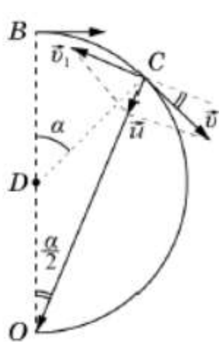
Ֆիզիկայի հանրապետական օլիմպիադա
Հանրապետական փուլ
240 րոպե (4 ժամ)
12-րդ դասարան

12-1. Վակուումում անկշռությունում էլեկտրամագնիսների կլոր բևեռների միջև m զանգվածով և q լիցքով մասնիկը գտնվում է մագնիսի առանցքից x հեռավորության վրա: սկզբնական վիճակում մագնիսական դաշտը զրո է: Հետո կարճ ժամանակի ընթացքում, մագնիսական դաշտի ինդուկցիան աճում է մինչև B_0 և պահպանվում է հաստատուն $\tau < \frac{\pi m}{qB_0}$ ժամանակի ընթացքում, որից հետո շատ արագ իջնում է զրոյի:
1) Ինչու՞ է մասնիկը սկսում շարժվել: Նկարագրեք որակապես մասնիկի հետագիծը:
2) Ի՞նչ արագությամբ է շարժվում մասնիկը մագնիսական դաշտը միացնելուց հետո:
3) Ի՞նչ արագությամբ է շարժվում մասնիկը մագնիսական դաշտն անջատելուց հետո:
4) Մագնիսի առանցքից ի՞նչ նվազագույն հեռավորության վրա է անցնում մասնիկի հետագիծը:
5) Դաշտը միացնելու պահից որքա՞ն ժամանակ անց մասնիկը կգտնվի նվազագույն հեռավորության վրա մագնիսի առանցքից:
Բևեռների ներսում մագնիսական դաշտը կարելի է համարել համասեռ: Դաշտի միացման և անջատման ընթացքում մասնիկի տեղաշարժը կարելի է անտեսել:

Լուծում: Երբ միացվում է ժամանակի ընթացքում փոփոխվող մագնիսական դաշտը, ապա այն առաջացնում է մրրկային էլեկտրական դաշտ, որը ազդում է մասնիկի վրա և հաղորդում է դրան որոշակի արագություն: Համաչափությունից պարզ է, որ այդ էլեկտրական դաշտի ուժագծերը համակենտրոն շրջանագծեր են, որոնց կենտրոնը մագնիսի առանցքի վրա է: Համաձայն էլեկտրամագնիսական ինդուկցիայի օրենքի $\vec{E}_{\text{մր}}$ ուղղված է (նկարում ցույց տրված մագնիսական դաշտի ուղղության դեպքում) ժամացույցի սլաքի ուղղությամբ, երբ դաշտը միացվում է և հակառակ դրան, երբ այն անջատվում է: Ֆարադեյի օրենքից ունենք

$$\mathcal{E} = \left|\frac{d\Phi}{dt}\right| = \pi x^2 \left|\frac{dB}{dt}\right|$$

Մյուս կողմից՝ ԷլՇՈՒ-ն՝ $\mathcal{E} = 2\pi x E_{\text{մր}}$, որտեղից ստանում ենք $E_{\text{մր}} = \frac{x}{2}\frac{dB}{dt}$:
Քանի որ $m\frac{dv}{dt} = qE_{\text{մր}}$, փոքր dt ժամանակահատվածում մասնիկի արագության փոփոխությունը



$$dv = \frac{qE_{\text{մր}}\,dt}{m} = \frac{qx}{2}\frac{dB}{m}:$$

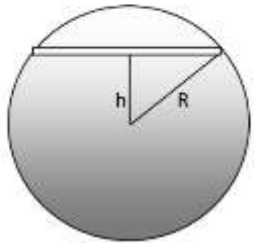
Այսպիսով ստանում ենք, որ մագնիսական դաշտը մինչև հաստատուն B_0-ն կայունացման ժամանակում արագության փոփոփոխությունը հավասար է $v = \frac{qx}{2}\frac{B_0}{m}$: Այդ արագությունը համուղղված է $\vec{E}_{\text{մր}}$ վեկտորին, ուստի ուղղված է ժամսլաքի ուղղությամբ, մագնիսի կենտրոնից տարված շառավղին ուղղահայաց (տես նկ:):
Հետևաբար, հետագա τ ժամանակում Լորենցի ուժի ազդեցությամբ այն կշարժվի $R = \frac{vm}{qB_0}$ շառավղով շրջանագծով $T = \frac{2\pi m}{qB_0}$ պարբերությամբ: Նկատենք, որ $R = \frac{x}{2}$, հետևաբար, շրջանագիծը անցնում է մագնիսի առանցքի O կետով և քանի որ $\frac{\pi m}{qB_0} < \frac{T}{2}$, մինչև մագնիսական դաշտի անջատելը մասնիկը անցնում է կես շրջանագծից քիչ ճանապարհ: Նկարում B-ն սկզբնակետն է, C-ն այն կետը, որտեղ այն կհայտնվի τ ժամանակ հետո, մագնիսական դաշտը անջատելու պահին, D-ն շրջանագծային ուղեծրի կենտրոնն է: τ պահին մասնիկի դիրքը նկարագրվում է $\alpha = \frac{2\pi\tau}{T} = \tau q\frac{B_0}{m}$ անկյունով, իսկ OC հեռավորությունը մագնիսի առանցքից հավասար է $x_1 = 2R\cos\left(\frac{\alpha}{2}\right) = x\cos\left(\frac{\alpha}{2}\right)$:
Մագնիսական դաշտն անջատելիս մրրիկային էլեկտրական դաշտի ազդեցության հետևանքով մասնիկի արագության փոփոխությունը հավասար է է $v_1 = \frac{qx_1}{2}\frac{B_0}{m} = v\cos\left(\frac{\alpha}{2}\right)$,

ընդ որում v_1 -ն ուղղահայաց է OC-ին, իսկ v-ն ուղղահայաց է DC-ին (տես նկ.): Դաշտը անջատելուց հետո մասնիկի արագությունը $\vec{u} = \vec{v} + \overrightarrow{v_1}$: Նկատենք, որ OC-ին ուղղահայաց $\vec{v}$ -ի բաղադրիչը $v_\perp = vcos\left(\frac{\alpha}{2}\right)$, ուստի $\overrightarrow{v_\perp} + \overrightarrow{v_1}$=0: Ուրեմն $\vec{u}$ վեկտորը ուղղված է էլեկտրամագնիսի առանցքով անցնող OC հատվածի երկայնքով և $u = vsin\left(\frac{\alpha}{2}\right) = \frac{qx}{2}\frac{B_0}{m}sin\left(\frac{\alpha}{2}\right)$: Դա նշանակում է, որ մասնկի հետագիծը անցնում մագնիսի առանցքով, որտեղ մասնիկը կլինի սկզբնական պահից

$\Delta t = \tau + \frac{x_1}{u} = \tau + \frac{xcos\left(\frac{\alpha}{2}\right)}{\frac{qxB_0}{2\ m}sin\left(\frac{\alpha}{2}\right)} = \tau + \frac{2m}{qB_0}\text{ctg}\left(\frac{\alpha}{2}\right)$,

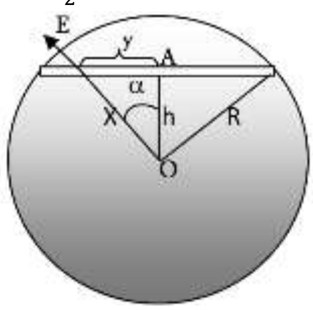
որտեղ $\frac{\alpha}{2} = \tau\frac{qB_0}{2m}$:

12-2. R շառավղով համասեռ լիցքավորված գնդում կենտրոնից h հեռավորության վրա փորված է նեղ ուղիղ անցք: Գնդի լիցքի ծավալային խտությունը՝ $\rho > 0$: Գունդը ֆիքսված է և դրա լիցքը չի բևեռացվում: Անցքի մուտքի մոտ դնում են դիպոլ (երկբևեռ), որը կազմված է թեթև, կոշտ, անհաղորդիչ ձողի ծայրերում ամրացված նույն զանգվածի երկու լիցքավորված գնդիկներից, և բաց են թողնում: Որոշ $t_{\text{դ}}$ ժամանակ անց այն հայտնվում է անցքի



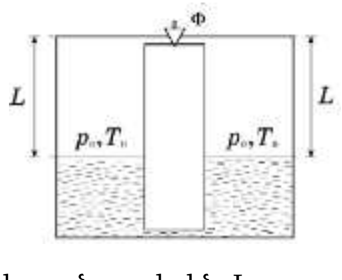
հակառակ ծայրում: Երբ նույնն արվում է գնդիկներից մեկի հետ, այն թռչում է խողովակով $t_{\text{գն}}$ ժամանակի ընթացքում: Որոշե՛ք դիպոլի բազուկի l երկարությունը՝ ընդունելով $l << R$: Առաջին դեպքում նշեք դիպոլի գնդիկներից ամենամոտիկի լիցքի նշանը, իսկ երկրորդ դեպքում՝ լիցքավորված գնդիկի նշանը: Գնդիկների տրամագիծը գրեթե հավասար է անցքի տրամագծին: Ցուցում. Դիպոլը նույն մեծության, բայց տարբեր նշանով երկու էլեկտրական լիցքերի համակարգ է, որոնք գտնվում են միմյանցից ֆիքսված l (դիպոլային բազուկ) հեռավորության վրա:

Լուծում: Գնդի կենտրոնից x հեռավորության վրա դաշտի լարվածությունը հավասար է $E = \frac{\rho}{3\epsilon_0}$x: Անցքի առանցքի երկայնքով դաշտի լարվածության բաղադրիչը հավասար է $E' = Esin\alpha = \frac{\rho}{3\epsilon_0}\ xsin\alpha = \frac{\rho}{3\epsilon_0}y$: Դա նշանակում է, որ եթե դիպոլը տեղադրվի խողովակի մեջ բացասական լիցքով, ապա դրա վրա կազդի ուժ $q\frac{\Delta E'}{\Delta y}l = \frac{\rho q l}{3\epsilon_0} = const = 2ma$: Ուստի դիպոլը շարժվում է հաստատուն արագացումով և ունենք $2\sqrt{R^2 - h^2} = \frac{at_{\text{դ}}^2}{2}$: Եթե անցքի մուտքի մոտ տեղադրենք բացասական q լիցք, դրա վրա կազդի դեպի հավասարակշռության A կետ վերադարձնող ուժ, որն ուղիղ համեմատական է y շեղմանը $\frac{\rho q}{3\epsilon_0}$ գործակցով: Հետևաբար, այդ գնդիկը կկատարի ներդաշնակ տատանումներ $T = 2\pi\sqrt{\frac{3\epsilon_0 m}{\rho q}}$ պարբերությամբ: Գնդիկը կհասնի անցքի մյուս ծայրին $t_{\text{գն}} = \frac{T}{2} = \pi\sqrt{\frac{3\epsilon_0 m}{\rho q}}$ ժամանակում: Ստացված հավասարումներից կստանանք



$l = 2\sqrt{R^2 - h^2} \cdot \left(\frac{2}{\pi}\frac{t_{\text{գն}}}{t_{\text{դ}}}\right)^2$:

12-3. Երկու ուղղաձիգ նույնական բալոններ միացված են ներքևից՝ աննշան փոքր ծավալի խողովակով: Վերին խողովակում կա Φ փական, որը սկզբանական վիճակում բաց է: Գլանների մեջ լցված է ρ խտության հեղուկ: Բալոնների L բարձրությամբ մնացած ծավալը լցված է p_0 ճնշմամբ և սենյակային T_0 ջերմաստիճանով գազով: Պահպանելով ձախ բալոնում գազի ջերմաստիճանը, աջ բալոնում գազը



տաքացրին մինչև T ջերմաստիճան և փակեցին փականը: Ջեռուցիչը անջատեցին: Երբ աջ բալոնի օդը սառչեց մինչև սենյակային ջերմաստիճան, բալոններում հեղուկի մակարդակների տարբերությունը դարձավ $2h$: Գտե՛ք T ջերմաստիճանը, եթե ձախ բալոնում գազի ջերմաստիճանը մշտապես մնացել է սենյակային: Ազատ անկման արագացումը g է:

Լուծում: Դիցուք $S-$ը բալոնների հատույթների մակերեսն է, ν գազի մոլերի ընդհանուր քանակը, R գազային հաստատունը:
Սկզբնական վիճակի համար իդեալական գազի վիճակի հավասարումը հետևյալն է. $2p_0SL = \nu RT_0$: Երբ փականը բաց է, գազի ճնշումը ձախ և աջ կողմում նույնն է, նշենք այդ p:
Կիրառելով վիճակի հավասարումը բաց փականի դեպքում յուրաքանչյուր բալոնին տարբեր ջերմաստիճանների դեպքում ստանում՝ $pSL = \nu_1RT_0; pSL = \nu_2RT$, որտեղ ν_1 և ν_2 մոլերի քանակն է ձախ և աջ բալոններում: Քանի որ մոլերի ընդհանուր թիվը անփոփոխ է, ապա
$\nu_1 + \nu_2 = \nu$: Այստեղից մենք արտահայտում ենք ճնշումը $p = \frac{2p_0T}{T+T_0}$: Փականը փակելուց հետո աջ ու ձախ կողմում գազի մոլերի քանակը մնում է նույնը: Վերջում ջերմաստիճանը T_0 է ամենուր, իսկ ձախ և աջ կողմում գազի ծավալները հավասար են համապատասխանաբար $(L+h)S$ և $(L-h)S$ են: Գազի ճնշումների տարբերությունը պայմանավորված է հեղուկների մակարդակների տարբերությամբ՝ $p_1 - p_2 = 2\rho gh$:
Արտահայտենք ճնշումները վիճակի հավասարումներով և սկզբնական պայմաններով՝.

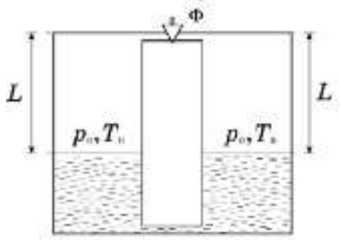
$$\frac{\nu_1RT_0}{(L+h)S} - \frac{\nu_2RT_0}{(L-h)S} = \frac{pL}{L+h} - \frac{pLT_0}{T(L-h)} = 2\rho gh:$$

Տեղադրելով $p = \frac{2p_0T}{T+T_0}$ ստանում ենք T-ի հավասարումը.

$$\frac{p_0LT}{(T+To)(L+h)} - \frac{p_0LT_0}{(T+To)(L-h)} = \rho gh,$$

որտեղից $T = \frac{T_0(L+h)(p_0L+\rho gh(L-h))}{(L-h)(p_0L-\rho gh(L+h))}$

12-4. Երկու ուղղաձիգ նույնական բալոններ միացված են ներքևից՝ աննշան փոքր ծավալի խողովակով: Վերին խողովակում կա Φ փական, որը սկզբանական վիճակում բաց է: Գլանների մեջ լցված է ρ խտության հեղուկ: Բալոնների L բարձրությամբ մնացած ծավալը լցված է p_0 ճնշմամբ և սենյակային T_0 ջերմաստիճանով գազով: Պահպանելով ձախ բալոնում գազի ջերմաստիճանը, աջ բալոնում գազը տաքացրին մինչև T ջերմաստիճան և փակեցին փականը: Ջեռուցիչը անջատեցին: Երբ աջ բալոնի օդը սառչեց մինչև սենյակային ջերմաստիճան, բալոններում հեղուկի մակարդակների տարբերությունը դարձավ $2h$: Գտե՛ք T ջերմաստիճանը, եթե ձախ բալոնում գազի ջերմաստիճանը մշտապես մնացել է սենյակային: Ազատ անկման արագացումը g է:



Լուծում: Դիցուք $S-$ը բալոնների հատույթների մակերեսն է, ν գազի մոլերի ընդհանուր քանակը, R գազային հաստատունը:
Սկզբնական վիճակի համար իդեալական գազի վիճակի հավասարումը հետևյալն է. $2p_0SL = \nu RT_0$: Երբ փականը բաց է, գազի ճնշումը ձախ և աջ կողմում նույնն է, նշենք այդ p:
Կիրառելով վիճակի հավասարումը բաց փականի դեպքում յուրաքանչյուր բալոնին տարբեր ջերմաստիճանների դեպքում ստանում՝ $pSL = \nu_1RT_0; pSL = \nu_2RT$, որտեղ ν_1 և ν_2 մոլերի քանակն է ձախ և աջ բալոններում: Քանի որ մոլերի ընդհանուր թիվը անփոփոխ է, ապա $\nu_1 + \nu_2 = \nu$: Այստեղից մենք արտահայտում ենք ճնշումը $p = \frac{2p_0T}{T+T_0}$: Փականը փակելուց հետո աջ ու ձախ կողմում գազի մոլերի քանակը մնում է նույնը: Վերջում

ջերմաստիճանը T_0 է ամենուր, իսկ ձախ և աջ կողմում գազի ծավալները հավասար են համապատասխանաբար $(L + h)S$ և $(L - h)S$ են: Գազի ճնշումների տարբերությունը պայմանավորված է հեղուկների մակարդակների տարբերությամբ՝ $p_1 - p_2 = 2\rho gh$: Արտահայտենք ճնշումները վիճակի հավասարումներով և սկզբնական պայմաններով՝.

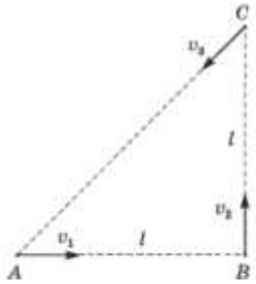
$$\frac{\nu_1 RT_0}{(L + h)S} - \frac{\nu_2 RT_0}{(L - h)S} = \frac{pL}{L + h} - \frac{pLT_0}{T(L - h)} = 2\rho gh:$$

Տեղադրելով $p = \frac{2p_0 T}{T + T_0}$ ստանում ենք T-ի հավասարումը.

$$\frac{p_0 LT}{(T + To)(L + h)} - \frac{p_0 LT_0}{(T + To)(L - h)} = \rho gh,$$

որտեղից $T = \frac{T_0(L + h)(p_0 L + \rho gh(L - h))}{(L - h)(p_0 L - \rho gh(L + h))}$

12-5. Երեք կրիա, որոնք շարժվում էին դեպի մեկը մյուսի ուղղությամբ ուղղված, մոդուլով հաստատուն արագություններով, ժամանակի սկզբնապահին գտնվում էին l երկարությամբ էջով հավասարասրուն ABC ուղղանկյուն եռանկյան գագաթներում (տե՛ս նկ.): Առաջին կրիայի արագությունը $v_1 = v$, որտեղ v-ն հայտնի է, իսկ երկրորդ և երրորդ կրիաների v_2 և v_3 արագությունները հայտնի չեն: Հայտնի է, որ նրանց շարժման ընթացքում կրիաների կազմած եռանկյան անկյունները չեն փոխվում: Գտեք



1. t ժամանակը, որից հետո կրիաները կհանդիպեն;
2. երկրորդ և երրորդ կրիաների v_2 և v_3 արագությունների մոդուլները;
3. առաջին կրիայի մեկնարկային կետից ինչ հեռավորության վրա են նրանք հանդիպում:

Լուծում: Քանի որ կրիաների արագություններո ուղղված են մի կրիայից դեպի մյուսը և մոդուլով հաստատուն են, դրանց միջև հեռավորությունները փոքրանում են հաստատուն արագությամբ:
Նշանակենք AB, BC և AC հեռավորությունների փոփոխության արագությունները համապատասխանաբար v_{AB}, v_{BC} և v_{AC}: Դրանք հավասար են.

$$v_{AB} = v_1 = v, v_{BC} = v_2 + \frac{v_3}{\sqrt{2}}, v_{AC} = v_3 + \frac{v_1}{\sqrt{2}}$$

Այստեղից գտնում ենք.

$$t = \frac{l}{v}$$

Քանի որ ABC եռանկյան անկյունները մնում են հաստատուն, պահպանվում են նաև նրա կողմերի հարաբերությունները: Սա նշանակում է, որ փոփոխության արագությունները համեմատական են կողմերի երկարություններին
$\frac{v_{AB}}{AB} = \frac{v_{BC}}{BC} = \frac{v_{AC}}{AC}$
Գտնենք $v_3 -$ ը

$$\frac{v}{l} = \frac{v_3 + \frac{v}{\sqrt{2}}}{l\sqrt{2}} \rightarrow v_3 = \frac{v}{\sqrt{2}}:$$

Նույնանման ստանում ենք

$$\frac{v}{l} = \frac{v_2 + \frac{v}{2}}{l} \rightarrow v_2 = \frac{v}{2}$$

Քանի որ երկրորդ կրիայի արագության մոդուլը միշտ երկու անգամ փոքր է առաջին կրիայի արագությունից և ուղղությունը ուղղահայաց է առաջինի արագությանը, մինչև հանդիպման կետը դրանց տեղափոխությունները փոխուղղահայաց, իսկ մոդուլները տարբերվում երկու անգամ: Եթե նշանակենք առաջինի տեղափոխությունը $\vec{s_1}$, երկրորդինը $\vec{s_2}$, ունենք $\vec{s_1} = \overrightarrow{AB} + \vec{s_2}$: Այստեղից ստանում ենք

$$\vec{s_1} - \vec{s_2} = \overrightarrow{AB} \rightarrow s_1^2 + \frac{s_1^2}{4} = l^2 \rightarrow s_1 = \frac{2l}{\sqrt{5}}:$$