

«ДАРЫН» РЕСПУБЛИКАЛЫҚ ҒЫЛЫМИ-ПРАКТИКАЛЫҚ ОРТАЛЫҒЫ
ФИЗИКА ПӘНІ БОЙЫНША РЕСПУБЛИКАЛЫҚ ОЛИМПИАДАНЫҢ ТӨРТІНШІ
(ҚОРЫТЫНДЫ) КЕЗЕҢІ (2024-2025 ОҚУ ЖЫЛЫ)
11 сынып, 1 тур

Жұмыс уақыты: 5 сағат

Есеп_1. «Қоспа» [10.0 ұпай]

Бұл есеп бір-бірінен тәуелсіз үш бөлімнен тұрады.

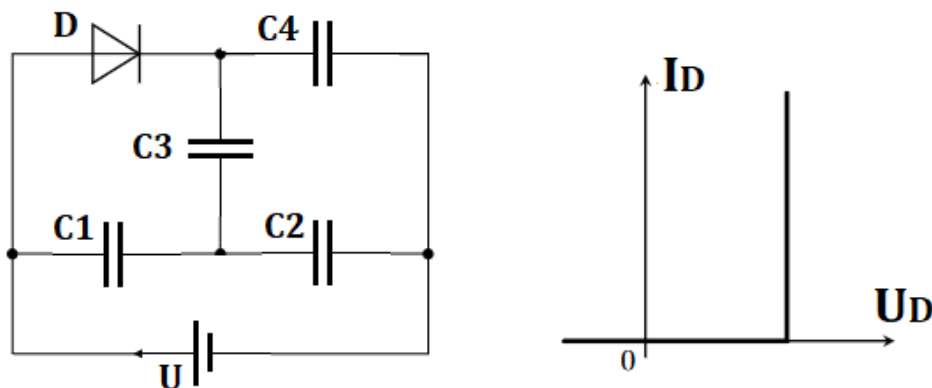
1.1-бөлім. Қалқымалы параболоид (3,0 ұпай)

Кең ыдыстарға құйылған әр түрлі сұйықтарға параболоид тәрізді айналу денесі кезек-кезекпен шыңын төмен қаратып батырылады (осьтік қима – $y = Ax^n$ түріндегі парабола, ал $x = 0$ дененің жоғарғы шыңына сәйкес келеді, жоғарғы қима оське перпендикуляр). Дене бұл кезде белгілі бір тереңдікке батып жүзетіні белгілі және әр бір сұйық үшін дененің аздаған вертикаль тербелістерінің периоды өлшенеді, ол қисаймайды және аударылмайды, сондықтан оның осі қатаң вертикаль болып қалады. Кестеде тербеліс периодының дененің бату тереңдігінен тәуелділігі келтірілген. Параболаның n дәрежелік коэффициентін анықтаңыз. Қателіктерді есептеудің қажеті жоқ.

T, c	0.25	0.35	0.43	0.49	0.55
h, c	0,06	0,12	0,18	0,24	0,30

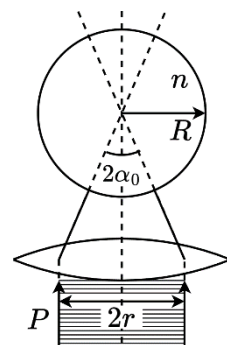
1.2-бөлім. Диод барлығын өзгертеді (3,5 ұпай)

Әрқайсысының сыйымдылығы C болатын конденсаторлар жүйесі және D диод U тұрақты кернеу көзіне қосылған, оның мәні нөлдік мәннен баяу өседі. Диодтың вольтамперлік сипаттамасы суретте көрсетілген, графиктің үзілуі – диодтың деңгейді бұзуы деп аталады, диодтың деңгейді бұзу кернеуінің мәні белгісіз. Кернеу көзінен белгілі q_0 заряд өткенде, U кіріс кернеуі мен кернеу көзі арқылы өтетін q заряд арасындағы тура пропорционалдылық тоқтайды. Кернеу көзі арқылы өтетін заряд 0 ден $2q_0$ -ға дейін өзгеру диапазонында $q(U)$ тәуелділігінің графигін тұрғызыңыз. Кернеу көзі арқылы $2q_0$ заряд өткен кезде диодта қанша жылу Q бөлінеді?



1.3- бөлім. Лазер тұзағы (3,5 ұпай)

Радиусы r дөңгелек қимасы бар жарық шоғыры сфералық емес жинағыш линзаға түседі, ол линзадан өткеннен кейін конустық бұрышы $2\alpha_0$ болатын конус түзеді. Жарық конусының жоғарғы шыңына сыну көрсеткіші n болатын мөлдір материалдан жасалған радиусы R кішірек шарик орналастырылған; шағылу және жұту шығындары жоқ, шардың центрі шоғырдың фокусына сәйкес келеді. Жарық шоғырының x конус осі бойымен шарик шамалы ығысқан кезде оған әсер ететін кері қайтарушы күшті табыңыз. Жарық жоғырының P қуаты линзаға түскенге дейін оның қимасы бойынша біркелкі таралғаны белгілі. Вакуумдағы жарық жылдамдығы c . Кеңес: кейбір есептеулерде $u = c \cos \alpha$ ауыстыруы пайдалы болуы мүмкін.



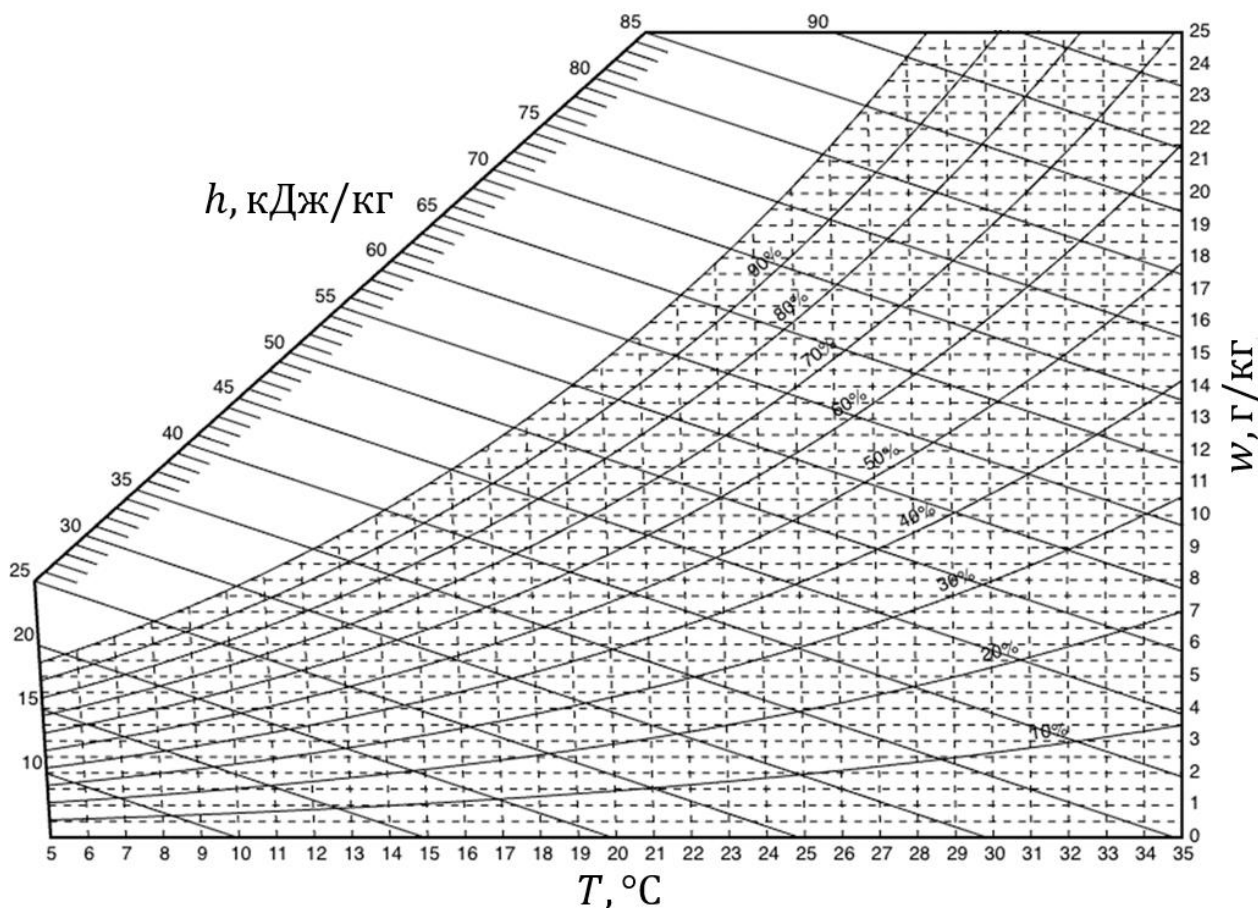
Есеп _2. Ауаны кондиционерлеу жүйесін жобалау [10,0 ұпай]

Бұл есепте біз ауаны кондиционерлеу жүйесін жобалау үшін термодинамика тұжырымдамаларын қолданамыз. Ауаны кондиционерлеу жүйесінің мақсаты – бөлмедегі адамдардың жайлылығы үшін бөлмені $T_{IA} = 24^\circ\text{C}$ тұрақты температурада және $\phi_{IA} = 50\%$ салыстырмалы ылғалдылықта ұстап тұру болып табылады. Сыртқы шарттар $T_{OA} = 32^\circ\text{C}$ және $\phi_{OA} = 40\%$ құрайды. Төменде, T ылғалды ауа температурасы, оның w ылғалдылықмөлшері (құрғақ ауа массасының бірлігіндегі судың массасы), ауаның ϕ салыстырмалы ылғалдылығы және оның h меншікті энтальпиясы арасындағы байланысты графиктік түрде көрсететін психрометриялық диаграмма берілген. Тұрақты салыстырмалы ылғалдылық сызықтары қисық сызықтармен, ал салыстырмалы ылғалдылық пайызбен көрсетілген. Тұрақты энтальпия сызықтары көлбеу түзулермен, тұрақты ылғалдылық мөлшерінің сызықтары горизонталь түзулермен, ал тұрақты температура сызықтары - вертикаль түзулермен берілген.

Анықтама: Энтальпия – бұл күй функциясы, және ол келесі түрде анықталады:

$$H = U + PV,$$

мұндағы — U ішкі энергия, P — қысым, V — көлем. Диаграмманың сол жағында h меншікті энтальпия осі орналасқан, яғни энтальпияның құрғақ ауа массасының бірлігіне $h = \Delta H / \Delta m$ қатынасымен.



2.1. Диаграмманы пайдаланып, сыртқы ауаны T_{IA} -ге дейін салқындатсақ, салыстырмалы ылғалдылық қандай болатынын анықтаңыз.

2.2. Психрометриялық диаграмманы пайдаланып, w_{OA} сыртқы және w_{IA} ішкі ауаның ылғалдылық құрамын табыңыз.

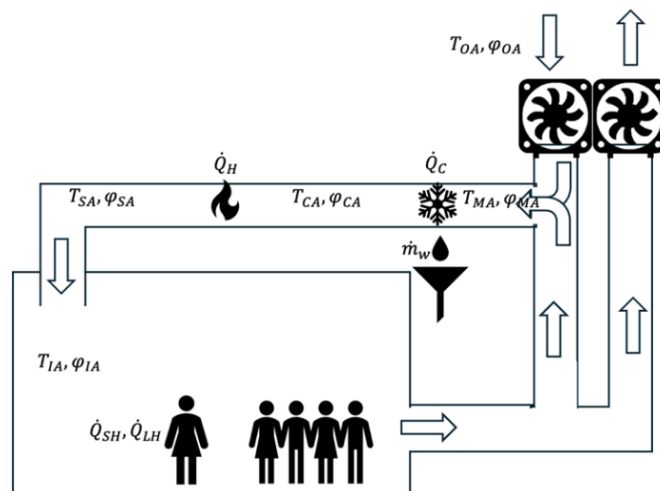
2.3. Энтальпия әдетте процестегі жылу мөлшерін анықтау үшін қолданылады. Процесті изобарлық (P қысым) деп есептеп және энтальпиясы H_1 күйден энтальпиясы H_2 күйге ауысу орын алады деп, жүйеге қосылған Q жылу мөлшері үшін өрнекті қорытып шығарыңыз.

Әрі қарай, біз барлық процестер изобарлық және атмосфералық қысымда жүреді деп есептейміз.

2.4. Диаграмманы пайдаланып, құрғақ ауаның c_A меншікті жылусыйымдылығын анықтаңыз.

2.5. Диаграмманы пайдаланып, судың L меншікті булану жылуын анықтаңыз.

Біз кондиционерді жобалайтын бөлмеде $n = 30$ адам бар. Санитарлық нормаларды қамтамасыз ету үшін әр адам $\dot{V}_H = 8 \text{ л/с}$ таза (сыртқы) ауа алуы керек. Ауаны салқындату үшін қажетті энергия мөлшерін азайту үшін таза сыртқы ауа бөлмеден қайтарылатын ауамен 1:3 қатынасында араласады. Содан кейін аралас ауа салқындатқыш жыланша арқылы өтеді, онда ол T_{CA} -ге дейін салқындатылады; судың бір бөлігі конденсацияланады (сіз кондиционерлерден осындай судың ағып кетуін байқаған боларсыз). Осыдан кейін ауа қыздыру жыланшасы арқылы T_{SA} -ге дейін қызады және бөлмеге беріледі. Жеңілдету үшін ауаның тығыздығы бүкіл жүйеде тұрақты болып қалады және $\rho = 1.23 \text{ кг/м}^3$ тең деп санауға болады. Адам ағзасы қоршаған ауамен жылу алмасу арқылы $\dot{Q}_{SH} = 80 \text{ Вт}$ жылу және тердің булануы арқылы $\dot{Q}_{LH} = 80 \text{ Вт}$ жылу шығарады.



2.6. Аралас ауа үшін T_{MA} , w_{MA} шамалары үшін теңдікті қорытып шығарыңыз және олардың мәндерін табыңыз.

2.7. T_{SA} , w_{SA} шамалары үшін теңдікті қорытып шығарыңыз және олардың мәндерін табыңыз.

2.8. T_{CA} , ϕ_{CA} табыңыз.

2.9. Су конденсациясының $\dot{m}_w$ жылдамдығын табыңыз.

2.10. Салқындатқыш жыланша алып кететін $\dot{Q}_C$ жылу мөлшерін табыңыз.

2.11. Қыздырғыш жыланша беретін $\dot{Q}_H$ жылу мөлшерін табыңыз.

2.12. Егер салқындатқыш жыланшаның температурасы T_{CA} деңгейінде сақталса және қыздырғыштың температурасы T_{OA} болатын Карно тоңазытқышы сияқты жұмыс істесе, салқындатқыш жыланша тұтынатын толық қуатты табыңыз.

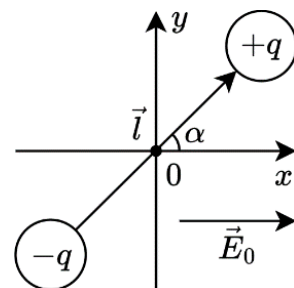
Есеп _3. Кварц резонаторы [10,0 ұпай]

Бұл есепе кварцтық резонаторға арналған - механикалық резонанс пен пьезоэлектрлік әсерге негізделген электронды құрылғыға - ол тактілік тізбектерде, жолақты сүзгілерде, тұрақты жиілікті генераторларда және де жоғары сигнал жиілігін тұрақтандыруды қажет ететін электртехниканың басқа да элементтерінде кең қолданыс тапты. Электрлік тұрақты $\epsilon_0 = 8.85 \cdot 10^{-12} \text{ Ф/м}$



Поляризация

Мектеп физикасынан диэлектриктер сыртқы электр өрісінің әсерінен поляризацияланатыны белгілі. Поляризация механизмін тереңірек түсіну үшін электрлік диполь ұғымын енгізу керек. Қарапайым модельде диполь - - зарядтары бірдей, бірақ қарама-қарсы екі қатты байланысқан нүктелік заряд q . Бұл зарядтар арасындағы қашықтықтың $\vec{l}$ векторы теріс зарядтан оң зарядқа бағытталған, сонымен қатар модулі бойынша өзгермейді. Осы кезде $\vec{p} = q\vec{l}$ диполь моменті туралы түсінік енгізіледі. Жоғарыда сипатталған параметрлері бар бір дипольді қарастырамыз, оның x осі бойындағы біртекті сыртқы $\vec{E}_0$ электрлік өрісіндегі геометриялық центрі координаттардың бас нүктесінде орналасқан.



3.1. $\vec{l}$ вектор x осімен α бұрыш құрайды. Тепе-тең күйде $U = 0$ деп есептеп, E_0 өрісіндегі дипольдың U потенциалдық энергиясын есептеңіз. Жауапты p , E_0 және α арқылы өрнектеңіз.

3.2. Серпімді дипольда диполь моменті бағытталған, яғни өрістің әсерінен пайда болады, осылайша $\vec{p} = \beta \epsilon_0 \vec{E}_0$, мұндағы β – поляризацияланғыштық деп аталады. Серпімді дипольды баяу $\vec{E}_0$ өрісіне енгізген кездегі және $\alpha = 0$ болғандағы серпімді дипольдың ΔU потенциалдық энергиясының өзгерісін есептеп, оны β және E_0 арқылы өрнектеңіз.

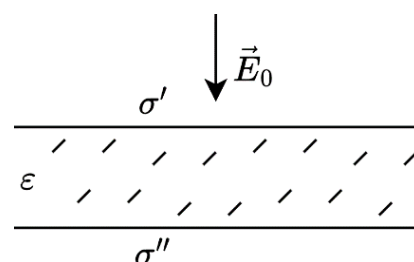
Диэлектрик заттың молекулаларын серпімді дипольдер ретінде қарастыруға болады, олар **3.1-3.2**-ден көрініп тұрғандай, сыртқы электр өрісі $\vec{E}_0$ бағытына қарай бағдарланады және жалпы алғанда сыртқы макроскопиялық өрісті тудырады, және де ол диэлектрик ішіндегі E_0 -ды әлсіретеді. Поляризацияланған диэлектриктің сипаттамасы $\vec{P}$ поляризация векторы болып табылады, оның мәні – бірлік көлемдегі заттың қорытқы дипольдік моменті болып табылады. Серпімді диполь моделіне сәйкес, $\vec{p} \propto \vec{E}_0$, бұдан $\vec{P} \propto \vec{E}_0$, сондықтан да ϵ диэлектрлік өтімділік ұғымы енгізіледі.

3.3. 3.4-пунктті шешу үшін сізге көмекші тапсырма көмектеседі: беттік тығыздығы біркелкі зарядталған σ шексіз жазықтықтың E өріс кернеулігін табыңыз.

E_0 біртекті электр өрісі қалыпты түрде түсетін, вакуумдағы өтімділігі ϵ болатын жазық параллель диэлектрлік пластинаны қарастырамыз. Оның поляризациясына байланысты пластинаның екі бетінде де беттік заряд пайда болады, ол $\vec{E}'$ өрісін тудырады және пластинаның ішіндегі $\vec{E}_0$ өрісті әлсіретеді. Бұл жағдайда поляризация векторы $\vec{P} = \epsilon_0 \vec{E}'$ ретінде анықталады. Біртекті E_0 жағдайында пластинадағы поляризациялық зарядтардың көлемдік тығыздығы нөлге тең.

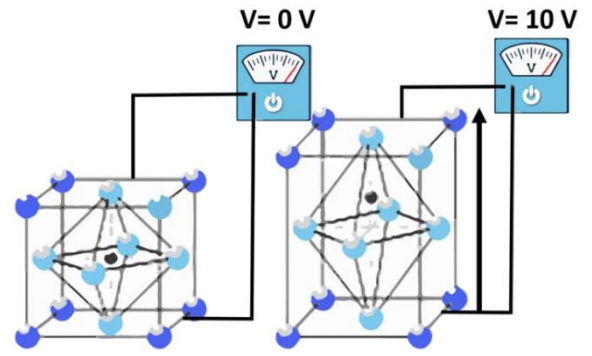
3.4. $\vec{P}$ -ны және пластинканың бетіндегі зарядтардың σ' және σ'' беттік тығыздықтарын анықтаңыз.

3.5. Егер диэлектрик молекулаларының концентрациясы n -ге тең болса, онда **3.2** пункттегі β мен ϵ арасындағы байланысты табыңыз.



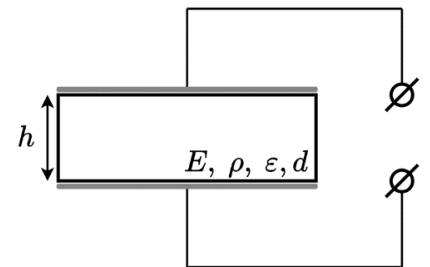
Пьезоэлектрик

Пьезоэлектрик - бұл сыртқы механикалық кернеудің әсерінен электрлік поляризацияның пайда болуымен (тура пьезоэлектрлік эффект) немесе сыртқы электр өрісінің әсерінен ішкі кернеу күштерінің пайда болуымен (кері пьезоэлектрлік эффект) ерекшеленетін материал. Молекулалық деңгейде, мысалы, оң жақтағы суретте схемалық түрде көрсетілгендей, тура пьезоэлектрлік эффект кристаллға механикалық түрде әсер еткенде (мысалы, кварц SiO_2) ішкі құрылымның анизотроптылығы пайда болатындықтан байқалады, бұл иондық байланыстардағы дипольдік моменттерді белгілі бір бағытта жинақтап, макроскопиялық поляризацияны тудырады.



Пьезоэлектрліктің сипаттамасы (бір өлшемді механикалық кернеу жағдайында) $P = d \cdot \tau$ мұндағы P – поляризация векторының модулі, τ – пьезоэлектрикке әсер ететін механикалық кернеу (бірлік аудандағы күш) болып табылады, ал кварц үшін $d = 2.33 \cdot 10^{-12}$ Кл/Н. 3.6-3.7 және 3.12 пункттерде кварц үшін келесі шамалар белгілі деп есептеңіз: Юнг модулі $E = 72$ ГПа, тығыздығы $\rho = 2200$ кг/м³, диэлектрлік өтімділігі $\epsilon = 4$.

Пьезоэлектриктен кварц резонаторы келесідей жиналады: жазық параллель кварцқа оның екі жағына қалыңдығы $h = 1.6$ мм электродтар жағылады – вакуумда кристалдың берілген беттеріне металл пленкасын бүрку арқылы жасалған өткізгіш металл жолақтар. Пьезоэлектрлік кварц диэлектрик ретінде қызмет ететін уақытша жазық конденсатор алынады.



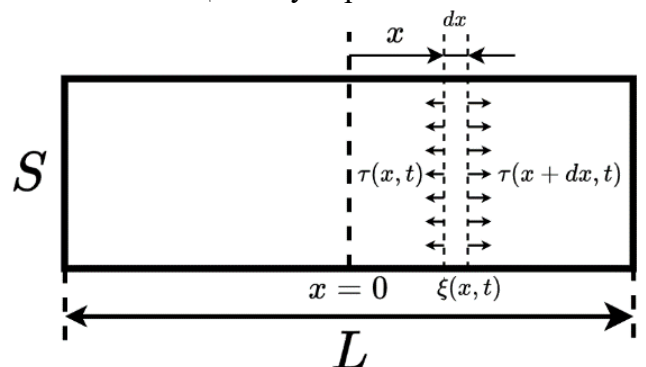
3.6. Сыртқы кернеу болмаған кезде $P_0 = 10^5$ Па атмосфералық қысымының әсерінен осындай конденсатордағы $\Delta\phi$ потенциалдар айырымын анықтаңыз.

3.7. Енді конденсатор вакуумға енгізіледі және оған сыртқы кернеу $V = 9$ В беріледі. Кварц деформациясының W_d жинақталған энергиясының сәйкес конденсаторының W_e электрлік энергиясына W_d/W_e қатынасын анықтаңыз. Серпімді энергияның көлемдік тығыздығы $w_d = \tau^2/2E$ тең.

Кварц тербелісінің меншікті жиілігі

Алдыңғы бөлімнен, кварц резонаторы сыртқы кернеуді қолданған кезде созылып, серпімді энергия қорын жинайтынын көруге болады, сондықтан қорек көзі өшірілген кезде ол белгілі бір жиілікте серпімді дірілдей бастайды және өз пластиналарында айнымалы ЭҚК-ін тудырады.

Оң жақтағы суретте көрсетілгендей, центрі координаттардың басында орналасқан ауданы S және ұзындығы L болатын, қозғалмайтын серпімді цилиндрді қарастырайық; Юнг модулі және цилиндр материалының тығыздығы сәйкесінше E және ρ . Цилиндр бойлық түрде дірілдей алады; қарапайымдылық үшін оның ұштары бос деп есептейік. Вибрациялардың сипаттамасы – механикалық кернеу $\tau(x, t)$ және ұйытқу $\xi(x, t)$ (қалыңдығы dx қарастырылып отырған цилиндр элементінің ығысуы; ұйытқулар аз, яғни $\xi \ll dx$).



3.8. Егер $\tau(x, t)$ кеңістікте біркелкі болмаса, онда $\xi(x, t)$ уақыт бойынша өзгереді. Берілген x нүктесіндегі $d\tau(x, t)$ кернеу өсімшесінің әсерінен қалыңдығы dx элементі үшін Ньютонның екінші заңын жазыңыз.

3.9. Цилиндрдің кіші dx элементінің $d\xi(x, t)$ ұйытқуының өзгерісін берілген t мезеттегі $\tau(x, t)$ кернеуі және E Юнг модулі арқылы өрнектеңіз.

Болашақта цилиндр ұйытқуының жалпы шешімі келесідей екенін пайдаланыңыз

$$\xi(x, t) = A \cos(\omega t + \varphi) \cos\left(\frac{\omega x}{c} + \theta\right),$$

мұндағы c – цилиндрдағы дыбыс жылдамдығы, ал ω – вибрацияның циклдәу жиілігі.

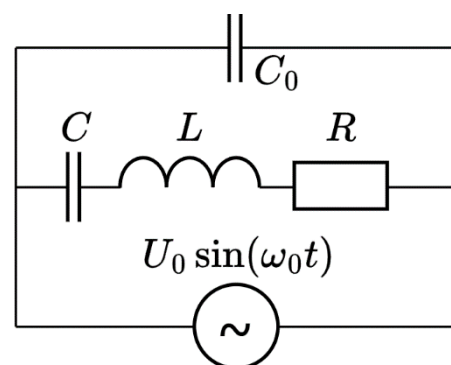
3.10. Жоғарыдағы 3.8-3.9 нәтижелерін қолданып, c -ны цилиндр параметрлері арқылы анықтаңыз.

3.11. $\tau(\pm L/2, t)$ үшін қажетті шарттарды жазыңыз. Бұдан ω қабылдайтын мүмкін мәндерді анықтаңыз.

3.12. Қалыңдығы $h = 1.6$ мм болатын кварцтың вибрациясының (дірілінің) ω -ның ең кіші мәнімен (іргелі деп аталады) байланысты. f_0 жиілігінің сандық мәнін есептеңіз.

Резонаторлы контурмен аналогия

Пьезоэлектрлік эффект нәтижесінде кристалдың өзіндік тербелістері электродтарға қосымша ЭҚК әкеледі, сондықтан кварц резонаторы электрлік тұрғыдан резонанстық тізбек сияқты әрекет етеді. Осы себепті бірінші жуықтаудағы кварц оң жақтағы суретте көрсетілген омдық шығыны аз RLC бөлігі сияқты әрекет етеді. Кварц резонаторын амплитудасы U_0 және жиілігі ω_0 болатын айнымалы кернеу генераторымен қосу схемасын қарастырамыз. Резонатор – кварц диэлектригі бар сыйымдылығы C_0 конденсатор болғандықтан, аналогиялық электрлік тізбекте RLC -бөлікке C_0 сыйымдылығын параллель қосу қажет. Алынған эквивалентті схема оң жақтағы суретте көрсетілген.



3.13. Орныққан режимде R кедергі мен C_0 конденсатордағы кернеулер тербелістерінің арасындағы φ фазалар айырымы неге тең?

Мұндай эквивалентті тізбекте генератордың жиіліктерінде болатын екі резонанстық режим байқалады $\omega_0 = \omega_1$ және $\omega_0 = \omega_2$. ω_1 кезінде *кернеу резонансы* пайда болады – генератордың жиілігі RLC учаскесінің резонанстық жиілігіне сәйкес келеді; генератор арқылы ток күшінің амплитудасы күрт артады. ω_2 кезінде *токтардың резонансы* пайда болады – генератор арқылы өтетін ток айтарлықтай төмендейді (ω_2 кезінде ол міндетті түрде минималды болмаса да болады) және RLC учаскесі мен C_0 -дан тұратын ішкі тізбек өзін өткізбейтін тығын сияқты ұстайды, оның ішінде аз әлсіреген токтың еркін тербелістері жасалады (бұл сыртқы генератордан аз ток беру арқылы өтеледі); сонда ω_2 осындай еркін тербелістердің табиғи жиілігіне тең болады.

3.14. Контурдың келтірілген параметрлері арқылы ω_1 және ω_2 мәндерін анықтаңыз.

Аздаған энергия шығыны орын алатын тербелмелі жүйелерді сипаттау үшін $Q = 2\pi \cdot E / \Delta E$ сапалылық түсінігін енгізеді, мұндағы E – жүйедегі максималды мүмкін болатын энергия қоры, ал ΔE – бір периодтағы энергия шығыны.

3.15. Егер $C = 0.5 \cdot 10^{-12}$ Ф, $C_0 = 50 \cdot 10^{-12}$ Ф, $R \approx 10$ Ом, ал $\omega_0 = \omega_1 = 2\pi f_0$, мұндағы f_0 сандық түрде 3.12-де анықталған. Q -ды бағалаңыз.