 10 \text{ L/s}$  و  $D_1 = 10 \text{ cm}$  مقدار  $\Delta h_1$ ،  $\Delta h_5$  و  $\Delta h_{10}$  را بر حسب سانتی‌متر تا دو رقم معنی‌دار به دست آورید.



نام : ---  
نام خانوادگی : ---  
کد ملی : ---



پاسخ سوال ۳

از نوشتن جواب سوالات دیگر در قسمت تعیین شده برای این سوال خودداری کنید در غیر این صورت، پاسخ داده شده تصحیح نخواهد شد

A large rectangular area with horizontal dashed lines for writing the answer to question 3.



نام : ---  
نام خانوادگی : ---  
کد ملی : ---

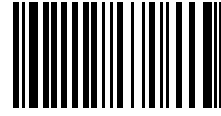


ادامه پاسخ سوال ۳ از نوشتن جواب سوالات دیگر در قسمت تعیین شده برای این سوال خودداری کنید در غیر این صورت، پاسخ داده شده تصحیح نخواهد شد

A large rectangular area with horizontal dashed lines for writing answers.



نام : ---  
نام خانوادگی : ---  
کد ملی : ---

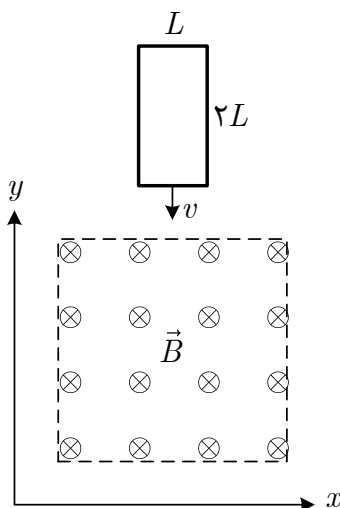
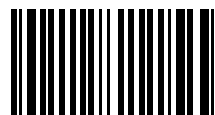


ادامه پاسخ سوال ۳ از نوشتن جواب سوالات دیگر در قسمت تعیین شده برای این سوال خودداری کنید در غیر این صورت، پاسخ داده شده تصحیح نخواهد شد

A large rectangular area with horizontal dashed lines for writing answers.



نام : ---  
 نام خانوادگی : ---  
 کد ملی : ---



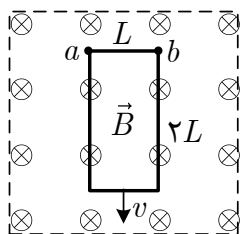
شکل ۱

(۴) یک حلقهٔ رسانا به جرم  $M$  و مقاومت الکتریکی  $R$  به شکل مستطیلی به ابعاد  $L$  و  $2L$  است. این حلقه مطابق شکل ۱ با سرعت  $v$  در جهت  $-y$  وارد ناحیه‌ای می‌شود که در آن میدان مغناطیسی یکنواخت  $B$  عمود بر صفحهٔ شکل و به سمت داخل برقرار است. حرکت در خلاء صورت می‌گیرد و میدان گرانشی نیز در کار نیست.

(آ) معین کنید جهت جریان القایی در حلقه هنگامی که بخشی از آن وارد ناحیهٔ میدان مغناطیسی شده، ساعتگرد یا پادساعتگرد است. نشان دهید در این حالت، میدان

مغناطیسی نیروی ترمزی  $\vec{F}(t) = -k\vec{v}$  را به حلقه وارد می‌کند که  $\vec{v}$  بردار سرعت حلقه است. ضریب  $k$  را بر حسب داده‌های مسئله به دست آورید.

(ب) به جای یک حلقه، یک سیم‌پیچ با  $N$  دور و با همان ابعاد جایگزین می‌کنیم. ضریب  $k$  را در این حالت به دست آورید.



شکل ۲

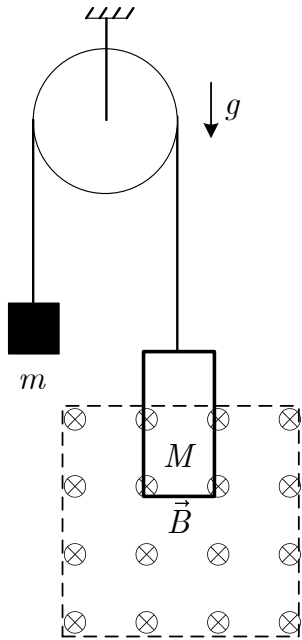
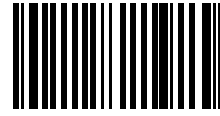
(پ) در حالتی که حلقه مطابق شکل ۲ کاملاً داخل میدان قرار دارد و با سرعت  $v$  به حرکت ادامه می‌دهد، بارهای الکتریکی مخالف در دو سمت ضلع‌های به طول  $L$  تجمع می‌کنند. در نتیجهٔ این تجمع، میدان الکتریکی در فاصلهٔ بین نقاط  $a$  و  $b$  ایجاد می‌شود. اختلاف پتانسیل

بین این دو نقطه،  $V_b - V_a$ ، چقدر است؟

(ت) دستگاه شکل ۳ را در نظر بگیرید. در این حالت میدان گرانشی  $g$  به سمت پایین برقرار است. دستگاه از حالت سکون رها می‌شود. در سمت راست این دستگاه حلقهٔ بخش  $A$  به تدریج از بالا وارد ناحیهٔ میدان می‌شود و سرانجام از آن خارج می‌شود. شتاب دستگاه را در طی مراحل مختلف عبور حلقه از ناحیهٔ میدان بر حسب  $M$ ،  $m$ ،  $g$ ،  $k$  و سرعت لحظه‌ای حلقه،  $v$ ، به دست آورید. از جرم ریسمان و قرقره و اصطکاک محور قرقره صرف‌نظر کنید.



نام : ---  
نام خانوادگی : ---  
کد ملی : ---



شکل ۳

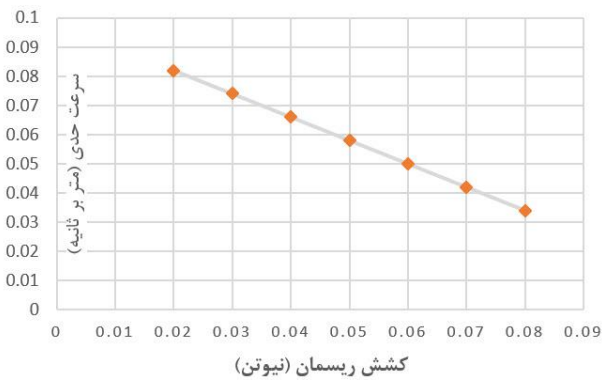
ث) در مرحله‌ای از حرکت بخش ت که در آن ضلع پایینی حلقه داخل میدان و ضلع بالایی خارج میدان قرار دارد سرعت لحظه‌ای به صورت تابع  $v(t) = \alpha + (v_0 - \alpha)e^{-\beta t}$  به دست می‌آید. در این رابطه  $t = 0$  لحظه‌ای است که لبه پایینی حلقه وارد میدان می‌شود و  $v_0$  سرعت حلقه در همین لحظه است. ضرایب  $\alpha$  و  $\beta$  را بر حسب داده‌های مسئله بیابید.

توضیح: تابع  $e^{-\beta t}$  تابع نمایی نام دارد که  $e$  عدد نپر است و مقدار آن تا سه رقم معنی‌دار  $e \cong 2,72$  است. تابع نمایی فوق، عدد نپر به توان  $-\beta t$  است. مشتق این تابع نسبت به

زمان به صورت  $\frac{d e^{-\beta t}}{dt} = -\beta e^{-\beta t}$  است.

ج) فرض کنید در لحظه رها کردن حلقه، لبه پایینی آن در ارتفاع  $h$  بالاتر از لبه بالایی میدان باشد.  $h$  را بر حسب  $m$ ،  $M$ ،  $g$  و  $k$  چنان تعیین کنید که بعد از لحظه  $t = 0$  و تا قبل از آن که کاملاً وارد میدان شود، حلقه با سرعت ثابت حدی به

حرکت ادامه دهد.



شکل ۴

توجه به این نمودار، ضریب  $k$  و جرم حلقه را به دست آورید. شتاب جاذبه را  $g = 10 \text{ m/s}^2$  بگیرید.

ح) با توجه به نتایج عددی بخش ج و با فرض آن که  $B = 0,6 \text{ T}$ ، و سطح مقطع سیمی که حلقه از آن ساخته شده است

ثابت و مقاومت ویژه آن  $\rho = 4 \times 10^{-8} \Omega \cdot \text{m}$  باشد، چگالی جرمی حلقه،  $D$ ، چقدر است؟



نام : ---  
نام خانوادگی : ---  
کد ملی : ---



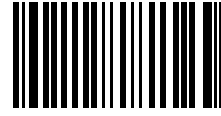
پاسخ سوال ۴

از نوشتن جواب سوالات دیگر در قسمت تعیین شده برای این سوال خودداری کنید در غیر این صورت، پاسخ داده شده تصحیح نخواهد شد

A large rectangular area with horizontal dashed lines for writing the answer to question 4.



نام : ---  
نام خانوادگی : ---  
کد ملی : ---

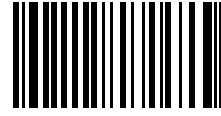


ادامه پاسخ سوال ۴ از نوشتن جواب سوالات دیگر در قسمت تعیین شده برای این سوال خودداری کنید در غیر این صورت، پاسخ داده شده تصحیح نخواهد شد

A large rectangular area with horizontal dashed lines for writing answers.



نام : ---  
نام خانوادگی : ---  
کد ملی : ---

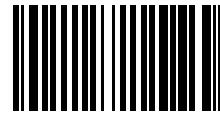


ادامه پاسخ سوال ۴ از نوشتن جواب سوالات دیگر در قسمت تعیین شده برای این سوال خودداری کنید در غیر این صورت، پاسخ داده شده تصحیح نخواهد شد

A large rectangular area with horizontal dashed lines for writing answers.



نام : ---  
 نام خانوادگی : ---  
 کد ملی : ---



۵) در این مسئله با یک مدل ساده فیزیکی طرز کار یک باتری را بررسی می‌کنیم. در بین دو صفحه رسانای موازی  $A$  و  $B$  که قطب‌های  $+$  و  $-$  باتری هستند یک الکترولیت، یعنی محلولی شامل یون‌های قابل تحرک، قرار دارد. برای سادگی فرض کنید در الکترولیت مورد نظر ما فقط یک نوع یون قابل تحرک وجود دارد. فرض کنید ناحیه بین دو قطب را با صفحات فرضی موازی با قطب‌ها به  $k+1$  ناحیه (سلول) تقسیم کنیم به طوری که  $k$  عدد بسیار بزرگی باشد. هر ناحیه را با یک شماره  $i$  مشخص می‌کنیم که از ناحیه مجاور قطب منفی با  $i=0$  شروع می‌شود و تا ناحیه مجاور قطب مثبت با  $i=k$  ادامه می‌یابد.

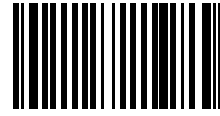
فرض کنید در لحظه دلخواه  $t$  تعداد  $n_i(t)$  یون در ناحیه  $i$  قرار دارد. در طی بازه زمانی  $\Delta t$  یک یون با احتمال  $p$  از ناحیه  $i$  به ناحیه  $i+1$  و با احتمال  $q$  به ناحیه  $i-1$  می‌رود. در نتیجه با احتمال  $1-(p+q)$  سر جای خود می‌ماند. تعداد یون‌ها بسیار زیاد است، به طوری که می‌توان تعداد ذرات در یک ناحیه را با متوسط تعداد در همان ناحیه برابر گرفت.

آ) تعداد یون‌ها در ناحیه  $i$  در زمان  $t + \Delta t$  را بر حسب تعداد یون‌ها در همان ناحیه و نواحی مجاور در زمان  $t$  به دست آورید.

ب) در حالت پایا تعداد یون‌ها در هر ناحیه، دیگر به زمان وابسته نیست. در این حالت، تعداد ذرات هر ناحیه را به دست آورید. راهنمایی: در اینجا به معادله‌ای به صورت  $n_i = \alpha n_{i-1} + \beta n_{i+1}$  می‌رسید که به معادله فیبوناچی معروف است. برای حل این معادله می‌توانید فرض کنید که جواب به صورت  $n_i = x^i$  است. در این صورت دو جواب برای  $x$  به دست می‌آید که ما آنها را  $x_1$  و  $x_2$  می‌نامیم. جواب کلی معادله فیبوناچی به صورت  $n_i = A_1 x_1^i + A_2 x_2^i$  است. ثابت‌های  $A_1$  و  $A_2$  را فعلاً مفروض بگیرید. در بخش‌های بعدی مسئله، آن‌ها را تعیین می‌کنیم.



نام : ---  
 نام خانوادگی : ---  
 کد ملی : ---



(پ) مجموع تعداد کل یون‌ها را در نواحی صفر تا  $k$  به دست آورید.

(ت) بار الکتریکی هر یون را  $Q$  بگیرید. در حالت پایا جریان الکتریکی باتری،  $I$ ، ثابت و برابر جریان بین هر دو ناحیه مجاور  $i$  و  $i + 1$  است و می‌تواند به صورت تابعی از  $Q$ ،  $p$ ،  $q$ ،  $\Delta t$  و ثابت‌های  $A_1$  و  $A_2$  باشد.  $I$  را به دست آورید.

در یک باتری فرایندهای شیمیایی که در کنار قطب‌ها رخ می‌دهند روی جمعیت یون‌ها تأثیرگذارند. فرض کنید این فرایندها طوری است که تعداد یون‌ها در ناحیه مجاور قطب منفی مقدار ثابت  $n_0$  و در ناحیه مجاور قطب مثبت مقدار ثابت  $n_k$  باشد. همچنین به دلیل اختلاف پتانسیل  $V$  بین قطب‌ها، داخل الکترولیت میدان الکتریکی برقرار می‌شود که باعث

تفاوت  $p$  و  $q$  می‌شود. برای سادگی فرض کنید  $p = (a - bQ \frac{V}{k})\Delta t$  و  $q = (a + bQ \frac{V}{k})\Delta t$  که  $a$  و  $b$  مقادیر

ثابتی هستند. همچنین به دلیل زیاد بودن تعداد نواحی می‌توان فرض کرد که  $bQ \frac{V}{k}$  از  $a$  بسیار کوچک‌تر است.

**راهنمایی:** برای  $|\varepsilon|$  خیلی کوچک‌تر از ۱ می‌توان از رابطه تقریبی  $1 + k\varepsilon \approx (1 + \varepsilon)^k$  استفاده کرد (به شرط آن که  $|k\varepsilon|$  نیز خیلی کوچک‌تر از ۱ باشد).

(ث) در حالت مدار باز که از باتری جریان الکتریکی نمی‌گذرد، ثوابت وابسته به شرایط مرزی  $A_1$  و  $A_2$  را به دست آورده و اختلاف پتانسیل بین قطب‌های باتری،  $V_0$ ، را بر حسب ثوابت  $a$ ،  $b$ ،  $n_0$ ،  $n_k$ ،  $Q$  و  $k$  بیابید.

(ج) نشان دهید در حالتی که جریان کوچک  $I$  در باتری برقرار است، اختلاف پتانسیل بین قطب‌های باتری،  $V$ ، به صورت

$V = V_0 - RI$  است که  $V_0$  اختلاف پتانسیل بین قطب‌های باتری در حالت مدار باز است. کمیت  $R$  را بر حسب ثوابت

$a$ ،  $b$ ،  $n_0$ ،  $n_k$ ،  $Q$  و  $k$  بنویسید.



نام : ---  
نام خانوادگی : ---  
کد ملی : ---



پاسخ سوال ۵

از نوشتن جواب سوالات دیگر در قسمت تعیین شده برای این سوال خودداری کنید در غیر این صورت، پاسخ داده شده تصحیح نخواهد شد

A large rectangular area with horizontal dashed lines for writing the answer to question 5.



نام : ---  
نام خانوادگی : ---  
کد ملی : ---

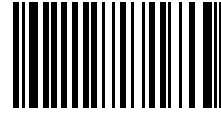


ادامه پاسخ سوال ۵ از نوشتن جواب سوالات دیگر در قسمت تعیین شده برای این سوال خودداری کنید در غیر این صورت، پاسخ داده شده تصحیح نخواهد شد

A large rectangular area with horizontal dashed lines for writing answers.



نام : ---  
نام خانوادگی : ---  
کد ملی : ---

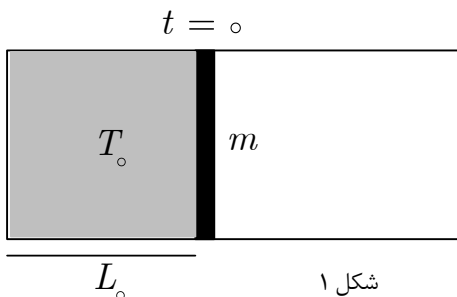
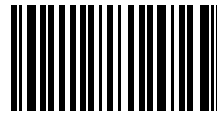


ادامه پاسخ سوال ۵ از نوشتن جواب سوالات دیگر در قسمت تعیین شده برای این سوال خودداری کنید در غیر این صورت، پاسخ داده شده تصحیح نخواهد شد

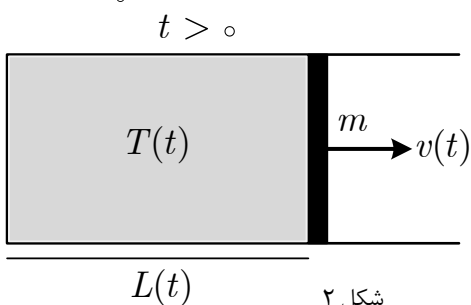
A large rectangular area with horizontal dashed lines for writing answers.



نام : ---  
 نام خانوادگی : ---  
 کد ملی : ---



شکل ۱



شکل ۲

۶) مقداری گاز آرمانی داخل یک ظرف استوانه‌ای به وسیله پیستونی به

جرم  $m$  محبوس شده است. در لحظه  $t = 0$  دمای گاز  $T_0$  است و پیستون به فاصله  $L_0$  از انتهای استوانه نگه داشته شده است. بیرون استوانه خلاء است و اصطکاک پیستون و استوانه ناچیز است. استوانه و پیستون عایق گرما هستند.

پیستون را رها می‌کنیم تا گاز به طور بی‌دررو منبسط شود و پیستون را به حرکت درآورد. در لحظه دلخواه  $t$  دمای گاز بر حسب کلویین  $T(t)$ ، سرعت پیستون  $v(t)$  و فاصله پیستون از انتهای استوانه  $L(t)$  است.

لازم به توضیح است که انرژی درونی یک گاز آرمانی در دمای  $T$  برابر  $U = C_V T$  است.  $C_V$  ظرفیت گرمایی گاز

در حجم ثابت نامیده می‌شود و در این مسئله آن را ثابت فرض می‌کنیم. برای یک گاز آرمانی طی یک فرایند بی‌دررو، کمیت  $TV^{\gamma-1}$  مقدار ثابتی است، که  $T$  دمای گاز،  $V$  حجم گاز و  $\gamma$  عدد ثابتی موسوم به ضریب اتمیسیته است.

آ) با استفاده از پایستگی انرژی، سرعت لحظه‌ای پیستون،  $v(t)$ ، را بر حسب دمای لحظه‌ای گاز،  $T(t)$ ، و سایر داده‌های مسئله به دست آورید.

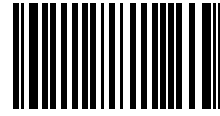
ب) با توجه به ثابت بودن کمیت  $TV^{\gamma-1}$  در هر لحظه دلخواه  $t$ ، رابطه‌ای بین  $\frac{dL(t)}{dt}$  و  $\frac{dT(t)}{dt}$  به دست آورید.

منظور از  $\frac{dT(t)}{dt}$  مشتق دما نسبت به زمان و منظور از  $\frac{dL(t)}{dt}$  مشتق طول  $L$  نسبت به زمان است.

پ) از روابط بخش‌های آ و ب،  $\frac{dT(t)}{dt}$  را بر حسب  $T(t)$  و سایر کمیت‌های ثابت (مستقل از زمان) داده شده به دست آورید.



نام : ---  
 نام خانوادگی : ---  
 کد ملی : ---



ت) معادله به دست آمده در بخش پ را بر حسب متغیرهای بدون یکای فیزیکی (بدون بُعد)  $x$  و  $y$  که در زیر معرفی می شوند،

بنویسید

$$y(x) = \frac{T(t)}{T_0}, \quad x = \frac{t}{t_0}, \quad t_0 = \sqrt{\frac{mL_0}{2C_V T_0}}$$

ث) حال فرض کنید گاز آرمانی این مسئله تک اتمی است که برای آن  $\gamma = \frac{5}{3}$  است. معادله به دست آمده در قسمت ت، تا

زمانی که گاز داخل استوانه محبوس باشد، دارای جوابی به شکل زیر است

$$x = a \left( \frac{1}{y} - 1 \right)^{\frac{1}{2}} + b \left( \frac{1}{y} - 1 \right)^{\frac{3}{2}}$$

ثابت‌های عددی  $a$  و  $b$  را با این الزام که جواب پیشنهادی، به ازای هر  $x$  و  $y$  مجاز باید در معادله بخش ت صدق کند، به دست آورید.

ج)  $y(x)$  را به دست آورید.

راهنمایی: برای حل یک معادله درجه ۳ به صورت  $z^3 + a_1 z^2 + a_2 z + a_3 = 0$  کمیت‌های زیر را تعریف

می‌کنیم

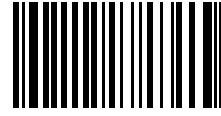
$$Q = \frac{1}{9}(3a_2 - a_1^2), \quad R = \frac{1}{54}(9a_1 a_3 - 27a_3 - 2a_1^3),$$

در حالتی که  $D = Q^3 + R^2 > 0$ ، معادله فقط یک جواب قابل قبول به صورت زیر دارد

$$z = R + \sqrt{D}^{\frac{1}{3}} + R - \sqrt{D}^{\frac{1}{3}} - \frac{1}{3}a_1$$



نام : ---  
نام خانوادگی : ---  
کد ملی : ---



پاسخ سوال ۶

از نوشتن جواب سوالات دیگر در قسمت تعیین شده برای این سوال خودداری کنید در غیر این صورت، پاسخ داده شده تصحیح نخواهد شد

A large rectangular area with horizontal dashed lines for writing answers.



نام : ---  
نام خانوادگی : ---  
کد ملی : ---

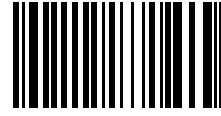


ادامه پاسخ سوال ۶ از نوشتن جواب سوالات دیگر در قسمت تعیین شده برای این سوال خودداری کنید در غیر این صورت، پاسخ داده شده تصحیح نخواهد شد

A large rectangular area with horizontal dashed lines for writing answers.



نام : ---  
نام خانوادگی : ---  
کد ملی : ---

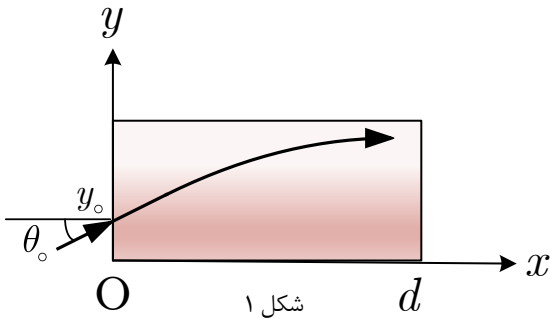
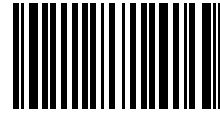


ادامه پاسخ سوال ۶ از نوشتن جواب سوالات دیگر در قسمت تعیین شده برای این سوال خودداری کنید در غیر این صورت، پاسخ داده شده تصحیح نخواهد شد

A large rectangular area with horizontal dashed lines for writing answers.



نام : ---  
 نام خانوادگی : ---  
 کد ملی : ---



شکل ۱

(۷) در یک محلول شفاف، به دلیل تفاوت غلظت ماده حل شده،

ضریب شکست می‌تواند در ارتفاع‌های مختلف از کف ظرف تفاوت داشته

باشد. در شکل ۱، صفحه  $x - y$  برش قائم یک محلول را نشان می‌دهد

که در ظرفی به شکل مکعب مستطیل ریخته شده است. خط  $y = 0$

کف ظرف و خطوط  $x = 0$  و  $x = d$  دیواره‌های ظرف را نشان می‌دهند. بیرون ظرف، هوا با ضریب شکست ۱ است.

باریکه نوری مطابق شکل ۱، در صفحه  $x - y$  با زاویه کوچک  $\theta_0$  به نقطه  $(0, y_0)$  از دیواره سمت چپ می‌تابد و وارد

محلول می‌شود. (برای وضوح بیشتر، شکل‌ها در راستای  $y$  بزرگ‌تر از واقع رسم شده‌اند.) فرض کنید دیواره‌های ظرف بسیار

نازک است به طوری که اثر محسوسی در مسئله ندارد. باریکه نور پس از ورود به محلول، همانند پدیده سراب، مسیری خمیده

را طی می‌کند که معادله آن  $y = A \cos[\alpha(x - B)]$  است.

(آ) ضریب شکست متغیر محلول،  $n(y)$ ، را بر حسب  $y$ ،  $A$ ،  $\alpha$  و اندازه ضریب شکست محلول در کف ظرف،

$n_0 = n(y = 0)$ ، به دست آورید.

(ب) رابطه به دست آمده در بخش آ را برای مقادیر  $\alpha A$  خیلی کوچک‌تر از ۱ تقریب بزنید. برای این کار با استفاده از راهنمایی

زیر جواب را به صورت یک چندجمله‌ای از توان‌های مختلف  $\alpha$  بنویسید و سپس از جملات با توان ۳ و بالاتر چشم‌پوشی کنید.

در ادامه مسئله نیز از همین تقریب استفاده کنید.

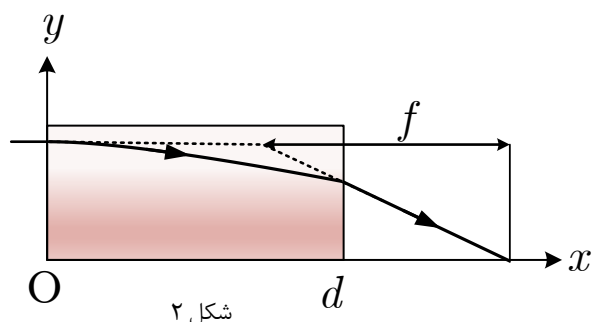
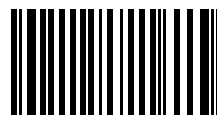
راهنمایی: برای  $|\varepsilon|$  خیلی کوچک‌تر از ۱ می‌توان از رابطه تقریبی  $1 + k\varepsilon \approx (1 + \varepsilon)^k$  استفاده کرد (به شرط آن که  $|k\varepsilon|$

نیز خیلی کوچک‌تر از ۱ باشد).

(پ) ثابت‌های  $A$  و  $B$  را با فرض کوچک بودن  $\theta_0$  بر حسب کمیت‌های  $\alpha$ ،  $y_0$  و  $\theta_0$  به دست آورید.



نام : ---  
 نام خانوادگی : ---  
 کد ملی : ---



شکل ۲

ت) اگر نور به صورت افقی وارد محلول شود و مطابق شکل ۲ خم شود، فاصله کانونی سامانه،  $f$ ، که در شکل مشخص شده است را بر حسب  $n_o$ ،  $\alpha$  و  $d$  تا مرتبه تقریبی که در قسمت ب ذکر شد به دست آورید.

ث) فاصله دیواره سمت راست محلول تا نقطه کانونی را بر حسب  $n_o$ ،  $\alpha$  و  $d$  به دست آورید.

ج) برای این محلول، ضریب شکست به طول موج،  $\lambda$ ، وابسته است و در کف ظرف به صورت  $n_o(\lambda) = C + \frac{D}{\lambda^2}$  است که

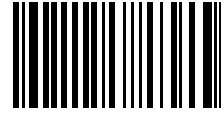
در آن  $C$  و  $D$  اعداد ثابتی هستند. فرض کنید کمیت  $\alpha$  به طول موج بستگی ندارد. اگر نور ورودی به محلول از طول موج

$\lambda_1$  به  $\lambda_2$  تغییر کند، میزان جابجایی نقطه کانون را بر حسب  $\lambda_1$ ،  $\lambda_2$ ،  $d$ ،  $C$  و  $D$  به دست آورید.

در صورت لزوم از این قسمت به  
 عنوان چرک نویس استفاده کنید  
 مطالب این قسمت تحت هیچ  
 شرایطی تصحیح نخواهد شد



نام : ---  
نام خانوادگی : ---  
کد ملی : ---



پاسخ سوال ۷

از نوشتن جواب سوالات دیگر در قسمت تعیین شده برای این سوال خودداری کنید در غیر این صورت، پاسخ داده شده تصحیح نخواهد شد

A large rectangular area with horizontal dashed lines for writing the answer to question 7.



نام : ---  
نام خانوادگی : ---  
کد ملی : ---

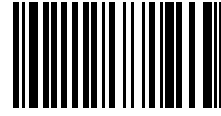


ادامه پاسخ سوال ۷ از نوشتن جواب سوالات دیگر در قسمت تعیین شده برای این سوال خودداری کنید در غیر این صورت، پاسخ داده شده تصحیح نخواهد شد

A large rectangular area with horizontal dashed lines for writing answers.



نام : ---  
نام خانوادگی : ---  
کد ملی : ---



ادامه پاسخ سوال ۷ از نوشتن جواب سوالات دیگر در قسمت تعیین شده برای این سوال خودداری کنید در غیر این صورت، پاسخ داده شده تصحیح نخواهد شد

A large rectangular area with horizontal dashed lines for writing answers.