باسمه تعالی

وزارت آموزش و پرورش

باشگاه دانش‌پژوهان جوان

مبارزه‌ی علمی برای جوانان، زنده‌کردن روح جست‌وجو و کشف واقعیت‌هاست.

«امام خمینی (ره)»

شانزدهمین المپیاد فیزیک کشور

مرحله‌ی دوم

آزمون نظری: ۱۸ اردیبهشت‌ماه ۱۳۸۲

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 ۷ سؤال و وقت آن ۳ ساعت و ۳۰ دقیقه است.

۲- هر سؤال ۱۰ نمره دارد.

۳- بالای هر برگ پاسخ‌نامه نام، نام خانوادگی، و نام المپیاد (فیزیک) را بنویسید.

۴- در محل پیش‌بینی شده در هر صفحه شماره‌ی سؤال را بنویسید.

۵- در زیر خط‌چین هیچ علامت یا عبارت مشخصه نباید نوشته شود.

۶- بر روی هر برگ پیش‌نویس که به شما داده می‌شود نام و نام خانوادگی خود را حتماً بنویسید.

۷- فرم انتخاب رشته را که در پشت جلد دفترچه‌ی پاسخ‌نامه چاپ شده است حتماً ملاحظه و با دقت پر کنید.

۸- در پایان آزمون می‌توانید سؤالات نظری را به همراه خود ببرید.

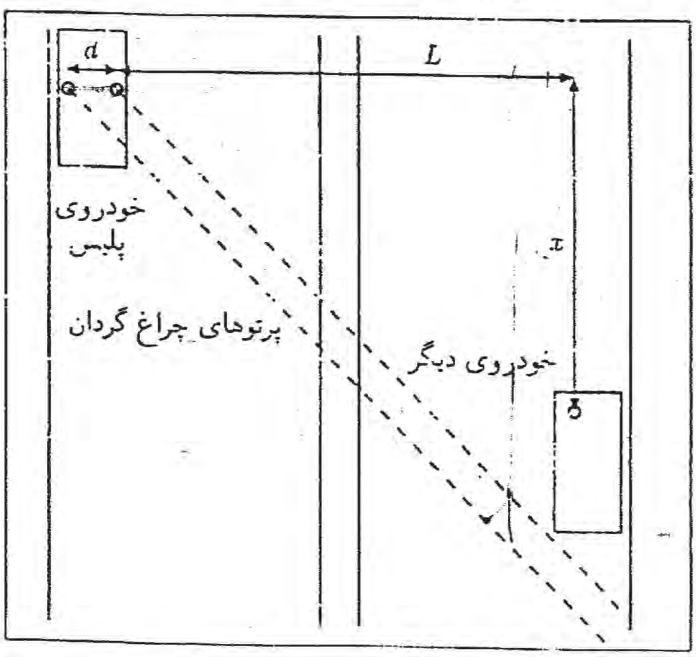
۹- نتایج این آزمون در نیمه‌ی دوم خردادماه اعلام خواهد شد.

۱) چراغ گردان خودروهای پلیس، متشکل از یک چراغ و یک آینه‌ی هم‌گرا است، به گونه‌ای که چراغ در نقطه‌ی کانونی آینه است و در نتیجه نور چراغ به صورت موازی از آینه باز می‌تابد. آینه با سرعت زاویه‌ای ω حول چراغ می‌چرخد، یعنی هر ثانیه به اندازه‌ی زاویه‌ی ω رادیان می‌چرخد. یک خودروی پلیس در یک سمت یک بزرگ‌راه ایستاده است و روی آن دو چراغ گردان به فاصله‌ی d از هم قرار دارند. دو چراغ گردان با سرعت زاویه‌ای یکسان ω می‌چرخند و پرتوهای آن‌ها با هم موازی است. خودروی دیگری، مانند شکل، در سوی دیگر بزرگ‌راه ایستاده است. فاصله‌ی چراغ گردان نزدیک‌تر تا این سوی دیگر بزرگ‌راه (که خودروی دوم ایستاده است،) برابر L است. $(d \ll L)$

الف) پرتوهای دو چراغ گردان با اختلاف زمانی T به چشم راننده‌ی خودروی دوم می‌زند. این اختلاف زمانی را بر حسب پارامترهای مسئله به تقریب به دست آورید و نمودار T بر حسب x را بکشید.

راهنمایی: برای زاویه‌های کوچک α می‌توانید فرض کنید $\sin\alpha \simeq \tan\alpha \simeq \alpha$، که α بر حسب رادیان است.

ب) بیشینه‌ی این اختلاف زمانی، به ازای x های مختلف، چه قدر است؟ این مقدار را به ازای $L = 30\ \text{m}$، $d = 1\ \text{m}$، و $\omega = 6\ \text{rad/s}$ حساب کنید.



۲) مطابق شکل، روی یک میله‌ی نارسانای نازک و بسیار بلند، بار الکتریکی مثبت به طور یک‌نواخت وجود دارد. چگالی طولی بار، یعنی بار موجود روی واحد طول میله λ است. بار نقطه‌ای مثبت q را روی محور y و به فاصله‌ی r از میله در نظر بگیرید. طول میله چنان بلند است و r در مقایسه با طول میله چنان کم است که می‌توان طول میله را بی‌نهایت فرض کرد. می‌توان نشان داد که در این شرایط اندازه‌ی میدان ناشی از بارهای روی میله، در محل بار نقطه‌ای q، از رابطه‌ی $E = \dfrac{\lambda}{2\pi\epsilon_0 r}$ به دست می‌آید.

الف) جهت میدان E را به دست آورید. (راهنمایی: بار توزیع شده روی میله را می‌توان متشکل از تعداد زیادی بار نقطه‌ای پهلوی هم در نظر گرفت که هر کدام یک میدان الکتریکی ایجاد می‌کنند.)

ب) نیروی الکتریکی وارد بر بار q را به دست آورید. این نیرو را F_E می‌نامیم.

اکنون فرض کنید بار q و نیز میله‌ی باردار، در جهت محور x با سرعت ثابت u حرکت کند. از نظر ناظر ساکن نسبت به محور x، حرکت میله مانند عبور جریان الکتریکی از میله است. این جریان را I می‌نامیم.

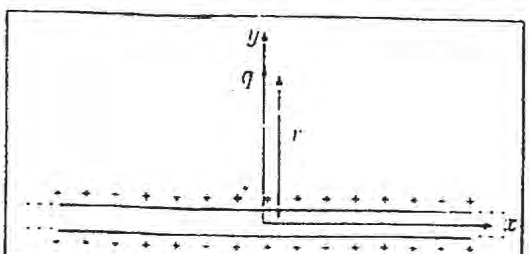
ج) جریان الکتریکی I را به دست آورید.

د) میدان مغناطیسی حاصل از جریان I را در نقطه‌ای به فاصله‌ی r از میله به دست آورید.

ه) نیروی مغناطیسی وارد بر بار q را به دست آورید. این نیرو را F_B می‌نامیم.

و) برای ناظر ساکن نسبت به محور x، دو نیروی الکتریکی F_E و مغناطیسی F_B بر بار نقطه‌ای q وارد می‌شود. فرض کنید نیروی F_E مانند قسمت (ب) باشد. برآیند دو نیروی F_E و F_B را به دست آورید. این نیرو را F می‌نامیم.

ز) نسبت $\dfrac{F}{F_E}$ را حساب کنید.



۳) ستونی از یک ماده به طور عمودی روی زمین گذارده شده است. این ستون به خاطر وزن خودش فشرده می‌شود. فاصله‌ی هر نقطه از این ستون تا سطح زمین در حالت فشرده‌نشده را با x نشان می‌دهیم. فاصله‌ی همین نقطه تا سطح زمین در حالت فشرده‌شده را با $z(x)$ نشان می‌دهیم. ستون را می‌شود به شکل N فنر متوالی در نظر گرفت، که طول فشرده‌نشده‌ی هر یک $\Delta x = L/N$، و ثابت فنر هر یک $N\,k$ است. L طول ستون است در حالی که فشرده نشده باشد. هر چه N بزرگ‌تر باشد این مدل به واقعیت نزدیک‌تر می‌شود.

الف) نیروی کشش یکی از فنرها را بر حسب Δx (طول فنر در حالت عادی) و Δz (طول فنر در حالت فشرده‌شده) به دست آورید.

ب) N را به سمت بی‌نهایت میل دهید و نیروی کشش در نقطه‌ی x را به دست آورید.

فرض کنید چگالی طولی ستون یک‌نواخت است؛ یعنی وزن بخشی از ستون به طول کشیده‌نشده‌ی D برابر است با $D\,w$، که w ثابت است.

ج) شرط تعادل را برای قسمتی از ستون که بالای نقطه‌ی x است بنویسید؛ و z را برحسب x به دست آورید.

د) تغییر طول ستون را در اثر فشردگی حساب کنید.

ه) به جای ستون، فنر بدون جرم قائمی با ثابت k را در نظر بگیرید؛ که روی آن باری به وزن wL (وزن ستون قبلی) گذاشته اند. تغییر طول این فنر در اثر این بار چه‌قدر است؟

۴) جسمی به جرم ۱ kg روی سطحی افقی ساکن است. ضریب اصطکاک ایستایی ۰/۸ و ضریب اصطکاک جنبشی ۰/۵ است. در مرحله‌ی اول، از زمان $t = ۰\,\text{s}$ تا $t = ۲۰\,\text{s}$، نیروی متغیر F به جسم وارد می‌شود و داریم $F = \alpha t$، که در آن $\alpha = ۰/۵\,\text{N/s}$ است. در مرحله‌ی دوم، نیرویی با اندازه‌ی ثابت یک نیوتن در همان جهت نیروی اول وارد می‌شود. $(g = ۱۰\,\text{m/s}^۲)$

الف) نمودار نیروی اصطکاک بر حسب زمان، و نمودار شتاب جسم بر حسب زمان را تا پایان مرحله‌ی اول بکشید.

ب) با توجه به این که مساحت زیر نمودار شتاب ـ زمان برابر با تغییر سرعت متحرک است، سرعت جسم در پایان مرحله‌ی اول حرکت چه قدر است؟

ج) جسم در چه زمانی دوباره به حالت سکون می‌رسد؟

د) نمودار نیروی اصطکاک بر حسب زمان، و نمودار شتاب بر حسب زمان را برای قسمت دوم حرکت جداگانه بکشید.

۵) [٭]درون مایع، هر ملکول با ملکول‌های مجاور خود برهم‌کنش دارد و به خاطر این برهم‌کنش، انرژی پتانسیل هر دو ملکول هم‌سایه $-U$ است، که U مقداری مثبت است. تعداد هم‌سایه‌های ملکول‌های سطح آزاد مایع کم‌تر از تعداد هم‌سایه‌های ملکول‌ها در عمق مایع است. بنابراین انرژی پتانسیل یک توده‌ی مایع به شکل دل‌بخواه و حجم V، که بیرون مایع است (یعنی اطراف آن خالی است) با انرژی پتانسیل مایعی به همان حجم و همان شکل، که درون مایعی از همان جنس است فرق می‌کند. انرژی پتانسیل در حالت اول منهای انرژی پتانسیل در حالت دوم را انرژی سطحی می‌نامند. این انرژی برابر است با τS، که در آن S مساحت سطح بیرونی همان توده‌ی مایع، و τ کشش سطحی است. به عنوان یک مدل، فرض کنید ملکول‌هایی که فاصله‌ی آن‌ها با سطح مایع کم‌تر از a است هم‌سایه ندارند، و ملکول‌هایی که فاصله‌ی آن‌ها تا سطح بیش از a است هر کدام N هم‌سایه دارند. تعداد ملکول‌ها بر واحد حجم مایع n است.

الف) انرژی پتانسیل متناظر با یک ملکول درون مایع و دور از سطح مایع را حساب کنید.

ب) انرژی سطحی مایعی با مساحت سطح بیرونی S را حساب کنید، و از آن‌جا کشش سطحی مایع را به دست آورید. ابعاد توده‌ی مایع را خیلی بزرگ‌تر از a بگیرید.

گرمای نهان تبخیر مایع به خاطر آن است که وقتی ملکول‌های مایع از آن می‌گریزند، برهم‌کنش آن‌ها با ملکول‌های هم‌سایه از بین می‌رود؛ و به این ترتیب انرژی پتانسیل آن‌ها تغییر می‌کند. چگالی مایع را ρ بگیرید.

ج) گرمای نهان تبخیر مایع (یعنی گرمای لازم برای تبخیر واحد جرم مایع) را حساب کنید.

د) گرمای نهان تبخیر آب $2000\ \mathrm{kJ/kg}$، کشش سطحی آن $0/07\ \mathrm{N/m}$، و چگالی آن $1000\ \mathrm{kg/m^3}$ است. مقدار a را برای آب حساب کنید.

۶) نردی می‌خواهد با قایق از یک طرف رودخانه‌ای به عرض $d = 50\ \mathrm{m}$ به طرف دیگر آن برود. سرعت پارو زدن او نسبت به آب ساکن $v = 3\mathrm{m/s}$ است. او در چه جهتی پارو بزند

تا طول مسیرش به سمت دیگر رودخانه کوتاه‌ترین مقدار باشد. مسئله را برای دو حالت زیر حل کنید.

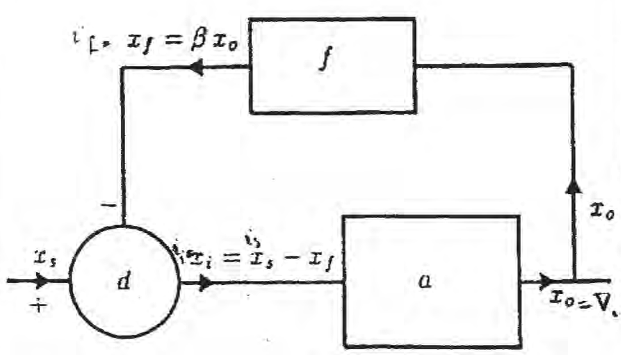
الف) سرعت آب رودخانه $u = 2\,m/s$ است.

ب) سرعت آب رودخانه $u = 4\,m/s$ است.

---

۷) اجزای به‌کار رفته در شکل (۱) به شرح زیر است: a یک تقویت‌کننده است که با دریافت علامت ورودی x_i، علامت خروجی x_o را می‌دهد. f یک مدار پسخوراند (Feedback) است که کسر β از علامت خروجی را به ورودی برمی‌گرداند، یعنی $x_f = \beta x_o$. d یک تفریق‌کننده است که حاصل تفریق x_f از x_s را به ورودی تقویت‌کننده می‌دهد. x_s از یک چشمه ناشی می‌شود. x_o ممکن است ولتاژ یا جریان باشد. x_i، x_s، و x_f ممکن است ولتاژ یا جریان باشند. بهره‌ی تقویت‌کننده بدون پسخوراند، A، و بهره‌ی تقویت‌کننده با پسخوراند، A_f با رابطه‌های زیر تعریف می‌شوند.

$$A = \frac{x_o}{x_i}, \qquad A_f = \frac{x_o}{x_s}.$$



(شکل ۱)

الف) A_f را بر حسب A و β به دست آورید.

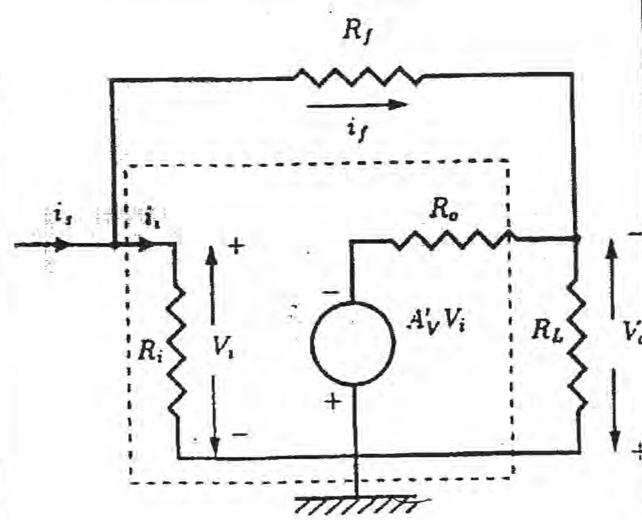
در شکل (۲) مدار معادل یک تقویت‌کننده‌ی با پسخوراند نشان داده شده است. در این مدار $x_o = V_o$ ولتاژ است، و $x_i = i_i$، $x_s = i_s$، و $x_f = i_f$ جریان اند. نماد $A'_V V_i$ یک چشمه‌ی ولتاژ است، یعنی اختلاف پتانسیل دو سر آن، با قطب‌بندی مشخص‌شده در شکل، $A'_V V_i$ است که A'_V عدد ثابتی است.

ب) با این فرض که $\frac{V_o}{V_i} \gg 1$ باشد، β را به دست آورید.

برای به دست آوردن A_f، ابتدا لازم است A، یعنی بهره‌ی تقویت‌کننده‌ی بدون پسخوراند را تعیین کرد. برای این کار، باید اثر پسخوراند، یعنی انتقال علامت از خروجی به ورودی را حذف کرد، اما تأثیر مقاومت R_f در مدار ورودی و مدار خروجی تقویت‌کننده را به حساب آورد. می‌توان نشان داد که اگر $R_f \gg R_L$، و $R_f \gg R_i$ باشد، مدار مورد نظر مداری است که با حذف R_f به دست می‌آید.

ج) با فرض بالا، مدار مورد نظر را رسم کنید.

د) A و سپس A_f را حساب کنید.



(شکل ۲)