V.İ.Tahirov, E.V. Tahirov, N.F.Qəhrəmanov

«Ümumi fizika kursu» üzrə məsələlər (həlli ilə) «Elektrik və maqnit hadisələri»

Azərbaycan Respublikası Təhsil Nazirliyinin Elmi-Metodik Şurasının «Fizika» bölməsinin 02.07.2004-cü il tarixli 02 saylı iclas protokolu ilə təsdiq edilmişdir.

Bakı – Sumqayıt – 2005

Elmi redaktor: f.-r.e.d., prof. T.Mürsəlov

Rəyçilər: f.-r.e.d., prof. T.Mürsəlov
f.-r.e.d., prof. Q.Həsənov

Tahirov V.İ., Tahirov E.V., Qəhrəmanov N.F.
«Ümumi fizika kursu» üzrə məsələlər (həlli ilə).
«Elektrik və maqnit hadisələri». Dərs vasaiti.
Sumqayıt Dövlət Universitetinin nəşriyyatı, 2005,
267 səh., 221 şəkilli.

Kitab universitetlərin fizika fakultələrində tədris olunan «Ümumi fizika kursu» proqramı əsasında tərtib edilmişdir. Kitabda verilmiş məsələlər V.İ.Tahirovun «Elektrik və maqnit hadisələri» dərs vəsaitini əhatə edir. Ondan digər texniki universitetlərin tələbələri və aspirantlar da istifadə edə bilərlər.

ELMİ REDAKTORDAN

Həm orta, həm də ali məktəblərdə fizika fənninin tədrisində məsələ həllinin özünəməxsus xüsusi əhəmiyyəti vardır. Ona görə də fizika üzrə məsələlər toplusunun kitablar şəklində nəşr edilməsi bütün dövrlərdə təqdirəlayiq bir iş hesab olunmuşdur. Müstəqil Azərbaycanımızda doğma ana dilimizdə latın qrafikası ilə bu cür kitabların çap olunması isə xüsusilə vacib olub, Milli təhsilimizin daha da inkişaf etdirilməsi işinə dəyərli töhfədir.

AMEA-nın müxbir üzvü, fizika-riyaziyyat elmləri doktoru, professor, istedadlı pedaqoq V.İ.Tahirov, Azərbaycanda fizikanın tədrisi işinin görkəmli təşkilatçılarından biri, Sumqayıt Dövlət Universitetinin rektoru, fizika-riyaziyyat elmləri doktoru, professor N.F.Qəhrəmanov və fizika üzrə istedadlı alim, fizika-riyaziyyat elmləri namizədi E.V.Tahirovun hazırladıqları «Ümumi fizika kursu üzrə məsələlər (həlli ilə). Elektrik və maqnit hadisələri» dərs vəsaiti yuxarıda qeyd edilən mənada çox dəyərli bir nümunədir. Bu dərs vəsaitinin tərifəlayiq məziyyətləri çoxdur. Belə ki, həmin kitabda toplanmış 188 məsələnin hər biri nəzəri materialın mənimsənilməsi üçün öz məzmununa və əhəmiyyətinə görə yaxşı mənada qibtə doğurur. Bu məsələlər ardıcıllığına və bir-biri ilə əlaqəli olduğuna görə kitabda daxili bir məntiq və pedaqoji məharət hiss olunur. Hər bir məsələnin məzmunu və həlli müvafiq şəkillər və sxemlər vasitəsilə əyani şəkildə təsvir olunur. Hər bir məsələnin həlli başa düşülən elə aydın dildə şərh olunmuşdur ki, oxucunun gözləri önündə müəllifin həmin məsələni lövhə qarşısında dayanaraq həll etməsi mənzərəsi canlanır. Hər bir məsələnin həlli elə bil ki, kiçik də olsa, bir elmi-tədqiqat xarakterinə malik mühakimələr və mülahizələr əsasında şərh olunur. Bu da oxucunu düşünməyə təhrik edir və öyrətmək də elə məhz bundan ibarətdir.

Elektrik və maqnit hadisələrini tədris etmək məqsədilə daha çoxlu sayda məsələlər seçmək olar. Lakin bu kitabdakı məsələlərin məzmunu və ardıcıllığı professor V.İ.Tahirovun əvvəlki illərdə seriya şəklində çap olunmuş «Ümumi fizika kursu» kitablarına əsaslanmışdır. V.İ.Tahirov, N.F.Qəhrəmanov və E.V.Tahirovun bu kitabı da, onların birlikdə çap etdirdikləri digər dərs vəsaitləri kimi, Azərbaycan ali məktəblərində fizikanın tədrisi işində şübhəsiz ki, dəyərli bir mənbə olacaqdır.

Prof. T.M.Mürsəlov

GİRİŞ

«Elektrik və maqnit hadisələri» ümumi fizika kursunun maraqlı bəhslərindən biridir. Bu bəhs, bir tərəfdən, maddənin quruluşu ilə bağlı olub, insan zəkasının mikro-aləmə işıq salmasına, ona nüfuz etməsinə imkan yaradır, digər tərəfdən isə, insanın təbii duyğu orqanları ilə birbaşa duyula bilməyən elektromaqnit dalğalarının mühitdə və fəzanın ənginliklərində yayılma qanunlarını öyrənməyə yol açır. Bu bəhsin inkişafı insan zəkasının, insan məntiqinin yüksək zirvəyə çatdığı bir dövrdən öz başlanğıcını götürmüşdür. Bu bəhsi layiqincə dərk etmədən, onun qanunlarına vaqif olmadan çağdaş fizika elminin zirvələrini fəth etmək mümkün deyil. Bundan başqa, fizika elmi incə texnologiyanın yüksək inkişaf etdiyi müasir dövrdə elm və texnikanın hər bir sahəsinə nüfuz etmişdir. Ona görə də fizika fənninin öyrənilməsi yalnız fiziklər üçün deyil, həm də müasir incə texnologiya ilə məşğul olan digər ixtisas sahibləri üçün maraqlı olmalıdır.

Fikrimizcə fizika elminin hər bir bəhsinin tələbələr tərəfindən mənimsənilməsində bu sahəyə aid və məntiqi düşünmək tələb edən məsələlərin həlli əvəzsiz rol oynaya bilər. Lakin təcrübə göstərir ki, son zamanlar bu sahəyə diqqət bir qədər zəifləmişdir. Bu, tələbələrin məsələ həllinə marağının azalmasına səbəb olmuşdur. Tələbələrin marağını artırmaq və bu sahəyə yeni nəfəs vermək məqsədi ilə müəlliflər «Elektrik və maqnit hadisələri» bəhsi üzrə maraqlı hesab edilə biləcək bir sıra seçmə məsələlər toplusunu həll edərək oxucunun diqqətinə təqdim edir. Nəzəri istiqamət almaq üçün oxucu V.İ.Tahirovun Universitetlərin fizika fakültələrinin tələbələri üçün BDU-nun nəşriyyatında 2000-ci ildə çap olunmuş buraxdığı eyni adlı dərs vəsaitindən istifadə edə bilər.

MƏSƏLƏLƏRİN MƏTNİ

1. İki elektron arasında elektrik və qravitasiya qarşılıqlı təsiri qüvvələrini müqayisə edin. r =1m olduqda bu qüvvələrin qiymətini tapın.

2. Protonun kütləsi nə qədər olsa idi iki protonun qravitasiya cazibə qüvvəsi elektrostatik itələmə qüvvəsini tarazlaşdırardı?

3. Aralarındakı məsafə r =1,00 m olan iki elektronun birinin digərinə verdiyi təcili tapın.

4. Sükunətdə olan iki diskret nöqtəvi yüklər sistemi bir-biri ilə qarşılıqlı təsirdədir. Onların yükləri $q_1, q_2, \ldots, q_i, \ldots, q_{N1}$ və $q'_1, q'_2, \ldots q'_{k2}, \ldots, q'_{N2}$ uyğun radius vektorları $\vec{r}_1, \vec{r}_2, \ldots \vec{r}_i, \ldots \vec{r}_{N_2}$ və $\vec{r}'_1, \vec{r}'_2, \ldots \vec{r}'_k, \ldots \vec{r}'_{N_2}$ olan nöqtələrdə dayanıqlı bağlıdır. q'_k yüklər sisteminin q_i yüklər sisteminə göstərdiyi təsir qüvvəsini tapın.

5. V həcmli cisimdə q yükü $\zeta_1(\vec{r})$ həcm sıxlığı ilə, V' həcmli cisimdə (q') yükü $\zeta_2(\vec{r}')$ həcm sıxlığı ilə paylanmışdır. Vakuum şəraitində (q') yükünün q yükünə göstərdiyi təsir qüvvəsinin ifadəsini yazın.

6. Aralarındakı məsafə b=20,0 mm olan iki nazik sonsuz uzunluqlu düz paralel sap eyni adlı yüklə yükləndirilmişdir. Onların hər birinin yükünün xətti sıxlığı $\lambda=3{,}00 \cdot 10^{-6}$ kl/m-dir. Saplar vakuum şəraitindədir. a) Sapların $\ell =$ 1m uzunluğunun bir-birini itələmə qüvvəsini və b) onlardan biri digərinə nisbətən a = 10mm məsafəsinə qədər özünə paralel olaraq yaxınlaşdırıldıqda görülən işi tapın.

7. İkielektrodlu elektron lampasının elektrodlarından biri (katod) radiusu a = 0,100 mm olan düz teldən, digəri (anod) isə onunla koaksial (içi boş) silindirdən ibarətdir. Silindrin radiusu b = 2,72 mm-dir. Elektrodlarda V = 100v potensiallar fərqi yaradılmışdır. Katodun oxundan r =1,00 mm məsafədə yerləşən elektrona təsir edən qüvvəni tapın.

8. Tərəfi a olan düzgün altıbucaqlının təpə nöqtələrində bir-birinə bərabər nöqtəvi yüklər yerləşdirilmişdir.

a) yüklər eyni işarəli olduqda və b) yüklər növbə ilə işarəsini dəyişdikdə altıbucaqlının mərkəzində potensialın və intensivliyin qiymətini tapın.

9. Radius-vektorları $\vec{r}_1, \vec{r}_2, ..., \vec{r}_N$ olan $q_1, q_2, ..., q_N$ nöqtəvi yükləri vakuumda sükunətdədir. $\vec{r}$ radius vektoru ilə təyin olunan nöqtədə bu yüklərin yaratdığı intensivlik vektorunun və potensialın ifadəsini yazın.

10. Elektrik yükü V həcmində $\rho(\vec{r})$ sıxlığı ilə paylanmışdır. Radius -vektoru $\vec{r}$ olan nöqtədə elektrik sahəsinin potensialı və intensivliyi üçün ifadələri yazın. Bütün fəza üçün ε = 1-dir.

11. Dipolun yaratdığı: a) U potensialını ; b) $\vec{E}$ intensivlik vektorunu və c) $|\vec{E}|$ intensivlik vektorunun modulunu vakuum şəraitində tapın.

12. Müəyyən yüklər sisteminin yaratdığı sahənin potensialı: $U = a(x^2 + y^2) + bz^2$ şəklindədir *(a>0, b>0)*: a) intensivlik vektorunu və onun modulunu; b) ekvipotensial səthlərin şəklini; c) E = const asılılığını ifadə edən səthlərin şəklini tapın.

13. Hər hansı yüklər sisteminin yaratdığı potensial $U = a(x^2 + y^2) - bz^2$ qanunu ilə dəyişir. $a > 0,\ b > 0.$
12 məsələsində verilən suallara bu hal üçün cavab verin.

14. Fəza, sıxlığı $\rho = \frac{\rho_0}{r}$ (ρ_0 – sabit, r – koordinat başlanğıcından hesablanan məsafədir) olan yüklə doludur. İntensivliyin r – dən asılılığını tapın. İntensivlik xətlərini araşdırın.

15. Fəza, sıxlığı $\rho = \rho_0 e^{-\alpha r^3}$ (ρ_0 və α - sabit kəmiyyətlərdir) qanunu ilə dəyişən yüklə doldurulmuşdur. İntensivlik vektorunun $(\vec{E})$ $\vec{r}$ -dən asılılığını müəyyən edin. Kiçik və böyük r–lərdə sahəni araşdırın.

16. Qalınlığı 2a, dielektrik nüfuzluğu ε olan sonsuz dielektrik lövhə müntəzəm yüklənmişdir. Yükün sabit həcm sıxlığı ρ -dur. Lövhədən kənarda dielektrik sabiti $\varepsilon = 1$-dir. Koordinat başlanğıcını lövhənin qalınlığının ortasında, x oxunu lövhəyə perpendikulyar götürməklə lövhənin yaratdığı elektrik sahəsinin intensivlik vektorunun E_x komponentinin və U potensialının x- dən asılılığını tapın. Lövhənin mərkəzində potnsialı sıfra bərabər götürməklə E_x və U-nun qrafikini qurun.

17. Uzunluğu 2a xətti yük sıxlığı λ sabit olan çox nazik düz çubuq vakuumda yerləşdirilmişdir. Çubuğun mərkəzindən (ortasından) ona perpendikulyar istiqamətdə keçən düz xətt boyunca sahənin intensivliyinin modulunun çubuğun mərkəzindən hesablanan r məsafəsindən asılılığını tapın. Çubuğun uzunluğu sonsuz böyük olduqda intensivliyin qiyməti nəyə bərabərdir.

18. 17 məsələsində çubuqdan kənarda onun oxu üzərində olan nöqtələrdə sahənin potensialının və intensivlik vektorunun modulunun məsafədən (r) asılılığını tapın. r>>a halını araşdırın.

19. Xətti yük sıxlığı λ olan nazik sonsuz düz sap vakuum şəraitindədir $\left(\lambda = 2{,}00 \cdot 10^{-6}\,\dfrac{\text{Kl}}{\text{m}}\right)$.

a) İntensivlik vektorunun modulunun (E);

b) U potensialının r məsafəsindən asılılığını tapın;

c) E və U –nu r=10m məsafəsində hesablayın.

20. Nazik məftildən düzəldilmiş r=60mm radiuslu həlqə üzrə q=2,0·10^{-8}kl yük müntəzəm paylanmışdır.

a) Koordinat başlancığını həlqənin mərkəzində götürüb, x oxunu həlqənin müstəvisinə perpendikulyar yönəltməklə sahənin U potensialının və intensivlik vektorunun E_x komponentinin x-dən asılılığını tapın;

b) x=0 və $|x|$»r hallarını araşdırın;

c) İntensivlik vektoru modulunun maksimumu x-in hansı qiymətindədir və o nəyə bərabərdir?

ç) U və E_x-in x-dən asılılıq qrafikini təqribi olaraq qurun. $x=x_{max}$ nöqtəsində U özünü necə aparır?

21. Çox kiçik qalınlıqlı, r =120 mm radiuslu dairəvi lövhə $q=1,80\cdot10^{-6}$Kl yüklə müntəzəm yüklənmişdir. Lövhə vakuum şəraitindədir. Lövhənin mərkəzini koordinat başlanğıcı və oxunu x oxu qəbul etməklə:

a) x oxunun üzərində potensialın (U) və E intensivlik vektorunun E_x proyeksiyasının x-dən asılılığını tapın;

b) $|x|$<<r və $|x|$>>r hallarını araşdırın;

c) x=80,0 mm nöqtəsində U və E_x-i hesablayın.

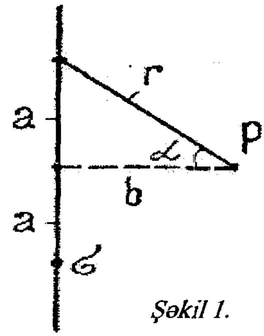
22. Vakuumda yerləşdirilmiş çox nazik lövhə xarici radiusu a və daxili radiusu b olan həlqə şəklindədir. Lövhədə q yükü müntəzəm paylanmışdır. Lövhənin mərkəzini koordinat başlanğıcı və oxunu x oxu qəbul edərək lövhənin yaratdığı elektrik sahəsinin potensialının və intensivliyinin x oxu boyunca necə dəyişdiyini müəyyən edin. $|x| >> a$ halını araşdırın.

23. Dairəvi köynəkli müstəvi kondensatorun köynəkləri arasındakı məsafə 2a-dır. Köynəklərin radiusu (r) onlar arasındakı məsafədən çox-çox böyükdür $(r >> 2a)$. Lövhələrə bərabər miqdarda əks işarəli yüklər verilir. Koordinat başlanğıcını kondensatorun mərkəzində götürün və x oxunu köynəklərə perpendikulyar yönəldin. Köynəklərdə yük sabit $\sigma|$ səth sıxlığı ilə paylanmışdır. Kondensatorun elektrik sahəsinin intensivliyinin x kompanentinin x-dən asılılığını tədqiq edin.

Bunun üçün:

a) E_x-in x oxunun üzərində necə dəyişdiyini; b) E_x-in kondensatorun mərkəzindəki (x=0 nöqtəsindəki) qiymətini; c) E_x(a-0)-ı, yəni E_x-in $x = a - \delta(\delta \to 0)$ nöqtəsindəki qiymətini; ç) E_x(a+0)-ı, yəni E_x-in $x = a + \delta(\delta \to 0)$ nöqtəsindəki qiymətini; d) E_x-in $|x| >> r$ olduqda x-dən asılılığını tapın.

24. Məlumdur ki, Qaus teoreminin köməyi ilə yükü müntəzəm paylanmış və səth sıxlığı σ olan sonsuz müstəvi səthin vakuumda yaratdığı sahənin intensivliyinin $E = \dfrac{\sigma}{2\varepsilon_0}$ olduğunu asanlıqla tapmaq mümkündür. Müstəvidən kənarda hər-hansı P nöqtəsi götürək və ondan müstəviyə normal endirək. Normal parçanın uzunluğu b olsun. Normalın mustəvi ilə kəsişdiyi nöqtəni mərkəz qəbul edərək onun üzərində a radiuslu çevrə cızaq (şəkil 1). Müstəvinin çevrənin daxilində qalan hissəsinin P nöqtəsində yaratdığı intensivlik müstəvinin yaratdığı ümumi intensivliyin yarısına bərabər olması üçün a-nın necə təyin olunduğunu, r-i və α-nı tapın.



Şəkil 1.

25. Vakuum şəraitində, radiusu R və səth sıxlığı σ olan yüklənmiş yarımkürə səthinin öz mərkəzində yaratdığı potensialı və intensivliyi tapın.

26. Radiusu R=40 mm olan kürənin həcmində $q=2{,}00\cdot10^{-6}$Kl yükü müntəzəm paylanmışdır. Onun mərkəzində sahənin potensialını (U_0) tapın. Kürənin daxilində və xaricində dielektrik sabitini vahid götürün.

27. 26-cı məsələdə verilən müntəzəm yüklənmiş kürənin daxilində potensialın, kurənin mərkəzindən hesablanan r məsafəsindən asılılığını tapın. r =20,0 mm qiyməti üçün potensialı hesablayın.

28. Sabit ρ həcm sıxlığı ilə müntəzəm yüklənmiş kürənin daxilində mərkəzi, kürənin mərkəzindən a məsafədə yerləşən sferik boşluq var. Boşluqda yük yoxdur. Boşluğun daxilində sahənin intensivliyini tapın. a=0 olduqda intensivlik nəyə bərabərdir? Dielektrik sabitini $\varepsilon = 1$ götürün.

29. Müstəvi kondensatorun köynəkləri arasındakı fəza ilkin halda hava ilə doludur. Bu halda köynəklər arasındakı fəzanın yarısı dielektrik sabiti ε olan bircins dielektriklə doldurulur. Köynəklər arasındakı potensiallar fərqi sabit saxlanılır. Sonrakı hal üçün kondensatorun 1-ci və 2-ci hissələrində E və D-ni tapın.

30. 29 məsələsini kondensatorun köynəklərində yükün sabit qaldığı hal üçün həll edin.

31. Müstəvi kondensatorun lövhələri arasındakı fəza hava ilə doludur. Bu halda kondensatorun daxilində sahənin intensivliyi E_0, induksiyası D_0-dır. Sonra kondensatorun lövhələri arasındakı fəza, şəkil 30 –da göstərildiyi kimi, yarısına qədər löhvhələrə paralel, nüfuzluğu ε olan dielektrik təbəqə ilə doldurulur. a) Lövhələr arasındakı potensiallar fərqi sabit qaldıqda və b) köynəklərdəki yükün miqdarı sabit qaldıqda 1-ci və 2-ci hissədə sahənin intensivliyini və induksiyasını tapın.

Sahənin qüvvə və induksiya xətləri haqda nə demək olar?

32. Şüşə lövhə intensivliyi E_0=10,0V/sm olan sahəyə daxil edilmişdir. Lövhənin səthinə çəkilmiş normalla sahənin intensivliyinin istiqaməti arasında qalan bucaq $\alpha_1=30^0$-dir. Lövhənin daxilindəki sahənin E_2 intensivliyini, onun lövhənin normalı ilə əmələ gətirdiyi α_2 bucağı, lövhənin səthində induksiyalanan yükün σ səth sıxlığını tapın.

33. İki uzun koaksial silindr əks işarəli və bərabər miqdarlı yüklə yükləndirilmişdir. Onların radiusları uyğun olaraq R_1=3sm və R_2=10sm-dir. Silindrlər arasındakı potensiallar fərqi 450 V-dur. a) Silindrlərin vahid uzunluğuna düşən q_1 yükü; b) hər silindrin səth yük sıxlığını; c) daxili silindrin səthinin yaxınlığında, xarici silindrin səthinin yaxınlığında və onlar arasındakı məsafənin ortasında sahənin intensivliyini tapın.

34. İkielektrodlu radiolampanın düzxətli tel şəkilində olan katodu onunla eyni materialdan düzəldilmiş silindrik anodun oxu boyunca yönəldilmişdir. Katod tel qızdırılır və özündən elektronlar buraxır. Katodla anod arasındakı gərginlik 91 V-dur. Bu gərginliyin təsiri altında katoddan qopan elektronlar anoda doğru təcillə hərəkət edir. Anod silindrinin diametri 2R=10mm, katod telinin diametri $2R_1$=1mm-dir. Teldən 3,5 mm məsafədə elektronun təcilini və sürətini tapın. Elektronun başlanğıc sürətini nəzərə almayın.

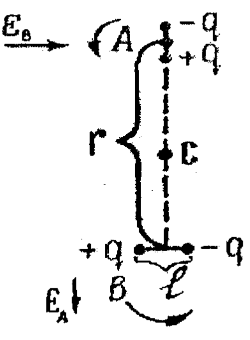
35. Enerjisi U_0 potensialına uyğun olan elektron silindrik kondensatora daxil olur. Onun sürət vektoru bu anda kondensatorun oxundan keçən müstəviyə perpendikulyardır. Kondensator silindrlərinin radiusları R_1 və R_2-dir. Köynəklər arasındakı potensiallar fərqinin hansı qiymətində elektron kondensator daxilində çevrə boyunca hərəkət edər?

36. Başlanğıc sürəti $v_0=40000\frac{km}{s}$ olan elektron müstəvi kondensatorun lövhələri arasına daxil olur. $\vec{v}_0$ vektoru lövhələrin müstəvisinə paraleldir. Lövhələrin uzunluğu b=6sm, aralarındakı məsafə d=5mm-dir. Kondensatorun lövhələrinə U=40V gərginlik verilmişdir. Kondensatordan keçdikdən sonra elektronun sürətinin dəyişməsini tapın.

37. Kürə kondensatorunun elektrik sahəsinin intensivliyini və potensialını təyin edin və onların x oxu üzrə x-dən asılılığının təqribi qrafikini qurun. Daxili və xarici köynəklərin radiusları uyğun olaraq R_1 və R_2-dir. Daxili köynək müsbət yüklüdür.

38. Şəkil 2-də momentləri (P) bir-birinə perpendikulyar olan iki eyni A və B dipolları göstərilmişdir. Onların mərkəzləri arasındakı məsafə r dipolun qolu ℓ-dən çox-çox böyükdür ($r \gg \ell$).

a) A dipoluna; b) B dipoluna və c) bütün sistemə təsir edən fırlanma momentini tapın.



Şəkil 2.

39. Bir-birindən $r=1,00\cdot10^{-8}$m məsafədə yerləşən iki su molekulu arasındakı qarşılıqlı təsir qüvvəsini tapın. Molekulun elektrik dipol momenti $P=0,62\cdot10^{-29}$Kl.m-dir. Molekulların dipol momentləri eyni düzxətt boyunca yönəlmişdir.

40. Yer səthinin yaxınlığında onun elektrik sahəsinin intensivliyi $-130\dfrac{V}{m}$-dir. Əgər yer səthinin bütün nöqtələrində eyni zamanda onun sahəsi bu qiymətə malik olarsa, yerin elektrik yükü nə qədər olar?

41. Aralarındakı məsafə d=0.5 sm olan iki paralel müstəvi arasında 10^{-9} q kütləli kiçicik damcı sabit sürətlə şaquli istiqamətdə düşür. Lövhələrə 400V gərginlik verdikdən sonra damcı şaqulla $7^0 25'$-lik bucaq əmələ gətirərək düşür. Damcının sürətinin ona təsir edən qüvvə ilə mütənasib olduğunu bilərək, damcının yükünü təyin edin.

42. Radiusu R_1=2sm olan metal kürə onunla konsentrik R_2=4sm radiuslu metal kürə səthi ilə əhatə edilmişdir. Kürənin səthində $q_1=+2\cdot10^{-8}$ Kl, xarici təbəqədə isə $q_2=-4\cdot10^{-8}$Kl elektrik yükü var. Kürənin mərkəzindən: a) 3sm və b) 5sm məsafədə sahənin intensivliyini tapın.

43. Elementar zərrəciklərin enerjisini çox vaxt «elektron-volt»larla (ev) ifadə edirlər. 1 eV elektrik qüvvələrinin potensiallar fərqi 1V olan iki nöqtə arasında elektronun yerdəyişməsi zamanı gördüyü işə bərabərdir. Bunu nəzərə alaraq: a) $10^3\dfrac{km}{s}$ surəti ilə hərəkət edən elektronun; b) molekulun 0^0C-də irəliləmə hərəkətinin və c) azot molekulunun yerin səthindən sonsuzluğa qədər uzaqlaşmasının enerjisini eV-larla ifadə edin.

44. İki müxtəlif işarəli nöqtəvi yük arasındakı məsafə d, yüklərin mütləq qiymətinin nisbəti n-dir. Sistemin yaratdığı elektrik sahəsinin sıfra bərabər olan potensial səthinin sferik olduğunu sübut edin ($n \neq 1$). Bu səthin radiusunu tapın.

45. Nöqtəvi q yükü dipol momenti p olan nöqtəvi dipolun oxunun üzərində ondan d məsafəsində yerləşir. Onlar arasındakı qarışılıqlı təsir qüvvəsini tapın.

46. Silindrik kondensatorun daxili iki dielektrik təbəqəsi ilə doldurulmuşdur. Birinci təbəqə qatran (lak) hopdurulmuş kağızdan (daxili radiusu r_1=2sm, xarici radiusu r_2=2,3 sm), ikinci təbəqə şüşədən (daxili radiusu r_3= r_2=2,3 sm, xarici radiusu r_4=2,5 sm) ibarətdir. Kağızın dielektrik nüfuzluğu $\varepsilon_1=4$, şüşəninki $\varepsilon_2=7$ dir. a) Köynəklər arasındakı gərginliyi tədricən artırsaq, kondensaiorun deşilməsi hansı təbəqədə baş verər? b) Həmin kondensatorda birinci təbəqə şüşə və ikinci təbəqə qatranlı kağız olduqda da həmin suala cavab verin. Kağız üçün deşilmə qiyməti $E_{1max}=120\frac{kV}{sm}$, şüşə üçün $E_{2max}=100\frac{kV}{sm}$-dir.

47. İki uzun və nazik düzxətli paralel məftil arasındakı məsafə d-dir. Məftillər müxtəlif işarəli qiymətcə bərabər λ xətti sıxlığı ilə yükləndirilmişdir. Məftillərin simmetriya müstəvisi üzərində məftillərdən keçən müstəvidən h məsafəsində olan nöqtədə sahənin intensivliyini tapın.

48. İki uzun düz paralel məftil arasında məsafə d = 15 sm, sabit gərginlik isə U = 1500 V-dur. Məftillərin diametri r = 1 mm-dir.

a) Məftillər arasındakı məsafənin orta nöqtəsində və b) məftillərdən birindən R_1=30 sm, digərindən R_2=25 sm olan nöqtədə sahənin intensivliyini tapın:

49. Havada diametri d = 1,00 mm olan iki uzun məftil bir-birinə paraleldir. Onların arasındakı məsafə b = 10,0 mm-dir. Məftillərin vahid uzunluğuna düşən qarşılıqlı C_1 elektrik tutumunu tapın.

50. Kondensator radiusu a, mərkəzləri arasındakı məsafə b olan iki eyni cür kürəcikdən ibarətdir. Gürəciklər dielektrik mühitdədir. Mühitin dielektrik nüfuzluğu ε-dur. a) Kondensatorun tutumu necə ifadə olunar? b) b >> a halını araşdırın; c) a = 10,0 mm, b = 300 mm, ε = 1,00 olduqda tutumun qiymətini hesablayın. Yükün kürəciklərin səthində və müntəzəm paylandığını qəbul edin.

51.Nöqtəvi q yükünün təsiri ilə hər hansı metal cisimdə, şəkil 49-da göstərildiyi kimi q′ yükü induksiyalanır. q′ < q olduğunu sübut edin.

52. Kifayət qədər böyük ölçülü üfqi lövhədə elektrik yükü $\sigma = 3{,}3 \cdot 10^{-5} \frac{Kl}{m^2}$ səth sıxlığı ilə müntəzəm paylanmışdır. Bir ucu lövhəyə bərkidilmiş sapdan yüklənmiş m = 1q kütləli kürəcik asılmışdır. Kürəciyin yükü lövhənin yükü ilə eyni işarəlidir. Tarazlıq halında kürəcik bağlanan sap üfüqlə 30^0-lik bucaq əmələ gətirir. Kürəciyin yükünü tapın.

53. Sübut edin ki, nöqtəvi +q yükü ilə ondan d məsafəsində yerləşən sonsuz keçirici divar (və ya yerə birləşdirilmiş keçirici divar) arasındakı qarşılıqlı təsir qüvvəsi q yükü ilə divara görə simmetrik yerləşmiş nöqtəvi –q yükü arasındakı qarşılıqlı təsir qüvvəsi ilə eynidir. d = 3 sm, q = $1 \cdot 10^{-8}$ Kl olduqda bu qüvvənin qiymətini hesablayın.

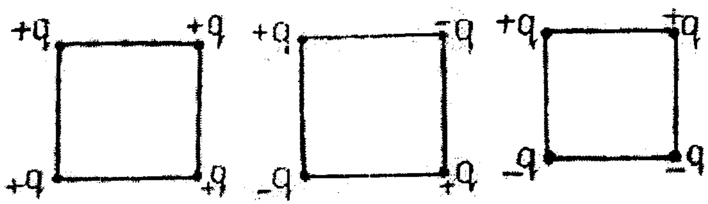
54. Havanın dielektrik möhkəmliyi $3 \cdot 10^6$ V/m-dir. Radiusu r = 15 sm olan kürəni havada nə qədər yüklə yükləmək olar?

55.Tərəfi a = 5 sm olan düzgün altıbucaqlının təpə nöqtələrində eyni adlı bərabər yüklər (q = $6{,}6 \cdot 10^{-9}$ Kl) yerləşmişdir.

a) Altıbucaqlının mərkəzində yerləşən q = 3,3 $\cdot 10^{-9}$ Kl yükünü həmin nöqtədən altıbucaqlının tərəflərindən birinin ortasına qədər hərəkət etdirmək üçün elektrik qüvvələrinin gördüyü işi tapın;
b) altıbucaqlının təpə nöqtlərindəki yüklərin qiymətləri bərabər, lakin qonşu yüklərin işarələri müxtəlif olduqda bu iş nəyə bərabər olar?

56. Bir-birinə perpendikulyar olan iki sonsuz müstəvinin hər biri eyni adlı yüklə müntəzəm yüklənmişdir. Onlardan birində yükün səth sıxlığı σ, digərində isə 2σ-dır. Bu müstəvilərin yaratdığı elektrik sahəsinin intensivliyini tapın.

57 . Şəkil 3-də göstərilən üç hal üçün sistemin qarşılıqlı təsirpotensial enerjisini təyin edin. Qiymətcə bərabər olan elektrik yükləri kvadratın təpə nöqtələrində yerləşir. a) halında bütün yüklərin işarəsi eynidir, b) halında qonşu yüklərin işarələri müxtəlif, c) halında hər yükün işarəsi bir qonşu ilə eyni, digəri ilə əksdir. Kvadratın tərəfi a-dır.



a) b) c)

Şəkil 3.

58. Kürə kondensatorun xarici köynəyi sferik qalmaqla sıxılıb kiçilə bilir. Bu zaman o, yenə də daxili köynəklə konsentrik olur. Köynəklərə qiymətcə bərabər əks işarəli yüklər (q = 2,0 $\cdot 10^{-6}$ Kl) verildikdən sonra xarici köynək elektrik qüvvələrinin təsiri ilə sıxılıb kiçilir və nəticədə onun radiusu a=100,0 mm-dən kiçilərək b = 95,0 mm olur. Elektrik qüvvələrinin burada gördüyü işi tapın. Köynəklər arasındakı mühitin dielektrik sabiti ε = 1-dir.

59. Radiusları R və 2R olan iki konsentrik keçirici sfera yüklənmişdir. Daxili sferanın yükü $q_1 = 1 \cdot 10^{-6}$ Kl, xarici sferanınkı isə $q_2=2q_1= 2\cdot10^{-6}$Kl-dur. Sferaların mərkəzindən 3R məsafədə sahənin potensialı $U = 9\cdot10^3$ V-dur. R-i tapın.

60. İki elektron bir-birindən çox uzaq məsafədə (praktiki olaraq sonsuzluqda) yerləşir və onlar bir-birinə doğru nisbi v_0 (v_0<<c) sürəti ilə hərəkət edir. İki hal üçün elektronların bir-birinə ən çox yaxınlaşa biləcəyi a məsafəsini tapın; a) hər iki elektron sərbəstdir, onlara öz aralarındakı qarşılıqlı təsir qüvvəsindən başqa heç bir qüvvə təsir etmir; b) elektronlardan biri müəyyən inersial sistemə görə sükunətdədir.

61. Müstəvi kondensatorun köynəkləri müxtəlif işarəli bərabər $q=2,00\cdot10^{-7}$ Kl yüklə müntəzəm yüklənmişdir. Lövhələr arasındakı məsafəni Δx = 0,200 mm artırmaq üçün görülən işi tapın. Hər lövhənin səthinin sahəsi $S = 400\cdot10^2$ mm^2-dır.

62. Səthində q yükü müntəzəm paylanmış R radiuslu kürə dielektrik sabiti ε olan izotrop dielektrikin içərisinə daxil edilmişdir. Kürə səthinin sərhəddində dielektrikdə induksiyalanan q^1 yükünü və onun səth sıxlığını təyin edin.

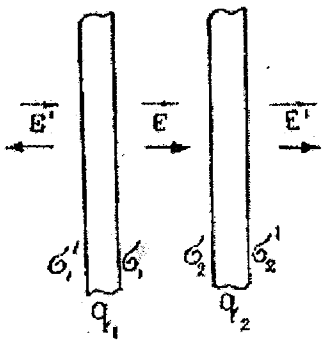
63. Havada yerləşən R radiuslu təklənmiş keçirici kürəni hansı ən böyük potensiala qədər yükləmək olar? Havanın deşilməsi elektrik sahəsinin intensivliyinin $E_0 = 3\cdot10^6 \frac{V}{m}$ qiymətində baş verir.

64. Radiusları $R_1 < R_2 < R_3$ olan sonsuz kiçik qalınlıqlı üç metal sfera vakuumdadır. Ortadakı sferaya q yükü verilmişdir, kənar sferalar isə yerlə birləşdirilmişdir. Sisitemin bütün fəzada yaratdığı sahənin intensivliyini tapın.

65. 26-cı məsələdə verilmiş yüklənmiş kürənin enerjisini (W) hesablayın. Bu enerjinin hansı miqdarı (W_1) kürənin daxilində və hansı miqdarı (W_2) kürədən xaricdə paylanmışdır?

66. Üç hal üçün yüklənmiş keçirici kürənin yaratdığı potensialı onun ayrı-ayrı nöqtələrindəki yüklərin yaratdığı potensialların cəmi kimi hesablayın: nöqtə a)kürənin xaricindədir; b)səthindədir; c) daxilindədir.

67. İki paralel üzlü sonsuz metal müstəvi lövhə vakuumda bir-birinə paralel yerləşdirilmişdir (şəkil 4).Lövhələrin vahid səthinə düşən tam yükü (yəni hər iki üzdə yerləşən yüklərin cəmi) birinci lövhə üçün q_1, ikinci lövhə üçün q_2 – dir. Lövhələrin hər iki üzündəki yük sıxlığını, müstəvilər arasında və kənar fəzada elektrik sahəsinin intensivliyini tapın.

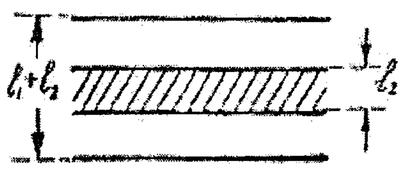


Şəkil 4.

68. İki paralel sonsuz müstəvi bir-birindən d=1 sm məsafədə yerləşir. Onlar müntəzəm yüklənmişdir. Birinci müstəvinin səth yük sıxlığı $\sigma_1=0{,}2\cdot10^{-6}$ Kl/m^2, ikincininki isə $\sigma_2=0{,}5\cdot10^{-6}$ Kl/m^2-dır. Müstəvilər arasındakı potensiallar fərqini tapın.

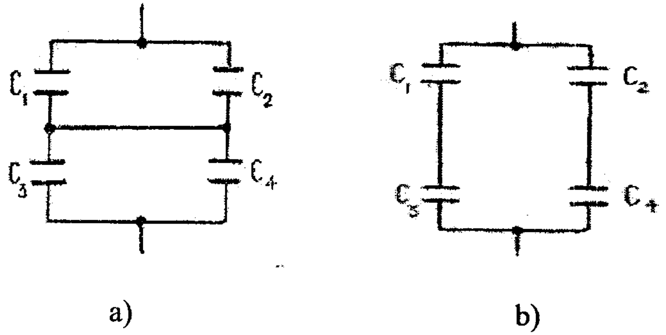
69. Diametri 2sm olan metal kürə mənfi yüklə yükləndirilmişdir. Kürənin potesialı 150V-dur. Kürənin səthində nə qədər elektron var?

70. Müstəvi kondensatorun daxilinə dielektrik nüfuzlüğü ε_2, qalınlığı ℓ_2 olan dielektrik lövhə yerləşdirilmişdir. Lövhənin yan üzləri ilə kondensatorun lövhələri arasında qalan hava təbəqələrinin qalınlıqlarının cəmi ℓ_1-dir (şəkil 5). Kondensatorun lövhələrindəki potensiallar fərqi U-dur. Kondensatorun lövhələri bir-birini hansı qüvvə ilə cəzb edir?



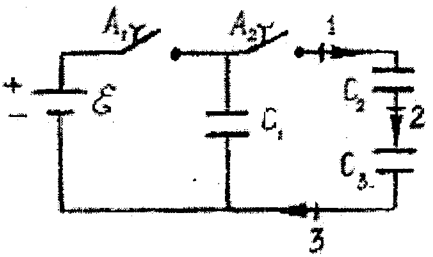
Şəkil 5.

71. Şəkil 6 a və b-də göstərilmiş sxemlər üzrə birləşdirilmiş kondensatorlar batareyasının tutumunu tapın. $\frac{C_1}{C_3}=\frac{C_2}{C_4}$ şərti ödənildikdə batareyaların tutumunun eyni olduğunu sübut edin.



Şəkil 6.

72. Şəkil 7- dəki sxemdə mənbəyin elektrik hərəkət qüvvəsi $\mathcal{E}=10V$, C_1=1,00 mkF, C_2=2,00 mkF, C_3=3,00 mkF-dır. Əvvəlcə A_1 açarını qapayıb C_1 kondensatorunu yükləyirlər. Sonra A_1 açarını açıb, A_2 açarını qapayırlar. bu zaman 1,2 və 3 en kəsiyindən keçən q_1, q_2 və q_3 yüklərinin qiymətini tapın:



Şəkil 7.

73. Tutumu C_1=3mkF olan kondensatorun potensiallar fərqi U_1=300V, tutumu C_2=2mkF olan kondensatorun potensiallar fərqi isə U_2=200B-dur. Yükləndikdən sonra kondensatorlar eyniadlı qütbləri ilə bir-birinə paralel birləşdirilir. Bu cür birləşmədən sonra batareyadakı potensiallar fərqini tapın.

74. Məsələ 73-də verilmiş kondensatorlar yükləndikdən sonra əks qütblərlə bir-birinə paralel birləşdirilir. Birləşdirmə zamanı hansı kondensatordan digərinə yük axacaq? Bu yükün miqdarını tapın.

75. Xüsusi müqaviməti ρ olan maddədən müstəvi həlqə düzəldilmişdir. Onun qalınlığı d, daxili və xarici radiusları a və b— dir (b>a). Silindrik səthlər arasında müəyyən potensiallar fərqi yaradılır .Bu şəraitdə həlqənin R müqavimətini tapın.

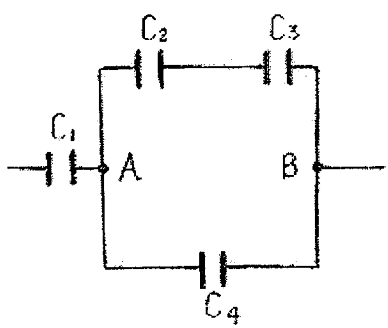
76. Radiusu a olan metal kürə onunla konsentrik b radiuslu keçirici təbəqə ilə əhatə olunmuşdur. Bu elektrodlar arasındakı fəza bircins izotrop keçiriici mühitlə doldurulmuşdur. Elektrodlar arasındakı mühitin R elektrik müqavimətini tapın. $b \to \infty$ olduqda müqavimət nəyə bərabərdir.

77. Müstəvi kondensatorun köynəkləri arasındakı fəza nisbi dielektrik nüfuzluğu $\varepsilon = 7{,}00$, xüsusi müqaviməti $\rho = 1{,}00 \cdot 10^{11}$ Om·m olan maddə ilə doldurulmuşdur. Kondensatorun tutumu C=3000 nF-dır. Kbynəklər arasındakı gərginlik U=2000V olduqda kondensatorun köynəkləri arasındakı sızma cərəyan şiddətini tapın.

78. Tutumu C=300 pF olan kondensator R=500 Om müqaviməti vasitəsi ilə U_0 gərginlikli mənbəyə birləşdirilir. Kondensatorun lövhələri arasında gərginliyin $U=0{,}99\ U_0$ olması üçün nə qədər vaxt keçməlidir?

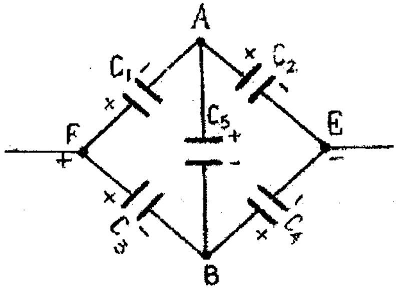
79. Tutumları C_1=2 mkF, C_2=2mkF, C_3=3mkF, C_4=1mkF olan kondensatorlar şəkil 8-də göstərildiyi kimi birləşdirilmişdir.

Dördüncü kondensatorun lövhələri arasındakı potensiallar fərqi U_4=100V-dur. Hər bir kondensatorun və birləşmənin yükünü və gərginliyini tapın.



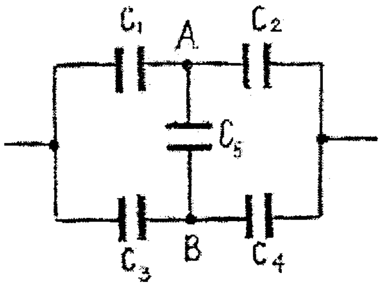
Şəkil 8.

80. Şəkil 9-da göstərilmiş sxemdə kondensatorların tutumları belədir: $C_1=1pF$, $C_2=2pF$, $C_3=2pF$, $C_4=4pF$, $C_5=3pF$. Sxemin elektrik tutumunu tapın.



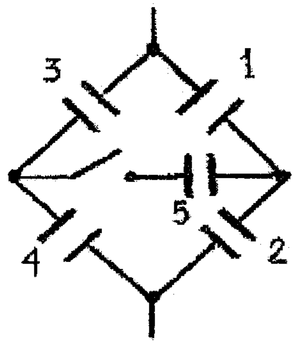
Şəkil 9.

81. Beş müxtəlif kondensator şəkil 10-da verildiyi kimi birləşdirilmişdir. $C_1=8pF$, $C_2=12$ pF, $C_3=6$ pF. C_4-ün hansı qiymətində birləşmənin tutumu C_5-in qiymətindən asılı olmur?



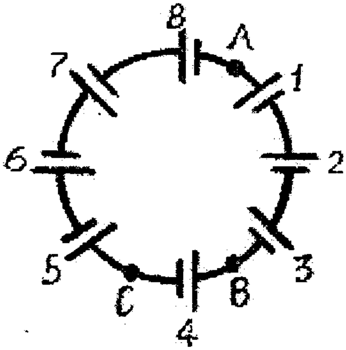
Şəkil 10.

82. Kondensatorlar şəkil 11-də göstərildiyi kimi birləşdirilmişdir. Onlardan biri açarla təchiz edilmişdir. Açarı qapadıqda birləşmənin tutumu artar, yoxsa azalar?



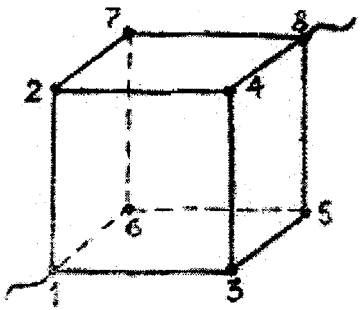
Şəkil 11.

83. Bir neçə eyni cür qalvanik element elə birləşdirilmişdir ki, onlar qapalı dairəvi dövrə əmələ gətirir (şəkil 12). Birləşdirici naqillərin müqaviməti nəzərə alınmayacaq dərəcədə kəskindir a) Birləşdirici naqillərin ixtiyari iki nöqtəsi (məs., A və B yaxud A və C nöqtələri) arasındakı potensiallar fərqi nəyə bərabərdir? b) E.h.q.-ləri müxtəlif və elementin daxili müqaviməti ilə mütənasib olduqda həmin sualın cavabı necə olar? c) Qonşu elementlər bir-biri ilə eyni adlı qütblərlə birləşdirildikdə alınan qapalı dövrə üçün də həmin suala cavab verin.



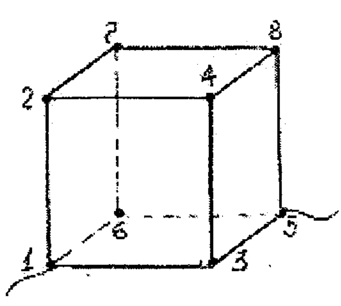
Şəkil 12.

84. Keçirici məftildən düzəldilmiş kubun hər bir tilinin müqaviməti R_0=1 Om-dur. Kub dövrəyə şəkil 13-də göstərildiyi kimi qoşulduqda onun müqavimətini təyin edin.



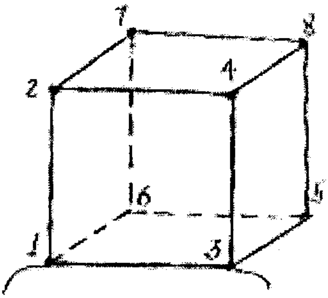
Şəkil 13.

85. 84 məsələsini kub dövrəyə şəkil 14-də göstərildiyi kimi qoşulduğu hal üçün həll edin. Burada başlanğıc və son nöqtələr 1-lə 5-dir.



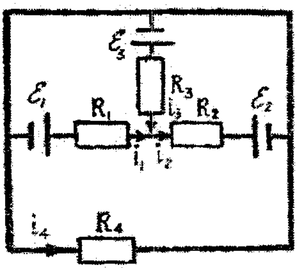
Şəkil 14

86. 84 məsələsini kub dövrəyə şəkil 15-də göstərildiyi kimi qoşulduğu hal üçün həll edin. Burada birləşmənin başlanğıc və son nöqtələri 1 və 3-dür.



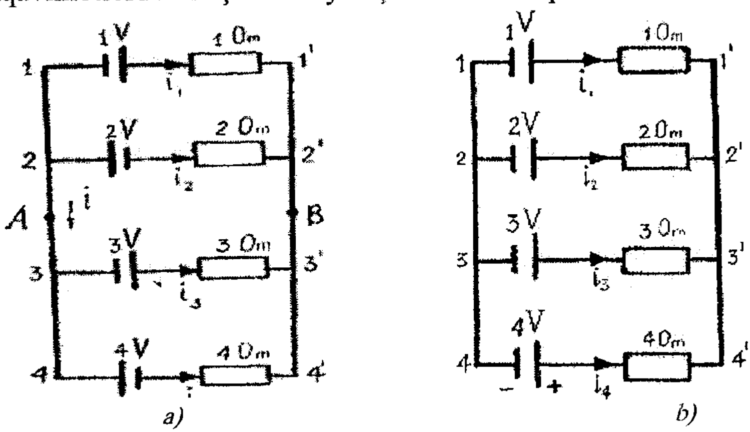
Şəkil 15.

87. Şəkil 16-da təsvir edilmiş sxemin elementləri belədir: ε_1=1,00V, ε_2=2,00V, ε_3=3,00V, R_1=100 Om, R_2=200 Om, R_3=300 Om, R_4=400 Om. Müqavimətlərdən axan cərəyan şiddətlərini tapın. Mənbələrin və birləşdirici məftillərin müqavimətlərini nəzərə almayın.



Şəkil 16.

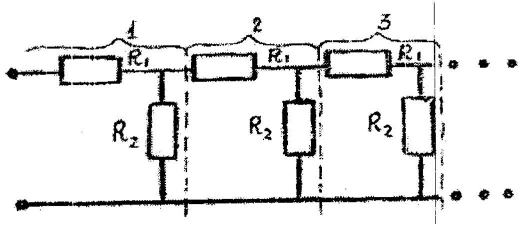
88. Şəkil 17 a və b-də iki budaqlanmış sabit cərəyan dövrəsi göstərilmişdi. Hər iki hal üçün müqavimətlərdən keçən cərəyan şiddətlərini tapın.



Şəkil 17.

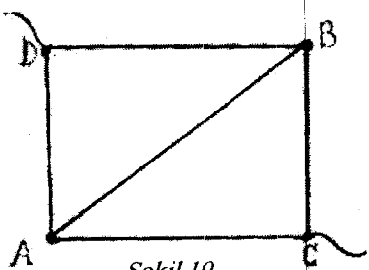
a) halında sxemin məftillərini A və B nöqtələrində kəssək, cərəyan şiddətləri necə dəyişər?

89. Şəkil 18-da sonsuz həlqəli dövrə təsvir edilmişdir. Həlqələr eyni olub, R_1 və R_2 müqavimətlərindən düzəldilmişdir(R_1=2Om, R_2=4Om). Dövrənin tam müqavimətini tapın.



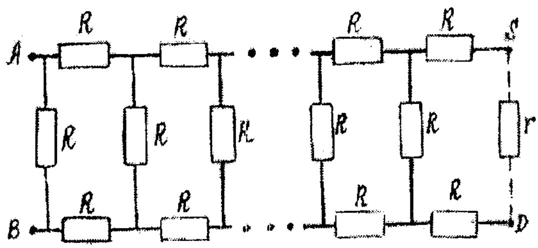
Şəkil 18.

90. En kəsiyi sabit S, xüsusi müqaviməti ρ olan bircins məftildən ADBC düzbucaqlısı və onun AB diaqonalı düzəldilmişdir (şəkil 19). A və B nöqtələri və C və D nöqtələri arasındakı müqaviməti tapın. AD=CB=a, AC=BD=b-dir.



Şəkil 19

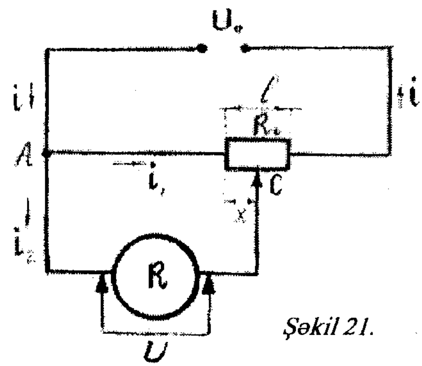
91. Dövrə həlqələr zəncirindən ibarətdir (şəkil 20). C və D nöqtələri arasına hansı r müqaviməti qoşulmalıdır ki, dövrənin ümumi müqaviməti (yəni A və B nöqtələri arasındakı müqavimət) həlqələrin sayından asılı olmasın.



Şəkil 20.

92. Şəkil 21-də potensiometrin sxemi göstərilmişdir. Bu qurğunun köməkliyi ilə müqaviməti R olan və sabit cərəyanla qidalanan cihaza U_0 gərginlikli mənbədən 0-la U_0 arasında istənilən gərginlik vermək mümkündür. Ən sadə potensiometrlərdə R_0 müqaviməti olaraq bircins tel götürülür və sürüşən kontakt C onun üzəri ilə hərəkət etdirilir.

Potensiometr vasitəsi ilə cihaza verilən U gərginliyinin sürüşən kontaktın başlanğıcdan hesablanan x məsafəsindən asılılığını tapın. $R>>R_0$ halını araşdırın.



Şəkil 21.

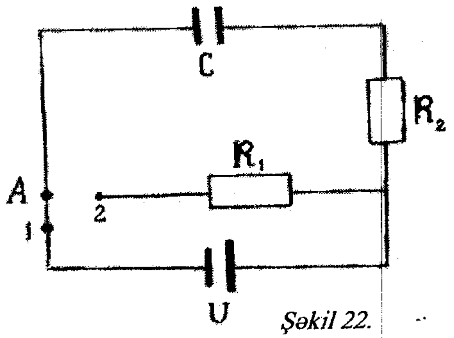
93. Gücü 0,5 kVt olan elektrik plitkası üçün 220 V gərginlikdə işləyən spiral düzəltmək tələb olunur. Bunun üçün d=0,4mm diametrli bircins nixrom məftilin uzunluğu (metrlərlə) nə qədər olmalıdır? Qızdırılmış halda nixrom məftilin xüsusi müqaviməti $\rho=1,05\cdot 10^{-6}$Om.m-dir.

94. N=24 sayda eyni cür elektrik mənbəyi vardır. Onların hər birinin e.h.q. $\varepsilon=1,00$V, daxili müqaviməti $R_0=0,200$Om-dur. Bu mənbələrdən, hər birində eyni miqdarda mənbə olmaqla, paralel birləşdirilmiş bölmələr yaradılmış və onlar öz aralarında ardıcıl birləşdirilmişdir. Ardıcıl birləşdirilən bölmələrin sayı n və onların hər birində paralel birləşdirilmiş elementlərin sayı $\frac{N}{n}$-dir. Bu cür birləşmədən alınan batareya daxili müqaviməti R=0,300 Om olan cihazı qidalandırır. n-in hansı qiymətində cihazın mənbədən götürdüyü güc maksimum olacaq? Maksimum güc nəyə bərabərdir?

95. Tutumu C=2,00 mkФ olan kondensatorun lövhələrinə əks işarəli və bərabər miqdarlı $q_0 = 1,00\cdot 10^{-3}$Kl yükü verilir. Sonra kondensatorun lövhələri R=5000 Om müqaviməti ilə qapanır:

a) R müqavimətindən keçən cərəyan şiddətinin zamandan asılılığını; b) τ =2,00 mks müddətində keçən yükü; c) τ müddətində R müqavimətində ayrılan istilik miqdarını tapın.

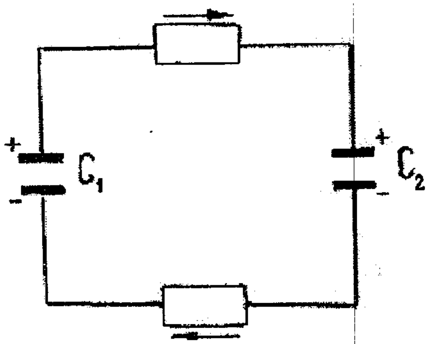
96. Tutumu C = 5,00 mkF olan kondensator U =200 B gərginlikli sabit cərəyan mənbəyinə birləşdirilir (şəkil 22). Bundan sonra A açarının köməkliyi ilə 1 kontaktını 2 vəziyyətinə gətirməklə o, dövrədən açılır və R_1, R_2 ardıcıl müqavimətləri ilə qapanır. R_1 müqavimətində ayrılan istiliyin miqdarını tapın. R_1 = 500 Om, R_2 = 300 Om -dur.



Şəkil 22.

97. Tutumu C_1 olan kondensator U_0 potensiallı mənbəyə qoşularaq yüklənir. Bundan sonra o, mənbədən açılır və tutumu C_2 olan yüklənməmiş kondensatora birləşdirilir (şəkil 22,a).

Birləşdirici naqillərin müqaviməti R-dir. Dövrədə yaranan cərəyanın zamandan asılılığını və ayrılan istiliyin miqdarını tapın.



Şəkil 22,a.

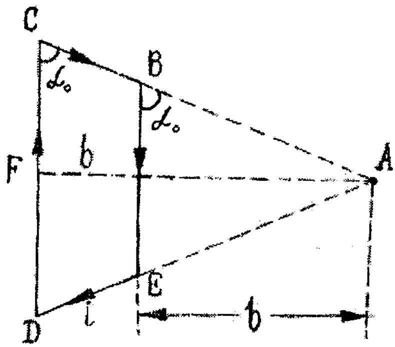
98. Dairəvi cərəyan çevrəsinin radiusu R= 100 mm , ondan axan cərəyan şiddəti i = 1,00 A -dır. a) Cərəyan çevrəsinin mərkəzində və b) onun oxunun üzərində mərkəzdən b= 100 mm məsafədə maqnit induksiyasının qiymətini tapın.

99. Cərəyan şiddəti i olan qapalı dövrənin 2a uzunluğunda düzxətli hissəsi vardır. P nöqtəsi düzxətli hissənin ortasından (cərəyan xəttindən) b məsafədə yerləşir. Düzxətli hissənin P nöqtəsində yaratdığı maqnit induksiyasını tapın. a→ ∞ halını tədqiq edin.

100. Keçirici məftildən R radiuslu çevrənin daxilinə çəkilmiş düzgün n-bucaqlı düzəldilmiş və ondan i cərəyanı buraxılmışdır. Çoxbucaqlının mərkəzində maqnit sahəsinin induksiyası nəyə bərabərdir? Alınan nəticəni n → ∞ halı üçün araşdırın.

101. Bərabəryanlı trapesiya şəklində düzəldilmiş konturda (şəkil 23) i = 6,28 A cərəyan şiddəti dövr edir. Trapesiyanın oturacaqlarının nisbəti 2,00-dır. Trapesiya müstəvisində yerləşən A nöqtəsində maqnit induksiyasını tapın.

Kiçik oturacaq ℓ = 100 mm, ondan A nöqtəsinə qədər olan məsafə b = 50, 0 mm-dır.



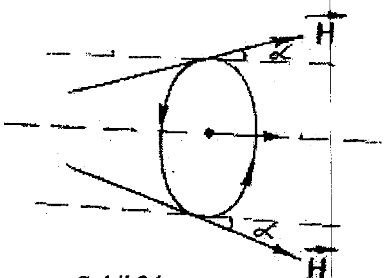
Şəkil 23.

102. Sonsuz bircins silindrik (düz) naqildən axan cərəyanın şiddəti i, naqilin diametri 2a-dır. Cərəyanlı naqilin : a) xaricində və b) daxilində maqnit sahəsinin intensivliyini və onun istiqamətini təyin edin.

103. Məlumdur (bax: məsələ 102) ki; bircins cərəyanlı silindrin daxilində maqnit sahəsinin intensivliyi $H = \frac{jr}{2}$ (j-cərəyan sıxlığı, r-silindrin daxilində onun oxundan hesablanan məsafədir) düsturu ilə ifadə olunur. Uzun silindrik naqilin daxilində oxu onun oxuna paralel olan uzun boşluğun ixtiyari nöqtəsində sahənin intensivliyini tapın. Naqildən keçən cərəyan sıxlığı j, silindrlərin oxları arasındakı məsafə d-dir.

104. Məsələ 103-də verilmiş silindrik boşluqda maqnit qüvvə xətlərini çəkin.

105. Məftildən düzəldilmiş radiusu R = 4 sm olan həlqə qeyri-bircins maqnit sahəsinə gətirilmişdir. Maqnit qüvvə xətləri həlqə ilə kəsişdiyi nöqtələrdə həlqə müstəvisinin normalı ilə α bucağı əmələ gətirir (şəkil 24) . Həlqədən i = 5A cərəyan axır. Həlqəyə təsir edən maqnit sahəsinin intensivliyi H = 8.10^3 $\frac{A}{m}$-dır. Maqnit sahəsi həlqəyə hansı qüvvə ilə təsir edir? α = 10^0-dır.

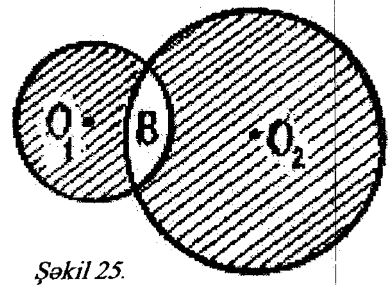


Şəkil 24.

106. Radiusu R=50 mm olan ebonit kürənin səthi sürtünmə vasitəsi ilə müntəzəm yüklənmişdir. Onun yükünün səth sıxlığı σ= $1{,}00.10^{-5}$ Kl/m^2 -dır. Yükləndikdən sonra kürə mərkəzindən keçən ox ətrafında n= 600 dövr/dəq tezliyi ilə fırladılır. Kürənin mərkəzində yaranan maqnit sahəsinin induksiyasını tapın.

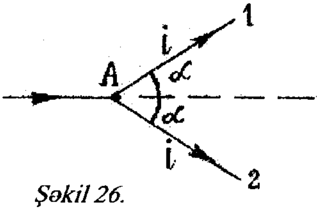
107. Radiusu R və kütləsi m olan bircins kürənin həcmində q yükü müntəzəm paylanmaşdır. Kürə öz oxu ətrafında ω bucaq sürəti ilə fırlanma hərəkətinə gətirilir. Kürənin mexaniki impuls momentini (N), maqnit momentini (P_m) və onların P_m/N nisbətini tapın.

108. Bir-biri ilə silindrik sərhədlə (şəkil 25) kəsişən bircins iki düz naqildən eyni j = 1000 A/ sm^2 sıxlıqlı əks istiqamətli cərəyan axır. Naqillər bir-birindən izolə edilmişdir və onların arasında silindrik sərhədlərlə hüdudlanan B boşluğu yaranır. Naqillərin hər ikisi eyni qeyri maqnit maddədən düzəldilmişdir. Şəkildə naqillərin en kəsiklərinin bütöv hissələri ştrixlənmişdir. Sol tərəfdəki naqildə cərəyan şəkil müstəvisindən oxucuya doğru, sağ tərəfdəkində isə onun əksinə axır. O_1O_2 = d = 5 sm-dir. Boşluqda maqnit sahəsinin intensivliyinin qiymət və istiqamətini tapın.



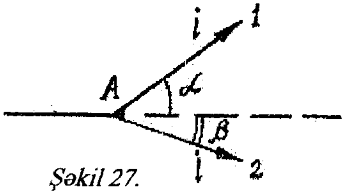
Şəkil 25.

109. Şəkil 26-də cərəyanın simmetrik budaqlanması göstərilmişdir. Bütün naqillər sonsuzdur, düzxətlidir və eyni müstəvinin üzərində yerləşmişdir. Hər budaqda cərəyan şiddəti i-yə bərabərdir. A budaqlanma nöqtəsindən keçən və cərəyan müstəvisinə perpendikulyar olan düz xətt üzərində maqnit sahəsinin intensivliyini tapın.



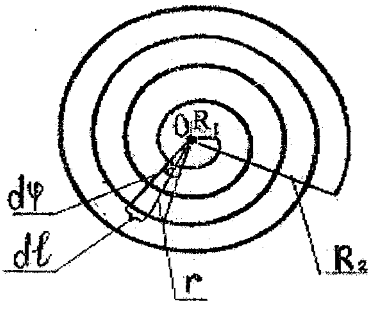
Şəkil 26.

110. 109 məsələsini şəkil 27-də göstərilən qeyri-simmetrik budaqlanma halı üçün həll edin.



Şəkil 27.

111. Müstəvi spiralın (şəkil 28) mərkəzində maqnit sahəsinin intensivliyini tapın. Spiraldan axan cərəyan şiddəti i, onun daxili və xarici radiusu, uyğun olaraq, R_1 və R_2, sarğılarının sayı isə N-dir. Birləşdirici naqillərin sahəsini nəzərə almayın.



Şəkil 28.

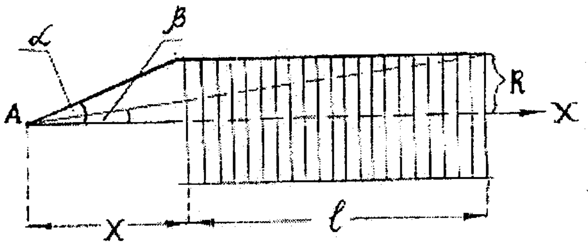
112. Səthində q yükü müntəzəm paylanmış R radiuslu kürə diametri ətrafında sabit ω bucaq sürəti ilə fırladılır. Fırlanma oxunun üzərində kürənin mərkəzindən $r > R$ məsafələrdə maqnit sahəsinin intensivliyini tapın.

113. q yükü həcmində müntəzəm paylanmış R_0 radiuslu kürə öz diametri ətrafında sabit ω bucaq sürəti ilə fırladılır. Fırlanma oxunun üzərində $r > R_0$ məsafələrdə maqnit sahəsinin intensivliyini tapın.

114. Yüklənməmiş r radiuslu bütöv metal silindr maqnit sahəsində ω bucaq sürəti ilə öz oxu ətrafında fırladılır. Maqnit sahəsinin H intensivliyi silindrin oxuna paraleldir. Maqnit sahəsinin intensivliyinin qiyməti necə olmalıdır ki, silindrdə elektrik sahəsi yaranmasın?

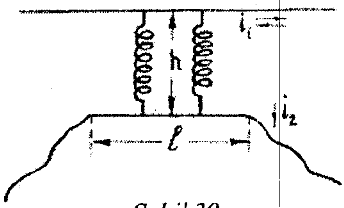
115. Məftildən düzəldilmiş R = 5 sm radiuslu həlqə yumşaq iki naqil vasitəsi ilə dayaqdan asılmışdır. Həlqə intensivliyi H=800 A/m olan bircins maqnit sahəsinə daxil edilir və ondan i=1A cərəyan buraxılır. Maqnit quvvə xətləri üfqi istiqamətdə yönəlmişdir. Həlqə hansı qüvvə ilə gərilməyə məruz qalacaq?

116. Solenoidin oxunun üzərindəki A nöqtəsindən onun başlanğıcında və sonunda diametri uyğun olaraq 2α və 2β bucağı altında görünür (şəkil 29). A nöqtəsində solenoidin yaratdığı maqnit sahəsinin intensivliyini tapın. Solenoidin uzunluğu l, diametri D=2R, sarğılarının sayı N, onlardan axan cərəyan şiddəti i -dir.



Şəkil 29.

117. Üfqi vəziyyətdə bərkidilmiş uzun şindən iki eyni cür yaydan boyu ℓ olan keçirici məftil asılmışdır (şəkil 30). Yayların hər birinin sərtliyi k-dır. Naqillərdən cərəyan axmadıqda yayların hər birinin uzunluğu (şinlə naqil arasındakı məsafə) h-dır.



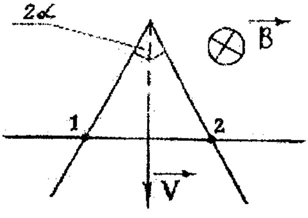
Şəkil 30.

Şindən və naqildən axan cərəyan şiddəti, uyğun olaraq, i_1 və i_2 olduqda onlar arasındakı x məsafəsini (yayların uzunluğunu) tapın.

Cərəyanların istiqamətlərinin eyni və müxtəlif olduğu iki hala baxın. Yaylar naqillər arasında elektrik kontaktı yaratmır.

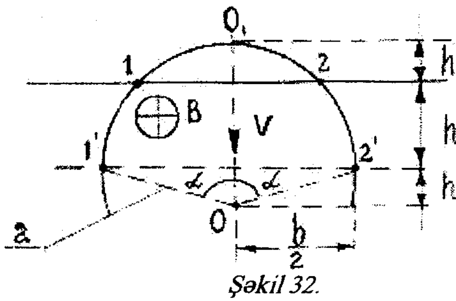
118. Dielektrikdən düzəldilmiş uzun bütöv silindr statik polyarizə edilmişdir, özü də polyarizasiya silindrin daxilində hər bir nöqtədə radius boyunca yönəlmişdir, onun qiyməti isə silindrin oxundan olan r məsafəsi ilə mütanasibdir: $\vec{P} = k\vec{r}$ (k=const, $\vec{r}$ - silindrin oxundan hesablanan radius-vektordur). Silindr öz oxu ətrafında ω bucaq sür'əti ilə fırladılır. Silindrin daxilində (uclarından uzaqda) maqnit sahəsinin intensivliyini tapın. Silindrin radiusu R-dir.

119. Vahid uzunluğunun elektrik müqaviməti R_1 olan düz məftil 2α bucağı altında qatlanmışdır (şəkil 31). Eyni materialdan düzəldilmiş 1-2 düzxətli tağı 2α bucağının tənböləninə perpendyekulyar qoyulmuş və beləliklə üçbucaqlı qapalı kontur yaranmışdır. Kontur onun müstəvisinə perpendikulyar bircins maqnit sahəsinə gətirilmişdir. Bu zaman 1-2 tağı şəkildə göstərilən istiqamətdə sabit υ sürəti ilə hərəkət edir. Konturdan axan cərəyan şiddətinin qiymət və istiqamətini tapın. 1 və 2 toxunma nöqtələrinin müqavimətini nəzərə almayın.



Şəkil 31.

120. Vahid uzunluğunun elektrik müqaviməti R_1 olan məftili əyib α radiuslu yarımçevrə şəklinə gətirmişlər (şəkil 32). Həmin məftildən düzəldilmiş düzxətli tağ sabit υ sürəti ilə yarımçevrənin üzəri ilə şəkildə göstərildiyi istiqamətdə sürüşür. Çevrə qövsü ilə tağ qapalı kontur əmələ gətirir. Kontur bircins maqnit sahəsində yerləşdirilmişdir. Maqnit sahəsinin $\vec{B}$ induksiya vektoru konturun müstəvisinə perpendikulyar olub,



Şəkil 32.

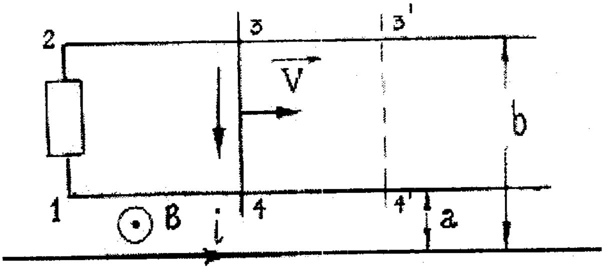
oxucudan şəkil müstəvisinə doğru yönəlmişdir. Konturdan axan cərəyan şiddətinin α bucağından asılılığını və istiqamətini tapın. Kontakt nöqtələrinin müqavimətini nəzərə almayın.

121. Uzunluğu l=1200mm olan nazik metal çubuq uclarından birindən l_1=250 mm məsafədə ona perpendikulyar keçən ox ətrafında bircins maqnit sahəsində sabit $n = 120\frac{\text{dövr}}{\text{dəq}}$ tezliyi ilə fırladılır. Maqnit sahəsinin induksiya vektoru ($B=1{,}00\cdot10^{-3}$Tl) fırlanma oxuna paraleldir. Çubuğun ucları arasında yaranan U potensiallar fərqini tapın.

122. İzolə edilmiş a=250mm radiuslu metal disk öz oxu ətrafında $n = 1000\frac{\text{dövr}}{\text{dəq}}$ tezliyi ilə fırladılır. a) maqnit sahəsi olmadıqda və b) induksiya vektoru diskin müstəvisinə perpendikulyar yönəlmiş ($B=1{,}00\cdot10^{-2}$tl) maqnit sahəsində diskin mərkəzi ilə kənarları arasındakı potensiallar fərqini tapın.

123. Elektrik yükü ilə yükləndirilmiş R radiuslu uzun bütöv metal silindr sabit bucaq sürəti ilə öz oxu ətrafında fırladılır. Silindrin vahid uzunluğuna düşən yük Q-dür. Fırlanma nəticəsində silindrin daxilində yaranan maqnit sahəsinin intensivliyini və onun oxu ilə səthi arasında meydana çıxan potensiallar fərqini tapın. Mərkəzdən qaçma qüvvəsini nəzərə almayın (bu, nə vaxt mümkündür?).

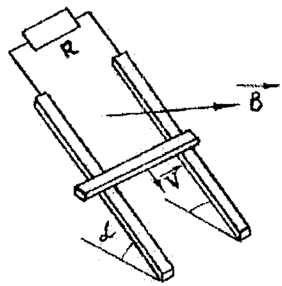
124. Sonsuz düzxətli naqildən axan cərəyan şiddəti i-dir. Ondan a və b məsafələrdə iki açıq (izolə edilməmiş) düzxətli məftil keçir (şəkil 33). Məftillərin 1-2 ucları R müqaviməti ilə qapanmışdır. Bundan əlavə, 3 və 4 nöqtələrində məftillərin xəttinə perpendikulyar olaraq onların üzərinə keçirici çubuq qoyulmuşdur. Bununla da 1-2-3-4-1 qapalı konturu yaranmışdır. 3-4 çubuqu məftillərlə kontaktda qalmaqla soldan sağa sabit υ sürəti ilə sürüşür. a) 1-2-3-4 konturundan axan induksiya cərəyan şiddətini və onun istiqamətini; b) 3-4 çubuğunun irəliləmə hərəkətini davam etdirmək



Şəkil 33.

və onun sürətini sabit saxlamaq üçün lazım olan qüvvəni və onun tətbiq nöqtəsini; c) çubuğun yerdəyişməsinə sərf olunan gücü tapın. Məftillərin, keçirici çubuğun və onun kontakt nöqtələrinin müqavimətini nəzərə almayın.

125. Üfqə nəzərən α bucağı altında qoyulmuş iki paralel mis şinin üzəri ilə m kütləli mis tir sürüşür (şəkil 34). Şinləri əhatə edən fəzada $\vec{B}$ induksiya vektoru üzərində tirin hərəkət etdiyi müstəviyə perpendikulyar olan bircins maqnit sahəsi yaradılmışdır. Şinlərin yüxarı ucları R müqaviməti ilə qapanmışdır. Şinlərin səthi ilə tir arasındakı sürtünmə əmsalı k ($tg\alpha > k$), şinlər arasındakı məsafə l-dir. Qərarlaşmış halda tirin υ hərəkət sürətini tapın. Şinlərin, tirin və onların kontakt yerlərinin müqavimətini nəzərə almayın.

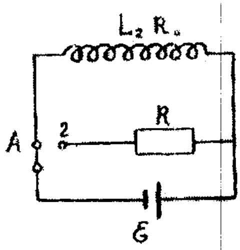


Şəkil 34.

126. Elektromaqnitin qütbləri arasında kiçik sarğac elə yerləşdirilmişdir ki, sarğacın və maqnitin qütb başlıqlarının oxları üst-üstə düşür. Sarğacın en kəsiyinin sahəsi $S=3{,}00mm^2$, sarğılarının sayı N=60-dır. Sarğacı 180^0 çevirdikdə ona birləşdirilmiş qalvanometrdən $q=4{,}50\cdot10^{-6}$ Kl yük keçir. Qütblər arasında maqnit sahəsinin intensivliyini tapın. Dövrənin tam müqaviməti R=40,0 Om-dur.

127. Radiusu *a* olan məftildən uzunluğu l=10,0m, eni b=100mm-ə $(\ell >> b)$ bərabər düzbucaqlı çərçivə düzəldilmişdir (çərçivənin ölçüləri uyğun tərəflərin oxundan hesablanır). Çərçivənin L induktivliyini tapın. Mühitin maqnit nüfuzluğunu vahidə bərabər götürün və məftilin daxilindəki sahəni nəzərə almayın.

128. İnduktivliyi $L=2{,}00\cdot10^{-6}$ Hn və müqaviməti $R_0=1{,}00$ Om olan sarğac sabit cərəyan mənbəyinə qoşulmuşdur (şəkil 35). Mənbəyin e.h.q. $\varepsilon=3{,}00$ V- dur. Sarğacda cərəyan qərarlaşmış qiymət aldıqdan sonra A açarı qısa müddət ərzində 1 vəziyyətindən 2 vəziyyətinə gətirilir. R müqavimətində (R=2,00 Om) ayrılan Q istilik miqdarını tapın. Mənbəyin və birləşdirici məftillərin müqavimətini nəzərə almayın.



Şəkil 35.

129. Toroidlə onun oxundan keçən sonsuz düzxətli naqilin qarşılıqlı induktivliyini təyin edin. Toroidin en kəsiyi düzbucaqlı şəklindədir və bu düzbucaqlının toroidin oxuna paralel olan ölçüsü δ-dır. Toroidin daxili radiusu a, xarici radiusu b, sarğılarının sayı N-dir. Toroidin daxilindəki və onu əhatə edən mühitin maqnit nüfuzluğu μ-dür.

130. En kəsiyi kvadrat olan toroid şəkilli dəmir içliyin üzərində N=1000 sarğı vardır. Toroidin daxili radiusu a=200 mm, xarici radiusu b=250 mm - dir. Sarğılardan i=1, 26 A cərəyan keçdikdə toroidin daxilindəki maqnit sahəsinin W enerjisini tapın. Toroidin en kəsiyinin bütün nöqtələrində maqnit sahəsinin intensivliyini kəsiyin mərkəzindəki qiymətə bərabər qəbul edin.

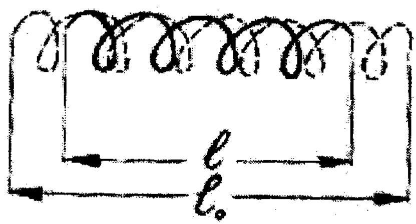
131. Məsələ 130-dakı toroidin üzərinə əlavə $N_1=20$ sarğı sarınmış və onun dövrəsi ballistik qalvanometrlə qapanmışdır.

Toroidin əsas sarğısından axan cərəyan söndürülərsə, qalvanometrdən nə qədər yük keçər?

Əlavə sarğının, qalvanometrin və birləşdirici naqillərin ümumi muqaviməti R=31,0 Om-dur.

132. Diametri d=500 mm olan toroid şəkilli dəmir içliyin üstünə sarınmış sarğıların sayı N=1000-dir. İçlikdə uzunluğu b=1,00mm-ə bərabər eninə yarıq açılmışdır. Sarğılardan i=0,85 A cərəyan şiddəti keçdikdə yarıqda maqnit sahəsinin intensivliyi $H = 6{,}00 \cdot 10^5 \frac{A}{m}$-dir. Bu şərtlər daxilində dəmirin maqnit nüfuzluğunu tapın. Maqnit induksiyasının səpilməsini nəzərə almayın.

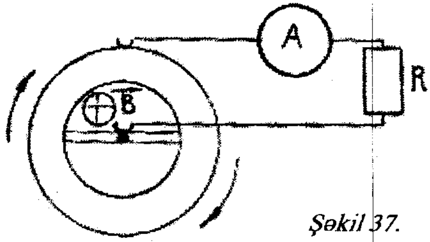
133. Kifayət qədər uzun solenoid sərtliyi k olan yay kimi heç bir maneyə olmadan sıxıla və dartıla bilir (şəkil 36). Solenoiddən *i* cərəyan şiddəti keçdikdə onun uzunluğu l-dir. Solenoiddən cərəyan keçmədikdə onun uzunluğu nəyə bərabərdir?



Şəkil 36.

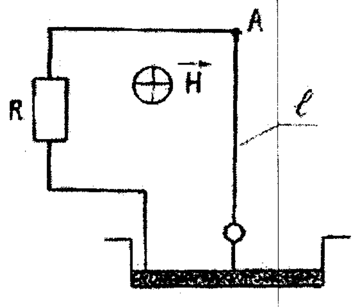
134. Radiusu a=10sm olan mis disk $n = 1000 \frac{\text{dövr}}{\text{s}}$ tezliyi ilə öz oxu ətrafında bircins maqnit sahəsində fırladılır. Maqnit sahəsinin intensivlik vektoru $\vec{H}$ diskin müstəvisinə perpendikulyar, onun modulu isə $H = 7{,}96 \cdot 10^5 \frac{A}{m}$ -dir. İki keçirici fırçanın köməkliyi ilə diskin mərkəzi və xarici səthi reostat və ampermetrlə birləşdirilib, qapalı dövrə yaradılmışdır. Reostatın müqaviməti R=10 Om-dur. Ampermetrin müqavimətini nəzərə almamaq olar. Ampermetrin göstərişi nəyə bərabərdir?

135. 134-cü məsələdəki diski onunla eyni radiuslu iki cağı olan çarxla (şəkil 37) əvəz etdikdə həmin şərtlər daxilində ampermetrin göstərişi necə olar? Şəkil 37. Çarxın müqavimətini nəzərə almayın:



Şəkil 37.

136. Rəqqas uzunluğu l olan nazik məftilin ucuna bağlanmış m kütləli kürəcikdən ibarətdir. Onu riyazi rəqqas qəbul etmək olar (şəkil 38). Kürəciyin ucuna birləşdirilmiş iynəşəkilli nazik məftil qabdakı civənin içərisinə daxil olur və onunla elektrik kontaktı yaradır. A dayaq nöqtəsindən asılan rəqqas və qabdakı civə, şəkildə göstərildiyi kimi, müqaviməti R olan qapalı dövrə yaradır. Rəqqas kiçik amplitudla intensivlik vektoru rəqs müstəvisinə perpendikulyar olan maqnit sahəsində rəqs edir. Maqnit sahəsinin intensivliyi H-dır. R müqavimətli dövrənin təsiri nəticəsində rəqqasın sönməsinin loqarifmik dekrementinin neçə dəfə artdığını təyin edin. Mühitin müqavimət qüvvəsi rəqqasın bucaq sürəti ilə mütənasibdir, mütənasiblik əmsalı k-dir.



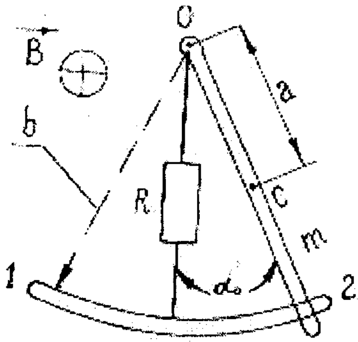
Şəkil 38.

137. Məsələ 136 –dakı şərtlər daxilində dövrə R müqaviməti əvəzinə L induktivliyinə malikdir. Rəqsin loqarifmik dekrementi və periodu necə dəyişər?

138. Məsələ 136-dakı şərtlər daxilində dövrəyə R müqavimətinin əvəzinə tutumu C olan kondensator qoşulmuşdur və rəqsin loqarifmik sönmə dekrementi və periodu necə dəyişər?

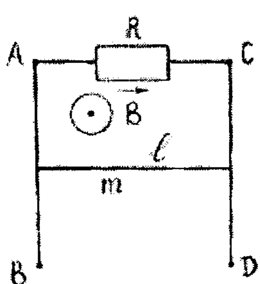
139. Məsələ 125-də verilmiş qurğuda R müqavimətinin əvəzinə dövrəyə tutumu C olan kondensator qoşulmuşdur. Tirçik şinlərin üzərinə qoyulur, sonra sərbəst buraxılır. Dövrənin elektrik mmüqavimətinin sıfra bərabər olduğunu qəbul edərək tirçiyin hərəkətinin xarakterini müəyyən edin. Bütün digər şərtlər eyni qalır.

140. Kütləsi m olan metal çubuq O nöqtəsi ətrafında rəqqas kimi rəqs edə bilər (şəkil 39). Çubuğun aşağı ucu, b radiuslu qövs şəklinə salınmış 1-2 keçiricisinə toxunur. Keçiricinin ortası şaquli (şəkil 39) istiqamətdə O nöqtəsi ilə R muqaviməti vasitəsi ilə qapanmışdır. Bütün sistem induksiyası B rəqs müstəvisinə perpendikulyar olan bircins maqnit sahəsində yerləşdirilmişdir. Çubuq kiçik α_0 bucağı qədər meyl etdirildikdən sonra sıfır başlanğıc sürəti ilə sərbəst buraxılır. Hərəkətin xarakterini müəyyən edin. Asqı nöqtəsindən çubuğun C kütlə mərkəzinə qədər olan məsafə a-dır: $a = \frac{1}{2}b$. Çubuğun kütlə mərkəzindən keçən və ona perpendikulyar olan oxa nəzərən əialət momenti I_0-dır. Sürtünmə qüvvəsi, çubuğun, 1-2 naqilinin və onların toxunma nöqtələrinin elektrik müqaviməti nəzərə alınmır.



Şəkil 39.

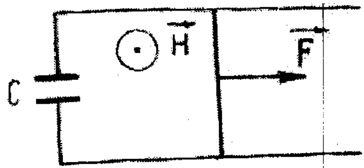
141. Məsələ 140-dakı qurğuda dövrədəki R müqavimətinin əvəzinə tutumu C olan kondensator götürülmüşdür. Bütün qalan şərtlər eynidir (konturun müqaviməti sıfra bərabərdir). Çubuğun hərəkətini təsvir edin.



Şəkil 40.

142. İki paralel şaquli (AB və CD) keçirici reykanın üzəri ilə kütləsi m və uzunluğu ℓ olan düzxətli naqil sürtünməsiz sərbəst sürüşə bilər (şəkil 40). Reykaların yuxarı ucları R müqaviməti ilə qapanmışdır. Bütün sistem maqnit sahəsinə daxil edilmişdir. Maqnit sahəsinin $\vec{H}$ intensivlik vektoru reykalardan keçən müstəviyə perpendikulyar olub, şəkil müstəvisindən oxucuya doğru yönəlmişdir. Naqil ağırlıq qüvvəsinin təsiri altında necə hərəkət edər? Reykaların və hərəkətdə olan naqilin müqavimətini nəzərə almayın. F qüvvəsinin gördüyü iş hansı enerji növünə çevrilir?

143 Üfqi istiqamətdə bir-birinə paralel qoyulmuş və başlanğıc ucları C tutumlu kondensatorla qapanmış iki metal reykanın üzəri ilə ℓ uzunluqlu və m kütləli düzxətli keçirici sürtünməsiz sürüşə bilər (şəkil 41). Bütün sistem bircins maqnit sahəsinə daxil edilmişdir. $\vec{H}$ intensivlik vektorunun istiqaməti şəkil müstəvisindən oxucuya doğru yönəlmişdir. Keçiricinin orta nöqtəsinə ona perpendikulyar (reykalara paralel) istiqamətdə yönəlmiş sabit F qüvvəsi tətbiq edilmişdir. Hərəkət edən naqilin təcilini təyin edin. Reykaların, hərəkətdə olan naqilin və birləşdirici məftillərin müqavimətini nəzərə almayın.



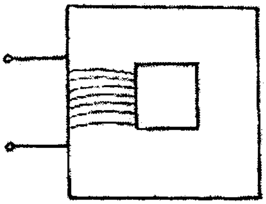
Şəkil 41.

144. Maqnitlik xassəsinə malik olmayan maddədən düzəlmiş silindrin üzərinə məftildən N sarğı sarınmışdır. Silindrin r radiusu ℓ uzunluğundan çox-çox kiçikdir ($r \ll R$). Yaranmış solenoidin uclarına tətbiq olunan gərginlik necə olmalıdır ki, dövrə qapandıqda ondan keçən cərəyan şiddəti zamanla düz mütanasib ($i = kt$, k - mütanasiblik əmsalıdır) artsın?

145. İfratkeçirici həlqə intensivliyi sıfırdan H_0-a qədər artan maqnit sahəsinə daxil edilmişdir. Həlqənin müstəvisi maqnit qüvvə xətlərinə perpendikulyardır. Həlqədə meydana çıxan induksiya cərəyan şiddətini təyin edin. Həlqənin radiusu r, induktivliyi L-dir.

146. Radiusu r olan ifratkeçirici həlqə H intensivlikli maqnit sahəsindədir. Maqnit qüvvə xətləri həlqənin müstəvisinə perpendikulyardır. Həlqədə cərəyan yoxdur. Maqnit sahəsi söndürüldükdən sonra həlqədən keçən maqnit selini tapın.

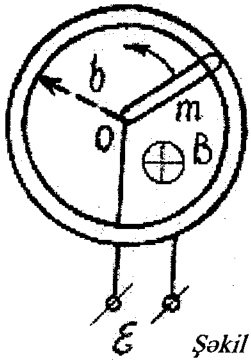
147. Şəkil 42-də gösətərilən dəmir içlik üzərinə sarınmış sarğacın induktivliyini təyin edin. Sarğıların sayı (N), içliyin en kəsiyinini sahəsi (S), orta xətti üzrə perimetri (l) və maqnit nüfuzluğu (μ) məlumdur. Sarğacın maqnit sahəsini uzun solenoidin sahəsi kimi götürün.



Şəkil 42.

148. m kütləli keçirici çubuq O oxu ətrafında sürtünməsiz fırlanır. Onun sərbəst ucu radiusu b olan həlqə şəkilli naqilin üzəri ilə sürtünməsiz sürüşür (şəkil 43). Həlqənin müstəvisi şaquli olaraq bərkidilmişdir. Bütün sistem induksiyası B olan maqnit sahəsində yerləşdirilmişdir. $\vec{B}$ vektoru həlqə müstəvisinə perpendikulyardır. Ox və həlqə çevrəsi xarici mənbəyin qütbələrinə birləşdirilmişdir.

a) Çubuqdan axan cərəyan hansı qanunla dəyişməlidir ki, o, sabit bucaq sürəti ilə fırlansın?



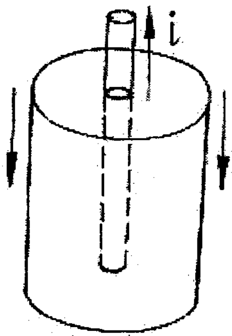
Şəkil 43.

b) Mənbəyin ε e.h.q. nəyə bərabər olmalıdır ki, bu cərəyan davamlı olsun?

149. Koaksial kabel aralarındakı fəza dielektrik təbəqəsi ilə doldurulmuş iki konsentrik silindrik keçiricidən ibarətdir. Daxili keçiricisinin radiusu a=1,50 mm, xarici keçiricisinin radiusu b=5,4 mm olan kabelin vahid uzunluğunun: 1) C_1 tutumunu və 2) L_1 induktivliyini təyin edin. Dielektrik təbəqə polietilendən ibarətdir (ε=2,3). Nəzərə alın ki, koaksial kabelin istifadə edilməsi nəzərdə tutulan yüksək tezliklərdə cərəyan naqilin səthi ilə axır.

150 Nazikdivarlı sonsuz üzün boru böyunca cərəyan axır. Onun cərəyan şiddəti i borunun kəsiyi üzrə müntəzəm paylanmışdır. Borunun daxilində maqnit sahəsinin intensivliyi nəyə bərabərdir?

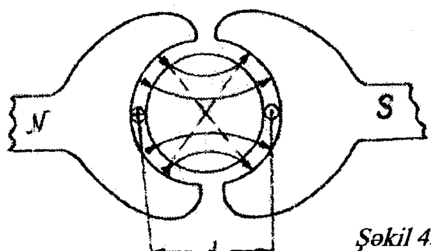
151. Koaksial kabelin daxili xətti ilə axan i şiddətli cərəyan onun xarici təbəqəsi ilə geri qayıdır (şəkil 44). Kabelin daxilindəki nöqtələrdə maqnit sahəsinin intensivliyi neçə ifadə olunur?



Şəkil 44.

152. Radiusları a=2 mm olan iki paralel sonsuz silindrik məftil arasındakı məsafə d=20 mm-dir. Məftillərdən bir-birinə bərabər və əks istiqamətli elektrik cərəyanı axır. Cərəyan şiddəti i=2A-dır. Məftillərin l=50 sm uzunluğunun induktivliyini (L) tapın.

153. Sabit cərəyan mühərriki modelinin rotoru bir sarğısı olan düzbucaqlı çərçivədən ibarətdir. Sabit maqnitin başlıqları (solda şimal, sağda cənub qütbü) arasında mövcud olan maqnit sahəsinin H intensivliyi A silindrinin radiusları üzrə yönəlmişdir (çünki dəmir silindrlə başlıqlar arasında qalan
boşluq məsafəsi çox kiçikdir) (şəkil 45).



Şəkil 45.

Elektrik müqaviməti R, konturunun sahəsi S olan çərçivənin uclarına U potensiallar fərqi tətbiq edilmişdir. Mühərrikin gücünün çərçivənin fırlanma bucaq sürətindən (ω) asılılığını təyin edin. ω – nın hansı qiymətində güc maksimum olar? Bu halda cərəyan şiddəti nəyə bərabərdir?

154. Elektron potenstallar fərqi U olan iki nöqtə arasındakı məsafəni qət edərkən əldə etdiyi sürəti iki halda: a) U=100 B və,

b) U=100 kB olduqda təyin edin. İkinci halda relyativist və klassik yolla hesablanan sürətləri müqaisə edin:

155. Üfqi vəziyyətdə qoyulmuş müstəvi kondesatorun köynəkləri arasındakı məsafə d=10,0 mm-dir. Köynəklər arası fəzada kütləsi m=6,40x10^{-16} kq olan yüklənmiş damcı yerləşdirilmişdir. Köynəklər arasında gərginlik olmadıqda damcı $\upsilon_1 = 0{,}078\frac{mm}{s}$ sabit sürəti ilə düşür. Köynəklərdə U=90,0 V potensiallar fərqi yaratdıqdan sonra damcı $\upsilon_2 = 0{,}016\frac{mm}{s}$ sabit sürəti ilə şaquli istiqamətdə yuxarı doğru hərəkət edir. Damcının e′ yükünü tapın.

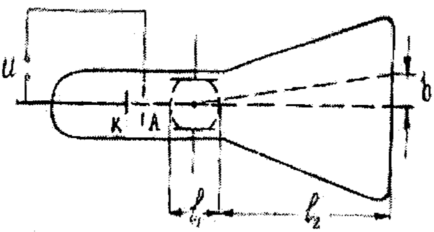
156. Elektron başlanğıc υ_0 sürəti ilə intensivliyi E olan bircins elektrik sahəsinə daxil olur. $\vec{\upsilon}_0$ vektoru sahənin intenisivliyi ilə iti α bucağı əmələ gətirir. Elektronun sürətinin hərəkət zamanı malik olduğu minimum (υ_{min}) qiymətini və həmin anda (yəni $\upsilon = \upsilon_{min}$ olduqda) trayektoriyanın C əyriliyini tapın.

157. Uzun solenoidin oxuna perpendikulyar hərəkət edən elektrona onun uclarından birinin lap yaxınlığında oxla kəsişmə nöqtəsində təsir edən qüvvəni tapın. Solenoidin sarğılarından keçən cərəyan şiddəti i=2,00 A, vahid uzunluğa düşən sarğıların sayı n=30sm^{-1}, elektronun sürəti $\upsilon = 3{,}0 \cdot 10^7 \frac{m}{c}$, mühitin maqnit nüfuzluğu $\mu = 1$ -dir.

158. α –zərrəciyi əvvəlcə $\upsilon = 0{,}350 \cdot 10^7 \frac{m}{s}$ sürəti ilə sərbəst hərəkət edir. Müəyyən bir anda zərrəciyin hərəkət etdiyi fəzada sürət vektoruna perpendikulyar istiqamətdə induksiyası B=1,000 Tl olan bircins maqnit sahəsi yaradılır. a) α-zərrəciyin hərəkət trayektoriyasının radiusunu; b) onun maqnit momentinin qiymət və istiqamətini və c) zərrəciyin P_m maqnit momentinin M mexaniki momentinə nisbətini tapın. α –zərəciyin yükü $e' = 2e$, kütləsi $m = 6{,}65 \cdot 10^{-27}$ kq-dır.

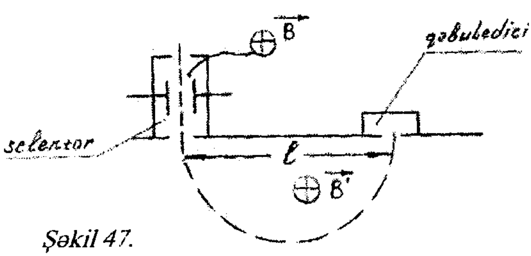
159. Elektronun bircins maqnit sahəsində hərəkət trayektoriyası spiral şəklindədir. Spiralın diametri d=80mm, addımı l=200mm, maqnit sahəsinin induksiyası $B=5{,}0.10^{-3}$ Tl-dır. Elektronun sürətini tapın.

160. Tomsonun elektkonun xüsusi yükünü təyin etdiyi cihaza oxşar qurğuda (şəkil 46) elektron dəstəsi şaquli istiqamətdə yönəlmiş elektrik sahəsi və ya ona perpendikulyar olan maqnit sahəsi vasitəsi ilə yuxarıya doğru meyl etdirilə bilər. Hər iki sahə l_1=50mm məsafəsində təsir göstərir. Meyl etdirici sistemdən fluoressensiya edən ekrana qədər olan məsafə $l_2 = 175$ mm-dir. Dəstədəki elektronlar A anodu ilə K katodu arasına tətbiq olunan 500V gərginliyin köməkliyi ilə sürətləndirilir. Elektrik sahəsinin müəyyən qiymətində dəstənin izi ekranda b=50 mm qədər meyl edir. Maqnit induksiyasının $B=3{,}70.\ 10^{-4}$ Tl qiymətində dəstənin izi ilkin vəziyyətinə qayıdır. Verilmiş məlumatlardan istifadə edib, elektronun xüsusi yükünü təyin edin.



Şəkil 46.

161. Beynbric kütlə-spektrometrində (şəkil 47) sürət selektorunun çıxış yarığı ilə ionları qeydə alan qəbuledicinin giriş yarığı arasındakı məsafə l=400 mm-dır. Şəkildə göstərilmiş maqnit sahələrinin induksiyaları $B=B^1=5{,}00.10^{-2}$ Tl-dır. Selektorda elektrik sahəsinin E intensivliyini tədricən dəyişdikdə onun



Şəkil 47.

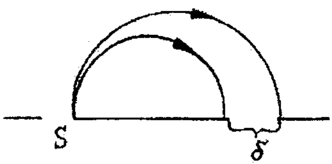
$E_1 = 120\frac{V}{sm}$ və $E_2 = 160\frac{V}{sm}$ qiymətlərində qəbuledicinin ion cərəyanının iki maksimumu müşahidə olunur. Uyğun ionların A_1 və A_2 kütlələrini (onları birqat ionlaşmış qəbul etməklə) tapın. İonlar hansı kimyəvi elementə mənsubdur?

162. Elektron induksiyası B olan bircins maqnit sahəsində hərəkət edir. t=0 anında elektronun $\vec{\upsilon}_0$ sürət vektoru sahənin istiqaməti ilə α bucağı əmələ gətirir. Elektronun trayektoriyasının parametrik şəkildə tənliyini yazın (parametr olaraq zamanı (t) seçin). Elektronun ilk anda olduğu nöqtəni koordinat başlanğıcı seçin.

Z oxunu $\vec{B}$ istiqamətində yönəldin, x və y oxlarını elə yerləşdirin ki, $\vec{\upsilon}_0$ vektoru **xz** müstəvisi üzərində olsun. Trayektoriyanın **yz** müstəvisi ilə kəsişmə nöqtələrini tapın.

163. Tsiklotronun duantlarının daxili diametri d=1000mm-dir. Maqnit sahəsinin induksiyası B=1,20 Tl, sürətləndirici gərginlik U=100 kV-dur. Bu tsiklotronda: 1) protonun maksimum hansı (W) enerjiyə qədər sürətləndirilə bilməsini, 2) bu enerjidə onun sürətini və 3) bu enerjiyə qədər sürətləndirilmə müddətini tapın.

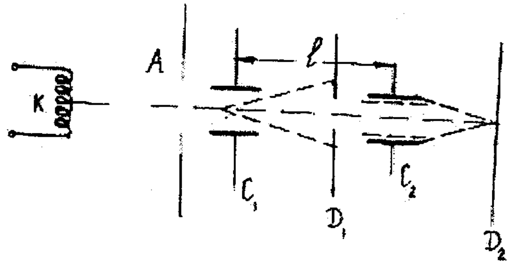
164. Betatronun maqnitinin maqnit induksiyasının orta qiyməti $\bar{B}$ zamandan təqribən xətti dəyişərək $\tau = 1{,}00 \cdot 10^{-3}\,s$ müddətində sıfırdan $B_1 = 0{,}200\,Tl$-ya qədər artır. Elektronun orbitinin radiusu r=300 mm-dir. a) Elektronların W=50 MeV enerjiyə qədər sürətlənməsi müddətində getdiyi yolu və b) bu enerjiyə qədər sürətlənmiş elektronların sürətini tapın.



Şəkil 48.

165 . Uran U^{235} və U^{238} izotoplarını bir-birindən ayıran qurğuda birqat ionlaşmış atomlar elektrik sahəsində E=5 keV enerjiyə qədər sürətləndirilir və S yarığından (şəkil 48) şəkil müstəvisinə perpendikulyar olan bircins maqnit sahəsinə ötürülür. Maqnit sahəsində müxtəlif kütləli ionlar fərqli orbitlərlə yarım dövr edib, qəbulediciyə daxil olur. Qəbuledici elə olmalıdır ki, U^{235} və U^{238} dəstələrinin arasındakı məsafə çıxışda $\delta = 5\,мм$ -dən az olmasın. Maqnit sahəsinin bu şərti ödəyən induksiyası B nəyə bərabər olmalıdır? Kütləsi M=1 kq olan təbii uranı ayırmaq üçün nə qədər vaxt lazımdır? Mənbəyin yaratdığı ion cərəyanı i=5 mA-dir. Protonun və neytronun kütlələrini bir-birinə bərabər $\left(m_p = m_n = 1{,}67 \cdot 10^{-24} q\right)$ qəbul edin.

166. Vakuum borusunda katoddan (K) emissiya olunan (buxarlanan) elektronlar U potensiallı anodun (A) elektrik sahəsində sürətlənərək onun mərkəzindəki deşikdən keçir, C_1 kondensatorunun



Şəkil 49.

sahəsinə düşür, bundan sonra D_1 diafraqmasından keçir, C_2 kondensatorunun sahəsinə düşür və onu keçərək D_2 ekranına düşür (şəkil 49).

C_1 və C_2 kondensatorlarına tezliyi ω olan eyni gərginlik tətbiq edilir. ω tezliyi elə seçilir ki, elektron dəstəsinin ekranda yaratdığı ləkə (iz) yayılmasın (nöqtə şəklində olsun). C_1 və C_2 kondensatorları arasındakı məsafə l-dir. Elektron üçün $\frac{e}{m}$ nisbətini təyin edin.

167. Yerin səthinin yaxınlığında atmosverdə hər saniyə ərzində $1 sm^3$ həcmdə torpağın radioaktivliyi və kosmik şüaların təsiri nəticəsində q=5 ion yaranır. Müstəvi hava kondensatorunun hər köynəyinin səthinin sahəsi $S = 100\,sm^2$, aralarındakı məsafə isə l=5 sm-dir. Təbii itgi nəticəsində kondensatorda yaranan doyma cərəyanını tapın.

168. Hər birinin sahəsi S və aralarındakı məsafə d olan iki paralel lövhə vakuum şəraitində müstəvi kondensator əmələ gətirir. Lövhələr arasında U potensiallar fərqi yaradılmışdır. Mənfi yüklənmiş lövhənin (katodun) üzərinə ultrabənövşəyi şüa saldıqda lövhələr arasında i cərəyanı axır. Bu cərəyan $U = U_0$ olduqda $i=i_d$ doyma halına gəlir. Elektronların yürüklüyünü tapın.

169. Sürəti υ olan elektron bircins sabit maqnit sahəsində hərəkət edir. Sahənin $\vec{H}$ intensivliyi elektronun sürət vektoruna perpendukulyardır. Ekvivalent cərəyanın maqnit momentini tapın.

170. Qaz boşalması bir-birindən d=10 sm məsafədə yerləşən müstəvi elektrodlar (S=10 sm^2) arasında baş verir. Doyma cərəyanı $i_d = 10^{-6} A$-dir. Boruda ionlar kənar təsirlə yaradılır (qeyri-müstəqil boşalma). Hər saniyədə vahid həcmdə yaranan hər iki işarəli elementar yüklərin sayı (q) nə qədərdir?

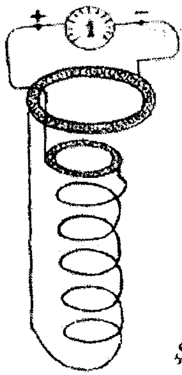
171. Elektron-şüa borusunun gərginliyə görə həssaslığı dedikdə idarəedici lövhələr arasındakı gərginliyi 1V dəyişdirdikdə elektron dəstəsinin ekranda yaratdığı ləkənin yerdəyişməsi nəzərdə tutulur. İdarəedici lövhələrin uzunluğu l, onlar arasındakı məsafə d, lövhələrdən ekrana qədər olan məsafə L, onlar arasındakı potensiallar fərqi U_2, sürətləndirici potensial U_0 olduqda elektron şüa borusunun həssaslığını hesablayın.

172. Çarpazlaşmış bircins elektrik $(\vec{E})$ və maqnit $(\vec{B})$ sahələrində düzbucaqlı koordinat oxlarını elə seçək ki, y oxu $\vec{E}$, Z oxu isə $\vec{B}$ vektoru istiqamətində yönəlsin. Kütləsi m və yükü e' olan zərrəciyi koordinat başlanğıcında yerləşdirək və sıfır başlanğıc sürəti ilə sərbəst buraxaq. Zərrəcik necə hərəkət edəcək, zərrəciyin sürəti zamandan asılı olaraq necə dəyişəcək?

173. Tolmen və Styuart təcrübəsinə oxşar eksperimentdə diametri d=500 mm olan sarğacın N =400 mis sarğısı vardır.

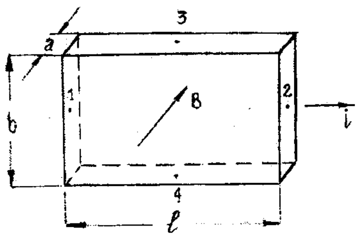
Sürüşən kontaktların köməkliyi ilə sarğac sıfırı şkalasının ortasında yerləşən ballistik qalvanometrə birləşdirilmişdir (şəkil 50).

Sarğacın, qalvanometrin və birləşdirici naqillərın birlikdə ümumi müqaviməti R=50 Om-dur. Sarğac $n = 100\frac{\text{dövr}}{\text{s}}$ tezliyi ilə fırlanma hərəkətinə gətirilir və sonra kəskin tormozlaşdırılır. Bu zaman qalvanometrdən onun əqrəbini sola meyl etdirən $q=1{,}10\cdot10^{-8}$Kl yük keçir. Misin yükdaşıyıcısının yükünün işarəsini və onun xüsusi yükünü təyin edin.



Şəkil 50.

174. Mis lövhənin uzunluğu l=60mm, eni b=200 mm, qalınlığı a=1,00 mm-dir. (şəkil 51). Lövhə boyunca i=10,6 A cəyəran buraxdıqda 1 və 2 nöqtələri arasında $U_{12} = 0{,}51$mV, 3 və 4 nöqtələri arasında sıfır potensiallar fərqi yaranır. Əgər cərəyanı söndürmədənonu lövhə müstəvisinə perpendikulyar istiqmətdə induksiyası B=0,100 Tl olan maqnit sahəsinə daxil etsək, 3 və 4 nöqtələri arasında $U_{34} = 0{,}55\cdot10^{-7}V$ potensiallar fərqi yaranır. Verilənlərdən istifadə edib misin sərbəst yükdaşıyıcılarının konsentrasiyasını və onların yürüklüyünü tapın.

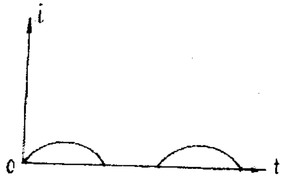


Şəkil 51.

175. Boşalma borusunda hidrogen və helium qazlarının qarışığı vardır. Hidrogen atomu ionunun sərbəst yolunun uzunluğu (λ) nə qədər olmalıdır ki, o, helium atomunu ionlaşdıra bilsin? Boruda sahənin intesivliyi $E = 10\frac{V}{sm}$-dir. Sahəni bircins qəbul edin. Heliumun birinci həyəcanlaşma potensialı U_1=21,4V-dur.

176. Dəyişən cərəyan dövrəsində cərəyan şiddətinin effektiv qiyməti $i_{ef} = 7A$-dir. Cərəyan şiddətinin orta qiyməti nəyə bərabərdir?

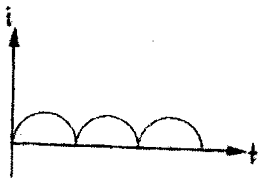
177. Dəyişən cərəyan onu yalnız periodun bir yarısında buraxan düzləndirici cihazdan keçdikdən sonra onun zamandan asılılığı şəkil 52-də göstərildiyi kimi olur. Bu cərəyan mis kuporosundan $\tau = 10$ dəqiqə müddətində keçdikdə elektrodda 200 mq mis ayrılır. Cərəyanın amplitudunu tapın.



Şəkil 52.

178. a) Tutumu q=20 A·saat olan akkumulyator cihaz vasitəsi ilə düzləndirilən və zamandan asılılığı şəkil 53-də göstərilən cərəyanla doldurulur. Dövrəyə qoşulmuş istilik ampermetrinin göstərişi i=1,5 A-dir. Akkumulyatoru nə qədər müddətə doldurmaq olar? Hesablamada qəbul edin ki, akkumulyatorun doldurulmasında cərəyanın bütün 100%-i istifadə olunur.

b) Cərəyanın zamandan asılılığı şəkil 52-də (bax: məsələ 177) göstərildiyi kimi olduqda akkumulyatorun doldurulmasına nə qədər vaxt sərf olunar? (İstilik ampermetri yenə həmin cərəyanı göstərir).



Şəkil 53.

179. Sabit cərəyan ampermetri və dəyişən cərəyan istilik ampermetri dövrədə ardıcıl birləşdirilmişdir. Dövrəyə sabit cərəyan buraxdıqda sabit cərəyan ampermetri i_1=6A göstərir. Dövrəyə sinusondal dəyişən cərəyan buraxdıqda dəyişən cərəyan ampermetri i_2=8A göstərir. Dövrədən hər iki cərəyanı eyni zamanda buraxdıqda ampermerlərin göstərişləri necə olar?

180. Qapalı kontur sahəsi S=60,0 sm^2 olan çərçivədən ibarətdir. Çərçivə maqnit sahəsində saniyədə sabit n=20,0 dövr tezliyi ilə fırlanır. Maqnit sahəsinin induksiya vektoru (B=2,00·10^{-2}

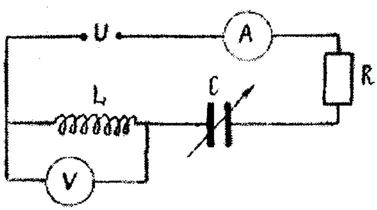
Tl) çərçivənin oxuna perpendikulyardır. Konturda induksiya e.h.q.-nin ε_{max} maksimum və ε_{ef} effektiv qiymətini tapın.

181. Dəyişən cərəyan dövrəsi ardıcıl birləşdirilmiş R=800 Om aktiv müqavimətindən, L=1,27 Hn induktivliyindən və C=1,59 mkF tutumundan ibarətdir. Dövrəyə effektiv qiyməti 127 V olan 50 Hs tezlikli gərginlik verilmişdir. a) Dövrədə cərəyan şiddətinin effektiv qiymətini; b) Cərəyan şiddəti ilə gərginlik arasındakı φ faza sürüşməsini; c) U_R, U_C və U_L gərginliklərinin effektif qiymətlərini və ç) Dövrdə ayrılan gücü tapın.

182. Diametri d=10 sm olan həlqə d_2=1mm diametrli mis məftildən düzəldilmişdir. Həlqə bircins maqnit sahəsində sabit n=10Hs tezliyi ilə fırladılır. Maqnit sahəsinin induksiyası $B=1\cdot10^{-3}$ Tl-dır. Bu cür mis həlqənin induktivliyi $L=3,5\cdot10^{-7}$ Hn-dir. a) həlqədən axan cərəyanın effektiv qiymətini tapın; b) Həlqənin müqaviməti sıfra yaxın (və ya həlqə ifrat keçirici) olsa idi, cərəyan şiddəti nəyə bərabər olardı?

183. İnduktivliyi $L=3,18\cdot10^{-2}$ Hn və aktiv müqaviməti R=10,0 Om olan sarğaca gərginliyinin effektiv qiyməti 200 V, tezliyi ν=50 Hs dəyişən elektrik sahəsi tətbiq edilmişdir. a) sarğacda 1 san müddətində ayrılan istiliyi tapın, b) dövrəyə sarğaca ardıcıl olaraq tutumu $C=3,18\cdot10^{-4}$F olan kondensator birləşdirilərsə , bu istilik necə dəyişər?

184. Şəkil 54-də göstərilmiş dövrənin sıxaclarına effektiv qiyməti 220V və tezliyi 50 Hs olan dəyişən gərginlik verilmişdir. Aktiv müqavimət R=22 Om , induktivlik L=0,318 Hn-dır. Dövrədəki tutum elə seçilir ki, L-ə paralel qoşulmuş voltmetrin göstərişi maksimum olsun. Bu şəraitdə voltmetrin və ampermetrin göstərişini təyin edin.



Şəkil 54.

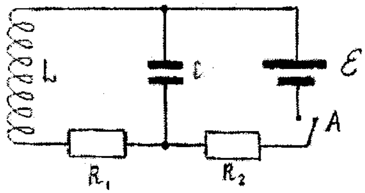
185. Radioqəbuledicinin rəqs konturu $L=1,00\cdot10^{-3}$ Hn induktivlikli sarğacdan və dəyişən tutumlu kondensatordan ibarətdir.

Kondensatorun tutumu 9,7 pF-dan 92 pF-a qədər dəyişə bilir. Bu radioqəbuledici dalğa uzunluğunun hansı intervalındja işləyə bilər?

186. Müəyyən rəqs konturunun parametrləri belədir. C bərabərdir 4,00 mkF, L=100mkHn, R=1 Om. Konturun keyfiyyətliyi (Q) nəyə bərabərdir? Konturun keyfiyyətliyini $Q=\frac{1}{R}\sqrt{\frac{L}{C}}$ düsturu ilə hesablasaq, nə qədər nisbi xəta etmiş olarıq?

187. Rəqs konturunun keyfiyyətliyi Q=10,0-dır. Sərbəst rəqslərin ω tezliyinin konturun ω_0 məxsusi rəqslərinin tezliyindən neçə faiz fərqləndiyini $(\frac{\omega_0-\omega}{\omega_0}$ nisbətini) tapın.

188. Şəkil 55-də sxemi göstərilən qurğuda R_1=1 Om, və R_2=50 Om müqavimətlərindən başqa bütün müqavimətlər nəzərə alınmayacaq dərəcədə kiçikdir. Sarğacın induktivliyi L=0,1Hn, kondensatorun tutumu C=1 mkF, elementin e.h.q. $\mathcal{E}$ = 1,4V-dur. A açarı qapanır və sarğacda cərəyan qərarlaşdıqdan sonra yenidən açılır.



Şəkil 55.

Açar açıldıqdan sonra ilk anda rəqsin enerjisi nə qədərdir?

MƏSƏLƏLƏRİN HƏLLİ VƏ CAVABLARI

1. Elektronun elektronla kulon qarşıqlı təsir qüvvəsi F_{kl} və qravitasiya qarşılıqlı təsir qüvvəsi F_{qr} belə ifadə olunur:

$$F_{kl} = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0} \cdot \frac{e_1 e_2}{r^2} \quad (e_1=e_2=e \text{ elektronun yüküdür}).$$

$$F_{qr} = \gamma \frac{m_1 m_2}{r^2} \quad (m_1=m_2= m \text{ elektronun kütləsidir}).$$

Parametrlərin qiymətlərini yerinə yazıb qüvvələri hesablayaq:

$$F_{kl} = \frac{(1{,}602)^2 \cdot 10^{-38}}{4 \cdot 3{,}14 \cdot 0{,}885 \cdot 10^{-11}} \cdot \frac{Kl^2 \cdot N \cdot m^2}{Kl^2 \cdot r^2} = 2{,}31 \cdot 10^{-28} \cdot \frac{N \cdot m^2}{r^2}$$

$$F_{qr} = 6{,}67 \cdot 10^{-11} \cdot \frac{(0{,}911)^2 \cdot 10^{-60}}{r^2} \cdot \frac{m^3}{kq \cdot s^2} \cdot kq^2 = 5{,}536 \cdot 10^{-71} \cdot \frac{N \cdot m^2}{r^2}$$

Eyni məsafələrdə (r-lərdə):

$$\frac{F_{kl}}{F_{qr}} = \frac{2{,}31 \cdot 10^{-28}}{5{,}536 \cdot 10^{-71}} = 4{,}17 \cdot 10^{42} \approx 4{,}2 \cdot 10^{42}$$

r =1m olduqda:

$$F_{kl} = 2{,}31 \cdot 10^{-28} N;$$

$$F_{qr} = 5{,}54 \cdot 10^{-71} N$$

2. İki protonun elektrostatik itələmə qüvvəsi iki elektronun itələmə qüvvəsinə bərabərdir.(***bax***: məsələ 1). Qravitasiya qüvvəsinin elektrostatik itələmə qüvvəsinə bərabər olması şərtindən proton üçün tələb olunan kütlənin qiymətini tapa bilərik.

$$F_{kl}=F_{qr} \text{ və ya } \quad 2{,}31 \cdot 10^{28} \cdot \frac{N}{r^2}\frac{m^2}{} = \gamma \frac{m_x^2}{r^2}$$

Buradan:

$$m_x^2 = \frac{2{,}31 \cdot 10^{-28} \cdot N \cdot m^2}{\gamma} = \frac{2{,}31 \cdot 10^{-28} N \cdot m^2}{6{,}67 \cdot 10^{-11} m/kq \cdot s^2} = 0{,}346 \cdot 10^{-17} kq^2$$

$$m_x^2 = \sqrt{0{,}346 \cdot 10^{-17}} kq = 18{,}6 \cdot 10^{-10} kq = 1{,}86 \cdot 10^{-9} kq \cong 1{,}11 \cdot 10^{18} m_p$$

$m_p = 1{,}672 \cdot 10^{-27}$ kq protonu əsl kütləsidir.

3. Məsələ (1)-dən göründüyü kimi, elektronların qravitasiya təsir qüvvəsi onların elektrostatik təsir qüvvəsindən müqayisə olunmayacaq dərəcədə kiçikdir. Ona görə qravitasiya cazibə qüvvəsini nəzərə almaya bilərik. Nyutonun ikinci qanununa görə təcili belə tapanq:

$a = \frac{F_{kl}}{m_e}$, F_{kl} - iki elektron arasındakı Kulon qüvvəsi (bax: məsələ 1),

m_e – elektronun kütləsidir. F_{kl} və m_e –nin qiymətlərini yerinə yazaq:

$$a = \frac{F_{kl}}{m_e} = \frac{2{,}31 \cdot 10^{-28} \frac{N \cdot m^2}{r^2}}{0{,}911 \cdot 10^{-30} kq} = 2{,}53 \cdot \frac{10^2}{r^2} \cdot \frac{N \cdot m^2}{kq}$$

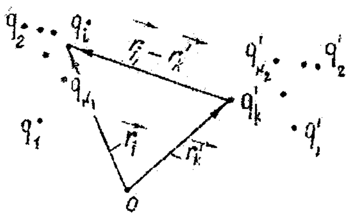
$r = 1m$ olduqda:

$$a = \frac{2{,}53 \cdot 10^2}{1m} \cdot \frac{Nm^2}{kq} = 253 \frac{m}{s^2} = 2{,}53 \cdot 10^2 \frac{m}{s^2}$$

4. q_i yükünün q^1_k yükü ilə qarşılıqlı təsir qüvvəsini yazaq (bax: şəkil 56):

$$\vec{f}_{ik} = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0} \cdot \frac{q_i q'_k}{(r_i - r'_k)^2} \cdot \frac{(\vec{r}_i - \vec{r}_k)}{|\vec{r}_i - \vec{r}'_k|} = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0} \cdot \frac{q_i q'_k (\vec{r}_i - \vec{r}'_k)}{|\vec{r}_i - \vec{r}'_k|^3} \qquad (1)$$

q_i yükünün q' sistemindəki bütün yüklərlə qarşılıqlı təsir qüvvəsini tapmaq üçün superpozisiya prinsipindən istifadə edib (1) ifadəsini k üzrə cəmləməliyik:



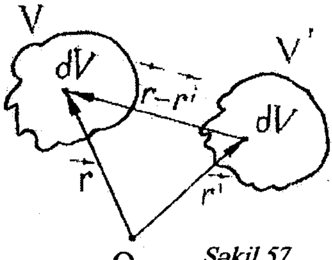
Şəkil 56.

$$\vec{f}_{iN_2} = \sum_{k=1}^{N} \frac{1}{4\pi\varepsilon_0} \cdot \frac{q_i q'_k (\vec{r}_i - \vec{r}'_k)}{|\vec{r}_i - \vec{r}'_k|^3} = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0} \cdot \sum_{k=1}^{N} \frac{q_i q'_k (\vec{r}_i - \vec{r}'_k)}{|\vec{r}_i - \vec{r}'_k|^3} \qquad (2)$$

(2) ifadəsini i-yə görə cəmləsək, ikinci (q') sistemdəki bütün yüklərin birinci q sistemdəki bütün yüklərlə qarşılıqlı təsir qüvvəsini taparıq:

$$F_{N_1N_2} = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0} \cdot \sum_{i=1}^{N_1} \sum_{k=1}^{N2} \frac{q_i q_k (\vec{r}_i - \vec{r}_k)}{|\vec{r}_i - \vec{r}'_k|^3} \qquad (3)$$

5. Məsələnin həlli prinsipcə məsələ 4 –də olduğu kimidir. Lakin burada cəmləmə əvəzinə inteqrallama aparılmalıdır. Xəyalımızda V və V' cisimlərini elə kiçicik dv və dv' hissələrə bölək ki, onların hər birini nöqtəvi yük kimi qəbul etmək mümkün olsun (şəkil 57). dv və dv' -ə uyğun yükləri belə tapaq:



Şəkil 57.

$$dq = \varsigma_1(\vec{r})dv \quad \text{və} \quad dq' = \varsigma_2(\vec{r})dv'$$

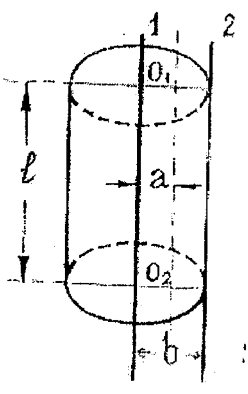
Bu elementar yüklərin qarşılıqlı təsir qüvvəsini Kulon qanununa görə tapaq:

$$d\vec{F} = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0} \cdot \frac{dq\, dq'(\vec{r} - \vec{r}')}{|\vec{r} - \vec{r}'|^3} = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0} \cdot \frac{\varsigma_1(\vec{r})\varsigma_2(\vec{r}')(\vec{r} - \vec{r}')}{|\vec{r} - \vec{r}'|^3} dvdv^1 \qquad (1)$$

dv həcmindəki dq yükünün V' həcmindəki bütün q_i yükü ilə qarşılıqlı təsir qüvvəsini tapmaq üçün (1) ifadəsinin hər iki tərəfini V' həcminə görə inteqrallamalıyıq. Alınan ifadəni bir də V həcmi üzrə inteqrallasaq, q' yükünün q yükü ilə qarşılıqlı təsir qüvvəsini taparıq. Nəticədə alarıq:

$$\vec{F} = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0} \cdot \int_V \int_{V'} \frac{\varsigma_1(\vec{r})\varsigma_2(\vec{r}')(\vec{r} - \vec{r}')dvdv'^1}{|\vec{r} - \vec{r}'|^3} \qquad (2)$$

6. Əvvəlcə saplardan hər birinin öz ətrafında yaratdığı elektrik sahəsinin x məsafəsindən asılılığını tapaq. Bunun üçün onlardan birinin, məs., birinci sapın, ətrafında hündürlüyü l və radiusu x olan (şəkil 58-də x = b götürmüşük) silindrik səth cızaq.



Şəkil 58.

Ostoqradski-Qaus teoremindən istifadə edib 1 sapının x məsafəsində yaratdığı sahənin induksiyasını tapaq. Əvvəlcə silindrin səthindən keçən induksiya selini tapaq. Məsələnin simmetriyasından aydındır ki, silindrin oturacaqlarından keçən sel sıfra bərabərdir. Yan səthdən keçən sel belə ifadə olunar:

$$\Phi = 2\pi\ell x \cdot D$$

Qaus teoreminə görə bu sel səthin daxilində yerləşən yüklərin cəminə (q=l·λ) bərabərdir.

$$2\pi\ell x \cdot D = \ell \cdot \lambda$$

Buradan:
$$D = \frac{\lambda}{2\pi x} \qquad (1)$$

Sahənin intensivliyi:

$$E = \frac{D}{\varepsilon_0} = \frac{\lambda}{2\pi\varepsilon_0 x} \qquad (2)$$

olar.

a) Sapların $l = 1$ m uzunluğunun bir-birinə göstərdiyi itələmə qüvvəsini tapaq:

$$F = E \cdot q = E\ell\lambda = \frac{\lambda}{2\pi\varepsilon_0 x} \cdot \ell\lambda = \frac{\lambda^2 \cdot \ell}{2\pi\varepsilon_0 x} \qquad (3)$$

$x = b$ olduqda:

$$F = \frac{\lambda^2 \cdot \ell}{2\pi\varepsilon_0 b} = \frac{\left(3 \cdot 10^{-6}\right) \cdot 1}{2 \cdot 3{,}14 \cdot 8{,}85 \cdot 10^{-12} \cdot 2 \cdot 10^{-2}} N = 8{,}1N$$

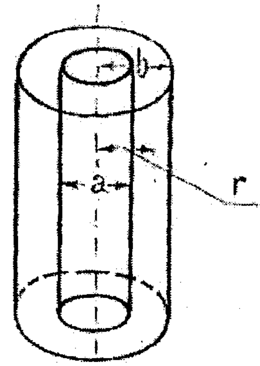
b) İkinci sap birinci sapa dx qədər yaxınlaşdıqda görülən iş:

$$dA = -Eqdx = -\frac{\lambda}{2\pi\varepsilon_0 x} \cdot \lambda\ell dx = -\frac{\ell\lambda^2 dx}{2\pi\varepsilon_0 x} \qquad (4)$$

İkinci sap x=a məsafəsinə qədər yaxınlaşdıqda görülən
İşi tapmaq üçün (4) ifadəsini b-dən a-ya qədər inteqrallamalıyıq:

$$A = -\int^{a} \frac{\ell\lambda^2 dx}{2\pi\varepsilon_0 x} = \frac{\ell\lambda^{\ 2}}{2\pi\varepsilon_0} \frac{dx}{x} \int_a^b \frac{\ell\lambda^2}{2\pi\varepsilon_0} \ln x \Big|_a^b = \frac{\ell\lambda^2}{2\pi\varepsilon_0} \ln\frac{b}{a} \qquad (5)$$

Parametrlərin qiymətlərini yerinə yazıb hesablasaq, $A = 0{,}112C$ alanq.



Şəkil 59.

7. Verilmiş şərtlər daxilində diodun elektrodları siltindrik kondensator yaradır (şəkil 59). Silindrik kondensatorun elektrodları arasındakı (U) potensiallar fərqinin düsturundan onun vahid uzunluğuna düşən yükünün (q_l) qiymətini tapa bilərik:

$$U = \frac{q_1}{2\pi\varepsilon_0} \cdot \ln\frac{b}{a}; \quad q_1 = \frac{2\pi\varepsilon_0 U}{\ln b/a}$$

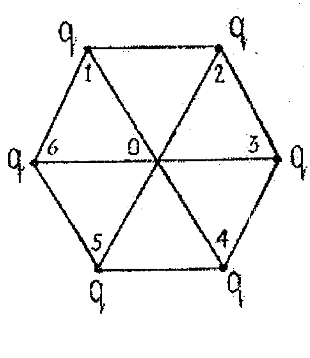
Digər tərəfdən, daxili köynəyin oxundan x məsafəsində sahənin intensivliyi belə ifadə olunur:

$$E = \frac{1}{2\pi\varepsilon_0} \cdot \frac{q_1}{x}$$

Elektrona x məsafəsində təsir edən qüvvəni tapaq:

$$F = eE = e \cdot \frac{1}{2\pi\varepsilon_0} \cdot \frac{q_1}{x} = e \cdot \frac{1}{2\pi\varepsilon_0} \cdot \frac{2\pi\varepsilon_0 U}{\left(\ln\frac{b}{a}\right)x} = \frac{eU}{\left(\ln\frac{d}{a}\right)r} =$$

$$= \frac{1{,}602 \cdot 10^{-19} \cdot 100}{\left(\ln\frac{2{,}72 \cdot 10^{-3}}{0{,}10 \cdot 10^{-3}}\right)1{,}00 \cdot 10^{-3}} N = 4{,}9 \cdot 10^{-15} N$$



Şəkil 60.

8. a) düzgün altıbucaqlının mərkəzi onun təpə nöqtəsindən eyni a məsafəsindədir (şəkil 60). Hər bir yükün özündən a məsafəsində yerləşən nöqtədəki potensialını belə taparıq:

$$U_1 = A_1 = \int_a^\infty E dx = \int_a^\infty \frac{1}{4\pi\varepsilon_0} \cdot \frac{q}{x^2} dx =$$

$$= \frac{q}{4\pi\varepsilon_0} \int_a^\infty \frac{dx}{x^2} = -\frac{q}{4\pi\varepsilon_0} \cdot \frac{1}{x} \Big|_a^\infty =$$

$$= -\frac{q}{4\pi\varepsilon_0}\left(\frac{1}{\infty}-\frac{1}{a}\right)=\frac{q}{4\pi\varepsilon_0 a} \qquad (1)$$

O nöqtəsində yüklərin hər birinin yaratdığı potensial U_1 qədərdir. Onların birlikdə yaratdığı potensial:

$$U = 6U_1 = \frac{6q}{4\pi\varepsilon_0 a} = \frac{3q}{2\pi\varepsilon_0 a} \qquad (2)$$

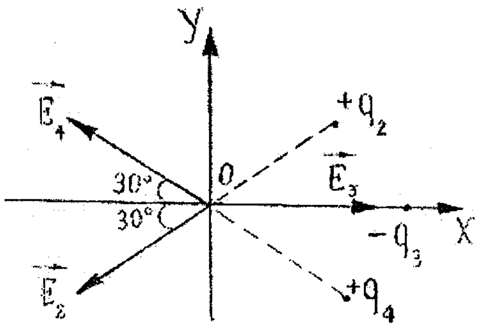
olar.

O nöqtəsində yüklərin yaratdığı intensivlik E = 0 - dır, çünki 1-4, 2-5, 3-6 cütlərinin hər birində yüklərin yaratdığı intensivlik qiymətcə bərabər, istiqamətcə bir-birinin əksinədir.

b) Yüklərin işarəsi bir-birini növbələdikdə O nöqtəsində bir yükün yaratdığı potensial yenə də (1) düsturu ilə təyin olunacaq. Lakin burada yüklərin işarəsini nəzərə almaq lazımdır. Nəticədə alarıq:

$$U = A = 3\cdot\left(\frac{q}{4\pi\varepsilon_0 a}\right)+3\cdot\left(\frac{-q}{4\pi\varepsilon_0 a}\right)=0$$

Bu halda O nöqtəsində intensivlik yenə sıfra bərabərdir. Bunu göstərmək üçün şəkil 60-da 1,3,5 yüklərinin mənfi, 2,4,6 yüklərinin müsbət olduğunu qəbul edək. Düzbucaqlı müstəvi koordinat sisteminin başlanğıcını O nöqtəsində yerləşdirək (şəkil 61). x oxunu 03 istiqamətində, y oxunu, şəkildə göstərildiyi kimi, yuxarı doğru yönəldək. 2,3 və 4 nöqtələrindəki yüklərin O mərkəzində yaratdığı intensivlik vektorlarının istiqaməti şəkildə göstərilmişdir. Onların modulları eynidir: $E_2 = E_3 = E_4$. Onların x və y komponentlərinin cəmi belədir:

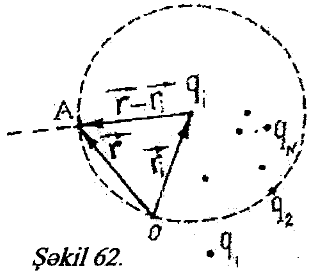


Şəkil 61.

$$E_3 - \left(E_4 \cos 60^0 + E_3 \cos 60^0\right) = E_3 - \left(\frac{1}{2}E_4 + \frac{1}{2}E_3\right) = 0$$

$$0 + E_4 \sin 30^0 - E_2 \sin 30^0 = 0$$

Eyni qayda ilə 1, 5 və 6 nöqtələrində yerləşən yüklərin də O nöqtəsində yaratdığı intensivliyin sıfra bərabər olduğunu göstərə bilərik.



Şəkil 62.

9. Koordinat başlanğıcını O, $\vec{r}$ radius vektoru ilə təyin olunan cari nöqtəni A ilə işarə edək (şəkil 62). A nöqtəsində q_i nöqtəvi yükünün yaratdığı intensivlik vektorunun ifadəsini yazaq:

$$\vec{E}_i = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\cdot\frac{q_i}{(\vec{r}-\vec{r}_i)^2}\cdot\frac{(\vec{r}-\vec{r}_i)}{|\vec{r}-\vec{r}_i|} = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\cdot\frac{q_i(\vec{r}-\vec{r}_i)}{|\vec{r}-\vec{r}_i|^3} \qquad (1)$$

$\dfrac{\vec{r}-\vec{r}_i}{|\vec{r}-\vec{r}_i|}$ - i-ci yüklə A nöqtəsini birləşdirən düz xətt üzrə yönəlmiş vahid vektordur.

A nöqtəsində bütün yüklərin yaratdığı intensivliyi tapmaq üçün (1) ifadəsini i üzrə vektor kimi cəmləmək lazımdır:

$$\vec{E} = \sum_i \vec{E}_i = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\sum_i \frac{q_i(\vec{r}-\vec{r}_i)}{|\vec{r}-\vec{r}_i|^3} \qquad (2)$$

Yüklərin A nöqtəsində yaratdığı potensialı tapmaq üçün $\vec{E}$-nin ifadəsindən istifadə edək. Potensialın məlum ifadəsindən:

$$U = \int_{(l)}(\vec{E}d\vec{\ell}) = \int_{(\ell)} E\cos\alpha dl \qquad (3)$$

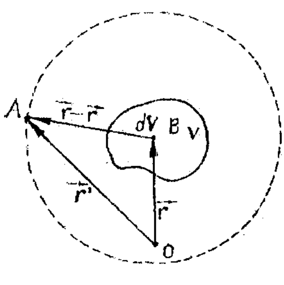
İnteqrallama ixtiyari l xətti üzrə aparılır. Şəkildə q_i yükünün ətrafında radiusu $|(\vec{r}-\vec{r}_i)|$ olan sfera göstərilmişdir. Həmin sferanın bütün nöqtələrində q_i yükünün yaratdığı potensial eynidir. Yükün elektrik sahəsində görülən iş yolun formasından asılı olmadığı üçün l xəttini $(\vec{r}-\vec{r}_i)$ vektoru istiqamətində seçə bilərik. Şəkildən göründüyü kimi, bu xətt sferanın radiuslarından biridir, yəni 0, q_i nöqtəvi yükünün qüvvə xətlərindən biridir. Onda bu istiqamət üçün α = 0 və (2) ifadəsini də skalyar şəkildə yaza bilərik:

$$E = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\sum_i \frac{q_i}{(\vec{r} - \vec{r}_i)^2}$$

E-nin bu qiymətini (3)-də yerinə yazıb $\mathrm{dl} = \mathrm{d}(\mathrm{r} - \mathrm{r_i}) = \mathrm{dr}$ üzrə inteqrallasaq, U- nun düsturunu alarıq:

$$U = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\sum_i \frac{q_i}{|\vec{r} - \vec{r}_i|} \tag{4}$$

10. V həcmini xəyalımızda elə kiçik dV həcmlərinə bölək ki, onları nöqtəvi yük kimi qəbul etmək mümkün olsun (şəkil 63). B nöqtəsində yerləşən dV həcminin $\vec{r}\,'$ radius vektoru ilə xarakterizə olunan A nöqtəsində yaratdığı intensivliyi tapaq:



Şəkil 63.

$$d\vec{E} = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\cdot\frac{\rho dV(\vec{r}\,' - \vec{r})}{|\vec{r}\,' - \vec{r}|^3} \tag{1}$$

V həcmindəki bütün yükün A nöqtəsində yaratdığı intensivliyi tapmaq üçün (1) ifadəsini V həcmi üzrə (dr-ə görə) inteqrallamalıyıq:

$$\vec{E} = \int_V dE = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\int_V \frac{\rho(r)(\vec{r}\,' - \vec{r})dV(r)}{|\vec{r}\,' - \vec{r}|^3} \tag{2}$$

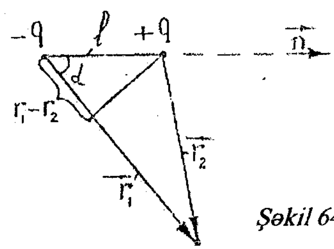
U-nu belə tapariq (bax: məsələ 3.):

$$\begin{aligned} U &= \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\int_{r'}^{\infty} dr' \int_V \frac{\rho(r)dV(r)}{|\vec{r}\,' - \vec{r}|^2} = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\int_V \rho(V)dV(r)\int_{r'}^{\infty}\frac{dr'}{|\vec{r}\,' - \vec{r}|^2} = \\ &= \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\int_V \rho(V)dV(r)\cdot\left(-\frac{1}{|\vec{r}\,' - \vec{r}|}\right)\Bigg|_{r'}^{\infty} = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\int_V \frac{\rho(V)dV(r)}{|\vec{r}\,' - \vec{r}|} \end{aligned} \tag{3}$$

11. a) Dipol sahəsinin potensialının məsafədən asılılığının düsturunu ən sadə yolla superpozisiya prinsipindən istifadə etməklə tapmaq olar. Bunun üçün dipolun hər iki yükünün potensialını cəmləyək:

$$U = U_1 + U_2 = \frac{q}{4\pi\varepsilon_0}\left(\frac{1}{r_2} - \frac{1}{r_1}\right) = \frac{q}{4\pi\varepsilon_0} \cdot \frac{r_1 - r_2}{r_1 r_2} \qquad (1)$$

r_1 - mənfi yükdən, r_2 - müsbət yükdən müşahidə nöqtəsinə çəkilən radius-vektordur (bax: şəkil 64). Şəkildən: $r_1 - r_2 = l \cos \alpha$, l - dipolun yükləri arasındakı məsafə, $\alpha - \vec{r}_1$-lə dipolun oxu $(\vec{n})$ arasındakı bucaqdır. $l \ll r_1$, r_2 olduqda: $r_1 = r_2 = r$ yaza bilərik. Onda (1)- dən alarıq:



Şəkil 64.

$$U = \frac{q}{4\pi\varepsilon_0} \cdot \frac{l \cos\alpha}{r^2} = \frac{p}{4\pi\varepsilon_0} \cdot \frac{\cos\alpha}{r^2} \qquad (2)$$

$p = ql$ – dipolun elektrik momentidir.

b) Dipolun intensivlik vektorunun məsafədən asılılığını tapaq. Yenə də superpozisiya prinsipindən istifadə edəcəyik.

$$\vec{E} = \vec{E}_1 + \vec{E}_2 = -\frac{1}{4\pi\varepsilon_0} \cdot \frac{q}{r_1^2} \cdot \frac{\vec{r}_1}{r_1} + \frac{1}{4\pi\varepsilon_0} \cdot \frac{q}{r_2^2} \cdot \frac{\vec{r}_2}{r_2} \qquad (3)$$

Dipolun mərkəzini və uclarını A müşahidə nöqətsi ilə birləşdirək (şəkil 65). Şəkildən:

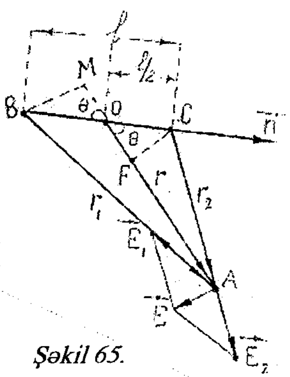
$$\vec{r}_1 = \vec{r} + \frac{1}{2}\vec{n}, \quad \vec{r}_2 = \vec{r} - \frac{1}{2}\vec{n} \qquad (4)$$

$\vec{n}$ - dipolun oxu istiqamətdə götürülmüş vahid vektordur.

$$r = OF + FA = \frac{l}{2}\cos\theta + FA$$

$r \gg l$ olduqda $FA \approx r_2$

$$\begin{cases} r_1 = r + OM \cong r + \dfrac{l}{2} \cdot \cos\theta \\ r_2 = r - OF \cong r - \dfrac{l}{2} \cdot \cos\theta \end{cases} \qquad (5)$$



Şəkil 65.

(3)-də (4) və (5)-dən istifadə edək:

$$\vec{E} = \frac{q}{4\pi\varepsilon_0}\left[\frac{\vec{r} - \frac{l}{2}\vec{n}}{\left(r - \frac{l}{2}\cos\theta\right)^3} - \frac{r + \frac{l}{2}\vec{n}}{\left(r + \frac{l}{2}\cos\theta\right)^3}\right] \qquad (6)$$

$\ell \ll r$ olduğu üçün ℓ^3 və ℓ^2 olan hədləri ataraq, məxrəcdəki ifadələri sadələşdirək:

$$\left(r - \frac{l}{2}\cos\theta\right)^3 = r^3 - \frac{3}{2}r^2 l\cos\theta + \frac{3}{2}rl^2\cos^2\theta - \frac{l^3}{8}\cos^3\theta \cong r^3\left(1 - \frac{3l}{2r}\cos\theta\right)$$

$$\left(r + \frac{l}{2}\cos\theta\right)^3 \cong r^3\left(1 + \frac{3l}{2r}\cos\theta\right)$$

Bu ifadələri (6)-da yerinə yazaq:

$$\vec{E} = \frac{q}{4\pi\varepsilon_0 r^3}\left[\frac{\vec{r} - \frac{l}{2}\vec{n}}{1 - \frac{3l}{2r}\cos\theta} - \frac{\vec{r} + \frac{l}{2}\vec{n}}{1 + \frac{3l}{2r}\cos\theta}\right] = \frac{q}{4\pi\varepsilon_0 r^3}\cdot$$

$$\cdot\frac{\vec{r} + \frac{3l}{2}\cdot\frac{\vec{r}}{r}\cos\theta - \frac{l}{2}\vec{n} - \frac{3l^2}{4r}\cos\theta\cdot\vec{n} - \vec{r} + \frac{3l^2}{4r}\cos\theta\cdot\vec{n} + \frac{3l}{2}\cdot\frac{\vec{r}}{r}\cos\theta + \frac{3l^2}{4r}\cos\theta\cdot\vec{n} - \frac{l}{2}\vec{n}}{1 - \frac{9l^2}{4r^2}\cos^2\theta} =$$

$$= \frac{q}{4\pi\varepsilon_0 r^3}\cdot\frac{3l\cdot\cos\theta\cdot\frac{\vec{r}}{r} - l\vec{n}}{1 - \frac{9l^2}{4r^2}\cos^2\theta} = \frac{lq}{4\pi\varepsilon_0}\cdot\frac{3\cos\theta\cdot\frac{\vec{r}}{r} - \vec{n}}{r^3\left(1 - \frac{9l^2}{4r^2}\cos^2\theta\right)} \cong \frac{p}{4\pi\varepsilon_0 r^3}\left(3\frac{\vec{r}}{r}\cos\theta - \vec{n}\right);$$

$$\vec{E} = \frac{p}{4\pi\varepsilon_0 r^3}\left(3\frac{\vec{r}}{r}\cos\theta - \vec{n}\right) \qquad (7)$$

c) $\vec{E}$-nin modulunu tapmaq üçün (7)-nin hər iki tərəfini kvadrata yüksəldək:

$$\vec{E}^2 = \left[\frac{p}{4\pi\varepsilon_0 r^3}\left(3\frac{\vec{r}}{r}\cos\theta - \vec{n}\right)\right]^2 = \frac{p^2}{\left(4\pi\varepsilon_0 r^3\right)^2}\cdot$$

$$\cdot\left(\frac{9r^2}{r^2}\cos^2\theta - 6\frac{(\vec{r}\vec{n})\cdot\cos\theta}{r} + n^2\right) = \frac{p^2}{\left(4\pi\varepsilon_0 r^3\right)^2}\left(3\cdot\frac{r\cos^2\theta}{r} + 1\right) =$$

$$= \left(\frac{p}{\left(4\pi\varepsilon_0 r^3\right)}\right)^2\left(3\cos^2\theta + 1\right)$$

Hər iki tərəfdən kvadrat kök alaq:

$$E = \frac{p}{4\pi\varepsilon_0 r^3}\sqrt{3\cos^2\theta + 1} \qquad (8)$$

12. a)

$$\vec{E} = -gradU = -\nabla U = -\left(\frac{\partial U}{\partial x}\cdot\vec{i} + \frac{\partial U}{\partial y}\vec{j} + \frac{\partial U}{\partial z}\vec{k}\right) =$$

$$= -2\left(ax\cdot\vec{i} + ay\cdot\vec{j} + bz\cdot\vec{k}\right) \qquad (1)$$

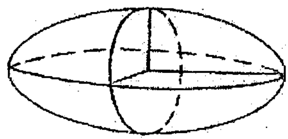
$$E = \left|\vec{E}\right| = \sqrt{(2ax)^2 + (2ay)^2 + (2bz)^2} = 2\sqrt{a^2x^2 + a^2y^2 + b^2z^2}$$

$b)\ U = const = B$

$$U = ax^2 + ay^2 + bz^2 = B$$

Buradan:

$$\frac{x^2}{\left(\sqrt{B/a}\right)^2} + \frac{y^2}{\left(\sqrt{B/a}\right)^2} + \frac{z^2}{\left(\sqrt{B/b}\right)^2} = 1 \qquad (3)$$



Şəkil 66.

Göründüyü kimi, ekvipotensial səthlər yarımoxları $\sqrt{B/a}$, $\sqrt{B/a}$ və $\sqrt{B/b}$ olan fırlanma ellipsiodidir (şəkil 66).

c) $E = const = 2c$

$$2\sqrt{a^2x^2 + a^2y^2 + b^2z^2} = 2c \text{ və ya}$$

$$a^2x^2 + a^2y^2 + b^2z^2 = c^2$$

$$\frac{x^2}{(c/a)^2} + \frac{y^2}{(c/a)^2} + \frac{x^2}{(c/b)^2} = 1 \qquad (4)$$

Bu səthlər də fırlanma ellipsiodidir. Bu halda yarımoxlar *c/a* , *c/a* *və c/b*-dir.

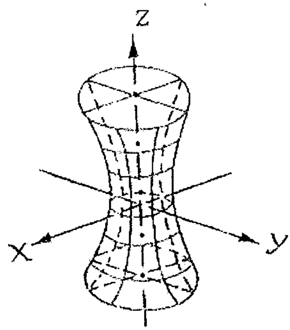
13.

a) $\vec{E}=-\nabla U=-2\left(ax\cdot\vec{i}+ay\cdot\vec{j}-bz\cdot\vec{k}\right)$ (1)

$$E=2\sqrt{a^2x^2+a^2y^2+b^2z^2} \qquad (2)$$

b) $U=const;\ ax^2+ay^2-bz^2=U$ (3)

$U>0$ olduqda:

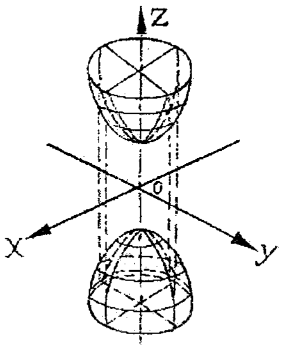


Şəkil 67.

$$\frac{x^2}{\left(\sqrt{U/a}\right)^2}+\frac{y^2}{\left(\sqrt{U/a}\right)^2}-\frac{z^2}{\left(\sqrt{U/a}\right)^2}=1 \qquad (4)$$

Bu, birboşluqlu fırlanma hiperboloidinin tənliyidir (şəkil 67).

$U<0$ olduqda;



Şəkil 68.

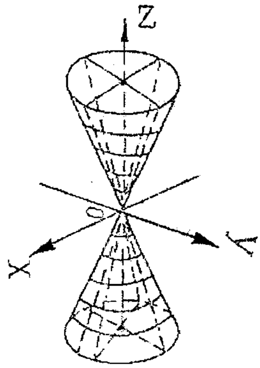
$$\frac{x^2}{\left(\sqrt{|U|/a}\right)^2}+\frac{y^2}{\left(\sqrt{|U|/a}\right)^2}-\frac{z^2}{\left(\sqrt{|U|/a}\right)^2}=-1 \qquad (5)$$

(5) ifadəsi ikiboşluqlu fırlanma hiperboloidinin tənliyidir.(şəkil 68).

Əgər $U=0$ olarsa, (3) - dən:

$$\frac{x^2}{(1/a)^2}+\frac{y^2}{(1/a)^2}-\frac{z^2}{(1/b)^2}=0 \qquad (6)$$

Bu isə ikitərtibli düz konus səthinin tənltiyidir (şəkil 69).



Şəkil. 69.

c) $E=const$ olduqda (2) ifadəsinin hər iki tərəfini kvadrata yüksəldib bəzi dəyişiklik aparsaq fırlanma ellipsioidinin tənliyini alarıq:

$$\left(\frac{E}{2}\right)^2=a^2x^2+b^2y^2+c^2z^2 \quad \text{və ya}$$

$$\frac{x^2}{(E/2a)^2}+\frac{y^2}{(E/2a)^2}+\frac{z^2}{(E/2b)^2}=1$$

14. Koordinat başlanğıcını mərkəz qəbul edib, radiusu r olan bir kürə səthi cızaq. Bu səthi və onun daxilində olan yükü bilməklə Qaus teoreminin köməkliyi ilə koordinat başlanğıcından r məsafəsində yerləşən nöqtələrdə elektrik induksiyasını tapırıq.

$$q = \int_0^r \rho dV = \int_0^r \frac{\rho_0}{r} 4\pi r^2 dr = 2\pi\rho_0 r^2$$

$$\phi = SD = 4\pi r^2 \cdot D$$

$$4\pi r^2 \cdot D = 2\pi\rho_0 r^2$$

Buradan: $$D = \frac{1}{2}\rho_0$$

Vakuum üçün : $E = \dfrac{D}{\varepsilon_0} = \dfrac{\rho_0}{2\varepsilon_0} = const$.

Deməli, E r- dən asılı deyil. Bu, fəzada yükün paylanma qanunu ilə əlaqədardır. Mərkəzi koordinat başlanğıcında olan r_1 və r_2 radiuslu kürə götürək və bu kürələrin səthindəki intensivliklərin nisbətinə baxaq. Məlumdur ki, kürə şəkilli yüklü cismin öz səthində və ondan uzaq məsafələrdə yaratdığı sahə nöqtəvi yükün sahəsi kimidir. Bunu nəzərə alsaq:

$$\frac{E_1}{E_2} = \frac{\dfrac{1}{4\pi\varepsilon_0}\cdot\dfrac{q_1}{r_1^2}}{\dfrac{1}{4\pi\varepsilon_0}\cdot\dfrac{q_2}{r_2^2}} = \frac{q_1}{q_2}\cdot\frac{r_2^2}{r_1^2}$$

olar. $E = const$ olduğu üçün $\dfrac{E_1}{E_2} = 1$ olmalıdır.

Onda :

$$\frac{q_1}{q_2}\cdot\frac{r_2^2}{r_1^2} = 1 \quad \text{və ya} \quad \frac{q_1}{q_2} = \frac{r_1^2}{r_2^2} \quad \text{olar.}$$

Doğurdan da:

$$\frac{q_1}{q_2}=\frac{\int_0^{r_1}\rho 4\pi r^2 dr}{\int_0^{r_2}4\pi r^2 dr}=\frac{\int_0^{r_1} rdr}{\int_0^{r_2} rdr}=\frac{r_1^2}{r_2^2}\text{-dir.}$$

Məsələnin simmetriyasından aydındır ki, intiensivlik vektoru hər bir nöqtədə radius vektor boyunca yönəlmişdir. Onun istiqaməti isə ρ_0-ın işarəsindən asılıdır. Bunu nəzərə alsaq, intensivlik vektorunu belə ifadə edə bilərik:

$$\vec{E}=\frac{\rho_0}{2\varepsilon_0}\cdot\frac{\vec{r}}{r}$$

15. Məsələnin həlli məsələ 14-də olduğu kimidir. Qaus teoremindən istifadə edək. Mərkəzi $r=0$ və radiusu r olan kürə səthi cızaq. Bu səthdən keçən induksiya seli:

$$\phi=DS=D\cdot 4\pi r^2$$

Kürənin daxilində olan yükün miqdarı belə təyin olunur:

$$q=\int_0^{\kappa}\rho dV=\int_0^{r}\rho_0 e^{-\alpha r^3}\cdot 4\pi r^2 dr=-\frac{4\pi\rho_0}{3\alpha}\cdot\left(e^{-\alpha r^3}-1\right)$$

Qaus teoreminə görə:

$$D\cdot 4\pi r^2=-\frac{4\pi\rho_0}{3\alpha}\left(e^{-\alpha r^3}-1\right)$$

$$D=-\frac{\rho_0}{3r^2\alpha}\left(e^{-\alpha r^3}-1\right) \qquad (1)$$

Vakuum üçün:

$$E=\frac{D}{\varepsilon_0}=-\frac{\rho_0}{3\varepsilon_0\alpha}\cdot\frac{e^{-\alpha r^3}-1}{r^2} \qquad (2)$$

Məsələnin simmetriyasını nəzərə alsaq, intensivlik vektorunu belə ifadə edə bilərik:

$$\vec{E}=-\frac{\rho_0}{3\varepsilon_0\alpha}\cdot\frac{\left(e^{-\alpha r^3}-1\right)}{r^2}\cdot\frac{\vec{r}}{r} \qquad (3)$$

r-in böyük qiymətlərində (2)-dən:

$$E = \frac{\rho_0}{3\alpha\varepsilon_0 r^2} \qquad (4)$$

r – in kiçik qiymətlərində $e^{-\alpha r^3}$ -nu sıraya ayırıb yüksək tərtibdən kiçik hədləri ataq:

$$e^{-\alpha r^3} = 1 + 0 + 0 - \frac{6\alpha}{3!} \cdot r^3 + \ldots \cong 1 - \alpha r^3$$

Bu ifadəni (2)-də yerinə yazsaq:

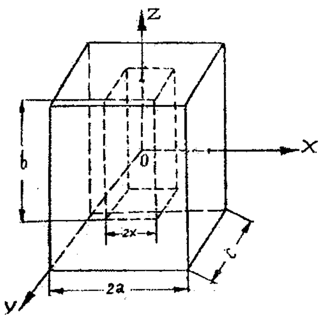
$$E = \frac{\rho_0}{3\varepsilon_0 \alpha} r \qquad (5)$$

alarıq.

16. Cüt-cüt üzləri koordinat oxlarına perpendikulyar və 0 nöqtəsinə görə simmetrik olan düz paralelepiped quraq.

Əvvəlcə köməkçi paralelepiped lövhənin daxilində olsun(şəkil 70,a). Onun tilləri 2x, b və c-dir. Onun həcmi $V=2xbc$, onda yerləşən yük:

$$q = V\rho = 2\rho bcx \qquad (1)$$



Şəkil 70,a.

olar. Burada $|x| \le a$ -dir. Paralelepipedin səthindən keçən induksiya selini hesablayaq. Məsələnin simmetriyasından aydındır ki, sel yalnız x istiqamətdə sıfırdan fərqlidir. Özü də bu sel paralelepipedin x üzlərinə perpendikulyardır. Onda paralelepipeddən keçən ümumi sel:

$$\phi = 2S \cdot D_x = 2b \cdot c \cdot D_x$$

olar. Qaus teoreminə görə: $\phi = q$ və ya $2bcD_x = 2\rho bcx$

Buradan:

$$D_x = \rho\, x, \qquad E = \frac{D_x}{\varepsilon_0 \varepsilon} = \frac{\rho\, x}{\varepsilon_0 \varepsilon} \qquad (2)$$

U-nu tapaq:

$$U = -\int_0^a E_x dx = -\frac{\rho}{\varepsilon_0\varepsilon}\int_0^a x dx = -\frac{\rho x^2}{2\varepsilon_0\varepsilon} \qquad (3)$$

Bu halda U x-in işarsindən asılı deyil.

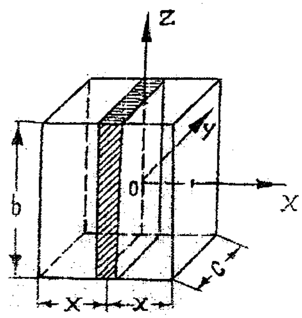
Lövhənin kənarında sahənin parametrlərini təyin etmək üçün köməkçi paralelepipedin x istiqamətdə ölçüsünü a-dan böyük götürək, yəni $|x| >$ a, b və c ölçüləri isə ixtiyari ola bilər (bax: şəkil 70,b). Yenə də yükü və induksiya selini tapaq.

$q = V\rho = 2abc\cdot\rho \quad | \quad \phi = q$

$\phi = 2S\cdot D_x = 2bcD_x \quad | \quad 2bcD_x = 2abc\cdot\rho$

$D_x = a\rho \qquad (4)$

$$E_x = \frac{D_x}{\varepsilon_0} = \frac{a\rho}{\varepsilon_0} \qquad (5)$$



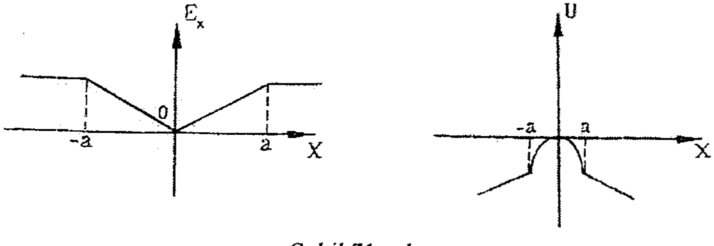
Şəkil 70,b.

E_x lövhənin daxilində x –dən xətti asılı, lövhədən kənarda sabitdir. (şəkil 71).

Lövhədən kənarda sahənin potensialını tapaq:

$$U = U(x=a) - \int_a^x E_x dx = -\frac{\rho a^2}{2\varepsilon_0\varepsilon} - \int_a^x \frac{a\rho}{\varepsilon_0}dx =$$
$$= -\frac{\rho a^2}{2\varepsilon_0\varepsilon} - \frac{a\rho}{\varepsilon_0}(x-a) = -\frac{\rho a^2}{2\varepsilon_0\varepsilon} + \frac{a^2\rho}{\varepsilon_0} - \frac{a\rho}{\varepsilon_0}x \qquad (6)$$

Əks istiqamətdə də U eyni cür ifadə olunacaq, lakin $x < 0$ olacaq. Beləliklə, (2), (5) və (3), (6)-nı birlikdə belə yazarıq:

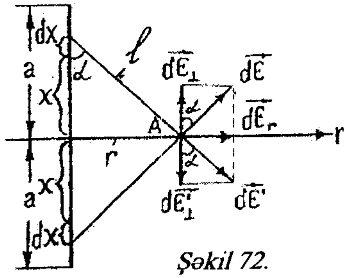


Şəkil 71, a,b.

$$E_x = \begin{cases} \dfrac{\rho x}{\varepsilon\varepsilon_0}; \ |x| \le a \ \text{olduqda} \\ \dfrac{\rho a}{\varepsilon_0}\cdot\dfrac{x}{|x|}, \ |x| > a \ \text{olduqda} \end{cases} \qquad U = \begin{cases} -\dfrac{\rho x^2}{2\varepsilon_0\varepsilon}, \ |x| \le a \ \text{olduqda} \\ -\dfrac{\rho a^2}{2\varepsilon_0\varepsilon} - \dfrac{\rho a(|x|-a)}{\varepsilon_0}, \ |x| > a \ \text{olduqda} \end{cases}$$

E_x-in və U-nun x-dən asılılıq qrafiki şəkil 71 a və b-də göstərilmişdir.

17. Çubuğun üzərində onun mərkəzinə görə simmetrik olan iki bərabər kiçik dx parçası götürək (şəkil 72). r oxu üzərində hər hansı A nöqtəsində onların yaratdığı intensivlik $d\vec{E}$ və $d\vec{E}'$ vektorları modulca bərabər olacaq: $|d\vec{E}| = |d\vec{E}'|$.



Şəkil 72.

Onun hər ikisini r oxuna paralel $(d\vec{E}_{\parallel}, dE'_{\parallel})$ və perpendikulyar $(d\vec{E}_{\perp}, d\vec{E}_{\perp})$ toplananlarına ayıraq. $d\vec{E}_{\perp}$ və $d\vec{E}_{\perp}$ komponentləri qiymətcə bərabər, istiqamətcə əksdir. Onlar bir-birini yox edir. $dE_{\parallel}$ və $dE'_{\parallel}$ komponentləri istiqamətcə eynidir. Ona görə də toplanacaq. Şəkildən:

$$dE_{\parallel} = dE\sin\alpha = dE\frac{r}{\ell} \tag{1}$$

dx parçasının boyu çox kiçik olduğu üçün onun $dq = \lambda dx$ yükünə nöqtəvi yük kimi Baxa bilərik. Onda:

$$dE = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\cdot\frac{dq}{\ell^2} = \frac{\lambda dx}{4\pi\varepsilon_0\left(r^2 + x^2\right)} \tag{2}$$

A nöqğəsində bütün çubuğun yaratdığı sahəni (1) ifadəsini çubuq boyunca inteqrallamaqla tapanq:

$$E = 2\int_0^a dE\cdot\frac{r}{\ell} = \frac{2\lambda r}{4\pi\varepsilon_0}\int_0^a \frac{dx}{\left(r^2 + x^2\right)^{3/2}} \tag{3}$$

İnteqralı açmaq üçün belə əvəzetmə aparaq:

$$\left.\begin{aligned} x &= r\,tg\,t \\ dx &= \frac{r\,dt}{\cos^2 t} \\ t &= arctg\frac{x}{r} \end{aligned}\right| \tag{4}$$

$$\int_0^a \frac{dx}{\left(r^2+x^2\right)^{3/2}} = \int_0^{arctg\frac{a}{r}} \frac{r\,dt}{\cos^2 t\left(r^2+r^2 tg^2 t\right)^{3/2}} =$$

$$= \frac{1}{r^2}\int_0^{arctg\frac{a}{r}} \frac{dt}{\cos^2 t\left(1+tg^2 t\right)^{3/2}} = \frac{1}{r^2}\int_0^{arctg\frac{a}{r}} \cos t\,dt = \frac{1}{r^2}\sin t\Big|_0^{arctg\,a/r} =$$

$$= \frac{1}{r^2}\cdot \sin arctg\frac{a}{r} = \frac{1}{r^2}\cdot\frac{\frac{a}{r}}{\sqrt{1+\frac{a^2}{r^2}}} = \frac{a}{r^2\sqrt{r^2+a^2}}$$

(3)-də yerinə yazıb, sadələşdirsək, alarıq

$$E = \frac{\lambda}{2\pi\varepsilon_0}\cdot\frac{a}{r\sqrt{r^2+a^2}} \tag{5}$$

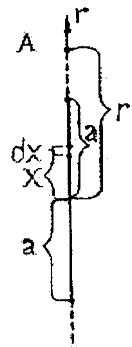
$\alpha \to \infty$ olduqda:

$$E = \lim_{\alpha\to\infty}\frac{\lambda}{2\pi\varepsilon_0}\cdot\frac{a}{r\sqrt{r^2+a^2}} = \frac{\lambda}{2\pi\varepsilon_0}\lim_{\alpha\to\infty}\frac{a}{ra\sqrt{\frac{r^2}{a^2}+1}} = \frac{\lambda}{2\pi\varepsilon_0 r}\cdot$$

$$\cdot\frac{1}{\sqrt{\frac{r^2}{\infty}+1}} = \frac{\lambda}{2\pi\varepsilon_0 r};$$

18. Çubuğu xəyalımızda dr kiçik hissələrə bölək. Onlardan birinin, çubuğun oxu üzərində çubuqdan kənarda hər hansı A nöqtəsində yaratdığı potensialı onun $dq = dx \cdot \lambda$ yükünü nöqtəvi qəbul etməklə yazaq (şəkil 73):

$$dU = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0} \cdot \frac{dq}{r-x} \qquad (1)$$



Şəkil 73

Bütün çubuğun A nöqtəsində yaratdığı potensialı (1) -i-a-dan +a-ya qədər inteqrallamaqla taparıq:

$$U = \int_{-a}^{a} dU = \int_{-a}^{a} \frac{1}{4\pi\varepsilon_0} \cdot \frac{\lambda dx}{r-x} = -\frac{\lambda}{4\pi\varepsilon_0} \ln(r-x)\Big|_{-a}^{a} =$$

$$= -\frac{\lambda}{4\pi\varepsilon_0} \left(\ln(r-a) - \ln(r+a)\right)$$

$$U = \frac{\lambda}{4\pi\varepsilon_0} \ln\frac{r+a}{r-a} \qquad (2)$$

$\vec{E}$ -nin modulunu U-nun r-ə görə birinci tərtib törəməsindən tapaq:

$$E = -\frac{dU}{dr} = -\frac{d}{dr}\left(\frac{r}{4\pi\varepsilon_0} \cdot \ln\frac{r+a}{r-a}\right) == -\frac{\lambda}{4\pi\varepsilon_0}\left(\frac{(r-a)-(r+a)}{\frac{(r+a)}{r-a}(r-a)^2}\right) =$$

$$= -\frac{\lambda}{4\pi\varepsilon_0} \cdot \frac{-2a}{r^2-a^2} = \frac{\lambda}{4\pi\varepsilon_0} \cdot \frac{2a}{r^2-a^2} = \frac{q}{4\pi\varepsilon_0\left(r^2-a^2\right)};$$

$$E = \frac{q}{4\pi\varepsilon_0\left(r^2-a^2\right)} \qquad (3)$$

q-çubuğun yüküdür.

r>>a olduqda $\frac{r}{a} << 1$ olduğu üçün (2)-də U-nu $\frac{r}{a}$-nın üstlərinə görə sıraya ayıra bilərik. $\left(\frac{r}{a}\right)^2$ və ondan yüksək tərtibatlı hədləri atsaq, alarıq:

$$U = \frac{\lambda}{4\pi\varepsilon} \cdot \frac{2a}{r} = \frac{q}{4\pi\varepsilon_0 r} \qquad (4)$$

Buradan:

$$E = -\frac{dU}{dr} = \frac{q}{4\pi\varepsilon_0 r^2} \qquad (5)$$

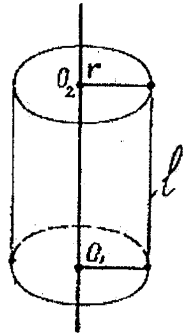
olar. Deməli, çubuğun mərkəzindən çox uzaq məsafələrdə onun yaratdığı sahə nöqtəvi yükün yaratdığı sahə kimidir.

19. a) Elektrik sahəsi sapın oxuna görə silindrik simmetriyaya malikdir. Ona görə sapın ətrafına radiusu r, hündürlüyü ℓ olan bir silindr səthi çəkək (şəkil 74). Silindrin daxilində qalan yük

$$q = \ell\lambda$$

olar. Məsələnin simmetriyasından aydındır ki. ümumi sel silindrin yan səthindən keçən selə bərabərdir:

$$\Phi = 2\pi r \cdot \ell \cdot D$$



Şəkil 74.

Qaus teoremini tətbiq edək:

$$2\pi r\ell D = \ell\lambda$$

Buradan:

$$D = \frac{\lambda}{2\pi r}; \quad E = \frac{D}{\varepsilon_0} = \frac{\lambda}{2\pi\varepsilon_0 r} \qquad (1)$$

b) $U = -\int_{r_0}^{r} E dr = -\int_{r_0}^{r} \frac{\lambda dr}{2\pi\varepsilon_0 r} = -\frac{\lambda}{2\pi\varepsilon}\int_{r_0}^{r}\frac{dr}{r} = -\frac{\lambda}{2\pi\varepsilon_0}\ell n\frac{r}{r_0}$

$$U = -\frac{\lambda}{2\pi\varepsilon_0}\cdot \ell n\frac{r}{r_0} \qquad (2)$$

c) r=10,0m qiymətində E-ni hesablamaq çətinlik törətmir Bunun üçün (1)-də parametrlərin qiymətlərini yerinə yazıb hesablamaq lazımdır:

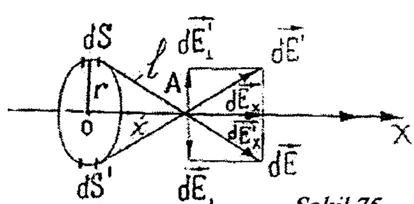
$$E = \frac{2{,}00\cdot 10^{-6} kl/m}{2\cdot 3{,}14\cdot 0{,}885\cdot 10^{-11} f/m\cdot 10m} = 3{,}6\cdot 10^3\frac{V}{m}$$

U-nu hesablayarkən (2)-də r_0=o götürmək olmaz, çünki bu halda riyazi mənasızlıq alınır. r_0-ı elə seçməliyik ki, r = r_0 olduqda $U(r_0)=0$ olsun. Bunun üçün r_0=1m seçmək daha əlverişlidir:

$$U = \frac{2{,}00 \cdot 10^{-6}}{2 \cdot 3{,}14 \cdot 0{,}885 \cdot 10^{-11}} \cdot \ell n \frac{10}{1} B = -0{,}83 \cdot 10^5 V$$

20. a) Həlqəni xəyalımızda elə kiçik ds hissələrə bölək ki, onları nöqtəvi yük kimi götürmək mümkün olsun. Yükün xətti sıxlığını belə təyin edək:

$$\rho = \frac{q}{2\pi r} \qquad (1)$$



Şəkil 75.

$2\pi r$ – həlqə çevrəsinin uzunluğudur. Həlqənin İ-ci hissəsinin x oxunun ixtiyari A nöqtəsində yaratdığı potensialı yazaq (şəkil 75):

$$dU_i = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0} \cdot \frac{dq_i}{\ell} = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0} \cdot \frac{\rho ds_i}{\ell} = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0} \cdot \frac{q}{2\pi r} \cdot \frac{ds_i}{\ell} \qquad (2)$$

Bütün həlqənin A nöqtəsində yaratdığı potensialı tapmaq üçün (2) ifadəsini i üzrə cəmləyək:

$$U = \sum_i dU_i = \sum_i \frac{1}{4\pi\varepsilon_0} \cdot \frac{q}{2\pi r} \cdot \frac{ds_i}{\ell} = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0} \cdot \frac{q}{2\pi r} \cdot \frac{1}{\ell} \sum_i ds_i =$$

$$= \frac{1}{4\pi\varepsilon_0} \cdot \frac{q}{2\pi r} \cdot \frac{1}{\ell} \cdot 2\pi r = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0} \cdot \frac{q}{\ell} = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0} \cdot \frac{q}{\sqrt{r^2 + x^2}}$$

$$U = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0} \cdot \frac{q}{\sqrt{r^2 + x^2}} \qquad (3)$$

İntensivlik vektorunu da həlqənin ayrı-ayrı hissələrinin A nöqtəsində yaratdığı intensivliklərin vektor cəmi kimi tapa bilərik. Bunu aydınlaşdırmaq üçün şəkil 75-də həlqənin O mərkəzinə görə simmetrik olan iki bərabər parçaların yaratdığı intensivliklərin qrafiki cəmlənməsi göstərilmişdir. (Məsələ 17-də bu üsuldan istifadə edilmişdir).

Şəkildən göründüyü kimi, $d\vec{E}$ və $d\vec{E}'$ vektorlarının $d\vec{E}_{\perp}$ və $dE'_{\perp}$ normal komponentləri bir-birini yox edir, onların eyni istiqamətli x komponentləri isə toplanaraq bir-birini gücləndirir. Bu üsul bir qədər uzundur. Biz daha sadə yoldan istifadə edək:

$$\vec{E}_x = \nabla U = -\frac{dU}{dx}\cdot\vec{i} = -\frac{d}{dx}\left(\frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\cdot\frac{q}{\sqrt{r^2+x^2}}\right) = \frac{q}{4\pi\varepsilon_0}\cdot$$

$$\cdot\frac{2x}{2\sqrt{r^2+x^2}}\cdot\frac{1}{\left(r^2+x^2\right)}\vec{i} = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\cdot\frac{xq\vec{i}}{\left(r^2+x^2\right)^{3/2}}$$

$$\vec{E}_x = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\cdot\frac{xq\vec{i}}{\left(r^2+x^2\right)^{3/2}} \qquad (4)$$

$\vec{i}$ – x oxu istiqamətdə vahid vektordur.

b) x=0 olduqda (3) və (4)-dən:

$$U = \frac{q}{4\pi\varepsilon_0}\cdot\frac{1}{r};\quad \vec{E}_x = 0 \qquad (5)$$

$|x| >> r$ olduqda (3) və (4)-də məxrəcdə r^2-nı x^2-na görə ata bilərik:

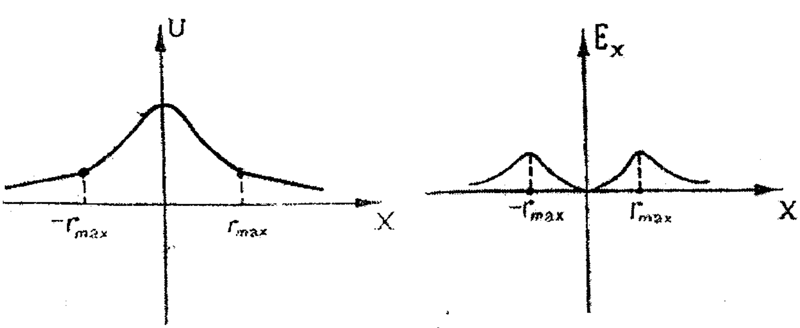
$$U = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\cdot\frac{q}{x};\quad \vec{E}_x = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\cdot\frac{q}{x^2}\vec{i}\cdot\frac{x}{|x|} \qquad (6)$$

Bu halda yüklənmiş həlqə özünü nöqtəvi yük kimi aparır.

c) İntensivlik vektorunun maksimum qiymətini tapmaq üçün (4) ifadəsindən x-ə görə törəmə alıb, sıfra bərabər edək:

$$\frac{dE}{dx} = \frac{q}{4\pi\varepsilon_0}\cdot\left(\left(r^2+x^2\right)^{-3/2} - \frac{3}{2}\left(r^2+x^2\right)^{-3/2-1}\cdot 2x\cdot x\right) = 0$$

$$\left(r^2+x^2\right)^{-3/2}\left(1-\frac{3x^2}{r^2+x^2}\right) = 0$$



Şəkil 76, a,b.

Birinci vuruğun sıfra bərabər olması üçün $x \to \infty$ olmamalıdır. Bu, məsələnin həlli deyil. İkinci vuruğu sıfra bərabər edib x_{max}– u tapaq:

$$1-\frac{3x^2}{r^2+x^2}=0, \qquad r^2+x^2-3x^2=0$$

Buradan: $x_{max}=\pm\frac{r}{\sqrt{2}}=\pm 0{,}424m$ (7)

x_{max} - u(4) –də yerinə yazıb, sadələşdirmə aprsaq, alarıq:

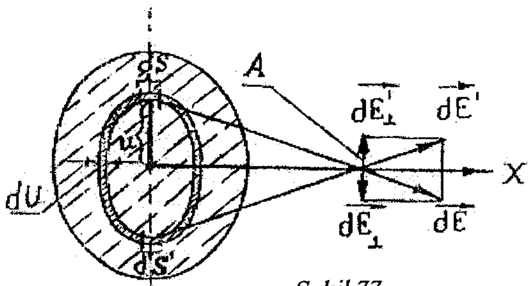
$$E_{MFX}=\frac{+}{-}\frac{2q}{\sqrt{2}\cdot 3^{\frac{3}{2}}}\cdot\frac{1}{4\pi\varepsilon_0 r^2}=\frac{+}{-}1{,}93\cdot 10^4\frac{V}{m}$$

ç) (4) və (3)-ün köməkliyi ilə E_xvə U-nun x-dən asılılığını qura bilərik (Şəkil 76, a,b). E_x-in x-dən asılılığından aydın olur ki, x_{max} nöqtəsi U üçün «dönmə» nöqtəsidir.

21. Lövhənin üzərində mərkəzi O nöqtəsində (şəkil 77) eni du, radiusu u olan çox ensiz bir həlqə götürək, onun yükü:

$dq=\sigma\cdot 2\pi u du$ (1)

olar. (σ - həlqənin yükünün səth sıxlığı, 2π udu- həlqəçiyin səthinin sahəsidir). σ -ni belə taparıq:



Şəkil 77.

$$\sigma=\frac{q}{\pi r^2} \qquad (2)$$

Məsələ 20-nin həllindən istifadə edib,götürdüyümüz həlqəçiyin x oxunun üzərində ixtiyari A nöqtəsində yaratdığı du potensialının ifadəsini yaza bilərik:

$$dU=\frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\cdot\frac{dq}{\sqrt{u^2+x^2}}=\frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\cdot\frac{\sigma 2\pi u du}{\sqrt{u^2+x^2}} \qquad (3)$$

Bütün lövhənin A nöqtəsində yaratdığı potensialı, (3) ifadəsini u-ya görə 0-dan r-ə qədər inteqrallamaqla taparıq:

$$U=\int_0^r du=\int_0^r \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\cdot\frac{\sigma 2\pi u du}{\sqrt{u^2+x^2}}=\frac{\sigma}{2\pi\varepsilon_0}\int_0^r \frac{udu}{\sqrt{u^2+x^2}}=$$

$$=\frac{\sigma}{2\pi\varepsilon_0}\cdot\left(u^2+x^2\right)^{1/2}\Big|_0^r=\frac{\sigma}{2\pi\varepsilon_0}\left[\sqrt{r^2+x^2}-\sqrt{x^2}\right]$$

$$U=\frac{q}{2\pi\varepsilon_0 r^2}\left[\sqrt{r^2+x^2}-\sqrt{x^2}\right] \tag{4}$$

E_x-i U-nun x-ə görə törəməsini almaqla tapa bilərik:

$$E_x=-\frac{dU}{dx}=\frac{q}{2\pi\varepsilon_0 r^2}\left(\frac{x}{\sqrt{x^2}}-\frac{x}{\sqrt{r^2+x^2}}\right) \tag{5}$$

b) $|x| << r$ olduqda $\sqrt{r^2+x^2}\approx r$ olar. Onda (4)-dən:

$$U=\frac{q}{2\pi\varepsilon_0}\left(r-|x|\right) \tag{6}$$

(5)-dən: $$E_x=\frac{q}{2\pi\varepsilon_0 r^2}\left(\frac{x}{|x|}-0\right)=\frac{q}{2\pi\varepsilon_0 r^2}\cdot\frac{x}{|x|} \tag{7}$$

alarıq.

$|x| >> r$ olduqda $\sqrt{r^2+x^2}=x\sqrt{1+\frac{r^2}{x^2}}\cong x+\frac{r^2}{2x}$ və (4)-dən:

$$U=\frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\cdot\frac{1}{|x|} \tag{8}$$

alarıq. Bu hal üçün (5) ifadəsinin sağ tərəfindəki mötərizələrin daxilindəki vuruğu belə yazarıq:

$$\frac{x}{\sqrt{x^2}}-\frac{x}{\sqrt{r^2+x^2}}=x\cdot\frac{\sqrt{r^2+x^2}-\sqrt{x^2}}{\sqrt{x^2}\sqrt{r^2+x^2}}=x\cdot\frac{|x|+\frac{r^2}{2x}-|x|}{\sqrt{x^2}\sqrt{r^2+x^2}}=$$

$$=\frac{r^2}{2\sqrt{x^2}\sqrt{r^2+x^2}}\approx\frac{r^2}{2x^2};$$

Bunu (5)-də nəzərə alaq:

$$U = \frac{q}{4\pi\varepsilon_0} \cdot \frac{1}{x^2} \cdot \frac{x}{|x|} \qquad (9)$$

Beləliklə, x-in böyük qiymətlərində lövhənin sahəsi nöqtəvi yükün sahəsi kimi olur.

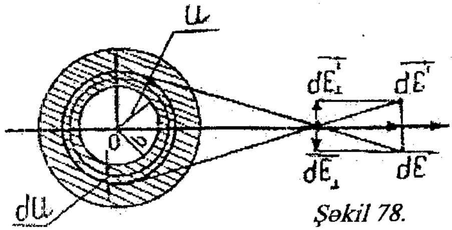
c) x=80,0 mm=0,080 m olduqda:

$$U = \frac{1{,}80 \cdot 10^{-6}}{2 \cdot 3{,}14 \cdot 0{,}885 \cdot 10^{-11} \cdot (0.120)^2}\left[\sqrt{(0{,}120)^2 + (0{,}080)^2} - 0{,}080\right]V =$$

$$= 1{,}5 \cdot 10^5 V.$$

$$E_x = \frac{1{,}80 \cdot 10^{-6}}{2 \cdot 3{,}14 \cdot 0{,}885 \cdot 10^{-11} \cdot (0{,}120)^2} \cdot \left[\frac{0{,}080}{0{,}080} - \frac{0{,}080}{\sqrt{(0{,}120)^2 + (0{,}080)^2}}\right] \approx 1 \cdot 10^6 \frac{V}{m}$$

22. Məsələnin həlli 78-də olduğu kimidir. Yalnız yükün səth sıxlığı bir qədər fərqli olur və inteqrallama sərhədləri həlqənin daxili radiusundan xarici radiusuna qədər aparılır (bax: şəkil 78).



Şəkil 78.

$$\sigma = \frac{q}{\Delta S} = \frac{q}{\pi a^2 - \pi b^2} = \frac{q}{\pi\left(a^2 - b^2\right)} \qquad (1)$$

$$U = \frac{\sigma}{2\varepsilon_0}\int_b^a \frac{u\,du}{\sqrt{u^2 + x^2}} = \frac{\sigma}{2\varepsilon_0}\left(u^2 + x^2\right)^{\frac{1}{2}}\Bigg|_b^a =$$

$$= \frac{\sigma}{2\varepsilon_0}\left[\sqrt{a^2 + x^2} - \sqrt{b^2 + x^2}\right] = \frac{q}{2\pi\varepsilon_0\left(a^2 - b^2\right)} \cdot \qquad (2)$$

$$\cdot\left(\sqrt{a^2 + x^2} - \sqrt{b^2 + x^2}\right)$$

$$E_x = -\frac{dU}{dx} = -\frac{q}{2\pi\varepsilon_0\left(a^2 - b^2\right)}\left(\frac{|x|}{\sqrt{a^2 + x^2}} - \frac{|x|}{\sqrt{b^2 + x^2}}\right) \qquad (3)$$

$|x| >> 0$ olduqda:

$$\sqrt{a^2+x^2}=x+\frac{a^2}{2|x|};\qquad \sqrt{b^2+x^2}=x+\frac{b^2}{2|x|}$$

Onda (2)-dən:

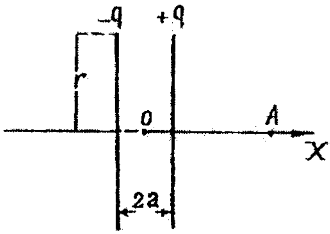
$$U=\frac{q}{2\pi\varepsilon_0\left(a^2-b^2\right)}\left(x+\frac{a^2}{2|x|}-x-\frac{b^2}{2|x}\right)=\frac{q}{4\pi\varepsilon_0|x|}$$

(3)-dən isə:

$E_x=\dfrac{q}{4\pi\varepsilon^2}\cdot\dfrac{1}{x^2}$ alarıq, yəni x-in böyük qiymətlərində lövhənin sahəsi nöqtəvi yükün sahəsi kimi olur.

23. Burada superpozisiya prinsipindən və məsələ 21-də alınan nəticələrdən istifadə etmək lazımdır.

a) Sol (birinci) lövhənin yükünü mənfi, (bax: şəkil 79) sağ (ikinci) lövhənin yükünü müsbət qəbul edib, məsələ 21-dəki (5) düsturundan istifadə edək.



Şəkil 79.

$$E_{1x}=\frac{-q}{2\pi\varepsilon_0 r^2}\left[\frac{x+a}{\sqrt{(x+a)^2}}-\frac{x+a}{\sqrt{r^2+(x+a)^2}}\right]. \qquad (1)$$

$$E_{2x}=\frac{q}{2\pi\varepsilon_0 r^2}\left[\frac{x-a}{\sqrt{(x-a)^2}}-\frac{x-a}{\sqrt{r^2+(x-a)^2}}\right] \qquad (2)$$

Yekun sahə bu iki sahnin cəminə bərabərdir:

$$E_x=\frac{q}{2\pi\varepsilon_0 r^2}\cdot\left[\frac{x-a}{\sqrt{(x-a)^2}}-\frac{x-a}{\sqrt{r^2+(x-a)^2}}-\frac{x+a}{\sqrt{(x+a)^2}}+\frac{x+a}{\sqrt{r^2+(x+a)^2}}\right] \quad (3)$$

$$b)x=0:\quad E_x=\frac{q}{2\pi\varepsilon_0 r^2}\left[\frac{-a}{a}+\frac{a}{\sqrt{r^2+a^2}}-\frac{a}{a}+\frac{a}{\sqrt{r^2+a^2}}\right]=$$

$$=-\frac{q}{\pi\varepsilon_0 r^2}\left(1-\frac{a}{\sqrt{r^2+a^2}}\right)\cong-\frac{q}{\sigma\varepsilon_0 r^2}\left(1-\frac{a}{r}\right) \qquad (4)$$

$c) x = a - \delta(\delta \to 0)$:

$$E_x = \frac{q}{2\pi\varepsilon_0 r^2}\left[-1 - 0 + \frac{2a}{2a} - \frac{2a}{\sqrt{r^2+4a^2}}\right] = -\frac{q}{\pi r^2\varepsilon_0}\cdot\frac{a}{\sqrt{r^2+4a^2}} \cong \tag{5}$$

$$\cong -\frac{q}{\pi\varepsilon_0 r^2}\cdot\frac{a}{r}$$

ç)$x = a + \delta(\delta \to 0)$:

$$E_x = \frac{q}{2\pi\varepsilon_0 r^2}\left[1 - 0 - \frac{2a}{2a} + \frac{2a}{\sqrt{r^2+4a^2}}\right] = \frac{q}{2\pi\varepsilon_0 r^2}\cdot\frac{2a}{\sqrt{r^2+4a^2}} =$$

$$= \frac{q}{\pi\varepsilon_0 r^2}\cdot\frac{a}{\sqrt{r^2+4a^2}} = \frac{q}{\pi\varepsilon_0 r^2}\cdot\frac{a}{r} \tag{6}$$

$|x| >> r$ olduqda (3) ifadəsindən:

$$E_x = \frac{q}{2\pi\varepsilon_0 r^2}\left[1 - \frac{x-a}{\sqrt{r^2+(x-a)^2}} - 1 + \frac{x+a}{\sqrt{r^2+(x+a)^2}}\right] = \tag{7}$$

$$= \frac{q}{2\pi\varepsilon_0 r^2}\left[-\frac{x-a}{\sqrt{r^2+x^2-2ax+a^2}} + \frac{x+a}{\sqrt{r^2+x^2+2ax+a^2}}\right]$$

Kvadrat köklə bağlı olan vuruqlara ayrılıqda baxaq.

$$\frac{1}{\sqrt{r^2+x^2-2ax+a^2}} = \frac{1}{x\sqrt{\frac{r^2}{x^2} - \frac{2a}{r}\cdot\frac{r}{x} + 1 + \frac{a^2}{x^2}}}$$

$\frac{a^2}{x^2}$ həddini çox kiçik olduğu üçün ataq və ifadəni $\frac{r}{x}$-in üstlərinə görə sıraya ayırıb üçüncü və daha yüksək tərtibdən kiçik hədləri ataq:

$$\frac{1}{x\left(\sqrt{\frac{r^2}{x^2} - \frac{2a}{r}\cdot\frac{r}{x} + 1}\right)} \cong \frac{1}{x}\left(1 + \frac{a}{r}\cdot\frac{r}{x} - \frac{1}{2}\frac{r^2}{x^2}\right)$$

$$\frac{1}{x\sqrt{\frac{r^2}{x^2}+\frac{2a}{r}\cdot\frac{r}{x}+1}}\cong\frac{1}{x}\left(1-\frac{a}{r}\cdot\frac{r}{x}-\frac{1}{2}\cdot\frac{r^2}{x^2}\right)$$

Bunları (7)-də yerinə yazaq:

$$E_x=\frac{q}{2\pi\varepsilon_0 r^2}\cdot\frac{1}{x}-(x-a)\left(1+\frac{a}{x}-\frac{1}{2}\cdot\frac{r^2}{x^2}\right)+(x+a)\left(1-\frac{r}{x}\cdot\frac{r^2}{x^2}\right)=$$

$$=-\frac{q}{2\pi\varepsilon_0 r^2}\cdot\frac{1}{x}\cdot\frac{ar^2}{x^2}=-\frac{(2aq)}{4\pi\varepsilon_0}\cdot\frac{1}{x^3} \qquad (8)$$

$p=2a\cdot q$-nü dipol momenti kimi mənalandırsaq, görərik ki, belə kondensatorun sahəsi uzaq məsafələrdə dipolun sahəsi kimidir:

$$E_x=-\frac{p}{4\pi\varepsilon_0}\cdot\frac{1}{x^3} \qquad (9)$$

24. Radiusu a olan yüklü diskin (şəkil 80) P nöqtəsində yaratdığı intensivliyi məsələ 21-dəki (5) düsturuna əsasən tapa bilərik:

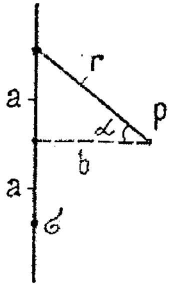
$$E_x=\frac{q}{2\pi\varepsilon_0 a^2}\left(\frac{b}{b}-\frac{b}{\sqrt{a^2+b^2}}\right)=\frac{q}{2\pi\varepsilon_0 a^2}\left(1-\frac{b}{\sqrt{a^2+b^2}}\right) \qquad (1)$$

q-dairənin yüküdür. Onu tapmaq üçün məsələnin şəraitindən istifadə edək:

$E=\frac{\sigma}{2\varepsilon_0}$, buradan σ səth sıxlığını tapaq:

$$\sigma=2\varepsilon_0 E \quad \text{və} \quad q=\pi a^2\cdot\sigma=\pi a^2\cdot 2\varepsilon_0 E \qquad (2)$$

Digər tərəfdən, şərtə görə $E_x=\frac{E}{2}$. (1) və (2)-ni burada nəzərə alaq:



Şəkil 80.

$$\frac{2\pi a^2\varepsilon_0 E}{2\pi\varepsilon_0 a^2}\left(1-\frac{b}{\sqrt{a^2+b^2}}\right)=\frac{E}{2} \quad \text{və ya} \quad \frac{b}{\sqrt{a^2+b^2}}=\frac{1}{2}$$

Buradan: $a=\sqrt{3}b$ (3)

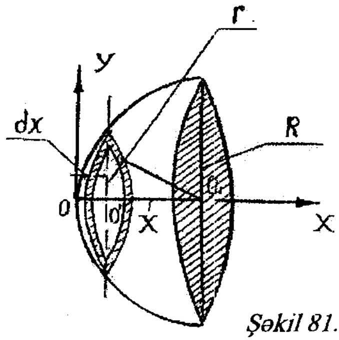
r-u Pifaqor teoreminə görə taparıq:

$$r^2=\sqrt{a^2+b^2}=\sqrt{3b^2+b^2}=2b \qquad (4)$$

Şəkildən:

$$\sin\alpha = \frac{a}{r} = \frac{\sqrt{3}b}{2b} = \frac{\sqrt{3}}{2}, \text{yəni } \alpha = 60^0.$$

25. Koordinat başlanğıcını kürə səthinin təpə nöqtəsində, x oxunu isə kürə səthinin oturacaq müstəvisinə perpendikulyar keçirək (şəkil 81). Kürə səthinin xəyalımızda oturacaq müstəvisinə paralel və qalınlıqları sonsuz kiçik dx olan kürə qurşaqlarına (şəkil 81) bölək.



Şəkil 81.

(dx kürə qurşaqlarının hündürlüyüdür). Beləliklə, superpozisiya prinsipindən istifadə edib, kürə səthinin O_1 nöqtəsində yaratdığı sahəyə elementar kürə qurşaqlarının sahələrinin cəmi kimi baxa bilərik.

Hər bir kürə qurşağının yaratdığı sahəni qalınlığı çox kiçik olan yüklü həlqənin sahəsi kimi hesablayaq. Bunun üçün məsələ 20-də alınan nəticədən istifadə edib bir elementar kürə qurşağının O_1 nöqtəsində yaratdığı potensiyalı tapaq (bax: məs.20-də (3) düsturu):

$$dU = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0} \cdot \frac{dq}{\sqrt{r^2 + x^2}} \qquad (1)$$

dq –elementar kürə qurşağının yükü, r-onun radiusudur.

dq- nü tapmaq üçün σ səth sıxlığını kürə qurşağının elementar səthinin ds-sahəsinə $(ds = 2\pi R \cdot dx)$ vuraq:

$$dq = \sigma \cdot 2\pi R \cdot dx \qquad (2)$$

R-kürənin radiusudur.

Bütün kürə səthinin O_1 nöqtəsində yaratdığı potensialı (1)-i x-ə görə 0-dan R-ə qədər inteqrallamaqla taparıq:

$$U = \int_0^R dU = \int_0^R \frac{1}{4\pi\varepsilon_0} \cdot \frac{\sigma \cdot 2\pi R \cdot dx}{\sqrt{r^2 + x^2}} = \frac{R\sigma}{2\varepsilon_0} \int_0^R \frac{dx}{\sqrt{r^2 + x^2}}$$

Şəkildən: $r^2 = R^2 - x^2$. Onda:

$$U = \frac{R\sigma}{2\varepsilon_0} \int_0^R \frac{dx}{\sqrt{R^2 - x^2 + x^2}} = \frac{\sigma}{2\varepsilon_0} \int_0^R dx = \frac{\sigma R}{2\varepsilon_0}.$$

$$U = \frac{\sigma R}{2\varepsilon_0} \qquad (3)$$

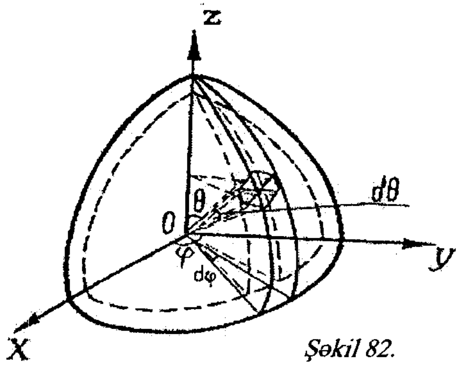
Eyni qayda ilə məsələ 20 (4)-dən:

$$dE_x = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0} \cdot \frac{xdq}{\left(r^2 + x^2\right)^{3/2}} \qquad (4)$$

$$E_x = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0} \int_0^R \frac{x \cdot \sigma 2\pi R dx}{\left(R^2 - x^2 + x^2\right)^{3/2}} = \frac{\sigma}{4\varepsilon_0}$$

$$E_x = \frac{\sigma}{4\varepsilon_0} \qquad (5)$$

26. Məsələnin ümumi həlli kürə həcmini xəyalən nöqtəvi hissələrə bölüb, onların yaratdığı sahəni superpozisiya prinsipinə əsasən toplamaqdan ibarətdir. Şəkil 82-də belə kubik elementar həcmlərdən biri sferik koordinat sistemində oktantlardan birində göstərilmişdir. Koordinat başlanğıcı O kürənin mərkəzində seçilmişdir. Bu elementar həcm analitik həndəsədən məlum olduğu kimi belə ifadə olunur:



Şəkil 82.

$$dV = r^2 \sin\theta d\theta d\varphi dr$$

r – elementar həcmin mərkəzinin radius-vektoru, φ və θ isə fəzada onu təsvir edən bucaqlardır. Götürdüyümüz həcm çox kiçik olduğu üçün onun yükünün yaratdığı sahəni nöqtəvi yükün sahəsi kimi ifadə edə bilərik. Kürənin mərkəzində onun yaratdığı potensialı yazaq:

$$dU = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0} \cdot \frac{dq}{r} \qquad (1)$$

$dq = \rho dV$ -dir (ρ -yükün həcm sıxlığı, $dV = r^2 \sin\theta d\theta d\varphi dr$ isə elementar həcmdir). Ümumi yükü kürənin $V_0 = \frac{4}{3}\pi R^3$ həcminə bölməklə ρ -nu taparıq:

$$\rho = \frac{q}{V_0} = \frac{3q}{4\pi R^3}$$

Bütün kürənin O nöqtəsində yaratdığı potensialı (1) ifadəsini r, θ və φ -yə görə uyğun olaraq (o;R), (0;π) və (0;2π) intervallarında inteqrallamaqla taparıq:

$$U = \int\limits_{r=0}^{R}\int\limits_{\theta=0}^{\pi}\int\limits_{\varphi=0}^{2\pi} \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\cdot\frac{dq}{r} = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\int\limits_{r=0}^{R}\int\limits_{\theta=0}^{\pi}\int\limits_{\varphi=0}^{2\pi}\frac{1}{r}\cdot\frac{3q}{4\pi R^3}r^2 \sin\theta d\theta d\varphi dr =$$

$$= \frac{3q}{(4\pi)^2\varepsilon_0 R^3}\int\limits_0^{2\pi} d\varphi \int\limits_0^{\pi}\sin\theta d\theta\cdot\int\limits_0^{R} rdr = \frac{3q}{(4\pi)^2\varepsilon_0 R^3}\cdot 2\pi\cdot 2\cdot\frac{1}{2}R^2 =$$

$$= \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\cdot\frac{3q}{2R}; \quad U_0 = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\cdot\frac{3q}{2R} \qquad (2)$$

$$U_0 = \frac{1}{4\cdot 3{,}14\cdot 8{,}85\cdot 10^{-12}}\cdot\frac{3\cdot 2{,}00\cdot 10^{-6}}{2\cdot 0{,}04}V \cong 7\cdot 10^5 V$$

27. Kürənin daxilində radiusu r<R olan bir kürə cızaq (şəkil 83). Bu kürənin səthində intensivliyi hesablayaq. Bunun üçün Qaus teoremindən istifadə edək:

$$\Phi = D\cdot 4\pi r^2, \quad q' = \rho\cdot\frac{4\pi}{3}r^3 = \frac{3q}{4\pi R^3}\cdot\frac{4\pi r^3}{3} = q\frac{r^3}{R^3}$$

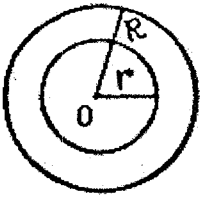
$\Phi = q'$ yaxud

$$D\cdot 4\pi r^2 = q\frac{r^3}{R^3}; \quad D = \frac{q}{4\pi}\cdot\frac{r}{R^3};$$

$$E = \frac{D}{\varepsilon_0} = \frac{q}{4\pi\varepsilon_0}\cdot\frac{r}{R^3}; \qquad (1)$$

Göründüyü kimi, intensivlik r-dən xətti asılıdır, özü də kürənin mərkəzində E=0-dır.

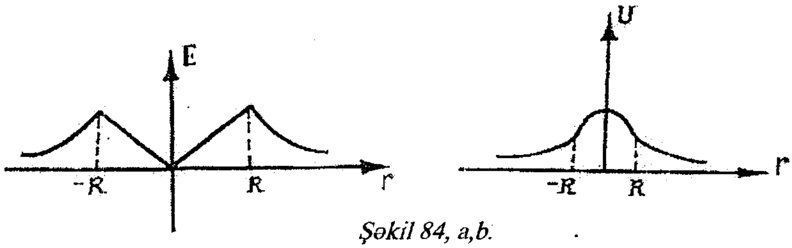
U-nu tapmaq üçün $\vec{E} = -\frac{dU}{d\vec{r}}$ münasibətindən istifadə edək. Məsələnin simmetriyasından görünür ki, $\vec{E}$ hər bir nöqtədə r-lə kolleneardır. Onda: $dU = -Edr$ yaza bilərik. Hər iki tərəfi inteqrallayıb U-nu tapaq:



Şəkil 83.

$$U = -\int Edr = -\int \frac{q}{4\pi\varepsilon_0} \cdot \frac{r}{R^3} dr = -\frac{q}{4\pi\varepsilon_0} \cdot \frac{r^2}{2R^3} + C \qquad (2)$$

C-inteqrallama sabitini r=0-da $U = U_0 = \frac{q}{4\pi\varepsilon_0} \cdot \frac{3}{2R}$ olması sərhəd şərtindən (bax: məsələ 26) tapaq:



Şəkil 84, a,b.

r = 0-da: $U(0) = \frac{9}{4\pi\varepsilon_0} \cdot \frac{0}{2} + C$

yaxud $C = U(0) = U_0$ (2)-də yerinə yazaq:

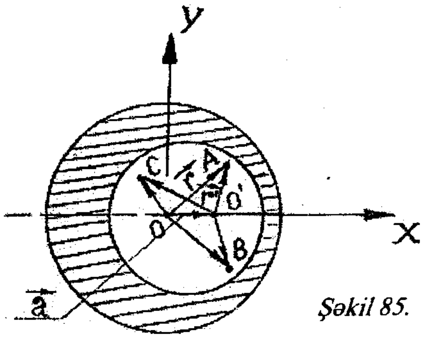
$$U = -\frac{q}{4\pi\varepsilon_0} \cdot \frac{r^2}{2R^3} + \frac{q}{4\pi\varepsilon_0} \cdot \frac{3}{2R} = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0} \cdot \frac{3}{2} \cdot \frac{q}{R^3}\left(R^2 - \frac{1}{3}r^2\right) \quad (3)$$

E və U-nun məsafədən asılılığı şəkil 84, a və b-də verilmişdir.

r=20,0mm=$2 \cdot 10^{-2}$m olduqda

$$U = \frac{1}{4 \cdot 3{,}14 \cdot 8{,}85 \cdot 10^{-12}} \cdot \frac{3}{2} \cdot \frac{2{,}0 \cdot 10^{-6}}{\left(4 \cdot 10^{-2}\right)^3}\left[\left(4 \cdot 10^{-2}\right)^2 - \frac{1}{3}\left(2 \cdot 10^{-2}\right)^2\right] = 6{,}2 \cdot 10^5 V$$

28. Boşluqda sahənin intensivliyini tapmaq üçün superpozisiya prinsipindən istifadə edək: bütöv kürənin yaratdığı sahədən həmin həcm sıxlığı ilə yüklü olduqda boşluq kürəsinin yaratdığı sahəni çıxaq.



Şəkil 85.

Bütöv kürənin radiusunu R, boş sferanın radiusunu r_0 ilə işarəedək (şəkil 85). Kürənin O mərkəzini boşluğun ixtiyari A nöqtəsi ilə birləşdirən radius-vektoru $\vec{r}$, boşluğun mərkəzini həmin nöqtə ilə birləşdirən radius-vektoru $\vec{r}'$ adlandıraq. A nöqtəsində bütöv kürənin və boşluq kürəsinin yaratdığı sahələrin intensivliyini yazaq (bax: məsələ 27-də (1) düsturu):

$$\vec{E}_R = \frac{q}{4\pi\varepsilon_0}\cdot\frac{r}{R^3}\cdot\frac{\vec{r}}{r} = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\cdot\rho\frac{4\pi}{3}R^3\cdot\frac{r}{R^3}\cdot\frac{\vec{r}}{r} = \frac{\rho}{3\varepsilon_0}\vec{r} \qquad (1)$$

$$\vec{E}_{r_0} = \frac{q}{4\pi\varepsilon_0}\cdot\frac{\vec{r}'}{r_0^3}\cdot\frac{\vec{r}'}{\vec{r}'} = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\cdot\rho\frac{4\pi}{3}r_0^3\cdot\frac{\vec{r}'}{r_0^3}\cdot\frac{\vec{r}'}{\vec{r}'} = \frac{\rho}{3\varepsilon_0}\vec{r}' \qquad (2)$$

q və q′ böyük və kiçik kürələrin yükləridir. Yükləri həcm yük sıxlığı ilə ifadə etdik.

Boşluqda mövcud olan intensivliyi $\vec{E}_R$ vektorundan $\vec{E}_{r_0}$ - vektorunu çıxmaqla alarıq:

$$\vec{E} = \vec{E}_R - \vec{E}_{r_0} = \frac{\rho}{3\varepsilon_0}\vec{r} - \frac{\rho}{3\varepsilon_0}\vec{r}' = \frac{\rho}{3r_0}(\vec{r} - \vec{r}') = \frac{\rho}{3\varepsilon_0}\vec{a} \qquad (3)$$

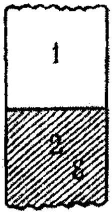
$\vec{r} - \vec{r}' = \vec{a}$ ($\vec{a}$-böyük kürənin mərkəzini kiçik kürənin mərkəzi ilə birləşdirən və kiçik kürənin mərkəzinə doğru istiqamətlənən sabit vektordur). Bu, şəkildə A, B və C nöqtələri üçün qurmadan aydındır. Digər tərəfdən, onu analitik yolla da sübut etmək olar. Bunun üçün $\vec{r}$ və ($-\vec{r}'$) vektorlarını böyük kürənin bir-birinə perpendikulyar iki diametri üzrə (şəkildə x və y oxları üzrə) toplananlarına ayırıb, uyğun toplananları cəbri toplamaq lazımdır:

$\vec{r} = r_x\vec{i} + r_y\vec{j}, \vec{r}' = r'_x\vec{i} + r'_y\vec{j}$,

$\vec{r} - r' = (r_k - r'_x)i + (r_y - r'_y)j = a\vec{i} + 0 = \vec{a}$. Bunu da sübut etmək tələb olunurdu. Boşluqda sahə bircinsdir.

a=0 olduqda kürənin daxilində sahənin intensivliyi artıq (1) düsturu ilə ifadə olunur (bax: məsələ 27).

29. Sistemə 1-ci və 2-ci hissələrdən ibarət olan iki müxtəlif C_1və C_2 tutumlu paralel birləşdirilmiş kondensatorlar batareyası kimi baxa bilərik (şəkil 86).



Şəkil 86.

Şərtə görə birinci hissənin ilkin C_{01} tutumu sonrakı halda (C_1) dəyişməz qalmışdır: $C_{01} = C_1$ və ya $\frac{q_{01}}{U_0} = \frac{q_1}{U_0}$. Buradan $q_1 = \frac{q_0}{2} = q_{01}$ (q_0-kondensatorun ilkin yüküdür), yəni birinci hissənin yükü kondensatorun ikinci hissəsinin dielektriklə dolduqdan sonra dəyişməz qalmışdır.

Onda birinci hissədə sahənin intensivliyi də sabit qalmışdır: E_1=E və D_1=D. Məsələnin şərtindən aydındır ki, ilkin halda ikinci hissənin yükü q_{02} birinci hissənin yükünə bərabərdir: $q_{02}=q_{01}$.

İkinci hissənin sonrakı yükünü (q_2) tapmaq üçün onun ilkin (C_{20}) və sonrakı (C_2) tutumlarının müqayisəsindən istifadə edək. Tərifə görə: $\varepsilon = \frac{C_2}{C_{02}}$ yaxud $C_2=\varepsilon C_{02}$; $\frac{q_2}{U_2} = \varepsilon\frac{q_{02}}{U_{02}}$

Buradan: $q_2 = \varepsilon q_{02} = \varepsilon\frac{q_0}{2}$.

Birinci hissənin tutumu əvvəl və sonra eynidir: $C_{01}=C_1$ yaxud $\frac{q_{01}}{U} = \frac{q_1}{U_1}$, $\frac{q_{01}}{E_0 d} = \frac{q_1}{E_1 d}$. Buradan: $E_1 = \frac{E_0 q_1}{q_{02}} = \frac{E_0 \cdot q_0/2}{q_0/2} = E_0$;

İkinci hissənin də intensivliyini eyni qayda ilə taparıq:

$$\frac{C_2}{C_{01}} = \varepsilon, \quad , C_2 = \varepsilon C_{01}, \frac{q_2}{E_2 d} = \varepsilon\frac{q_0}{2E_0 d};$$

$$E_2 = \frac{2E_0 q_2}{q_0 \varepsilon} = \frac{2E_0 \varepsilon \frac{q_{01}}{2}}{q_0 \varepsilon} = E_0$$

Deməli, hər iki halda kondensatorun hər iki hissəsində intensivlik bir-birinə bərabərdir.

Birinci hissədə $D_1=\varepsilon_0 E=D_0$, ikinci hissədə $D_2=\varepsilon_0\varepsilon E_2=\varepsilon_0\varepsilon E=\varepsilon D_0$ olar.

Qüvvə xətlərinin sıxlığı hər iki halda hər iki hissədə eynidir. İnduksiya xətlərinin sıxlığı birinci hissədə hər iki halda eyni qalır (qeyd edək ki, bu sıxlıq qüvvə xətlərinin sıxlığından ε_0 dəfə böyükdür), lakin ikinci hissədə sonrakı halda əvvəlkindən ε dəfə böyük olur.

30. Kondensatorun ayrı-ayrı hissələrinin sonrakı hal üçün yüklərini tapaq. Birinci hissənin ilkin (C_{01}) və sonrakı C_1 halda tutumu eyndir:

$$C_{01} = C_1 \quad \frac{q_{01}}{E_{01}d} = \frac{q_1}{E_1 d}; \ \frac{q_0/2}{E_0} = \frac{q_1}{E_1}, \ q_1 = \frac{q_0 E_1}{2E_0} \qquad (1)$$

İkinci hissənin tutumu ε dəfə böyümüşdür: $C_{02} = \frac{1}{\varepsilon} C_2$; eyni qayda ilə:

$$q_2 = \frac{\varepsilon q_0 E_2}{2E_0} \qquad (2)$$

İntensivliyi tapmaq üçün kondensatorların paralel birləşməsi düsturundan istifadə edək:

$$C = C_1 + C_2; \ \frac{q_0}{U} = \frac{q_1}{U_1} + \frac{q_2}{U_2} \text{ yaxud } \frac{q_0}{E'} = \frac{q_1}{E_1} + \frac{q_2}{E_2} \qquad (3)$$

E' -kondensator «batareyası»nın orta intensivliyidir. q_1 və q_2-nin (1) və (2) ifadələrini (3)-də yerinə yazıb E' -i tapaq:

$$\frac{q_0}{E'} = \frac{q_0 E_1/2E_0}{E_1} + \frac{\varepsilon q_0 E_2/2E_0}{E_2} \quad \text{və ya} \quad \frac{1}{E'} = \frac{1}{2E_0} + \frac{\varepsilon}{2E_0};$$

Buradan:

$$E' = \frac{2E_0}{1+\varepsilon} \qquad (4)$$

Yükün sabitliyi şərtlərindən istifadə edib, yüklərdən birini intensivlik vasitəsi ilə ifadə edək:

$$q_1+q_2=q_0;\quad q_2=q_0-q_1=q_0-\frac{q_0E_1}{2E_0}=q_0(1-\frac{E_1}{2E_0});\qquad (5)$$

Buradan və q_2-nin (2) ifadəsindən:

$$q_0(1-\frac{E_1}{2E_0})=\frac{\varepsilon q_0E_2}{2E_0}$$

Sadə riyazi əməliyyatlardan sonra alarıq:

$$2E_0=E_1+\varepsilon E_2 \qquad (6)$$

E_1 və E_2-ni sahənin intensivliyinin orta qiymətinin:

$$E'=\frac{E_1+E_2}{2} \qquad (7)$$

olduğunu nəzərə alıb (4), (6) və (7)-ni birlikdə həll etsək, belə alarıq:

$$E_1=\frac{2E_0}{1+\varepsilon}\ ,\ E_2=\frac{2E_0}{1+\varepsilon} \qquad (8)$$

Beləliklə, kondensatorun bir yarısına dielektrik daxil edildikdən sonra hər iki hissədə intensivlik dəyişsə də yenə də bir-birinə bərabər olur.

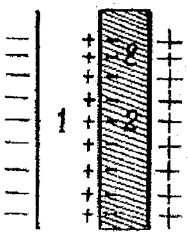
Birinci hissədə induksiyanı tapaq:

$$D_1=\varepsilon_0E_1=\frac{2\varepsilon_0E_0}{1+\varepsilon}=\frac{2}{1+\varepsilon}D_0 \qquad (9)$$

İkinci hissədə:

$$D_2=\varepsilon_0\varepsilon E_2=\varepsilon D_1=\frac{2\varepsilon}{1+\varepsilon}D_0 \qquad (10)$$

31. İlkin kondensatorun daxilinə köynəklərdən birinə söykənən dielektrik təbəqəsi daxil etdikdən sonra onu ardıcıl birləşdirilmiş iki kondensator kimi təsəvvür edə bilərik (şəkil 87).



Şəkil 87.

a) Potensiallar fərqi sabitdir:

$U=const,\ U=U_1+U_2=U_0$ (1)

U_0-ilkin halda, U-sonrakı halda kondensatorun lövhələri arasındakı potensiallar fərqi, U_1və U_2 ikinci halda uyğun olaraq birinci və ikinci hissədəki potensial düşgüsüdür.

(1)-in sağ tərəfindəki bərabərlik üçün U ilə E arasındakı əlaqədən istifadə edək: $E_1 \cdot \frac{d}{2} + E_2 \frac{d}{2} = E_0 d$ və ya $E_1+E_2=2E_0$ (2)

Hər hissəyə aid olan parametrləri özünün nömrəsi ilə indeksləyirik, d-köynəklər arasındakı məsafədir.

1-ci hissənin sonrakı tutumu (C_{01}), qütbləri arasındakı məsafə 2 dəfə kiçildiyi üçün (qalan şərtlər eynidir), ilkin kondensatorun tutumundan 2 dəfə böyükdür.

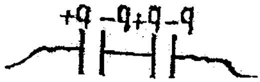
$$C_0 = \frac{1}{2} C_1; \ \frac{q_0}{U_0} = \frac{1}{2} \cdot \frac{q_1}{U_1}; \ \frac{q_0}{E_0 d} = \frac{1}{2} \cdot \frac{q_1}{E_1 \cdot \frac{d}{2}}; \ q_1 = \frac{E_1}{E_0} q_0 \qquad (3)$$

q_0- kondensator lövhəsinin ilkin yüküdür. Şərtə görə : $C_2=2\varepsilon C_0$-dır.

Buradan: $\frac{q_2}{U_2} = 2\varepsilon \frac{q_0}{U_0}; \ \frac{q_2}{E_2 d/2} = 2\varepsilon \frac{q_0}{E_0 d}; \ q_2 = \frac{\varepsilon E_2}{E_0} \cdot q_0$ (4)

Ardıcıl birləşmədə aralıq köynəklər təsirlə yükləndiyi üçün (bax: şəkil 88) onların yükü və deməli, kondensatorların yükü bərabərdir: $q_1=q_2$. Onda (3) və (4) dən alarıq:

$E_1=\varepsilon E_2$ (5)



Şəkil 88.

(5)-i (2)-də istifadə etsək, alarıq:

$$\varepsilon E_2+E_2=2E_0; \ E_2 = \frac{2E_0}{1+\varepsilon} \ \text{və} \ E_1 = \frac{2\varepsilon}{1+\varepsilon} E_0 \qquad (6)$$

D-ni intensivliyə görə tapa bilərik:

$$D_1=\varepsilon_0 E_1=\frac{2\varepsilon_0 \varepsilon}{1+\varepsilon} E_0 \qquad (7)$$

$$D_2 = \varepsilon_0 \varepsilon E_2 = \frac{2\varepsilon_0 \varepsilon}{1+\varepsilon} E_0 = \frac{2\varepsilon}{1+\varepsilon} D_0 = D_1 \qquad (8)$$

b) q=const.

Şərtə görə: $C_1 = \frac{1}{\varepsilon} C_2$, $C_1 = 2C_0$ olduğu üçün:

$$2C_0 = \frac{1}{\varepsilon}C_2,\ \frac{2q_0}{U_0} = \frac{1}{\varepsilon}\cdot\frac{q_2}{U_2},\ \frac{2q_0}{E_0\cdot d} = \frac{1}{\varepsilon}\cdot\frac{q_2}{E_2\cdot\frac{d}{2}}$$

Buradan: $\frac{q_0}{E_0} = \frac{q_2}{\varepsilon E_2}$, $q_2=q_1=q_0$-dir. Onda $E_2 = \frac{E_0}{\varepsilon}$ (9)

Eyni qayda ilə $C_{01}=2C_0$ və $q_1=q_0$ şərtindən: $E_1=E_0$ (10) alarıq.

Sahənin induksiyası belə ifadə olunur:

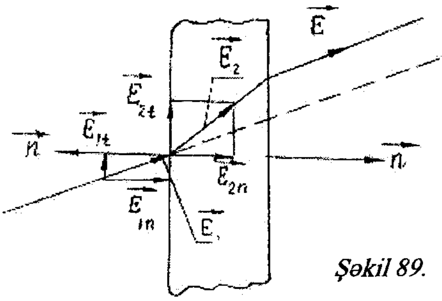
$$D_1=\varepsilon_0 E_1=\varepsilon_0 E_0=D_0$$

$$D_2=\varepsilon_0 \varepsilon E_2=\varepsilon_0 E_0=D_0;\ D_1=D_2=D_0 \quad (11)$$

a) halında 1-ci və 2-ci hissələrdə intensivlik müxtəlif, induksiya isə eynidir. Qüvvə xətlərinin sıxlığı birinci hissədən ikinciyə keçdikdə ε dəfə azalır, induksiya xətlərinin sıxlığı isə sabit qalır.

b) halında D hər iki hissədə eynidir, E isə birinci hissədə əvvəlki kimi qalır, ikinci hissəyə keçdikdə yenə də ε dəfə kiçilir.

32. Şəkil 89-da lövhənin xaricində və daxilində qırılmaya uğramayan qüvvə xətlərindən birinin yolu göstərilmişdir. Qüvvə xətlərinin iki mühit sərhəddində sınma qanununa görə:



Şəkil 89.

$$E_{1t}=E_{2t},\ \frac{E_{1n}}{E_{2n}} = \frac{\varepsilon_2}{\varepsilon_1} \quad (1)$$

Şəkildən: $E_{1t}=E_1\cdot\sin\alpha_1$, $E_{1n}=E_1\cos\alpha_1$ (2)

(1)-lə (2)-nin müqayisəsindən:

$$E_{2t}=E_1\cdot\sin\alpha_1,\ E_{2n} = \frac{\varepsilon_1}{\varepsilon_2}E_{1n} = \frac{\varepsilon_1}{\varepsilon_2}E_1\cos\alpha_1 \text{ və}$$

$$E_2=\sqrt{E_{2t}^2+E_{2n}^2}=\sqrt{E_1^2\sin^2\alpha+E_1^2\cdot\frac{\varepsilon_1^2}{\varepsilon_2^2}\cos^2\alpha}=$$

$$=E_1\sqrt{\sin 30^0+\frac{1}{\varepsilon_2^2}\cdot\cos 30^0}=E_1\sqrt{\frac{1}{4}+\frac{1}{\varepsilon_2^2}\cdot\frac{3}{4}}=\frac{E_1}{2\varepsilon_2}\sqrt{\varepsilon_2^2+3}$$

$$E_2=\frac{E_1}{2\varepsilon_2}\sqrt{\varepsilon_2^2+3} \qquad (3)$$

$$tg\alpha_2=\frac{E_{2t}}{E_{2n}}=\frac{E_1\cdot\sin\alpha_1}{\frac{\varepsilon_1}{\varepsilon_2}\cdot E_1\cos\alpha_1}=\frac{\varepsilon_2}{\varepsilon_1}tg\alpha_1=\varepsilon_2 tg30^0=$$

$$=6{,}0\cdot 0{,}577=3{,}62 \qquad \alpha_2\cong 74^0$$

(şüşə üçün ε_2=6-dır).

Lövhənin qarşı üzlərində əks işarəli yüklər induksiyalanır. Yükün miqdarını və səth sıxlığını lövhənin üzlərinin əmələ gətirdiyi müstəvi kondensatorun tutumunun (C) ifadəsinə görə tapa bilərik. Tutumu tərifinə görə: $C=\frac{q'}{U}=\frac{q'}{E_{1n}d}$, q'-lövhələrdən birinin yükünün miqdarı, U-lövhələr arasındakı potensiallar fərqi, E_{1n}-lövhələr arasındakı ümumi sahənin intensivliyi, d-lövhələr arasındakı məsafədir.

Digər tərəfdən, müstəvi kondensatorun tutumu belə ifadə olunur: $C=\frac{\varepsilon_0\varepsilon_2 S}{d}$, S- lövhənin bir üzünün sahəsidir.

Son iki ifadəni bərabərləşdirib alarıq:

$$\frac{q'}{E_{\text{üm}}\cdot d}=\frac{\varepsilon_0\varepsilon_2 S}{d},\ q'=E_{\text{üm}}\cdot\varepsilon_0\varepsilon_2 S,\ \sigma=\frac{q'}{S}=\varepsilon_0\varepsilon_2 E_{\text{üm}} \qquad (4)$$

Lövhənin üzərində induksiyalanan yüklərin yaratdığı sahə xarici sahənin əksinə olduğu üçün:

$\vec{E}_{\text{üm}}=\vec{E}_1-\vec{E}_2=\vec{E}_{1t}+\vec{E}_{1n}-(\vec{E}_{2t}+\vec{E}_{2n})=\vec{E}_{1n}-\vec{E}_{2n}$ və ya

$$\vec{E}_{\text{üm}}=\vec{E}_{1n}-\vec{E}_{2n}=E_1\cos\alpha_1-\frac{\varepsilon_1}{\varepsilon_2}E_1\cos\alpha_1=\frac{E_1}{\varepsilon_2}(\varepsilon_2-\varepsilon_1)\cos\alpha_1,$$

(4)-də yerinə yazsaq, alarıq:

$$\sigma' = \varepsilon_0\varepsilon_2 \cdot \frac{E_1}{\varepsilon_2}(\varepsilon_2 - \varepsilon_1)\cos\alpha_1 = \varepsilon_0 E_1(\varepsilon_2 - \varepsilon_1)\cos\alpha_1 =$$

$$= 8{,}85 \cdot 10^{-12} \cdot 0{,}1 \cdot (6-1) \cdot \frac{\sqrt{3}}{2} = 3{,}83 \cdot 10^{-12}(\frac{k\ell}{m^2})$$

(3)-dən: $E_2 = \frac{0{,}1}{2 \cdot 6}\sqrt{6^2 + 3} = 5{,}2 \cdot 10^{-2}(\frac{V}{m})$

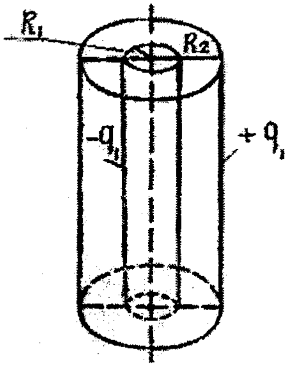
33. Kondensatorun sxemi şəkil 90-da göstərilmişdir.

a) Silindrik kondensatorun vahid uzunluğunun tutumu:

$$C_1 = \frac{q_1}{U}. \text{ -}C_1\text{-i}$$

silindrik kondensatorun ölçüləri ilə ifadə edək:

$$C_1 = \frac{2\pi\varepsilon_0}{\ln R_2/R_1}.$$



Şəkil 90.

Müqayisədən q_1-i təyin edək:

$$q_1 = \frac{2\pi\varepsilon_0 U}{ln\frac{R_2}{R_1}} \qquad (1)$$

$$q_1 = \frac{2 \cdot 3{,}14 \cdot 8{,}81 \cdot 10^{-12} \cdot 450}{ln\frac{10 \cdot 10^{-2}}{3 \cdot 10^{-2}}} = 2{,}1 \cdot 10^{-8}\frac{Kl}{m}$$

b) daxili silindrin yükünün səth sıxlığını (σ_1) hesablayaq:

$$\sigma_1 = \frac{q_1}{2\pi R_1 \cdot 1} = \frac{2{,}1 \cdot 10^{-8}}{2 \cdot 3{,}14 \cdot 3 \cdot 10^{-2}} \cdot \frac{kl}{m^2} = 1{,}1 \cdot 10^{-7}\frac{kl}{m^2}$$

Xarici silindrin yükünün səth sıxlığını tapaq:

$$\sigma_2 = \frac{q_1}{2\pi R_2 \cdot 1} = \frac{2{,}1 \cdot 10^{-8}}{2 \cdot 3{,}14 \cdot 10 \cdot 10^{-2}} = 3{,}3 \cdot 10^{-8}\ \frac{kl}{m^2}$$

c) Silindrik kondensatorun köynəkləri arasında ixtiyari r məsafəsində sahənin intensivliyi belə ifadə olunur:

$$E = \frac{1}{2\pi\varepsilon_0} \cdot \frac{q_1}{r} = \frac{U}{r \ln \frac{R_2}{R_1}} \quad . \qquad (2)$$

Burada (1) ifadəsindən istifadə etdik.

1) Daxili silindrin səthinin yaxınlığında sahənin intensivliyini tapmaq üçün (2) ifadəsində $r=R_1=3sm=3 \cdot 10^{-2}m$ yazaq:

$$E_1 = \frac{U}{R_1\, ln \frac{R_2}{R_1}} = \frac{450}{10 \cdot 10^2\, ln \frac{10 \cdot 10^{-2}}{3 \cdot 10^{-2}}} \cdot \frac{V}{m} = 1{,}25 \cdot 10^{-4}\ \frac{V}{m};$$

2) Eyni qayda ilə $r=R_2$ olduqda (2)-dən:

$$E_2 = \frac{U}{R_2 \ln \frac{R_2}{R_1}} = \frac{450}{10 \cdot 10^2 \cdot 1{,}2} \cdot \frac{V}{m} = 3{,}75 \cdot 10^3\ \frac{V}{m};$$

3) Köynəklər arsındakı məsafəninortası üçün $r = \frac{R_1 + R_2}{2}$ -dır. (2)-dən:

$$E_{orta} = \frac{U}{\frac{R_1 + R_2}{2}\, ln \frac{R_2}{R_1}} = \frac{2 \cdot 450}{(3+10) \cdot 10^{-2} \cdot 1{,}2} \cdot \frac{V}{m} = 5{,}8 \cdot 10^3\ \frac{V}{m}$$

34. Katodla anod bu quruluşda silindrik kondensator əmələ gətirir (bax: məs.33-dəki şəkilə). Təcili Nyutonun ikinci qanunundan elektrona təsir edən qüvvənin ifadəsinə görə təyin edək: F=ma, F=eE;

$$a = \frac{e}{m} E \qquad (1)$$

Silindrik kondensatorun oxundan r məsafədə intensivliyin ifadəsindən (bax: məsələ 33-də (2) düsturu): $E = \dfrac{U}{r \ln \frac{R_2}{R_1}}$.

Bunu (1)-də yerinə yazaq:

$$a = \frac{e}{m} \cdot \frac{U}{r \ln \frac{R_2}{R_1}} = 1{,}76 \cdot 10^{11} \cdot \frac{91}{3{,}5 \cdot 10^{-3} \ln \dfrac{\frac{1}{2} \cdot 10 \cdot 10^{-3}}{\frac{1}{2} \cdot 0{,}1 \cdot 10^{-3}}} = 1 \cdot 10^{15} \frac{m}{s^2}$$

Təcil dəyişən olduğu üçün elektronun sürətinin qiymətini tapmaq üçün sahənin gördüyü işin, enerjinin saxlanması qanuna görə onun kinetik enerjisinə çevrilməsi prinsipindən istifadə edək. Kondensatorun oxundan r məsafədə elektrik sahəsinin potensialı:

$$U_r = \frac{q_1}{2\pi\varepsilon_0} \cdot \ln \frac{r}{R_1} \qquad (2)$$

Burada q_1-kondensatorun vahid uzunluğunun yüküdür:

$q_1 = \dfrac{2\pi\varepsilon_0 U}{ln \frac{R_2}{R_1}}$. Bunu (2)-də yerinə yazaq:

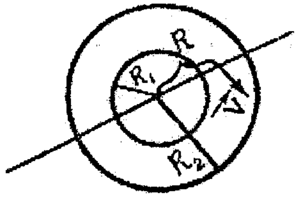
$$U_r = \frac{U ln\, r/R_1}{r\, ln \frac{R_2}{R_1}} = \frac{91 \cdot ln \dfrac{(3{,}5 + \frac{1}{2} 0{,}1) \cdot 10^{-3}}{\frac{1}{2} \cdot 0{,}1 \cdot 10^{-3}}}{ln \frac{10}{0{,}1}} = 84{,}17 (V)$$

Elektronun r məsafəsinə qədər hərəkəti zamanı görülən iş:

$A_r = eU_r = 1{,}6 \cdot 10^{-19} \cdot 84{,}17 C \cong 1{,}3 \cdot 10^{-17} C$. Bu iş elektronun $\dfrac{mv^2}{2}$ kinetik enerjisinə çevrilir. Onda:

$$\frac{mv^2}{2} = A_r, \quad v = \sqrt{\frac{A_r \cdot 2}{m}} = \sqrt{\frac{1{,}3 \cdot 10^{-17} \cdot 2}{9{,}11 \cdot 10^{-31}}} \cong 5 \cdot 10^6 (\frac{m}{s})$$

35. Kondensatorun oxuna perpendikulyar kəsiyi şəkil 91-də göstərilmişdir. Tutaq ki, elektron kondensatora onun oxundan olan R məsafəsində daxil olur. Elektrona kondensatorun sahəsi tərəfindən təsir edən qüvvə F=eE-dir. E-R məsafəsində sahənin intensivliyidir.



Şəkil 91.

$E = \dfrac{U}{R\ln\dfrac{R_2}{R_1}}$. Bunu nəzərə alsaq: $F = eU\Big/R\ln\dfrac{R_2}{R_1}$ (1)

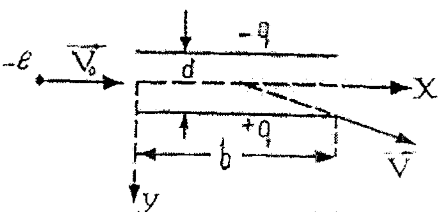
Elektronun çevrə boyunca hərəkət etməsi üçün ona mərkəzəqaçma qüvvəsi ($F_{m.q.}$) təsir etməlidir: $F_{m.q.} = \dfrac{mv^2}{R}$ (m-elektronun kütləsi, v-onun sürətidir). Elektrona sahə tərəfindən təsir edən qüvvə ədədi qiymətcə $F_{m.q.}$-yə bərabər olarsa, elektron çevrə boyunca hərəkət edər.

v-ni məsələnin şərtindən tapanq: $\dfrac{mv^2}{2} = eU_0$. Onda

$v = \sqrt{\dfrac{2eU_0}{m}}$. Bunu nəzərə alıb $F = F_{m.q.}$ şərtindən istifadə etsək, (1) və (2)-dən alanq:

$$U = 2U_0 \ln\frac{R_2}{R_1} \qquad (3)$$

36. Elektrona kondensatorun daxilində sabit $\vec{F} = eE$ qüvvəsi təsir edir. Bu qüvvə şəkil 92-də y oxu istiqamətində yönəldilmişdir. Ona görə elektronun sürətinin x komponenti sabit qalacaq ($v_x = v_0$), yalnız v_y komponenti dəyişəcək:



Şəkil 92.

$v_y = at$-, a-təcil, t-elektronun kondensatorun daxilində hərəkət etdiyi müddətdir: $t = \frac{b}{v_0}$.

a - təcilini Nyutonun ikinci qanuna görə tapaq:

$$a = \frac{F}{m} = \frac{eE}{m} = \frac{e}{m} \cdot \frac{U}{d}$$

(E-kondensatorun elektrik sahəsinin intensivliyi, U-lövhələr arasındakı gərginlikdir) v_y-i tapaq:

$$v_y = at = \frac{e}{m} \cdot \frac{U}{d} \cdot \frac{b}{v_0} \qquad (1)$$

Sürət vektorunu və onun modulunu tapaq:

$$\vec{v} = v_x \cdot \vec{i} + v_y \vec{j} = v_0 \cdot \vec{i} + \frac{e}{m} \cdot \frac{U}{d} \cdot \frac{b}{v_0} \cdot \vec{k} \qquad (2)$$

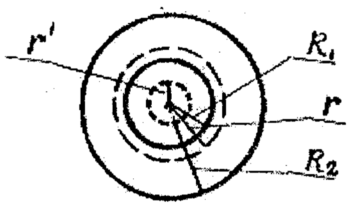
$$v = \sqrt{v_x^2 + v_y^2} = \sqrt{v_0^2 + \left(\frac{e}{m} \cdot \frac{U}{d} \cdot \frac{b}{v_0}\right)^2} =$$

$$= \sqrt{(4 \cdot 10^7)^2 + \left(1{,}76 \cdot 10^{11} \cdot \frac{40}{0{,}5 \cdot 10^{-2}} \cdot \frac{6 \cdot 10^{-2}}{4 \cdot 10^7}\right)^2} = 40{,}056 \cdot 10^6 \left(\frac{m}{c}\right);$$

Elektronun sürətinin dəyişməsini hesablayaq:

$$\Delta v = v - v_0 = (40{,}056 - 40) \cdot 10^6 \frac{m}{s} = 0{,}056 \cdot 10^6 \frac{m}{s} = 5{,}6 \cdot 10^4 \frac{m}{s}$$

37. Şəkil 93-da kondensatorun mərkəzindən keçən müstəvilərdən biri ilə kəsiyi göstərilmişdir. Köynəklərlə eyni mərkəzli ixtiyari r radiuslu ($R_1 < r < R_2$) bir kürə səthi cızaq.



Şəkil 93.

Bu səthə Qaus teoremini tətbiq etməklə kondensatorun daxilində (köynəklər arasında) sahənin induksiyasını (D) və intensivliyini (E) tapa bilərik:

İnduksiya seli:

$$\Phi = D \cdot S = D \cdot 4\pi r^2 \qquad (1)$$

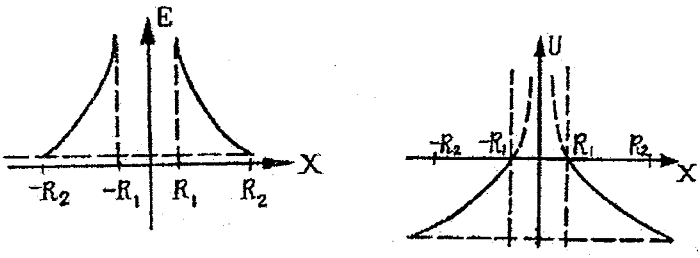
r radiuslu sferanın daxilindəki yüklərin cəmi daxili köynəyin +q yükünə bərabəridir. Onda: $D \cdot 4\pi r^2 = q$ və buradan:

$$D = \frac{q}{4\pi r^2} \text{ və } E = \frac{D}{\varepsilon_0} = \frac{q}{4\pi\varepsilon_0} \cdot \frac{1}{r^2} \qquad (2)$$

Qaus teoremini tətbiq etməklə birinci kürənin daxilində (məs; r' radiuslu sferanın daxilində yük olmadığı üçün onun səthindən keçən sel də sıfra bərabərdir) və ikinci kürənin xaricində sahənin intensivliyi sıfra bərabərdir.

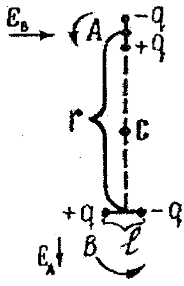
İntensivliyin (2) ifadəsindən stifadə edib, sahənin potensialını tapaq:

$$U = -\int_{R_1}^{r} E dr = \frac{q}{4\pi\varepsilon_0} \int_{R_1}^{r} \frac{dr}{r^2} = \frac{q}{4\pi\varepsilon_0} \cdot \left(\frac{1}{r} - \frac{1}{R_1}\right) \qquad (3)$$



Şəkil 94, a,b.

Şəkil 94, a və b-də xarici kürənin ixtiyari diametri boyunca (x oxu üzrə) E-nin və U-nun dəyişmə qrafiki verilmişdir.



Şəkil 95.

38. a) A dipolunun yüklərinə təsir edən qüvvələri B dipolunun sahəsinin A nöqtəsində yaratdığı intensivliyə görə tapanq (bax: məsələ 11-də (7) düsturu). A dipolu B dipolunun oxuna perpendikulyar olduğu üçün $\theta = \pi/2$ və cosθ=0-dır. Onda

B dipolunun A nöqtəsində intensivliyi:

$$\vec{E}_B = \frac{P \cdot \vec{n}}{4\pi\varepsilon_0 r^3} \qquad (1)$$

$\vec{n}$ – B molekulunun dipol momenti istiqamətində yönəlmiş vahid vektordur (şəkil 95-də sağdan sola). A dipolunun yüklərinə təsir edən qüvvələr: $\vec{F}_+ = q\vec{E}$ (soldan sağa), $\vec{F}_- = -q\vec{E}$ (sağdan sola), onların A dipolunun mərkəzinə görə yaratdığı momentlər isə belə olar: $M_+ = qE \cdot \frac{l}{2}$ (saat əqrəbinin əksinə fırlanma), $\vec{M}_- = -q\vec{E} \cdot \frac{l}{2} = qE \cdot \frac{l}{2} \cdot \vec{n}$ (saat əqrəbinin əksi istiqamətində). İkincidə də fırlanma saat əqrəbinin əksi istiqamətində olduğu üçün momentlərin istiqaməti eynidir. Onda yekun momentlər toplanacaq:

$$M_{yek} = M_+ + M_- = 2 \cdot qE\frac{l}{2} = PE = \frac{P^2}{4\pi\varepsilon_0 r^3} \qquad (2)$$

b) B dipolu A dipolunun oxu üzərindədir: $\vec{r} \parallel \vec{n}'$($\vec{n}'$ – A dipolunun momenti istiqamətində vahid vektordur). Onda θ=0 və cosθ=1-dir. Məsələ 11-dən:

$$E_A = \frac{2p}{4\pi\varepsilon_0 r^3}$$

Müsbət yükə təsir edən qüvvə yuxarıdan aşağı yönəlib və B dipolunun mərkəzinə görə saat əqrəbinin əksinə fırlanma momenti yaradır. Mənfi yükə təsir edən qüvvə aşağıdan yuxarı yönəlmişdir. Bu da B dipolunun mərkəzinə görə saat əqrəbinin əksinə fırlanma yaradır. Nəticədə momentlər toplanır və yekun moment belə olur:

$$M = M_+ + M_- = 2 \cdot qE\frac{l}{2} = \frac{2P^2}{4\pi\varepsilon_0 r^3} \qquad (3)$$

c) hər iki dipolun yükləri r məsafəsinin orta nöqtəsinə görə fırlanma momentinə malikdir. B dipolunun A dipolunun yüklərinə təsiri nəticəsində C nöqtəsinə görə yaratdığı moment:

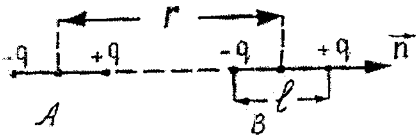
$-q \cdot E_B(\frac{r}{2} + \frac{l}{2}) + qE_B(\frac{r}{2} - \frac{l}{2}) = -qE_B l$ (saat əqrəbinin əksi istiqamətində), A dipolunun B dipolunun yüklərində C nöqtəsinə nəzərən yaratdığı moment (hər iki moment qiymətcə bərabər olub eyni istiqamətdə fırlanma yaradır):

$2\cdot qE_A\cdot\frac{l}{2}=qE_Al$ (saat əqrəbinin əksi istiqamətində), sistemə təsir edən yekun moment isə bunların cəminə bərabərdir:

$$M=qE_Bl+qE_Al=ql\left(\frac{P}{4\pi\varepsilon_0 r^3}+\frac{2p}{4\pi\varepsilon_0 r^3}\right)=\frac{3p^2}{4\pi\varepsilon_0 r^3},\quad M=\frac{3p^2}{4\pi\varepsilon_0 r^3} \qquad (4)$$

39. r>>l olduqda dipolun sahəsinin intensivliyi belə ifadə olunur (bax: məsələ 11, düstur(7)):

$$\vec{E}=\frac{P}{4\pi\varepsilon_0 r^3}\left(3\frac{\vec{r}}{r}\cos\theta-\vec{n}\right) \qquad (1)$$



Şəkil 96.

$\vec{n}$ -dipolun momenti istiqamətində vahid vektordur.

A dipoluna B dipolunun göstərdiyi təsir qüvvəsini hesablayaq. $\vec{r}$ vektoru $\vec{n}$-in əksinə yönəlmişdir, yəni $\vec{r}=-r\vec{n}$-dir (şəkil 96). $\theta=180^0$ və $\cos\theta=-1$. Onda A nöqtəsində (r məsafəsində) B dipolunun yaratdığı sahə üçün (1)-dən alarıq:

$$E=\frac{2p}{4\pi\varepsilon_0 r^3} \qquad (2)$$

$\vec{E},\vec{r}$ və $\vec{n}$ kollinear olduğu üçün düsturu skalyar şəkildə yazdıq.

B dipolunun A dipoluna göstərdiyi təsir qüvvəsi B dipolunun A dipolunun müsbət və mənfi yüklərinə göstərdiyi təsir qüvvələrinin cəminə bərabərdir:

$$F=E\left(r-\frac{l}{2}\right)\cdot q+E\left(r+\frac{l}{2}\right)\cdot(-q)=\frac{2pq}{4\pi\varepsilon_0}\left(\frac{1}{\left(r-\frac{l}{2}\right)^3}-\frac{1}{\left(r+\frac{l}{2}\right)^3}\right)=$$

$$=\frac{2pq}{4\pi\varepsilon_0}\cdot\frac{\left(r+\frac{l}{2}\right)^3-\left(r-\frac{l}{2}\right)^3}{\left[\left(r-\frac{l}{2}\right)\left(r+\frac{l}{2}\right)\right]^3}=\frac{2pq}{4\pi\varepsilon_0}\cdot\frac{r^3+3r^2\frac{l}{2}+3r\frac{l^2}{4}+\frac{l^3}{8}-r^3+3r^2\frac{l^2}{4}-3r\frac{l^2}{4}+\frac{l^3}{8}}{\left(r^2-\frac{l^2}{4}\right)^3}=$$

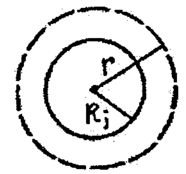
$$=\frac{2pq}{4\pi\varepsilon_0}\cdot\frac{3r^2l-\frac{l^3}{4}}{(r^2-\frac{l^2}{4})^3}\cong\frac{3\cdot 2pqlr^2}{4\pi\varepsilon_0 r^6}=\frac{6P^2}{4\pi\varepsilon_0 r^4},\quad F=\frac{6P^2}{4\pi\varepsilon_0 r^4}\qquad(3)$$

Bu qüvvənin istiqaməti $\vec{n}$- in istiqaməti ilə eynidir (soldan sağa yönəlmişdir). Əgər A dipolunun B dipoluna göstərdiyi təsir qüvvəsini hesablasaq, yenə də ədədi qiymət (3)-lə eyni, işarəcə isə əks olan qüvvə (sağdan sola istiqamətlənmiş) alarıq.

F-in ədədi qiymətini hesablayaq:

$$F=\frac{6p^2}{4\pi\varepsilon_0 r^4}=\frac{6\cdot(0{,}62\cdot10^{-29})^2\cdot N}{4\cdot3{,}14\cdot8{,}85\cdot10^{-12}(1\cdot10^{-8})^4}=2{,}1\cdot10^{-16}N;$$

40. Yüklənmiş yer kürəsinin sahəsinin intensivliyini Qaus teoremindən tapa bilərik. Bunun üçün onun ətrafına mərkəzi yerin mərkəzində olan r radiuslu kürə səthi çəkək (şəkil 97). Bu kürə səthindən keçən induksiya selini tapaq: $\Phi=4\pi r^2 D$. Qaus teoreminə görə bu sel Yer kürəsinin q yükünə bərabərdir: $4\pi r^2 D=q$, yəni



Şəkil 97.

$$D=\frac{q}{4\pi r^2}\text{ və }E=\frac{q}{4\pi\varepsilon_0}\cdot\frac{1}{r^2}.$$

Buradan: $q=4\pi\varepsilon_0 r^2 E$ (1)

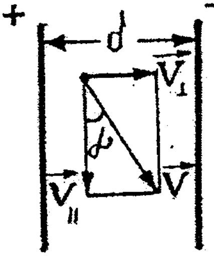
R-i Yerin radiusuna (R_j=3,37 $\cdot10^6$m) bərabər götürüb, (1)-dən q-nü hesablayaq:

$q=4\pi\varepsilon_0 r^2E=4\cdot3{,}14\cdot8{,}85\cdot10^{-12}\cdot(3{,}37\cdot10^6)^2\cdot(-130)=-5{,}9\cdot10^5$Kl

yəni bu halda Yer çox böyük mənfi yükə malik olar.

41. Lövhələrə gərginlik verildikdən sonra damcının sürəti lövhələrə perpendikulyar olan komponent ($\vec{v}_\perp$) əldə edir, onun lövhələrə paralel olan şaquli komponenti ($\vec{v}_{\parallel}$)isə dəyişməz qalır. Damcıya şaquli istiqamətdə təsir edən qüvvə mg-dir (nəticədə onu müqavimət qüvvəsi tarazlaşdırır). $v_{\parallel}$ bü qüvvə ilə mütənasibdir:

v_{11}=kmg (k-mütənasiblik əmsalıdır). Lövhələrə perpendikulyar istiqamətdə damcıya təsir edən qüvvə: $F = qE = q\frac{U}{d}$ -dir. (E-kondensatorun bircins sahəsinin intensivliyi, U-lövhələr arasındakı gərginlik, q-damcının yüküdür).



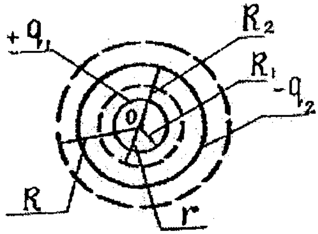
Şəkil 98.

Onda $v_\perp = kF = q\frac{U}{d}$

olar. Şəkil 98-dən: $\frac{v_\perp}{v_{11}} = tg\alpha$. Sürətin komponentlərinin ifadələrini burada yerinə yazdıqdan sonra q-nü belə tapanq:

$$q = \frac{mgd}{U}tg\alpha = \frac{10^{-12}\cdot 10\cdot 5\cdot 10^{-3}}{4\cdot 10^{2}}\cdot tg7^0 25' = 1,6\cdot 10^{-17}(Kl)$$

42. a) Radiusu $R_1<r<R_2$ və kürə ilə konsentrik olan köməkçi kürə səthi çəkək (şəkil 99). Qaus teoremindən istifadə edək:



Şəkil 99.

$$\Phi = D\cdot 4\pi r^2 = q_1, \mathrm{D} = \frac{q_1}{4\pi r^2}, \qquad (1)$$

$$\mathrm{E} = \frac{q_1}{4\pi\varepsilon_0 r^2}$$

$$E_1 = \frac{q_1}{4\pi\varepsilon_0 r^2} = \frac{2\cdot 10^{-8}}{4\cdot 3,14\cdot 8,85\cdot 10^{-12}(3\cdot 10^{-2})^2}\frac{V}{m} = 2\cdot 10^5\frac{V}{m};$$

b) radiusu $R>R_2$ olan bir kürə səthi çəkib, Qaus teoreminin tətbiqi ilə kürələrin xaricində sahənin intensivliyini tapaq:

$$D\cdot 4\pi R^2 = |q_1+q_2|;\ D = \frac{|q_1+q_2|}{4\pi R^2};\ E = \frac{|q_1+q_2|}{4\pi\varepsilon_0 R^2} \qquad (2)$$

$$E_2 = \frac{|q_1+q_2|}{4\pi\varepsilon_0 R^2} = \frac{|2\cdot 10^{-8} - 4\cdot 10^{-8}|}{4\cdot 3,14\cdot 8,85\cdot 10^{-12}(5\cdot 10^{-2})^2}\frac{V}{m} = 7,2\cdot 10^4\frac{V}{m};$$

43. Əvvəlcə eV-la coul arasında əlaqə yaradaq. Elektronun potensiallar fərqi 1B olan iki nöqtə arasında yerdəyişməsi zamanı görülən işi hesablayaq:

$A_0=e\cdot\Delta U=1{,}6\cdot10^{-19}C=1eV$

Tərifə görə $A_0=1$ eV –dur, yəni $1{,}6\cdot10^{-19}C$ bir elektron-volta bərabərdir. Onda $1C=\dfrac{1}{1{,}6\cdot10^{-19}}eV$ -dur.

a) Sürəti $v=10^3\dfrac{km}{s}=10^6\dfrac{m}{s}$ olan elektronun enerjisi:

$$\frac{mv^2}{2}=\frac{0{,}91\cdot10^{-30}\cdot10^{12}}{2}C=0{,}45\cdot10^{-18}C=\frac{0{,}45\cdot10^{-18}}{1{,}6\cdot10^{-19}}ev=2{,}8ev\text{ -}$$

dur.

b) İrəliləmə hərəkətində ixtiyari molekul üç sərbəstlik dərəcəsinə malikdir. Onun enerjisi $\dfrac{3}{2}kT$ -dir ($k=1{,}380\cdot10^{-23}\dfrac{C}{K}$ –Bolsman sabitidir):

$$\frac{3}{2}KT=\frac{3}{2}\cdot1{,}380\cdot10^{-23}\cdot273\frac{1}{1{,}6\cdot10^{-19}}eV=3{,}5\cdot10^{-2}eV$$

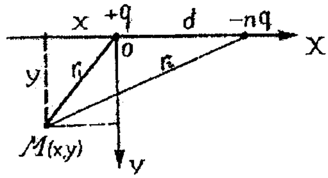
c) Azot molekulunun yerin səthindən sonsuzluğa (günəşin qravitasiya sahəsini nəzərə almasaq) getməsi üçün onun başlanğıc sürəti heç olmasa ikinci kosmik sürətə

$$(v_2=v_1\sqrt{2},\ v_1=7{,}9\cdot10^3\frac{m}{s}\approx8\cdot10^3\frac{m}{s},$$

v_1 birinci, v_2-ikinci kosmik sürətdir) bərabər olmaldır. Molekulun enerjisi $\dfrac{mv_2^2}{2}$ -olar. Burada m- bir azot molekulunun kütləsidir. Onu azotun molyar kütləsinə ($\mu=0{,}028\dfrac{kq}{mol}$) görə taparıq: $m=\dfrac{\mu}{N}$ (N-Avoqadro ədədidir). Molekulun başlanğıc enerjisini hesablayaq:

$$\frac{mV_2^2}{2}=\frac{\dfrac{0{,}028(\sqrt{2}\cdot8\cdot10^3)^2}{6{,}023\cdot10^{26}}}{2}C=\frac{4{,}65\cdot10^{-26}}{2}(11{,}1)^2\cdot10^6\cdot\frac{1}{1{,}6\cdot10^{-19}}=18eV$$

44. Koordinat başlanğıcını kiçik yük olan nöqtədə seçək və x oxunu yükləri birləşdirən düz xətt boyunca böyük yükə doğru yönəldək (şəkil 100). xoy müstəvisi üzərində kiçik yükdən hesabladıqda böyük yükün əks tərəfində hər hansı M(x,y) nöqtəsi götürək və tələb edək ki, bu nöqtədə yüklərin potensiallarının cəmi sıfra bərabər olsun. M nöqtəsi üçün hər iki nöqtəvi yükün potensialını yazaq:



Şəkil 100.

$$U_1 = \frac{q_1}{4\pi\varepsilon_0}\cdot\frac{1}{r_1} = \frac{q_1}{4\pi\varepsilon_0}\cdot\frac{1}{\sqrt{x^2+y^2}} \qquad (1)$$

$$U_2 = \frac{q_2}{4\pi\varepsilon_0}\cdot\frac{1}{r_2} = \frac{nq_1}{4\pi\varepsilon_0}\cdot\frac{1}{\sqrt{(d+x)^2+y^2}} \qquad (2)$$

M nöqtəsinin potensialı sıfra bərabər olan ekvipotensial səthin üzərində olması üçün $U_1+U_2=0$ olmaldır:

$$\frac{q_1}{4\pi\varepsilon_0}\cdot\frac{1}{\sqrt{x^2+y^2}} - \frac{nq_1}{4\pi\varepsilon_0}\cdot\frac{1}{\sqrt{(d+x)^2+y^2}} = 0$$

$$\frac{1}{\sqrt{x^2+y^2}} = \frac{n}{\sqrt{(d+x)^2+y^2}}$$

$$n^2(x^2+y^2)=(d+x)^2+y^2$$

Buradan alarıq:

$$(x-\frac{d}{n^2-1})^2+y^2=(\frac{nd}{n^2-1})^2 \quad (3)$$

Bu, U=0 olan ekvipotensial səthin xoy müstəvisi ilə kəsişməsindən alınan çevrə tənliyidir. O, sferik səthin böyük dairəsi üzrə kəsiyidir. Bu sferanın mərkəzi $x=-\frac{d}{n^2-1}$ nöqtəsində, radiusu isə

$R=\frac{nd}{n^2-1}$ -dir.

45. Dipolun oxunun üzərində onun intensivliyi belə ifadə olunur:

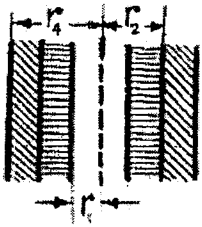
$E = \frac{2p}{4\pi\varepsilon_0} \cdot \frac{1}{r^3}$, r-dipolun mərkəzindən hesablanan radius vektordur.

r = d məsafədə nöqtəvi q yükünə təsir edən qüvvə: F=qE-dir. E-nin qiymətini yerinə yazsaq alarıq:

$$F = \frac{2pq}{4\pi\varepsilon_0 d^3} \qquad (1)$$

F-in istiqaməti q-nün işarəsindən və onun dipolun hansı (müsbət və ya mənfi yük olan) tərəfində yerləşməsindən asılıdır.

46. a) Silindrik kondensatorun (şəkil 101) daxilində sahənin intensivliyi belə ifadə olunur:



Şəkil 101.

$$E = \frac{q_1}{2\pi\varepsilon_0 \varepsilon r} \qquad (1)$$

q_1-silindrin vahid uzunluğunun yükü, r-silindrin oxundan olan məsafədir. Silindrin oxundan uzaqlaşdıqca sahənin intensivliyi kiçilir. Hər dielektrik təbəqəsində deşilmə intensivliyin ən böyük qiyməti olduğu yerdə baş verir. Birinci təbəqədə E-nin ən böyük qiyməti r_1məsafəsində, ikinci təbəqədə r_2 məsafəsində olacaq. E-nin bu qiymətlərini yazaq:

$$E_{1\max} = \frac{q_1}{2\pi\varepsilon_0 \varepsilon r_1}, \quad E_{2\max} = \frac{q_1}{4\pi\varepsilon_0 \varepsilon_2 r_2} \qquad (2)$$

Buradan: $$E_{1\max} = E_{2\max} \cdot \frac{\varepsilon_2 r_2}{\varepsilon_1 r_1} \qquad (3)$$

Tutaq ki, şüşə təbəqədə maksimum intensivlik deşilmə qiymətinə malikdir. Onda:

$$E_{1\max} = 100 \cdot \frac{7 \cdot 2{,}3}{4 \cdot 2} \frac{kV}{sm} = 201 \frac{kV}{sm}$$ (kağız deşilmişdir).

Kağızın $E_1 = 120 \frac{kV}{sm}$ deşilmə qiymətində şüşə təbəqədə (3)-dən $E_2 = 60 \frac{kV}{sm}$ alarıq.

Köynəklər arasındakı gərginliyi tapaq. Birinci təbəqədə potensial düşgüsü:

$$U_1 = \frac{q_1}{2\pi\varepsilon_0\varepsilon_1}\ln\frac{r_2}{r_1} \qquad (4)$$

(1) ifadəsini kondensatorun oxundan r_1 məsafədə olan nöqtələr (E_{1max}) üçün yazaq: $E_{1\max} = \frac{q_1}{2\pi\varepsilon_0\varepsilon_1}\cdot\frac{1}{r_1}$. Buradan $q_1=2\pi\varepsilon_0\varepsilon_1 r_1 E_{1max}$. Bunu (4)-də yerinə yazaq:

$$U_1 = \frac{2\pi\varepsilon_0\varepsilon_1 E_{1\max}\cdot r_1}{2\pi\varepsilon_0\varepsilon_1}\cdot\ln\frac{r_2}{r_1} = r_1 E_{1\max}\ln\frac{r_2}{r_1};$$

U_1-i hesablayaq:

$$U_1 = 2\cdot 120\cdot\ln\frac{2{,}3}{2}kV = 33{,}6kV$$

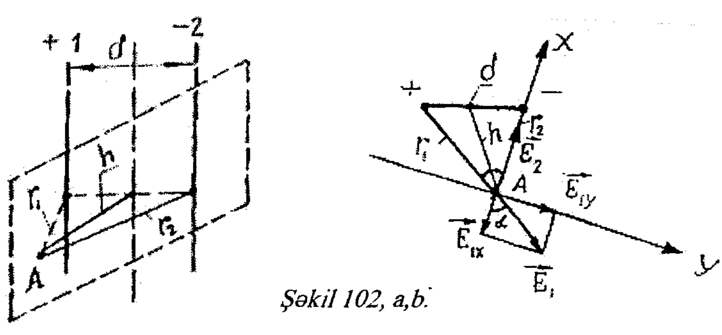
Eyni qayda ilə ikinci təbəqədə potensial düşgüsünü taparıq:

$$U_2 = r_3 E_{2max}\cdot ln\frac{r_4}{r_3} = 2{,}3\cdot 60 ln\frac{2{,}5}{2{,}3}kV = 11{,}7kV$$

Kondensatorun köynəkləri arasındakı ümumi gərginlik: $U=U_1+U_2=(33{,}6+11{,}7)kV\approx 45V$ olar.

b) Məsələ yenə də həmin qayda ilə həll olunur, təkcə ε_1 –lə ε_2-yerini dəyişir. Bu hal üçün də əvvəlcə kağız təbəqə 48 kB gərginlikdə deşiləcək.

47. Şəkil 102-də məftillərin simmetriya müstəvisi üzərində məftillərdən keçən müstəvidən ixtiyari h məsafəsində bir A nöqtəsi götürülmüşdür.



Şəkil 102, a,b.

A nöqtəsindən 1 və 2 məftilinə qədər olan məsafə r_1 və r_2-dir. Qurmaya görə $r_1 = r_2 = r$ -dir. Qaus teoremindən istifadə edib, 1 və 2 məftillərinin ayrı-ayrılıqda A nöqtəsində yaratdığı E_1 və E_2 intensivliklərini tapaq.

Bunun üçün məftillərin ətrafında hündürlükləri l və radiusları uyğun olaraq r_1 və r_2 olan silindr səthləri çızaq (şəkildə göstərilməmişdir). Birinci silindrin səthindən keçən selə görə E_1-i, 2-ci silindrin səthindən keçən selə görə E_2-ni taparıq:

$$2\pi\, r_1 l \cdot D_1 = l\lambda; D_1 = \frac{\lambda}{2\pi\, r_1} \text{ və}$$

$$E_1 = \frac{\lambda}{2\pi\, \varepsilon_0 r_1} \qquad (1)$$

Eyni qayda ilə:

$$E_2 = \frac{\lambda}{2\pi\, \varepsilon_0 r_2} \qquad (2)$$

E_1 və E_2-nin istiqaməti şəkil 45b-də göstərilmişdir. Əvəzləyici $\vec{E}$ vektorunu tapmaq üçün əvvəlcə $\vec{E}_1$ və $\vec{E}_2$ -nin x və y toplananlarını tapaq. Bundan ötrü A nöqtəsini koordinat başlanğıcı seçək və *x* oxunu $\vec{E}_2$ vektoru istiqamətdə, y oxunu isə ona perpendikulyar yönəldək. $\vec{E}_1$ və $\vec{E}_2$ -nin komponentlərini şəkildən tapaq:

$$E_{1x} = E_1 \cos\alpha,\ E_{1y} = E_1 \sin\alpha;\ E_{2x} = E_2; E_{2y} = 0 \qquad (3)$$

(3)-dən və şəkil 45b-dən istifadə edib yekun $\vec{E}$ vektorunu yazaq:

$$\vec{E} = (E_{2x} - E_{1x})\vec{i} + E_{1y}\vec{j} \qquad (4)$$

Buradan:

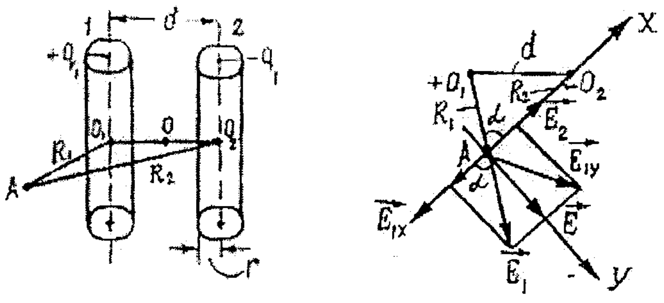
$$E = \sqrt{(E_{2x} - E_{1x})^2 + E_{1y}^2} = \sqrt{(E_2 - E_1 \cos\alpha)^2 + E_1^2 \sin^2\alpha} =$$
$$= \frac{\lambda}{2\pi\varepsilon_0 r}\sqrt{(1 - \cos^2\alpha)^2 + \sin^2\alpha} = \frac{\lambda}{2\pi\varepsilon_0 r} \cdot 2\sin\frac{\alpha}{2} \qquad (5)$$

Şəkil 102, b-dən $\sin\frac{\alpha}{2} = \frac{d/2}{r}; \mathrm{r} = \sqrt{\frac{\mathrm{d}^2}{4} + h^2} = \frac{1}{2}\sqrt{d^2 + 4h^2}$

Bunları (5)-də nəzərə alaq:

$$E=\frac{\lambda}{2\pi\varepsilon_0}\cdot\frac{1}{r}\cdot\frac{d}{r}=\frac{2\pi d}{\pi\varepsilon_0(d^2+4h^2)};\ E=\frac{2\lambda}{\pi\varepsilon_0}\cdot\frac{d}{(d^2+4h^2)} \tag{6}$$

48. a) Məftillər silindr şəklində olduğu üçün onların sahəsini Qaus teoreminə görə təyin edə bilərik. O nöqtəsində (şəkil 103,a) məftillərin yaratdığı intensivlik eyni istiqamətlidir (soldan sağa O_1O_2 üzrə). Ona görə onların modulunu toplasaq yekun intensivliyin qiymətini alarıq:



Şəkil 103, a,b.

$$E=E_1+E_2=\frac{q}{2\pi\varepsilon_0}\cdot\frac{1}{d/2}+\frac{q}{2\pi\varepsilon_0}\cdot\frac{1}{d/2}=2\cdot\frac{q_l}{\pi\varepsilon_0 d} \tag{1}$$

q_1 – silindrin vahid uzunluğuna düşən yükdür. Onu yüklü silindrin potensialının ifadəsindən tapa bilərik (bax: məs. 49).

$$U=\frac{q_1}{\pi\varepsilon_0}\ln\frac{d-r}{r} \tag{2}$$

Buradan:

$$q_l=\frac{\pi\varepsilon_0 U}{\ln\frac{d-r}{r}} \tag{3}$$

(3)-ü (1)-də yerinə yazsaq, O nöqtəsində məftillərin yaratdığı intensivliyin ifadəsini alarıq:

$$E=2\cdot\frac{1}{\pi\varepsilon_0 d}\cdot\frac{\pi\varepsilon_0 U}{\ln\frac{d-r}{r}}=\frac{2U}{d\ln\frac{d-r}{r}} \tag{4}$$

$$E = \frac{2 \cdot 1500}{15 \cdot 10^{-2} \ln \frac{15 - 0,1}{0,1}} \frac{V}{m} = 0,4 \frac{V}{m}$$

b) A nöqtəsində məftillərin hər birinin yaratdığı sahənin intensivliyini Qaus teoreminə görə tapaq və onların vektorlarını toplayaq.
A nöqtəsində birinci məftilin yaratdığı intensivlik:

$$E_1 = \frac{q_1}{2\pi\varepsilon_0} \cdot \frac{1}{R_1}, \tag{5}$$

ikinci məftilin yaratdığı intensivlik:

$$E_2 = \frac{q_1}{2\pi\varepsilon_0} \cdot \frac{1}{R_2} \tag{6}$$

olar.
Şəkil 103 b-də intensivlik vektorlarının istiqaməti və onların x və y oxu üzrə proyeksiyaları göstərilmişdir. Koordinat başlanğıcını A nöqtəsində və x oxunu $\vec{E}_2$ vektoru istiqamətdə götürmüşük. Şəkildən $\vec{E}_1$ və $\vec{E}_2$ -nin komponentlərini tapaq:

$$E_{1x} = E_1 \cdot \cos\alpha; E_{1y} = E_1 \sin\alpha; E_{2x} = E_2; E_{2y} = 0 \tag{7}$$

Yekun intensivlik vektorunu yaza bilərik:

$$\vec{E} = (E_{2x} - E_{1x})\vec{i} + (E_{iy} + 0)\vec{j} = (E_2 - E_1\cos\alpha)\vec{i} + E_1 \sin\alpha \cdot \vec{j} \tag{8}$$

Buradan:

$$E = \sqrt{(E_2 - E_1\cos\alpha)^2 + E_1^2 \sin^2\alpha} = \sqrt{E_1^2 - 2E_1E_2\cos\alpha + E_2^2} =$$

$$= \frac{q_1}{2\pi q_0}\sqrt{\frac{1}{R_1^2} - \frac{2\cos\alpha}{R_1R_2} + \frac{1}{R_2^2}} = \frac{q_1}{2\pi q_0} \cdot \frac{1}{R_1R_2}\sqrt{R_2^2 - 2R_1R_2\cos\alpha + R_1^2} =$$

$$= \frac{q_1}{2\pi q_0} \cdot \frac{1}{R_1R_2}\sqrt{d^2} = \frac{q_1}{2\pi q_0} \cdot \frac{d}{R_1R_2} = \frac{Ud}{2R_1R_2 \ln\frac{d-r}{r}}$$

$$E = \frac{Ud}{2R_1R_2 \ln\frac{d-r}{r}} \tag{9}$$

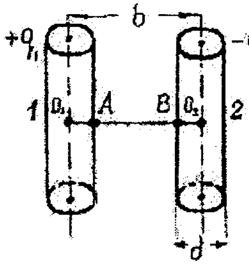
Burada kosinuslar teoremindən və q_i –in (3) ifadəsindən istifadə etdik. E-nin ədədi qiymətini hesablayaq:

$$E=\frac{1500\cdot 15\cdot 10^{-2}}{2\cdot 30\cdot 10^{-2}\cdot 25\cdot 10^{-2}\ln\frac{15-0,1}{0,1}}\frac{V}{m}=0,3\cdot 10^{3}\frac{V}{m}=$$

$$=3\cdot 10^{2}\frac{V}{m}=3\frac{V}{m},$$

49. Tutumu tapmaq üçün onun tərifindən istifadə edək:

$$C_1=\frac{q_1}{U} \qquad (1)$$



Şəkil 104

Burada q_1 – məftillərdən birinin vahid uzunluğuna düşən yük, U – onlar arasındakı potensiallar fərqidir.

Məlumdur ki, yüklənmiş keçirici cismin daxilində sahə sıfra bərabərdir və onun bütün həcmi və səthi eyni potensiala malikdir. Ona görə də məftillərin daxilində hər hansı yük hərəkət etdikdə heç bir iş görülmür. Məftillər silindr şəklindədir. Onlar arasındakı potensiallar fərqi müsbət vahid yükün bir məftildən digərinə hərəkəti zamanı hər iki məftilin elektrik sahəsinin gördüyü işlərin cəminə bərabərdir.

Bu işi hesablayaq. Tutaq ki, sınaq yükü A nöqtəsindən B nöqtəsinə doğru hərəkət edir (şəkil 104). Birinci və ikinci məftilin cari r nöqtəsində yaratdığı intensivliyin ifadəsini (r-i O_1-dən hesablayırıq).

$$E_1=\frac{q_1}{2\pi\varepsilon_0\varepsilon}\cdot\frac{1}{r},\quad E_2=\frac{q_1}{2\pi\varepsilon_0\varepsilon}\cdot\frac{1}{b-r} \qquad (1)$$

ε - havanın dielektrik nüfuzluğudur.

$$d=Fdr=1\cdot(E_1+E_2)dr=\frac{q_1}{2\pi\varepsilon_0 r}\left(\frac{1}{r}+\frac{1}{b-r}\right)dr \qquad (2)$$

U-nu tapmaq üçün (2)-ni d/2-dən (A nöqtəsindən) b-d/2-yə (B nöqtəsinə) qədər inteqrallayaq:

$$U=\int\limits_{\frac{d}{2}}^{b-\frac{d}{2}}\frac{q_1}{2\pi\varepsilon_0\varepsilon}\left(\frac{1}{r}+\frac{1}{b-r}\right)dr=\frac{q_1}{2\pi\varepsilon_0\varepsilon}\int\limits_{\frac{d}{2}}^{b-\frac{d}{2}}\left(\frac{1}{r}+\frac{1}{b-r}\right)dr=$$

$$=\frac{q_1}{2\pi\varepsilon_0\varepsilon}[\ln r-\ln(в-r)\Big]_{d/2}^{в-d/2}=\frac{q_1}{2\pi\varepsilon_0\varepsilon}[\ln(в-\frac{d}{2})-\ln\frac{d}{2}-$$

$$-\ln(в-(в-\frac{d}{2}))+\ln(в-\frac{d}{2})]=\frac{q_1}{2\pi\varepsilon_0\varepsilon}\cdot 2(\ln(в-\frac{d}{2})-\ln\frac{d}{2})=$$

$$=\frac{q_1}{\pi\varepsilon_0\varepsilon}\ln\frac{2в-d}{d}$$

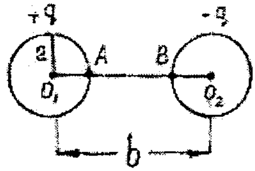
$$U=\frac{q_1}{\pi\varepsilon_0}\ln\frac{2в-d}{d} \qquad (3)$$

(3)-ü (1)-də yerinə yazsaq, alarıq:

$$C_1=\frac{\pi\varepsilon_0}{\ln\dfrac{2в-d}{d}} \qquad (4)$$

$$C_1=\frac{3{,}14\cdot 8{,}85\cdot 10^{-12}}{\ln\dfrac{(2\cdot 10{,}0-1)10^{-3}}{1\cdot 10^{-3}}}\frac{F}{m}=9{,}6\cdot 10^{-12}\frac{F}{m}=9{,}6\frac{pF}{m}$$

50. a) Məsələ 49-da olduğu kimi həll edilir, yalnız intensivliklərin ifadələri fərqlidir. Əvvəlcə yüklü kürənin intensivliyinin düsturundan istifadə edib kürəciklər arasındakı potensiallar fərqini tapaq. Cari nöqtənin radius-vektorunu O_1-dən (birinci kürənin mərkəzindən) hesablayaq (şəkil 105):



Şəkil 105.

$$E_1=\frac{q}{4\pi\varepsilon_0\varepsilon}\cdot\frac{1}{r^2},\quad E_2=\frac{q}{4\pi\varepsilon_0\varepsilon}\cdot\frac{1}{(b-r)^2}$$

$$U=\int_a^{в-a}(E_1+E_2)dr=\frac{q}{4\pi\varepsilon_0\varepsilon}\int_a^{в-a}\left(\frac{1}{r^2}+\frac{1}{(в-r)^2}\right)dr=$$

$$=\frac{q}{4\pi\varepsilon_0\varepsilon}\left(-\frac{1}{r}+\frac{1}{(в-r)}\right)\Bigg|_a^{в-a}=\frac{q}{4\pi\varepsilon_0\varepsilon}\left(-\frac{1}{в-a}+\frac{1}{a}+\frac{1}{в-в+a}-\frac{1}{в-a}\right)=$$

$$=\frac{q}{2\pi\varepsilon_0\varepsilon}\left(\frac{1}{a}-\frac{1}{в-a}\right)=\frac{q}{2\pi\varepsilon_0\varepsilon}\cdot\frac{в-2a}{a(в-a)};$$

$$U=\frac{q}{2\pi\varepsilon_0\varepsilon}\cdot\frac{в-2a}{a(в-a)} \qquad (2)$$

Kondensatorun tutumunu hesablayaq:

$$C=\frac{q}{U}=2\pi\varepsilon_0\varepsilon\cdot\frac{a(в-a)}{в-2a} \qquad (3)$$

b) b>>a halını araşdırmaq üçün (3) ifadəsində bəzi muəyyən dəyişiklik aparaq:

$$C=2\pi\varepsilon_0\varepsilon\cdot\frac{a(b-a)}{b-2a}=2\pi\varepsilon_0\varepsilon\, a\cdot\frac{1-\bar{\bar{a}}/в}{1-2\frac{a}{в}}$$

$\dfrac{1}{1-2\frac{a}{b}}\cong 1+2\dfrac{a}{b}$ (sıraya ayırıb, yüksək tərtibdən kiçik hədləri atdıq).

Bunu (4)-də istifadə edək:

$$C=2\pi\varepsilon_0\varepsilon\, a\left(1-\frac{в}{a}\right)\left(1+2\frac{в}{a}\right)\approx 2\pi\varepsilon_0\varepsilon\, a=\frac{C'}{2}$$

c) C' - radiusu a olan izolə edilmiş kürənin tutumudur.

$$C=2\pi\varepsilon_0\varepsilon\cdot\frac{a(в-a)}{в-2a}=2\cdot 3{,}14\cdot 8{,}85\cdot 10^{-12}\cdot 1{,}00\,x\cdot$$

$$\cdot\frac{10{,}0\cdot 10^{-3}(300-10{,}0)\cdot 10^{-3}}{(300-2\cdot 10{,}0)\cdot 10^{-3}}F=0{,}58\cdot 10^{-12}F=0{,}58\,pF$$

51. Nöqtəvi q yükünün qüvvə xətləri bütün istiqamətlərdə sonsuzluğa qədər yayılır. Onun yaxınlığında metal cisim olduqda (şəkil 106) onun +q yükü tərəfdə əks işarəli (-q′) yük, əks tərəfdə isə onunla eyni adlı yük (+q′)

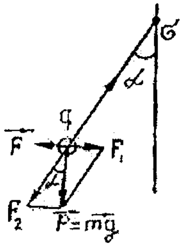
Şəkil 106.

induksiyalanır. Metal cisim +q yükünü hər tərəfdən əhatə etmədiyi üçün onun bütün qüvvə xətləri –q′ yükündə qurtara bilməz. Onun qüvvə xətlərinin bir qismi sonsuzluqda və ya başqa cisimlərdə qurtaracaq. Bu isə o deməkdir ki, + q > |q′|.

52. Lövhənin ölçüləri böyük olduğu üçün onun yaratdığı sahənin intensivliyi belə ifadə olunar:

$$E = \frac{\sigma}{2\varepsilon_0}$$

Lövhə tərəfindən küreciyə təsir edən qüvvə: $F = qE = \frac{q\sigma}{2\varepsilon_0}$-dır.



Şəkil 107.

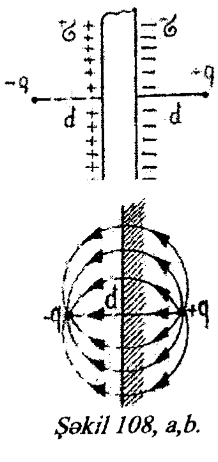
Küreciyə təsir edən ağırlıq qüvvəsini $(\vec{P})$, şəkil 107-də göstərildiyi kimi, elə iki toplanana ayıraq ki, onlardan biri $(\vec{F}_1)$ kürənin lövhə tərəfindən itələnmə qüvvəsini, digəri $(\vec{F}_2)$ isə sapın gərilmə qüvvəsini tarazlasın.

$F_1 = mgtg\alpha; F_1 = F$ və ya $mgtg\alpha = qE$.

Buradan:

$$q = \frac{2\varepsilon_0 mgtg\,\alpha}{\sigma} = \frac{2\cdot 8{,}85\cdot 10^{-12}\cdot 1\cdot 10^{-3}\cdot 10\cdot 0{,}577}{3{,}3\cdot 10^{-5}} = 3{,}1\cdot 10^{-9}\ Kl$$

53. Nöqtəvi +q yükünün təsiri ilə keçirici divarın (və ya lövhənin) +q yükü tərəfdəki üzündə mənfi yüklər, digər üzündə müsbət yüklər induksiyalanacaq (şəkil 108 a). Divarın səthində yüklər elə paylanacaq ki, onun daxilində sahənin intensivliyi sıfra bərabər olsun. Xəyalımızda +q yükünə divara nəzərən simmetrik olan nöqtəvi –q yükü yerləşdirək. – q ilə induksiyalanmış +σ yüklərinin yaratdığı sahə +q ilə - σ-nın yaratdığı sahəyə təsir etmir, özü də lövhənin daxilində yenə də sahənin intensivliyi sıfra bərabər olur.



Şəkil 108, a,b.

Xəyalımızda lövhənin üzlərini bir-birinə yaxınlaşdırsaq onlar üst-üstə düşdükdə onların sahəsi yox olacaq və yalnız +q və –q-nün yaratdığı sahə qalacaq. Bu isə aralarındakı məsafə 2d olan qiymətcə bərabər, işarəcə müxtəlif iki nöqtəvi yükün sahəsidir (şəkil 108, b).

Divar yerlə birləşdirildikdə induksiyalanan +σ yükləri yerə ötürüləcək, lövhənin daxilində yenə də sahə sıfır olacaq. Belə sistemin elektrik sahəsini yenə də +q yükünün və müstəvinin səthinə görə onun güzgü əksi olan –q yükünün sahəsi kimi təsvir edə bilərik. Məhz bu cür yüklərin yaratdığı sahə onların mərkəzlərini birləşdirən parçanın ortasından keçən perpendikulyar müstəvinin üzərində sıfra bərabərdir. Deməli, +q yükü ilə onun sonsuz keçirici divarda induksiyaladığı yüklərin qarşılıqlı təsirini, aralarındakı məsafə 2 d olan nöqtəvi +q və –q yüklərinin qarşılıqlı təsiri kimi ifadə edə bilərik. Burada –q yükünə +q yükünün xəyalı, bu cür yüklərin tətbiqi ilə istifadə olunan üsula isə xəyal üsulu deyilir. Artıq qarşılıqlı təsir qüvvəsini yaza bilərik:

$$F=\frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\cdot\frac{q^2}{(2d)^2}=\frac{1}{4\cdot 3{,}14\cdot 8{,}85\cdot 10^{-12}}\cdot\frac{10^{-16}}{4\cdot 9\cdot 10^{-4}}H=2{,}5N$$

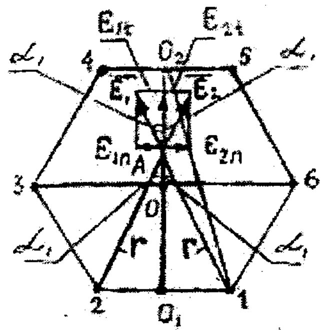
54. R ≥ r məsafələr üçün yüklü kürənin intensivliyi belə ifadə olunur:

$$E=\frac{q}{4\pi\varepsilon_0}\cdot\frac{1}{R^2}$$

R = r üçün düsturdan q-nü tapaq:

$$q=4\pi\varepsilon_0 rE=4\cdot 3{,}14\cdot 8{,}85\cdot 10^{-12}\cdot 15^2\cdot 10^{-4}\cdot 3\cdot 10^6 Kl=7{,}5\cdot 10^{-6}Kl$$

55. a) Düzgün altıbucaqlının təpə nöqtələrini nömrələyək (şəkil 109). q_1 yükünün hərəkət etməli olduğu OO_2 yolunun ixtiyari A nöqtəsində 1 və 2 yüklərinin intensivlik vektorları ($\vec{E}_1$ və $\vec{E}_2$) və onların OO_1-ə paralel və perpendikulyar istiqamətlərdə toplananları göstərilmişdir. E_{1n} və E_{2n} hərəkət istiqamətinə perpendikulyar olduğu



Şəkil 109.

üçün q_1E_{1n} və q_1E_{2n} qüvvələrinin gördüyü iş sıfra bərabərdir. Məsələnin simmetriyasından və şəkildən aydındır ki,

$$E_{1t} = E_{2t} = E_1 \cos\alpha_1 = E_2 \cos\alpha_1, \alpha_1$$

1-A və ya 2-A istiqamətlərinin (r-radius-vektorunun) hərəkət is'iqaməti ilə əmələ gətirdiyi bucaqdır. $\cos\alpha_1$-i r-lə ifadə edək:

$$\cos\alpha_1 = \frac{O_1A}{r}, O_1A = \sqrt{r^2 - \frac{a^2}{4}}; \cos\alpha_1 = \frac{\sqrt{r^2 - a^2/4}}{r} \qquad (1)$$

Nöqtəvi yükün yaratdığı sahənin intensivliyinin ifadəsindən və burada verilən məlumatlardan istifadə edib, q_1 yükünün 1 yükünün sahəsində OO_2 məsafəsində hərəkəti zamanı görülən işi hesablayaq:

$$A_1 = \int_{r_1}^{r_2} q_1 E_{1t} dr = \int_{r_1}^{r_2} q_1 E_1 \cos\alpha_1 dr = \int_{r_1}^{r_2} q_1 \cdot \frac{q}{4\pi\varepsilon_0 r^2} \cdot \frac{\sqrt{r^2 - \frac{a^2}{4}}}{r} dr = \qquad (2)$$

$$= \frac{q_1 q}{4\pi\varepsilon_0} \int_{r_1}^{r_2} \frac{\sqrt{r^2 - \frac{a^2}{4}}}{r^3} dr$$

r_1 və r_2 inteqrallama sərhədlərinin ədədi qiymətlərini müəyyən edək. Başlanğıcda radius-vektor 1 - O parçasına bərabərdir. Bu parça düzgün altıbucaqlının tərəfinə bərabərdir, yəni r_1 = a-dır. Sonda radius-vektor 1- O_2 vəziyyətini alır. Deməli $r_2 = \overline{(1-O_2)}$. $O_1 1 O_2$ üçbucağından:

$$r_2 = \sqrt{(2O_1O)^2 + \frac{a^2}{4}} = \sqrt{4(a^2 - \frac{a^2}{4}) + \frac{a^2}{4}} = \frac{a}{2}\sqrt{13} \qquad (3)$$

(2) - dəki inteqralı J_1-lə işarə edib, onu ayrıca hesablayaq. Bunun üçün belə əvəzetmə aparaq:

$$\left.\begin{aligned} r &= \frac{a}{2}\sec t \\ dr &= -\frac{a}{2} \cdot \frac{\cos t}{\sin^2 t} dt \end{aligned}\right\} \qquad (4)$$

$$J_1 = \int_{r_1}^{r_2} \frac{\sqrt{r^2 - \frac{a^2}{2}}}{r^3} dr = -\int_{t_1}^{t_2} \frac{\sqrt{\frac{a^2}{4}\sec^2 t - \frac{a^2}{4}}}{\frac{a^3}{8}\sec^3 t} \cdot \frac{a}{2} \cdot \frac{\cos t}{\sin^2 t} dt \qquad (5)$$

Burada t_1 və t_2 (4)-dən təyin olunan yeni inteqrallama sərhədləridir. Onları tapaq:
(4)-dən:

$$\left.\begin{array}{l} t = arc\sin\dfrac{a}{2r}, r = a \text{ olduqda } t_1 = \arcsin\dfrac{1}{2} = 30^0 \\ \qquad r = \dfrac{a\sqrt{11}}{2} \text{ olduqda } \quad t_2 = \arcsin\dfrac{1}{\sqrt{11}} = 17^0 40' \end{array}\right\} \qquad (6)$$

(5)-də bəzi sadələşdirmə aparıb (6) inteqrallama sərhədlərindən istifadə edərək inteqralı açaq:

$$J_1 = -\frac{2}{a}\int_{t_1}^{t_2}\cos^2 tdt = -\frac{2}{a}\int_{t_1}^{t_2}\frac{1+\cos t}{2}dt = -\frac{1}{a}\left(t + \frac{1}{2}\sin 2t\right)\Big|_{t_1}^{t_2} =$$

$$= -\frac{1}{a}\left[\left(17^0 40^1 - 30^0\right) + \frac{1}{2}\left(\xi i 35^0 20^1 - \sin 60^0\right)\right] = \qquad (7)$$

$$= -\frac{1}{a}(-12^0 20' - 0{,}144) = -\frac{1}{2}(-0{,}220 - 0{,}144) = \frac{0{,}364}{a}$$

Burada bucaq dərəcəsini radianlarla ifadə etdik.
$A_2 = A_1$ olduğu üçün onların cəmini belə yazarıq:

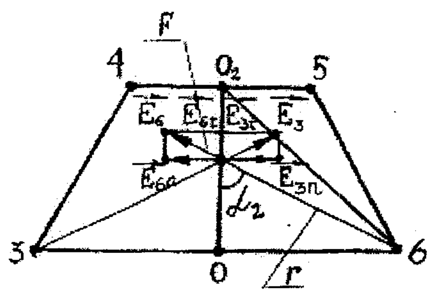
$$A_1 + A_2 = 2A_1 = 2\cdot\frac{q_1 q_2}{4\pi\varepsilon_0}\cdot\frac{0{,}364}{a} \qquad (8)$$

3 və 6 yüklərinin sahəsində görülən işlər də bir-birinə bərabərdir: $A_3 = A_6$. Bu işi tapaq. Hesablamanı eyni qayda ilə aparırıq.

$$A_3 = \int_{r_1}^{r_2} q_1 E_{3t} dr = \int_{r_1}^{r_2} q_1 E_3 \cos\alpha_2 dr = \int_{r_1}^{r_2}\frac{q_1 q}{4\pi\varepsilon_0}\cdot\frac{1}{r^2}\cdot\frac{\sqrt{r^2 - a^2}}{r}dr = \qquad (9)$$

$$= \frac{q_1 q_2}{4\pi\varepsilon_0}\int_{r_1}^{r_2}\frac{\sqrt{r^2 - a^2}}{r^3}dr$$

İnteqrallama sərhədlərini şəkil 110-dan müəyyən edə bilərik. r_1 $\overline{6 - O_2}$ parçasına bərabərdir.
$r_1 = a; r_2$ isə $\overline{6 - JO_2}$ parçasına bərabərdir. Onu belə taparıq:



Şəkil 110.

$$r_2=\sqrt{a^2+(OO_2)^2}=\sqrt{a^2+\left(a^2-\frac{a^2}{4}\right)}=\sqrt{\frac{7a^2}{4}}=\frac{a}{2}\sqrt{7} \quad (10)$$

(9)-dakı inteqralı yenə də ayrıca açaq.Belə əvəzetmədən istifadə edək:

$$\left.\begin{aligned} r &= a\sec t \\ dr &= -a\frac{\cos t}{\sin^2 t}dt \\ t_1 &= 90^0,\ t_2 \cong 49^0 \end{aligned}\right\} \quad (11)$$

$$J_2=\int_{r_1}^{r_2}\frac{\sqrt{r^2-a^2}}{r^3}dr=-\int_{t_1}^{t_2}\frac{\sqrt{a^2\sec^2 t-a^2}}{a^3\sec^3 t}\cdot a\cdot\frac{\cos t}{\sin^2 t}dt=$$

$$=-\frac{1}{a}\int_{t_1}^{t_2}\cos^2 t dt=-\frac{1}{2a}\left(t+\frac{1}{2}\sin 2t\right)\Big|_{t_1}^{t_2}=-\frac{1}{2a}\cdot \quad (12)$$

$$\left(49^0-90^0+\frac{1}{2}\sin 2\cdot 49^0-\frac{1}{2}\sin 2\cdot 90^0\right)=-\frac{1}{2a}\left(-41^0+\frac{1}{2}\cos 8^0\right)=$$

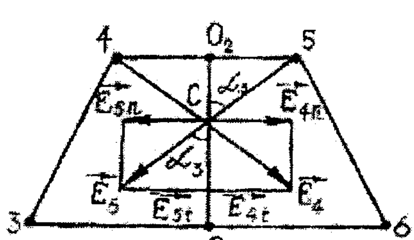
$$=-\frac{1}{2a}(-0{,}72+0{,}50)=\frac{0{,}11}{a}$$

Beləliklə 3 və 6 yüklərinin sahələrinin birlikdə gördüyü iş:

$$A_3+A_6=2A_3=2\frac{q_1q_2}{4\pi\varepsilon_0}\cdot\frac{0{,}11}{a} \quad (13)$$

olar.

İndi də 4 və 5 yüklərinin sahələrinin gördüyü işləri tapaq. Şəkil 111-dən aydın olduğu kimi E_{4t} və E_{5t} yerdəyişmənin əksi istiqamətdə yönəlmişdir, yəni onların gördüyü iş mənfidir. A_5-i hesablayaq.



Şəkil 111.

$$A_5 = \int_{r_1}^{r_2} q_1 E_{5l} dr = \int_{r_1}^{r_2} q_1 E_5 \cdot \cos\alpha_3 dr = \int_{r_1}^{r_2} \frac{q_1 q_2}{4\pi\varepsilon_0} \cdot \frac{1}{r^2} \cdot \frac{\sqrt{r^2 - a^2/4}}{r} dr = \tag{14}$$

$$= \frac{q_1 q}{4\pi\varepsilon_0} \int_{r_1}^{r_2} \frac{\sqrt{r^2 - a^2/4}}{r^3} dr$$

Şəkil 111-dən aydın olduğu kimi, $r_1 = a$, $r_2 = \frac{a}{2}$-dır. İnteqrallama yuxarıdakı qayda ilə aparılır. Onun aparılmasını oxuculara həvalə edib, son nəticəni yazaq:

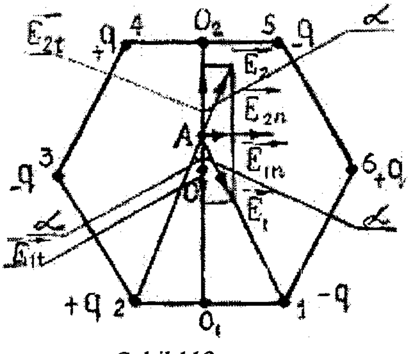
$$A_5 = -\frac{q_1 q_2}{4\pi\varepsilon_0} \frac{0{,}09}{a}; A_6 = A_5 \text{ və } A_5 + A_6 = -2 \cdot \frac{q_1 q_2}{4\pi\varepsilon_0} \frac{0{,}09}{a} \tag{15}$$

Görülən işləri cəmləyək:

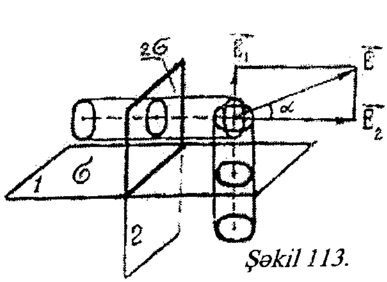
$$A_{\text{цм}} = A_1 + A_2 + A_3 + A_4 + A_5 + A_6 = \frac{q_1 q_2}{4\pi\varepsilon_0} \cdot \frac{2}{a} (0{,}36 + 0{,}22 - 0{,}09) =$$

$$= \frac{3{,}3 \cdot 10^{-9} \cdot 6{,}6 \cdot 10^{-9}}{4 \cdot 3{,}14 \cdot 8{,}85 \cdot 10^{-12}} \cdot \frac{2}{5 \cdot 10^{-2}} \cdot 0{,}3 \text{ К} = 2{,}5 \cdot 10^{-6} \text{C}$$

b) Şəkil 112-də ikinci halda yüklərin düzülüşü göstərilmişdir. 1 və 2 yüklərinin A nöqtəsində yaratdıqları sahələrin intensivlikləri və onların komponentləri göstərilmişdir. E_{1t} və E_{2t} qiymətcə bərabər, istiqamətcə bir-birinin əksinədir. Ona görə də onlara təvafüq edən işlərin cəmi sıfırdır. E_{1n} və E_{2n} komponentlərinin də qiymətləri bərabərdir, həm də istiqamətləri eynidir. Lakin onların istiqaməti yerdəyişmə ilə 90^0-lik bucaq əmələ gətirir. Ona görə də onların təsiri ilə görülən iş sıfra bərabərdir. Eyni qayda ilə 3-6 və 4-5 cütlərinin sahələrinin də gördüyü işin sıfra bərabər olduğunu göstərə biləirik. Belə-



Şəkil 112.



Şəkil 113.

liklə, bu halda q_1 yükünün OO_2 parçası boyunca hərəkəti zamanı düzgün altıbucaqlının təpə nöqtələrində yerləşən qiymətcə bərabər və işarəcə növbələşən yüklərin sahələrinin gördüyü iş sıfra bərabərdir.

56. Məsələnin simmetriyasından aydındır ki, müstəvilərin hər birinin sahəsi bircinsdir və qüvvə xətləri bir-birinə perpendikulyardır (şəkil 113). Səth sıxlığı σ olan müstəvinin yaratdığı elektrik sahəsinin intensivliyini E_1,2σ olanınkını E_2 ilə işarə edək. E_1 və E_2 –ni Qaus teoremindən tapanq. Bunun üçün oturacaqlarının sahəsi S, oxları isə bir-birinə və uyğun 1 və 2 müstəvisinə perpendikulyar olan iki silindr quraq (şəki 113), özü də elə edək ki, silindrlərin kəsişən oturacaqlarının mərkəzləri üst-üstə düsün. Bu nöqtəni başlanğıc qəbul edib $\vec{E}_1$ və $\vec{E}_2$ vektorlarını toplayaq. Onların cəmi yekun $\vec{E}$ vektoruna bərabərdir. İntensivliklərin modullarını tapaq:

$$\Phi_1 = D_1 \cdot 2S; q_1 = S\sigma; D_1 2S = S\sigma; D_1 = \frac{\sigma}{2}; E_1 = \frac{\sigma}{2\varepsilon_0};$$

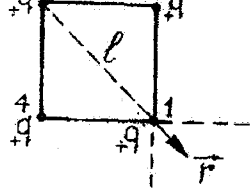
$$\Phi_2 = D_2 \cdot 2S; q_2 = S \cdot 2\sigma; D_2 2S = 2S\sigma; D_2 = \sigma; E_2 = \frac{\sigma}{\varepsilon_0};$$

$$E = \sqrt{E_1^2 + E_2^2} = \sqrt{\frac{\sigma^2}{4\varepsilon_0^2} + \frac{\sigma^2}{\varepsilon_0^2}} = \frac{\sigma}{2\varepsilon_0}\sqrt{5}; E = \frac{\sigma}{\varepsilon_0}\sqrt{5}$$

Göründüyü kimi, E koordinatdan asılı deyil (sahə bircinsdir). $\vec{E}$ vektorunun səthi sıxlığı kiçik (σ) olan müstəvi ilə əmələ gətirdiyi bucağı α ilə işarə edək. α-nı belə taparıq:

$$tg\alpha = \frac{E_1}{E_2} = \frac{\sigma / 2\varepsilon_0}{\sigma / \varepsilon_0} = \frac{1}{2}; \alpha = 26^0 40'$$

57. a) Sisitemin qarşılıqlı təsir potensial enerjisini tapmaq üçün onu yaratmaq və ya pozub yox etmək üçün lazım olan işi hesablamalıyıq. Sistemi pozmaq üçün onun yüklərini bir-bir sonsuzluğa göndərmək lazımdır. Yükləri şəkil 114-də göstərildiyi kimi nömrələyək. Əvvəlcə 1 yükünü sonsuzluğa göndərək.



Şəkil 114.

Məlumdur ki, elektrostatik sahədə

görülən iş yolun formasından asılı deyil. Ona görə hər bir halda yolu elə seçək ki, hesablamanı aparmaq daha əlverişli olsun. 1 yükünü 3 yükündən qoparmaq üçün görülən iş belə ifadə olunar:

$$A_{31} = \int_l^\infty qE_3 dr = \int_l^\infty q \cdot \frac{q}{4\pi\varepsilon_0 r^2} dr = -\frac{q^2}{4\pi\varepsilon_0} \cdot \frac{1}{r}\Big|_l^\infty = \frac{q^2}{4\pi\varepsilon_0} \cdot \frac{1}{l} =$$

$$= \frac{q^2}{4\pi\varepsilon_0} \cdot \frac{\sqrt{2}}{2a} \qquad (1)$$

Burada E_3 – 3 nöqtəvi yükünün yaratdığı sahənin intensivliyi, $l = 2\sqrt{a}$ -kvadratın diaqonalıdır. 1 yükü bu dioqanal üzrə ($\vec{r}$ istiqamətdə) sonsuzluğa göndərilir.

1 yükü sonsuzluğa gedərkən 2 və 4 yükləri də iş görür. Bu işləri hesablamaq üçün 1 yükünü 2-1 və 4-1 istiqamətində hərəkət etdirək. Hər iki iş bir-birinə bərabər olacaq:

$$A_{21} = A_{41} = \int_a^\infty qE_2 dr = \frac{q^2}{4\pi\varepsilon_0} \int_a^\infty \frac{dr}{r^2} = \frac{q^2}{4\pi\varepsilon_0} \cdot \frac{1}{a} \qquad (2)$$

İndi 2 yükünü sonsuzluğa uzaqlaşdıraq. Burada yerdə qalan 4 və 3 yüklərinin sahələri iş görəcək. 4 yükünün gördüyü işi tapmaq üçün 2 yükünü 4-2 dioqanalı üzrə hərəkət etdirmək daha əlverişlidir. Görülən iş (1) ifadəsində olduğu kimidir:

$$A_{42} = \int_a^\infty qE_4 dr = \frac{q^2}{4\pi\varepsilon_0} \int_a^\infty \frac{dr}{r^2} = \frac{q^2}{4\pi\varepsilon_0} \cdot \frac{\sqrt{2}}{2a} \qquad (3)$$

2 yükünün 3 yükünün sahəsində hərəkəti zamanı gördüyü işi tapmaq üçün onu 3-2 istiqamətdə yönəldək. Bu iş (2) ilə eyni olacaq:

$$A_{32} = \int_a^\infty qE_3 dr = \frac{q^2}{4\pi\varepsilon_0} \int_a^\infty \frac{dr}{r^2} = \frac{q^2}{4\pi\varepsilon_0} \cdot \frac{1}{a} \qquad (4)$$

Yerdə qalan 3 və 4 yüklərindən birini də sonsuzluğa göndərsək sistem tamamilə pozulmuş olacaq (artıq onlar arasında heç bir qarşılıqlı təsir yoxdur). Bu işi də hesablayaq:

$$A_{34} = \int_a^\infty qE_3 dr = \frac{q^2}{4\pi\varepsilon_0} \int_a^\infty \frac{dr}{r^2} = \frac{q^2}{4\pi\varepsilon_0} \cdot \frac{1}{a} \qquad (5)$$

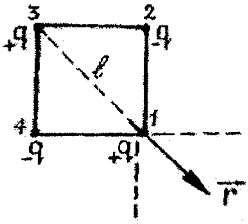
Sistemin potensial enerjisi bu işlərin cəminə bərabərdir:

$$U = A_{31} + A_{21} + A_{41} + A_{42} + A_{32} + A_{34} =$$

$$= \frac{q^2}{4\pi\varepsilon_0} \cdot \frac{1}{a}\left(\frac{\sqrt{2}}{2} + 1 + 1 + \frac{\sqrt{2}}{2} + 1 + 1\right) = \frac{q^2}{4\pi\varepsilon_0} \cdot \frac{\sqrt{2}+4}{a};$$

$$U = \frac{q^2}{4\pi\varepsilon_0} \cdot \frac{\sqrt{2}+4}{a} \qquad (6)$$

b) Burada da hesablama əvvəlki kimi aparılır. Şəkil 115-dən aydın olduğu kimi 3 və 1 yükləri eyni işarəli olduğu üçün 1 yükünün 3-1 dioqanalı boyunca sonsuzluğa göndərilməsində görülən iş (1) düsturu ilə ifadə olunur:



Şəkil 115.

$$A_{31} = \int_a^{\infty} q \cdot E_3 dr = \frac{q^2}{4\pi\varepsilon_0} \cdot \frac{\sqrt{2}}{2a} \qquad (7)$$

2 və 4 yükləri 1 yükü ilə əks işarəlidir. Ona görə onların sahəsində (1) yükünün hərəkəti zamanı görülən iş mənfidir. Hesablama (2) ifadəsində olduğu kimi aparılır:

$$A_{21} = A_{41} = \int_a^{\infty} qE_2 dr = \int_a^{\infty} \frac{dr}{r^2} = \frac{q^2}{4\pi\varepsilon_0} \cdot \frac{1}{a} \qquad (8)$$

2 və 4 yükləri eyni işarəli olduğu üçün 2 yükünün 4 yükünün sahəsində sonsuzluğa uzaqlaşması zamanı görülən iş (3) və ya (7) ilə eynidir:

$$A_{42} = \int_a^{\infty} (-q)E_4 dr = \frac{q^2}{4\pi\varepsilon_0} \cdot \frac{\sqrt{2}}{2a} \qquad (9)$$

A_{32} işi də mənfidir.

$$A_{32} = -\int_a^{\infty} qE_3 dr = -\frac{q^2}{4\pi\varepsilon_0} \cdot \frac{1}{a} \qquad (10)$$

3 və 4 yükləri əks işarəlidir. Ona görə A_{34} işi mənfidir.

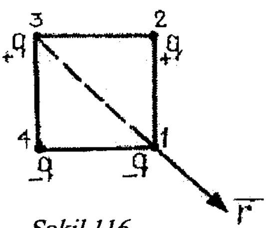
$$A_{34} = -\int_a^{\infty} qE_4 dr = -\frac{q^2}{4\pi\varepsilon_0} \cdot \frac{1}{a} \qquad (11)$$

Potensial enerjini belə tapanq:

$U = A_{31} + A_{21} + A_{41} + A_{42} + A_{32} + A_{34} =$

$$= \frac{q^2}{4\pi\varepsilon_0} \cdot \frac{1}{a}\left(\frac{\sqrt{2}}{2} - 1 - 1 + \frac{\sqrt{2}}{2} - 1 - 1\right) = \frac{q^2}{4\pi\varepsilon_0} \cdot \frac{1}{a}(\sqrt{2} - 4);$$

$$U = \frac{q^2}{4\pi\varepsilon_0} \cdot \frac{1}{a}(\sqrt{2} - 4) \qquad (12)$$



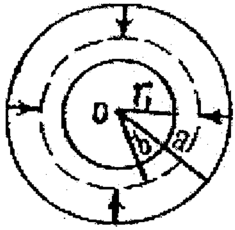
Şəkil 116

c) Şəkil 116-dan və yuxarıda aparılan

hesablamalardan aydındır ki, bu variantda sistemin potensial enerjisi belə ifadə olunur:

$$U = -\frac{q^2}{4\pi\varepsilon_0}\cdot\frac{\sqrt{2}}{a} \qquad (13)$$

58. Sferik kondensatorun köynəkləri arasında onun mərkəzindən ixtiyari r məsafəsindəki nöqtədə (şəkil 117) intensivlik belə ifadə olunur:



Şəkil 117

$$E = \frac{q}{4\pi\varepsilon_0}\cdot\frac{1}{r^2} \qquad (1)$$

q – köynəklərdən birindəki yükün qiymətidir. q yükünün radius boyunca dr qədər yerdəyişməsi zamanı görülən iş: dA=qEdr. Bu yükün a-dan b-yə qədər hərəkəti zamanı görülən iş belə ifadə olunur:

$$A_3 = \int_a^b qEdr = -\frac{q^2}{4\pi\varepsilon_0}\int_a^b\frac{dr}{r^2} = \frac{q^2}{4\pi\varepsilon_0}\cdot\frac{1}{r}\Big|_a^b = \frac{q^2}{4\pi\varepsilon_0}\left(\frac{1}{b}-\frac{1}{a}\right) =$$

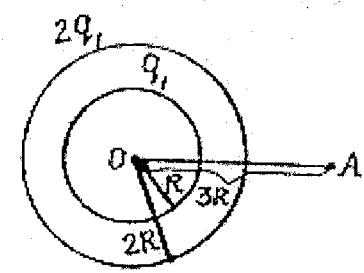
$$= \frac{q^2}{4\pi\varepsilon_0}\cdot\frac{a-b}{ab}; \qquad A = \frac{q^2}{4\pi\varepsilon_0}\cdot\frac{a-b}{ab} \qquad (2)$$

$$A = \frac{(2{,}0\cdot10^{-6})^2}{4\cdot3{,}14\cdot8{,}85\cdot10^{-12}}\cdot\frac{(100{,}0-95{,}0)\cdot10^{-3}}{1000{,}0\cdot10^{-3}\cdot95{,}0\cdot10^{-3}}C = 1{,}8\cdot10^{-2}C.$$

59. Kürə səthlərinin xaricində onların mərkəzindən ixtiyari r məsafəsində sahənin intensivliyini Qaus teoreminə görə tapaq:

$$4\pi r^2\cdot D = q_1 + q_2;$$

$$D = \frac{q_1+q_2}{4\pi r^2};\ E = \frac{q_1+q_2}{4\pi\varepsilon_0 r^2} \qquad (1)$$



Şəkil 118

Sahənin hər hansı nöqtəsində yerləşdirilmiş müsbət vahid yükü sonsuzluğa aparmaq üçün görülən iş həmin nöqtədə sahənin potensialına bərabərdir. OA = 3R nöqtəsi (şəkil 118) üçün bu işi hesablayaq:

$$A=\int_{3R}^{\infty}Edr=\int_{3R}^{\infty}\frac{q_1+q_2}{4\pi\varepsilon_0 r^2}dr=\frac{3q_1}{4\pi\varepsilon_0}\int_{3R}^{\infty}\frac{dr}{r^2}=-\frac{3q_1}{4\pi\varepsilon_0}\cdot\frac{1}{r}\Big|_{3R}^{\infty}= \qquad (2)$$

$$=-\frac{3q_1}{4\pi\varepsilon_0}\cdot\left(\frac{1}{\infty}-\frac{1}{3R}\right)=\frac{q_1}{4\pi\varepsilon_0}\cdot\frac{1}{R}$$

Tərifə görə A = U –dur. Onda

$$U=\frac{q_1}{4\pi\varepsilon_0}\cdot\frac{1}{R} \text{ və buradan: } R=\frac{q_1}{4\pi\varepsilon_0 U} \qquad (3)$$

$$R=\frac{1\cdot 10^{-6}}{4\cdot 3{,}14\cdot 8{,}85\cdot 10^{-12}\cdot 9\cdot 10^{3}}m=1m$$

60. a) Elektronların elektrik sahəsi nöqtəvi yükün sahəsidir. Sahənin intensivliyinin ifadəsi belədir:

$$\vec{E}=\frac{e}{4\pi\varepsilon_0}\cdot\frac{1}{r^2} \qquad (1)$$

e – elektronun yükü, r – elektronlar arasındakı məsafədir.
Hərəkət zamanı elektronun birinin sahəsi digərinə təsir edərək müəyyən iş görür və bu iş onun potensial enerjisinə çevrilir. Elektronlar a məsafəsinə qədər yaxınlaşanadək onlardan birinin hərəkəti zamanı görülən işi hesablayaq:

$$U_1=A_1=-\int_a^{\infty}eEdr=-\frac{e^2}{4\pi\varepsilon_0}\int_a^{\infty}\frac{dr}{r^2}=\frac{e^2}{4\pi\varepsilon_0}\cdot\frac{1}{a} \qquad (2)$$

Elektronlar bir-birinə yaxınlaşdıqca onların nisbi sürəti kiçilir və nəhayət a məsafəsində sıfra bərabər olur. Bu anda elektronların ilkin kinetik enerjisi tamamilə potensial enerjiyə çevrilir. Enerjinin saxlanması qanunundan yazarıq:

$$\frac{m\upsilon_0^2}{2}=2U_1 \quad \text{və ya} \quad \frac{m\upsilon_0^2}{2}=\frac{2e^2}{4\pi q_0}\cdot\frac{1}{a} \qquad (3)$$

m – elektronun kütləsidir. Buradan:

$$a=\frac{4e^2}{4\pi\varepsilon_0 m\upsilon_0^2} \qquad (4)$$

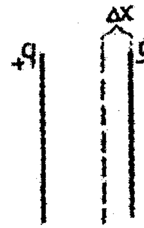
b) İkinci halda elektronlardan biri həmişə sükunətdə olduğu üçün yalnız bir elektronun hərəkətinə qarşı iş görülür. Onda enerjinin saxlanması qanununu belə yazarıq:

$$\frac{m\upsilon_0^2}{2}=U_1 \quad \text{və ya} \quad \frac{mv_0^2}{2}=\frac{e^2}{4\pi\varepsilon_0}\cdot\frac{1}{a} \tag{5}$$

Buradan:
$$a=\frac{2e^2}{4\pi\varepsilon_0 m v_0^2} \tag{6}$$

61. Müstəvi kondensatorun bir köynəyinin sahəsinin intensivliyi belə ifadə olunur:

$$E=\frac{\sigma}{2\varepsilon_0\varepsilon} \tag{1}$$



Şəkil 119

σ - lövhələrdən birinin səthi yük sıxlığı, σ= q/S, ε - kondensatorun daxilindəki dielektrikin nüfuzluğudur.. Lövhələrdən digərinin üzərində sonsuz kiçik dS sahəsi götürək, onda olan yükün miqdarı dq = σdS-dir. Lövhələr Δx qədər bir-birindən uzaqlaşdırıldıqda dq yükü də $\vec{E}$ istiqamətdə hərəkət edir. İkinci lövhə birincidən uzaqlaşdırıldıqda onun üzərində olan yüklər birinci lövhənin (1)-lə ifadə olunan sahəsinin təsiri nəticəsində iş görür. dq yükünün Δx məsafəsində (şəkil 119) hərəkəti zamanı görülən iş:

$$dA=dq\cdot E\Delta x=\sigma\, dS\cdot E\Delta x=\frac{q}{S}EdS\,\Delta x=\frac{q^2\Delta x}{2S^2\varepsilon_0\varepsilon}dS$$

olar. İkinci lövhənin üzərində olan bütün yükün hərəkəti zamanı görülən işi tapmaq üçün bu ifadəni S üzrə inteqrallayaq:

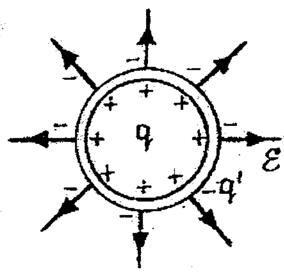
$$A=\int_0^S\frac{q2\Delta x}{2S^2\varepsilon_0\varepsilon}dS=\frac{q2\Delta x}{2S^2\varepsilon_0\varepsilon}\int_0^S dS=\frac{q2\Delta x}{2\varepsilon_0\varepsilon S};\ A=\frac{q2}{2\varepsilon_0\varepsilon S}\Delta x \tag{2}$$

$$A=\frac{4{,}00\cdot10^{-14}\cdot0{,}200\cdot10^{-3}}{2\cdot8{,}85\cdot10^{-12}\cdot1\cdot4\cdot10^4\cdot10^{-6}}\text{C}=1{,}13\cdot10^{-5}\text{C}$$

62. Dielektrik olmadıqda kürənin elektrik sahəsinin intensivliyi belə ifadə olunar:

$$E_1=\frac{q}{4\pi\varepsilon_0}\cdot\frac{1}{r^2} \tag{1}$$

Dielektrik mühitdə (şəkil 64) bu sahə ε dəfə zəifləyəcək:



Şəkil 120.

$$E_2 = \frac{q^1}{4\pi\varepsilon_0\varepsilon} \cdot \frac{1}{r^2} \qquad (2)$$

(1)-lə (2)-nin fərqi induksiyalanan yüklərin (q^1) yaratdığı intensivliyi verir:

$$E = E_1 - E_2 = \frac{q}{4\pi\varepsilon_0} \cdot \frac{1}{r^2} - \frac{q}{4\pi\varepsilon_0\varepsilon} \cdot \frac{1}{r^2} = \frac{q}{4\pi\varepsilon_0} \cdot \frac{\varepsilon - 1}{\varepsilon} \cdot \frac{1}{r^2} \qquad (3)$$

Digər tərəfdən, induksiyalanmış q^1 yükü sferik dielektrik səthdə müntəzəm paylanmışdır və onun intensivliyini q^1 yükü vasitəsi ilə ifadə edə bilərik:

$$E = \frac{q'}{4\pi\varepsilon_0} \cdot \frac{1}{r^2} \qquad (4)$$

(3)-lə (4)-ün müqayisəsindən alarıq:

$$q' = \frac{\varepsilon - 1}{\varepsilon} \cdot q \qquad (5)$$

Səth sıxlığını tapmaq üçün yükü kürənin səthinə bölmək lazımdır:

$$\sigma' = \frac{q'}{S} = \frac{(\varepsilon - 1)q}{\varepsilon S} = \frac{\varepsilon - 1}{\varepsilon} \cdot \sigma \qquad (6)$$

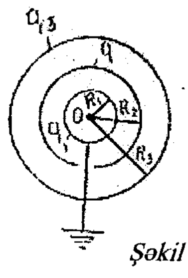
$\sigma = \frac{q}{S}$ - keçirici kürənin səthi yük sıxlığıdır.

63. Metal kürəyə verilə biləcək ən böyük elektrik yükü: $E_0 = \frac{q}{4\pi\varepsilon_0 R^2}$ düsturundan tapıla bilər: $q = 4\pi\, r_0\, R^2\, E_0$ .Bunu kürənin potensialı düsturunda yerinə yazaq:

$$U = \frac{q}{4\pi\varepsilon_0} \cdot \frac{1}{R} = E_0 R = 3 \cdot 10^6 R \text{ (V)}$$

R = 0,1 m olarsa, $U = 3 \cdot 10^5 V$ alarıq.

64. Birinci və üçüncü kürə yerlə birləşdirildiyi üçün onlar ikinci kürənin yükünün təsiri ilə induksiya nəticəsində q-yə əks işarəli yüklə yüklənəcək. Sferaların quruluşundan (şəkil 121) aydındır ki, q_1 və q_3 yüklərinin cəmi mütləq qiymətcə q-yə bərabərdir:



Şəkil 121.

$$q_1+q_3=q \qquad (1)$$

1 və 3 sferası yerlə birləşdirildiyi üçün 1-lə 2 (U_{12}) və 2 ilə 3(U_{23}) sferaları arasındakı potensiallar fərqi bir-birinə bərabərdir. (U_{12}) və (U_{23}) müsbət vahid yükün uyğun olaraq 1 sferasından 2 sferasına və 2 sferasından 3 sferasına qədər hərəkəti zamanı görülən işdir. Onları hesablamaq üçün sferik kondensatorların 1-2 və 2-3 köynəkləri arasında sahənin intensivliyinin ifadəsini yazaq:

$$E_{12}=\frac{q_1}{4\pi\varepsilon_0}\cdot\frac{1}{r^2} \text{ və } E_{23}=\frac{q-q_1}{4\pi\varepsilon_0}\cdot\frac{1}{r'^2} \qquad (2)$$

İkinci sferanın q yükünün q_1 qədəri birinci sferanın yükü tərəfindən neytrallaşdırılmışdır. İkinci kondensatorun sahəsinin intensivliyinin ifadəsində bunu nəzərə alaq və U_{12}-ni hesablayaq:

$$U_{12}=-\int_{R_1}^{R_2}E_{12}dr=-\frac{q_1}{4\pi\varepsilon_0}\int_{R_1}^{R_2}\frac{dr}{r^2}=\frac{q_1}{4\pi\varepsilon_0}\cdot\frac{1}{r}\Big|_{R_1}^{R_2}=\frac{q_1}{4\pi\varepsilon_0}\left(\frac{1}{R_2}-\frac{1}{R_1}\right)$$

Eyni qayda ilə:

$$U_{23}=-\int_{R2}^{R_3}E_{23}dr'=-\frac{q-q_1}{4\pi\varepsilon_0}\cdot\frac{1}{r'}\Big|_{R_2}^{R_3}=\frac{q-q_1}{4\pi\varepsilon_0}\left(\frac{1}{R_3}-\frac{1}{R_2}\right)$$

$U_{12}=U_{23}$ olduğu üçün:

$$q_1\left(\frac{1}{R_2}-\frac{1}{R_1}\right)=(q-q_1)\left(\frac{1}{R_3}-\frac{1}{R_2}\right)$$

Buradan: $q_1=\dfrac{R_1(R_3-R_2)}{R_2(R_3-R_1)}q$ və $q-q_1=q_3=\dfrac{R_3(R_2-R_1)}{R_2(R_3-R_1)}q$

alarıq.

$q>0$ olduqda $q_1<0$, $q_3<0$ olar. Ona görə 1-2 və 2-3 sferalarının arasında intensivlik vektorunun istiqaməti bir-birinin əksinə yönələcək. Bunu nəzərə alsaq, $q>0$ halı üçün E_{12}-nin (2) ifadəsinin qarşısında mənfi işarəsi yazmaq lazımdır.

Qaus teoremini tətbiq etsək, görərik ki, birinci kürənin daxilində və üçüncü kürədən xaricdəki fəzada intensivlik sıfra bərabərdir. Nəticədə bütün fəzanın intensivliyini belə yazarıq:

$$E = \begin{cases} 0 \quad r < R_1 \text{ olduqda} \\ \dfrac{q}{4\pi\varepsilon_0} \cdot \dfrac{R_1(R_2 - R_3)}{R_2(R_3 - R_1)} \cdot \dfrac{1}{r^2} \qquad R_1 < r < R_2 \text{ olduqda} \\ \dfrac{q}{4\pi\varepsilon_0} \cdot \dfrac{R_3(R_2 - R_1)}{R_2(R_3 - R_1)} \cdot \dfrac{1}{r^2} \qquad R_2 < r < R_3 \text{ olduqda} \\ 0 \quad R_3 < r < \infty \quad \text{olduqda} \end{cases}$$

65. Müntəzəm yüklənmiş kürənin enerjisini tapmaq üçün onu xəyalımızda sonsuz kiçik dV həcmlərinə bölüb, bu həcmlərin hər birində olan dq yüklərinin enerjilərini cəmləyə bilərik:

$$W = \int_{(V)} \frac{1}{2} U dq = \frac{1}{2} \int_{(V)} \frac{1}{2} U \rho dV \tag{1}$$

Burada inteqrallama kürənin həcmi üzrə aparılır, ρ- kürənin yükünün həcm sıxlığı, dV – həcm elementidir. Onların ifadəsi belədir:

$$\rho = \frac{q}{V} = \frac{q}{4\frac{\pi}{3}R^3} = \frac{3q}{4\pi R^3}, dV = r^2 \sin\theta \, d\theta \, d\varphi \, dr \tag{2}$$

Yüklü kürənin U potensialı məsələ 27-dəki (3) düsturundan məlumdur. Onu və (2) ifadələrini (1)-də nəzərə alaq:

$$\begin{aligned} W &= \frac{1}{2} \int_{(V)} \frac{q}{4\pi\varepsilon_0\varepsilon} \cdot \frac{3}{2} \cdot \frac{1}{R^3}\left(R^2 - \frac{1}{3}r^2\right) \cdot r^2 \frac{3q}{4\pi R^3} dr \sin\theta \, d\theta \, d\varphi = \\ &= \frac{9q^2}{4} \cdot \frac{1}{(4\pi)^2\varepsilon_0\varepsilon} \cdot \frac{1}{R^6} \int_0^R \left(R^2 - \frac{1}{3}r^2\right) r^2 dr \int_0^\pi \sin\theta \, d\theta \int_0^{2\pi} d\varphi = \\ &= \frac{9q^2}{4} \cdot \frac{1}{(4\pi)^2\varepsilon_0\varepsilon} \cdot \frac{1}{R^6}\left(\frac{R^2}{3} \cdot r^3 - \frac{1}{15}r^5\right)\Big|_0^R \cdot 2 \cdot 2\pi = \\ &= \frac{9q^2}{4} \cdot \frac{1}{(4\pi)^2\varepsilon_0\varepsilon} \cdot \frac{1}{R^6} \cdot \frac{4R^5}{15} \cdot 4\pi = \frac{3}{5} \cdot \frac{q^2}{4\pi\varepsilon_0\varepsilon} \cdot \frac{1}{R} = \frac{6}{10} \cdot \frac{q^2}{4\pi\varepsilon_0\varepsilon} \cdot \frac{1}{R} \end{aligned} \tag{3}$$

$$W = \frac{6}{10} \cdot \frac{q^2}{4\pi\varepsilon_0\varepsilon} \cdot \frac{1}{R}$$

Kürənin həcmində olan enerjini (W_1) tapmaq üçün vahid həcmə düşən enerjinin (ϖ) ifadəsindən istifadə edək:

$$\varpi = \frac{1}{2}\varepsilon_0 \varepsilon E^2 \tag{4}$$

Kürənin daxilində radiusu r, qalınlığı dr (həcmi dV = $4\pi r^2 dr$) olan kürə təbəqəsi götürək. Bu dV həcmindəki enerji:

$$dW_1 = \varpi dV = \frac{1}{2}\varepsilon_0\varepsilon E^2 \cdot 4\pi r^2 dr \qquad (5)$$

olar. W_1-i tapmaq üçün məsələ 27-nin (1) düsturundan E-nin ifadəsini (5)-də yerinə yazıb, onu kürənin həcmi üzrə inteqrallamaq lazımdır:

$$W_1 = \int_0^R \frac{1}{2}\varepsilon_0\varepsilon\left(\frac{q}{4\pi\varepsilon_0\varepsilon}\cdot\frac{r}{R^3}\right)^2 \cdot 4\pi r^2 dr =$$

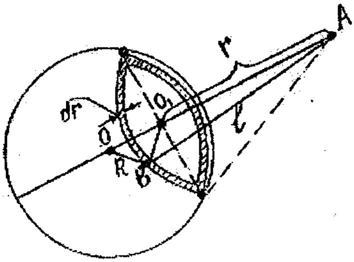
$$= \frac{1}{2}\cdot\frac{q^2}{4\pi\varepsilon_0\varepsilon}\cdot\frac{1}{R^6}\int_0^R r^4 dr = \frac{1}{2}\cdot\frac{q^2}{4\pi\varepsilon_0\varepsilon R^6}\cdot\frac{1}{5}R^5 = \frac{1}{10}\cdot\frac{q^2}{4\pi\varepsilon_0\varepsilon}\cdot\frac{1}{R}$$

$$W_1 = \frac{1}{10}\cdot\frac{q^2}{4\pi\varepsilon_0\varepsilon}\cdot\frac{1}{R} \qquad (6)$$

Kürənin həcmindən kənarda qalan enerjini (W_2) tapmaq üçün W-dən W_1-i çıxmaq lazımdır:

$$W_2 = W - W_1 = \frac{5}{10}\cdot\frac{q^2}{4\pi\varepsilon_0\varepsilon}\cdot\frac{1}{R} \quad (7)$$

66. a) Kürənin xaricində ixtiyari A nöqtəsi götürək (şəkil 122). Onu kürənin mərkəzi ilə birləşdirək. OA=a olsun. Kürənin səthində qalınlığı *dr* və oturacaq müstəviləri OA-ya perpendikulyar olan sonsuz nazik kürə qurşağı çəkək. Onun OA ilə kəsişmə nöqtəsini O_1, radiusunu r' –lə işarə edək. Kürə qurşağının bütün nöqtələrindən A nöqtəsinə qədər olan məsafə (l) eynidir.



Şəkil 122.

Kürə qurşağının səthini çoxlu sayda bərabər hissələrə bölsək, onların yükünün A nöqtəsində yaratdığı potensial eyni olar. Kürə qurşağının A nöqtəsində yarağtdığı potensial: $dU = \frac{dq}{4\pi\varepsilon_0 l}$ olar. dq –kürə qurşağının səthindəki yükün miqdarıdır. Onu qurşağın səthinin sahəsinə (ds) və yükün səthi sıxlığına (σ) görə belə taparıq:

$$dq = \sigma ds = \sigma \cdot 2\pi R dr, \qquad \sigma = \frac{q}{4\pi R^2} \qquad (1)$$

Şəkil 66 –dan istifadə edib l-i r-lə əlaqələndirək. BO_1A düzbucaqlı üçbucağından:

$$r'^2 = l^2 - r^2 \qquad (2)$$

BO_1O üçbucağından:

$$r'^2 = R^2 - (a-r)^2 \qquad (3)$$

(2) və (3) –ün müqayisəsindən alarıq:

$$l = (R^2 - a^2 + 2ar)^{1/2} \qquad (4)$$

İndi U-nu tapa bilərik. İnteqralların sərhədləri, şəkildən aydın olduğu kimi, r-in a-R qiymətindən a+R qiymətinə kimi aparılmalıdır:

$$U = \int_{a-R}^{a+R} \frac{dq}{4\pi\varepsilon_0\varepsilon} = \int_{a-R}^{a+R} \frac{\sigma \cdot 2\pi R dr}{4\pi\varepsilon_0\varepsilon\left(R^2 - a^2 + 2ar\right)^{\frac{1}{2}}} =$$

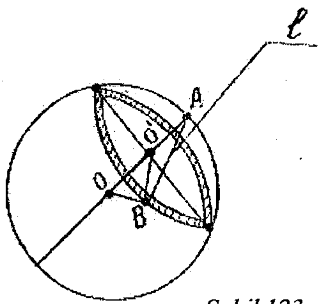
$$= \frac{\sigma R}{2\varepsilon_0\varepsilon} \int_{a-R}^{a+R} \left(R^2 - a^2 + 2ar\right)^{-\frac{1}{2}} dr = \frac{\sigma R}{2\varepsilon_0\varepsilon} \cdot \frac{1}{a}\left(R^2 - a^2 + 2ar\right)^{\frac{1}{2}} \Big|_{a-R}^{a+R} = \qquad (5)$$

$$= \frac{\sigma R^2}{\varepsilon_0\varepsilon} \cdot \frac{1}{a} = \frac{q \cdot R^2}{4\pi\varepsilon_0\varepsilon R^2} \cdot \frac{1}{a} = \frac{q}{4\pi\varepsilon_0\varepsilon} \cdot \frac{1}{a}; \quad U = \frac{q}{4\pi\varepsilon_0\varepsilon} \cdot \frac{1}{a}$$

Beləliklə, kürənin xaricində onun mərkəzindən $a>R$ məsafələrdə sahənin potensialı kürənin mərkəzində yerləşmiş və yükü kürənin yükünə bərabər olan nöqtəvi yükün potensialı kimidir.

b) İndi nöqtəni kürənin səthində götürək (şəkil 123). Eyni qayda ilə l-i belə taparıq:

$$l = \sqrt{2Rr} \qquad (6)$$



Şəkil 123.

r –in dəyişmə sərhədləri -R-dən +R-ə qədərdir.

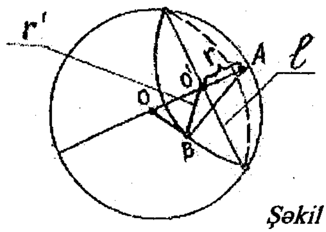
$$U = \int_{-R}^{+R} \frac{\sigma 2\pi R dr}{4\pi\varepsilon_0\varepsilon\sqrt{2Rr}} = \frac{\sigma R}{2\sqrt{2R}\varepsilon\varepsilon_0} \int_0^{2R} r^{-\frac{1}{2}} dr = \frac{\sigma R}{2\sqrt{2R}\varepsilon\varepsilon_0} \cdot 2\sqrt{2R} = \frac{\sigma R}{\varepsilon_0\varepsilon} =$$

$$= \frac{qR}{4\pi R^2\varepsilon_0\varepsilon} = \frac{q}{4\pi\varepsilon_0\varepsilon} \cdot \frac{1}{R}$$

$$U = \frac{q}{4\pi\varepsilon_0\varepsilon} \cdot \frac{1}{R} \qquad (7)$$

Göründüyü kimi, kürənin səthində bütün nöqtələrdə potensial eynidir.

c) İndi də cari nöqtəni kürənin daxilində götürək (şəkil 124).



Şəkil 124.

Şəkildən:

$$\begin{cases} r'^2 = R^2 - (a-r)^2 \\ r'^2 = l^2 - r^2 \end{cases}$$

Buradan:

$$l = \left(R^2 - a^2 + 2ar\right)^{\frac{1}{2}} \qquad (8)$$

Bu halda r-in dəyişmə intervalı (R-a) – dan (R + a) –ya kimidir. U-nu hesablayaq:

$$U = \int_{R-a}^{R+a} \frac{dq}{4\pi\varepsilon_0\varepsilon} \cdot \frac{1}{l} = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0\varepsilon} \cdot \int_{R-a}^{R+a} \frac{\sigma 2\pi R dr}{\left(R^2 - a^2 + 2ar\right)^{\frac{1}{2}}} =$$

$$= \frac{\sigma R}{2\varepsilon_0\varepsilon} \int_{R-a}^{R+a} \left(R^2 - a^2 + 2ar\right)^{\frac{1}{2}} dr = \frac{\sigma R}{2\varepsilon_0\varepsilon} \cdot \frac{1}{a} \cdot \left(R^2 - a^2 + 2ar\right)^{\frac{1}{2}} \Big|_{a-R}^{a+R} =$$

$$= \frac{\sigma R}{2\varepsilon_0\varepsilon} \cdot \frac{1}{a}\left[\left(R^2 - a^2 + 2a(a+R)\right)^{\frac{1}{2}} - \left(R^2 - a^2 + 2a(a-R)\right)^{\frac{1}{2}}\right] =$$

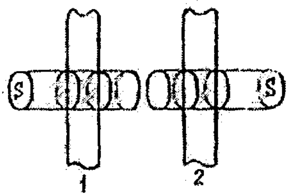
$$= \frac{\sigma R}{2\varepsilon_0\varepsilon} \cdot \frac{1}{a}\left[(R+a) - (R-a)\right] = \frac{\sigma R}{2\varepsilon_0\varepsilon} \cdot \frac{1}{a} \cdot 2a = \frac{qR}{4\pi R^2 \varepsilon_0\varepsilon} = \frac{q}{4\pi\varepsilon_0\varepsilon} \cdot \frac{1}{R}$$

$$U = \frac{q}{4\pi\varepsilon_0\varepsilon} \cdot \frac{1}{R} \qquad (9)$$

Beləliklə, keçirici kürənin səthində və daxilində ixtiyari nöqtədə sahənin potensialı eynidir, yəni kürənin səthi və bütün həcmi eyni bir ekvi-potensial səthdir.

67. Sistemin quruluşundan aydındır ki, həm müstəvilər arasındakı fəzada və həm də kənar fəzada elektrik sahəsi bircinsdir. Özü də müstəvilərin yükləri eyni işarəli olduğu üçün müstəvilər arasında qüvvə xətlərinin istiqaməti müxtəlif, kənarda isə eynidir, yəni müstəvilər arasında müstəvilərin yaratdığı intensivliklər çıxılır, kənarlarda (hər iki kənar fəzada) toplanır.

Qaus teoremindən istifadə edib, hər iki lövhənin sahəsinin intensivliyini tapaq. Bunun üçün oturacaqlarının sahəsi s, oxları müstəvilərə perpendikulyar olan iki silindrik səth çəkək (şəkil 125). İnduksiya seli yalnız silindrlərin oturacaqlarına perpendikulyar istiqamətdə sıfırdan fərqlidir. Birinci lövhə üçün:



Şəkil 125.

$$\phi = D \cdot 2s, \qquad D \cdot 2s = s \cdot q_1, \qquad D = \frac{q_1}{2}$$

və
$$E_1 = \frac{q_1}{2\varepsilon_0} \tag{1}$$

Eyni qayda ilə:
$$E_2 = \frac{q_2}{2\varepsilon_0} \tag{2}$$

Müstəvilər arasında:
$$E = E_1 - E_2 = \frac{q_1 - q_2}{2\varepsilon_0} \tag{3}$$

Müstvilərdən kənar fəzada (hər iki tərəfdə):
$$E' = E_1 + E_2 = \frac{q_1 + q_2}{2\varepsilon_0} \tag{4}$$

Müstəvilərin daxilində sahənin intensivliyi sıfra bərabərdir. Onların daxili üzlərinə adi müstəvi kondensator kimi baxıb, (3) intensivliyinə görə yüklərini tapaq. Kondensatorun səthi yük sıxlığını σ_1-lə işarə edək, onda $E = \frac{\sigma_1}{\varepsilon_0}$. Bu intensivlik (3)-lə eyni olduğu üçün müqayisədən alarıq:

$$\sigma_1 = \frac{q_1 - q_2}{2} \quad \text{və} \quad \sigma_2 = -\sigma_1 \tag{5}$$

Lövhənin hər birində induksiyalanan müsbət və mənfi yüklərin miqdarı eynidir. Ona görə də hər lövhədə olan ümumi yükün miqdarı onun ilkin yükünə bərabərdir. Onda birinci lövhə üçün:

$$\sigma_1' + \sigma_1 = q_1, \quad \text{yəni } \sigma_1' = q_1 - \sigma_1 = q_1 - \frac{q_1 - q_2}{2} = \frac{q_1 + q_2}{2} \tag{6}$$

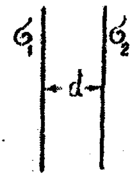
İkinci lövhə üçün eyni hesablamanı aparsaq, σ_2'-i taparıq:

$$\sigma_2' + \sigma_2 = q_2, \quad \text{və ya}$$

$$\sigma_2' = q_2 - \sigma_2 = q_2 - \left(-\frac{q_1 - q_2}{2}\right) = \frac{q_1 + q_2}{2} = \sigma_1' \tag{7}$$

68. Müstəvilərin sxemi şəkil 126-da göstərilmişdir. Qaus teoreminin tətbiqi ilə müstəvilər arasındakı sahənin intensivliyini belə ifadə edərik:

$$E = \frac{\sigma_1 - \sigma_2}{2\varepsilon_0} \tag{1}$$



Şəkil 126

Lövhələr arasındakı potensiallar fərqi müsbət vahid yükü bir lövhədən digərinə hərəkət etdirdikdə görülən işə bərabərdir:

$$U = -\int_0^d E dl = \frac{\sigma_2 - \sigma_1}{2\varepsilon_0} d = \frac{(0,5 - 0,2) \cdot 10^{-6} \cdot 1 \cdot 10^{-2}}{2 \cdot 8,85 \cdot 10^{-12}} V = 170V$$

69. Kürənin potensialı belə ifadə olunur:

$$U = \frac{q}{4\pi\varepsilon_0} \cdot \frac{1}{R}$$

Buradan kürənin yükünü tapaq:

$$q = 4\pi\varepsilon_0 RU$$

Kürənin səthində olan elektronların sayını tapmaq üçün onun yükünü elktronun e yükünə bölmək lazımdır:

$$N = \frac{q}{e} = \frac{4\pi\varepsilon_0 RU}{e} = \frac{4 \cdot 3,14 \cdot 8,85 \cdot 10^{-12} \cdot 2 \cdot 10^{-2} \cdot 150}{1,6 \cdot 10^{-19}} = 1 \cdot 10^9 \text{ (el)}$$

70. Müstəvi kondensatorun lövhələri əks işarəli yükləndiyi üçün bir-birini cəzb edir. Kondensatorun daxilində sahə bircinsdir. Qarşılıqlı təsir qüvvəsini bir köynəyin sahəsində digər köynəyin yükünə göstərilən təsir qüvvəsi kimi tapa bilərik. Bir köynəyin sahəsinin intensivliyi belə ifadə olunur:

$$E_1 = \frac{\sigma}{2\varepsilon_0} \qquad (1)$$

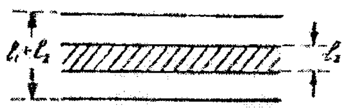
σ - köynəklərdən birinin yükünün səth sıxlığıdır.
Köynəyin birində olan yük: $q = \sigma S$ – dir.
(S - köynəyin səthinin sahəsidir.) Bir köynəkdəki yükə təsir edən qüvvə:

$$F = E_1 q = \frac{\sigma}{2\varepsilon_0} \cdot \sigma S = \frac{\sigma^2}{2\varepsilon_0} \cdot S \qquad (2)$$

σ - nı köynəklər arasındakı potensial düşküsünə görə tapa bilərik.

$$U = \ell_1 E + \ell_2 E_2 \qquad (3)$$

Burada $E=2E_1$-kondnsatorun daxilində hava təbəqəsində hər iki köynəyin yaratdığı intensivlik, E_2-dielktrik lövhənin daxilindəki intensivlikdir (şəkil 127).



Şəkil 127.

E_2 –ni iki dielektrik sərhədində E-nin normal komponentinin sınma qanunundan taparıq:

$$\varepsilon_1 E_{1n} = \varepsilon_2 E_{2n}, \qquad E_{2n} = \frac{\varepsilon_1}{\varepsilon_2} E_{1n} \qquad (4)$$

Kondensatorun daxilində sahə bircins, intnsivlik vektoru isə köynəklərin müstəvisinə perpendikulyar olduğu üçün $E_{1n} = E_1$-dir. Onda (4)-dən:

$$E_2 = E_{2n} = E \cdot \frac{\varepsilon_1}{\varepsilon_2} = E \frac{1}{\varepsilon_2} \qquad (5)$$

$\varepsilon_1 = 1$ havanın dielektrik nüfuzluğudur.
(5), (3) və (1)-dən:

$$\sigma = \frac{\varepsilon_0 \varepsilon_2 U}{l_1 \varepsilon_2 + l_2} \qquad (6)$$

(6)-nı (2)-də yerinə yazaq:

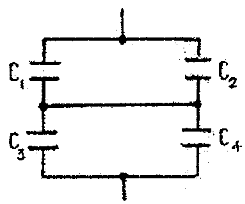
$$F = \frac{S\varepsilon_0}{2} \cdot \left(\frac{U\varepsilon_2}{l_1\varepsilon_2 + l_2} \right)^2 \qquad (7)$$

Əgər $l_2 \to 0$ olarsa, onda

$$F = \frac{S\varepsilon_0 U^2}{2l_1^2} \qquad (8)$$

alarıq. Bu isə hava müstəvi kondensatorun köynəklərinin bir-birini cəzb etmə qüvvəsidir.

71. Birinci sxemdə (şəkil 128) C_1-lə C_2 və C_3-lə C_4 bir-birinə paralel birləşdirilmişdir. Onların birlikdə yaratdığı batareyaların tutumlarını tapaq.
$C_{12} = C_1 + C_2$ və $C_{34} = C_3 + C_4$. Sonuncu iki batareya ardıcıl birləşdirilmişdir. Onların tutumunu tapaq:



Şəkil 128.

$$\frac{1}{C} = \frac{1}{C_{12}} + \frac{1}{C_{34}} = \frac{1}{C_1 + C_2} + \frac{1}{C_3 + C_4} = \frac{C_3 + C_4 + C_1 + C_2}{(C_1 + C_2)(C_3 + C_4)}$$

Buradan:

$$C = \frac{(C_1 + C_2)(C_3 + C_4)}{C_1 + C_2 + C_3 + C_4} \qquad (1)$$

İkinci sxemdə (şəkil 129) C_1-lə C_3 və C_2 ilə C_4 ardıcıl , onlardan yaranan batareyalar isə paralel birləşdirilmişdir. Ardıcıl birləşmələrin tutumlarını tapaq:

$$\frac{1}{C_{13}} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_3} = \frac{C_1 + C_3}{C_1 C_3} \quad \text{Buradan:} \quad C_{13} = \frac{C_1 C_3}{C_1 + C_3} \qquad (2)$$

$$\frac{1}{C_{24}} = \frac{1}{C_2} + \frac{1}{C_4} = \frac{C_4 + C_2}{C_2 C_4} \quad \text{Buradan:} \quad C_{24} = \frac{C_2 C_4}{C_2 + C_4} \qquad (3)$$

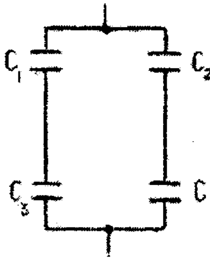
(2) və (3) –lə ifadə olunan tutumların paralel birləşməsindən alarıq:

$$C' = C_{13} + C_{24} = \frac{C_1 C_3}{C_1 + C_3} + \frac{C_2 C_4}{C_2 + C_4} \qquad (4)$$

$$\frac{C_1}{C_3}=\frac{C_2}{C_4}=K$$

olsun.

Onda $C_1=KC_3$ və $C_2=KC_4$ ifadələrini əvvəlcə (1)-də, sonra isə (4)-də yerinə yazaq:



Şəkil 129.

$$C=\frac{(KC_3+KC_4)(C_3+C_4)}{KC_3+KC_4+C_3+C_4}=\frac{K(C_3+C_4)^2}{(K+1)(C_3+C_4)}=\frac{K}{K+1}(C_3+C_4) \quad (5)$$

(4)-dən:

$$C'=\frac{KC_3\cdot C_3}{KC_3+C_3}+\frac{KC_4\cdot C_4}{KC_4+C_4}=\frac{KC_4C_3^2+KC_3C_4^2}{(K+1)C_3C_4}=$$
$$=\frac{KC_3C_4(C_3+C_4)}{(K+1)C_3C_4}=\frac{K}{K+1}\cdot(C_3+C_4)=C \quad (6)$$

Bu halda hər iki sxem üzrə ümumi tutum bir-birinə bərabərdir.

72. C_1, C_2 və C_3 kondensatorları ardıcıl birləşərək batareya əmələ gətirir (şəkil 130). Onun tutumu belə ifadə olunur:

$$\frac{1}{C}=\frac{1}{C_1}+\frac{1}{C}+\frac{1}{C_3} \quad \text{və ya} \quad C=\frac{C_1C_2C_3}{C_1C_2+C_1C_3+C_2C_3}$$

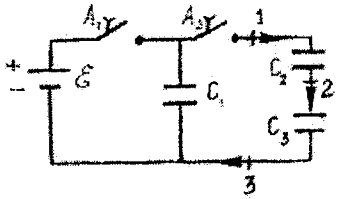
Tutumun tərifinə görə:

$$C=\frac{q_1}{\varepsilon}.$$

Buradan:

$$q_1=C\varepsilon=\frac{C_1C_2C_3}{C_1C_2+C_1C_3+C_2C_3}\varepsilon;$$

Kondensatorlar ardıcıl birləşdiyi üçün $q_2=q_3=q_1$ –dir.



Şəkil 130.

$$q_1 = \frac{1{,}00\cdot10^{-6}\cdot2{,}0\cdot10^{-6}\cdot3{,}00\cdot10^{-6}}{1{,}00\cdot10^{-6}\cdot2{,}00\cdot10^{-6}+1{,}00\cdot10^{-6}\cdot3{,}00\cdot10^{-6}+2{,}00\cdot10^{-6}\cdot3{,}00\cdot10^{-6}}\cdot$$

$$\cdot100Kl = \frac{6\cdot10^{-18}\cdot10^{2}}{11\cdot10^{-12}}Kl = 5{,}5\cdot10^{-5}Kl$$

73. Əvvəlcə yüklənmiş kondentorların q_1 və q_2 yüklərini tapaq:

$$C_1 = \frac{q_1}{U_1};\ q_1 = C_1U_1 \quad \text{və} \quad C_2 = \frac{q_2}{U_2};\quad q_2 = C_2U_2 \qquad (1)$$

Paralel birləşdirildikdən sonra batareyanın ümumi yükü $q=q_1+q_2$ – dir.

Batareyanın tutumunu (C) hesablayaq: $C=C_1+C_2$; Digər tərəfdən $C = \frac{q}{U}$. Sonuncu ifadələrin müqayisəsindən alarıq: $\frac{q}{U} = C_1 + C_2$

və ya

$$U = \frac{q}{C_1+C_2} = \frac{q_1+q_2}{C_1+C_2} = \frac{C_1U_1+C_2U_2}{C_1+C_2} = \frac{3\cdot10^{-6}\cdot300+2\cdot10^{-6}\cdot200}{3\cdot10^{-6}+2\cdot10^{-6}}V = 260V$$

74. Məsələnin şərtlərindən aydındır ki, birinci kondensatorun yükü ikincininkindən böyükdür. Ona görə batareyada yük birinci kondensatordan ikinciyə axacaq. Özü də paralel birləşmədə əks qütblər iştirak etdiyi üçün birinci kondensatorun potensiallar fərqini müsbət qəbul etsək, ikinci kondensatorun gərginliyini mənfi götürməliyik. Onda batareyanın yükünü belə ifadə edərik:

$$q = q_1 - q_2 = C_1U_1 - C_2U_2$$

Batareyanın tutumu: $C = C_1 + C_2$, digər tərəfdən: $C = \frac{q}{U}$ (U – batareyanın gərginliyidir). Deməli:

$$U = \frac{q}{C_1+C_2} = \frac{C_1U_1 - C_2U_2}{C_1+C_2} \qquad (1)$$

Batareyada birinci kondensatorun yükünü q_1' belə taparıq:

$$C_1 = \frac{q_1'}{U};\quad q_1' = C_1U = \frac{C_1(C_1U_1 - C_2U_2)}{C_1+C_2}. \qquad (2)$$

İkinci kondensatora birincidən axan yükü (Δq) tapaq:

$$\Delta q = q_1 - q_1' = C_1 U_1 - \frac{C_1(C_1 U_1 - C_2 U_2)}{C_1 + C_2} = \frac{C_1 C_2 (U_1 + U_2)}{C_1 + C_2} \qquad (3)$$

$$\Delta q = \frac{3\cdot 10^{-6}\cdot 2\cdot 10^{-6}(300+200)}{3\cdot 10^{-6} + 2\cdot 10^{-6}} Kl = \frac{6\cdot 10^{-6}\cdot 5\cdot 10^{2}}{5} Kl =$$
$$= 6\cdot 10^{-4} Kl.$$

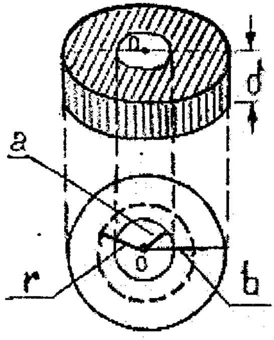
75. Əlverişli həndəsi quruluşa malik olmayan cismin cərəyan axan istiqamətdəki uzunluq elementinin (dl) müqaviməti dR belə ifadə olunur:

$$dR = \rho \frac{d\ell}{S} \qquad (1)$$

S-cismin en kəsiyidir, onun ℓ-dən asılılığını bilməklə cismin tam müqavimətini (1) –ifadəsini ℓ üzrə inteqrallmaqla tapa bilərik. Bunun üçün həlqənin silindrik səthləri arasında onlarla koaksial olan ixtiyari ℓ radiuslu bir silindrik səth çəkək (şəkil 131). Onun yan səthinin sahəsi S-ə bərabərdir:

$$S = 2\pi l d$$

S-i (1) –də yerinə yazıb, onu həlqənin silindrik səthləri arasında (a-dan b-yə qədər) inteqrallayaq:



Şəkil 131.

$$R = \int_a^b \rho \cdot \frac{dl}{2\pi l d} = \frac{\rho}{2\pi d}\int_a^b \frac{dl}{l} = \frac{\rho}{2\pi d}\ln\frac{b}{a} \qquad (2)$$

Eyni nəticəni diferensial şəkildə Om qanunundan və silindrik kondensatorun sahəsindən istifadə etməklə də ala bilərik:

$$\vec{j} = \sigma\vec{E} \quad \text{və ya} \quad j = \frac{1}{\rho}E \qquad (3)$$

$\vec{j}$ -cərəyan sıxlığı, $\vec{E}$-həlqənin silindrik səthlərinin əmələ gətirdiyi kondensatorun sahəsinin intensivliyidir.

$$j = \frac{i}{S} = \frac{i}{2\pi l d}; \quad E = \frac{q_1}{2\pi\varepsilon_0} \cdot \frac{1}{l} \tag{4}$$

q_l –silindrin vahid uzunluğuna düşən yükdür. (4)-ü (3)-də nəzərə alaq :

$$\frac{i}{2\pi l d} = \frac{1}{\rho} \cdot \frac{q_1}{2\pi\varepsilon_0} \cdot \frac{1}{l} \quad \text{və ya} \quad i = \frac{1}{\rho} \cdot \frac{q_1 d}{\varepsilon_0} \tag{5}$$

Silindirk kondensatorun potensialının ifadəsindən istifadə edib, q_l – i tapaq:

$$U = \frac{q_1}{2\pi\varepsilon_0} \cdot \ln\frac{b}{a}; \quad q_l = U 2\pi\varepsilon_0 / \ln\frac{b}{a} \tag{6}$$

q_l-i (5)-də yerinə yazaq:

$$i = \frac{1}{\rho}\frac{d}{\varepsilon_0} U 2\pi\varepsilon_0 / \ln\frac{b}{a} = \frac{2\pi d}{\rho} \frac{1}{\ln b/a} \cdot U \tag{7}$$

(7)-ni Om qanunun $i = \dfrac{U}{R}$ ifadəsi ilə müqayisə etsək, R-i tapanq:

$$R = \frac{\rho}{2\pi d} \ln\frac{b}{a} \tag{8}$$

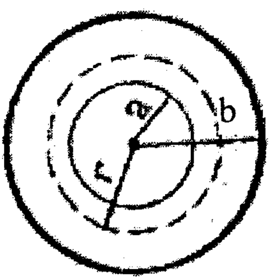
Bu isə (2) ilə eynidir.

76. Kürələrin (şəkil 132) radiusu istiqamətində mühitin dr hissəsinin müqaviməti belə olar:

$$dR = \rho\frac{dr}{S} \tag{1}$$

Elektrodlar arasında onlarla konsentrik olan ixtiyari r radiuslu kürə səthi cızaq. S bu səthin sahəsinə bərabərdir:

$$S = 4\pi r^2$$



Şəkil 132.

Bunu (1) –də yerinə yazıb, onu a-dan b-yə qədər inteqrallayaq:

$$R = \int_a^b \rho \frac{dr}{4\pi r^2} = -\frac{\rho}{4\pi}\frac{1}{r}\Big|_a^b = \frac{\rho}{4\pi}\left(\frac{1}{a} - \frac{1}{b}\right) \tag{2}$$

$b \to \infty$ olduqda: $R = \dfrac{\rho}{4\pi a}$ alarıq.

Diferensial şəkildə Om qanununun və kürə kondensatorun sahəsinin intensivliyinin ifadəsindən istifadə etməklə eyni nəticəni alarıq.

$$j = \frac{1}{\rho} E \tag{3}$$

$$j = \frac{i}{S} = \frac{i}{4\pi r^2}, \qquad E = \frac{q}{4\pi\varepsilon_0} \cdot \frac{1}{r^2} \tag{4}$$

(4)-ü (3)-də istifadə edək:

$$\frac{i}{4\pi r^2} = \frac{1}{\rho} \cdot \frac{q}{4\pi\varepsilon_0} \cdot \frac{1}{r^2} \quad \text{və ya} \quad i = \frac{q}{\rho\varepsilon_0} \tag{5}$$

q-nü kürə kondensatorun potensialının ifadəsindən tapaq:

$$U = \frac{q}{4\pi\varepsilon_0}\left(\frac{1}{a} - \frac{1}{b}\right), \quad q = \frac{4\pi\varepsilon_0 U}{1/a - 1/b} \tag{6}$$

q-nün bu qiymətini (5)-də yerinə yazaq: $i = \dfrac{1}{\rho\varepsilon_0} \cdot \dfrac{4\pi\varepsilon_0 U}{1/a - q/b}$. Bunu

Om qanununun $i = \dfrac{U}{R}$ ifadəsi ilə müqayisə etsək, alarıq:

$$R = \frac{\rho(1/a - 1/b)}{4\pi} \tag{7}$$

(7) düsturu (2) ilə eynidir.

77. Diferensial şəklində Om qanununa görə köynəklər arasında baş verən sızma cərəyanının sıxlığı belə ifadə olunar:

$$\vec{j} = \lambda \vec{E} = \frac{1}{\rho} \vec{E} \tag{1}$$

(λ-keçiricilikdir). $\vec{j}$ və $\vec{E}$ kollineardırlar.

Ona görə (1)-i skalyar şəkildə də yaza bilərik. $j = \dfrac{i}{S}$ (i- cərəyan şiddəti, S-köynəklərdən birinin səthinin sahəsidir) və müstəvi kondensatorun sahəsinin intensivliyi: $E = \frac{\sigma}{\varepsilon_0 \varepsilon}$ -dır (σ-köynklərdən birinin yükünün səth sıxlığıdır). Bunları (1)-də nəzərə alaq:

$$\frac{i}{S} = \frac{1}{\rho} \cdot \frac{\sigma}{\varepsilon_0 \varepsilon} \quad \text{yaxud} \quad i = \frac{1}{\rho} \cdot \frac{\sigma S}{\varepsilon_0 \varepsilon} = \frac{1}{\rho} \cdot \frac{q}{\varepsilon_0 \varepsilon} \qquad (2)$$

$q = \sigma S$ köynəklərdən birinin yüküdür. Onu tutumun tərifindən istifadə edib tapa bilərik:

$$C = \frac{q}{U}, \quad q = CU$$

Bunu (2)-də yerinə yazsaq, alarıq:

$$i = \frac{1}{\rho} \cdot \frac{UC}{\varepsilon_0 \varepsilon} \qquad (3)$$

Eyni nəticəni müstəvi kondensatorun lövhələri arasındakı mühitin düzgün həndəsi formaya (en kəsiyi S kondensator müstəvisinin sahəsinə, uzunluğu köynəklər arasındakı d məsafəsinə) malik olmasından istifadə edib tapa bilərik:

$$i = \frac{U}{R} = \frac{U}{\rho \frac{d}{S}} = \frac{U}{\rho} \cdot \frac{\varepsilon_0 \varepsilon S}{d} \cdot \frac{1}{\varepsilon_0 \varepsilon} = \frac{UC}{\rho \varepsilon_0 \varepsilon} \qquad (3a)$$

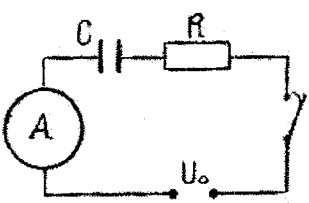
i-nin ədədi qiymətini hesablayaq:

$$i = \frac{2000 \cdot 3000 \cdot 10^{12}}{1{,}00 \cdot 10^{11} \cdot 8{,}85 \cdot 10^{-12} \cdot 7{,}00} A = 0{,}97 \cdot 10^{-6} A$$

78. Potensial düşküləri tutumda (U_1) və müqavimətdə (U_2) paylanacaq (şəkil 133):

$$U_1 = \frac{q}{C}, \quad U_2 = iR,$$

q-kondensatorun köynəklərindən birindəki yük, $i = \frac{dq}{dt}$ dövrədə axan cərəyan şiddətidir:



Şəkil 133.

$$\frac{q}{C} + R\frac{dq}{dt} = U_0 \quad \text{və ya} \quad \dot{q} + \frac{1}{CR}q = \frac{U_0}{R} \tag{1}$$

q-yə görə birtərtibli xətti diferensial tənlik aldıq. Onu ümumi şəkildə belə yazarıq:

$$\dot{q} + pq = Q \tag{2}$$

burada: $p = \frac{1}{CR}$, $q = \frac{U_0}{R}$ -dir. (2) –nin riyaziyyatdan məlum olan ümumi həllini yazaq:

$$q = \left[\int dt \cdot Qe^{\int pdt} + A\right]e^{-\int pdt} \tag{3}$$

A-başlanğıc şərtlərdən təyin olunan sabitdir. (3)-dən istifadə edib (1) tənliyinin həllini yazaq:

$$q = \left[\int dt \cdot \frac{U_0}{R} e^{\int \frac{dt}{CR}} + A\right] e^{-\int \frac{dt}{CR}} = \left[\int dt \cdot \frac{U_0}{R} \cdot e^{\frac{t}{CR}} + A\right] e^{-\frac{t}{CR}} =$$

$$= \left(CU_0 e^{\frac{t}{CR}} + A\right) e^{-\frac{t}{CR}}$$

yaxud

$$q = U_0 C\left(1 - \frac{A}{U_0 C} e^{-\frac{t}{CR}}\right) \tag{4}$$

Başlanğıc anda (t-0 olduqda) kondensatorun köynəklərinin yükü sıfra bərabərdir (q=0). Bu şərtdən istifadə etsək, (4) –dən A-nı taparıq:

$$U_0 C - Ae^0 = 0; \quad A = U_0 C \tag{5}$$

(4)-də yerinə yazaq:

$$q = U_0 C\left(1 - e^{-\frac{t}{CR}}\right) \tag{6}$$

t_0=RC kondensatorun yüklənmə və ya boşalma müddəti adlanır.

$U_1 = \frac{q}{C}$ və şərtə görə U_1=0,99 U_0-dır. Onda

$$U_1 = \frac{1}{C} \cdot U_0 C \left(1 - e^{-\frac{t}{CR}}\right)$$

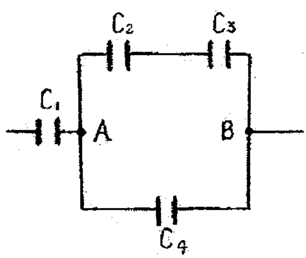
$$\frac{U_1}{U_0} = 1 - e^{-\frac{t}{CR}};\ e^{-\frac{t}{CR}} = 1 - \frac{U_1}{U_0};- \frac{t}{RC} = \ln\left(1 - \frac{U_1}{U_0}\right)$$

$$t = -RC \ln\left(1 - \frac{U_1}{U_0}\right) = -RC \ln\left(1 - \frac{0{,}99U_0}{U_0}\right) = -RC \ln 0{,}01 =$$

$$= \frac{2RC}{0{,}4343} = \frac{2 \cdot 500 \cdot 300 \cdot 10^{-12}}{0{,}4343} S = 0{,}69 \cdot 10^{-6} S.$$

79. Dövrənin sxemi şəkil 134-də verilmişdir. Dördüncü kondensatorun q_4 yükünü onun tutumuna və lövhələri arasındakı potensiallar fərqinə görə tapırıq:

$q_4 = C_4 U_4 = 1 \cdot 10^{-6} \cdot 100 Kl = 1 \cdot 10^{-4} Kl$



Şəkil 134.

İkinci və üçüncü kondensatorlar bir-biri ilə ardıcıl və onların əmələ gətirdiyi batareya (onun tutumunu C_{23}-lə işarə edək) C_4 kondensatoruna paralel birləşdirilmişdir. C_{23} belə ifadə olunur:

$$\frac{1}{C_{23}} = \frac{1}{C_2} + \frac{1}{C_3};\quad \text{buradan:}\ C_{23} = \frac{C_2 C_3}{C_2 + C_3} \qquad (1)$$

2-3 batareyasının qütbləri dördüncü kondensatorun qütblərinə birləşdirildiyi üçün onun da gərginliyi U_4-dür. Onda 2-3 batareyasının yükünü (q_{23}) tapa bilərik:

$$q_{23} = C_{23} U_4 = \frac{C_2 C_3}{C_2 + C_3} U_4 = \frac{2 \cdot 10^{-6} \cdot 3 \cdot 10^{-6}}{2 \cdot 10^{-6} + 3 \cdot 10^{-6}} \cdot 100 Kl = \qquad (2)$$

$$= 1{,}2 \cdot 10^{-4} Kl$$

2 və 3 kondensatorları ardıcıl birləşdiyi üçün onların yükləri bir-birinə və həm də q_{23}-ə bərabərdir:

$$q_2 = q_3 = q_{23} = 1{,}2 \cdot 10^{-4}\ Kl \qquad (3)$$

2-3-4 kondensatorlarının əmələ gətirdiyi batareyanın tutumunu C', yükünü q' ilə işarə edək. Bu batareya C_{23} və C_4 tutumlarının paralel birləşməsindən alınır. Ona görə:

$$C' = C_{23} + C_4 = \frac{C_2 C_3}{C_2 + C_3} + C_4 =$$

$$= \left(\frac{2 \cdot 10^{-6} \cdot 3 \cdot 10^{-6}}{2 \cdot 10^{-6} + 3 \cdot 10^{-6}} + 1 \cdot 10^{-6} \right) F = 2{,}2 \cdot 10^{-6} F \qquad (4)$$

$$q' = C' \cdot U_4 = 2{,}2 \cdot 10^{-6} \cdot 100 Kl = 2{,}2 \cdot 10^{-4} Kl \qquad (5)$$

C' tutumu (batareyası) C_1-lə ardıcıl birləşdirildiyi üçün onların yükləri eynidir:

$$q_1 = q' = 2{,}2 \cdot 10^{-4}\ Kl \qquad (6)$$

U_1-i tapaq: $$U_1 = \frac{q_1}{C_1} = \frac{2{,}2 \cdot 10^{-4}}{2 \cdot 10^{-6}} V = 110V \qquad (7)$$

U_2 və U_3-ü də tapa bilərik:

$$U_2 = \frac{q_2}{C_2} = \frac{1{,}2 \cdot 10^{-4}}{2 \cdot 10^{-6}} V = 60V \qquad (8)$$

$$U_3 = \frac{q_3}{C_3} = \frac{1{,}2 \cdot 10^{-4}}{3 \cdot 10^{-6}} V = 40V \qquad (9)$$

İndi bütün kondensatorların əmələ gətirdiyi batareyanın tutumunu (C) tapaq. Bu batareya C_1 və C' tutumlarının ardıcıl birləşməsindən alınır:

$$\frac{1}{C} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C'} \qquad \text{və ya}$$

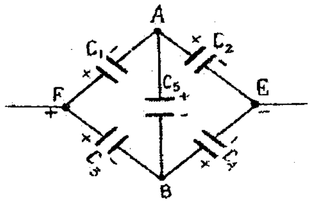
$$C = \frac{C_1 C'}{C_1 + C'} = \frac{2 \cdot 10^{-6} \cdot 2{,}2 \cdot 10^{-6}}{2 \cdot 10^{-6} + 2{,}2 \cdot 10^{-6}} = 1{,}05 \cdot 10^{-6} F \qquad (10)$$

Ümumi batareyanın gərginliyi:

$U = U_1 + U' = U_1 + U_4 = 110V + 100V = 210V,$ (11)

Yükü isə:

$q = CU = 1{,}05 \cdot 10^{-6} \cdot 210\ Kl = 220{,}5 \cdot 10^{-6}\ Kl$ olar.



Şəkil 135.

80. Tutaq ki, batareyanın F və E nöqtələri arasında U potensiallar fərqi yaradılmışdır. F nöqtəsi müsbət, E nöqtəsi mənfi qütb olsun. Bu hal üçün kondensatorların köynəklərinin işarəsi şəkil 135-də göstərilmişdir (5-ci kondensatorun köynəklərinin yüklərinin işarəsi əvvəlcə ixtiyari götürülür. Məsələnin həllində onun düzgün olub-olmaması aydınlaşacaq).

Batareyanın tutumu C onun q yükü və U gərginliyinin qiyməti ilə təyin olunur:

$$C = \frac{q}{U} \qquad (1)$$

Şəkildən aydın olduğu kimi, $q=q_1+q_3=q_2+q_4$–dür. Kondensatorların yükləri onların nömrələrinə uyğun işarələnmişdir.

q və U-nun qiymətlərinə görə C-ni tapa bilərik. Bunun üçün q_1,q_3 və ya q_2,q_4 –ü tapmaq lazımdır.

Elektrostatikada qapalı kontur üzrə yükün hərəkəti zamanı görülən iş sıfra bərabərdir. Müsbət vahid yükün FABF qapalı konturu üzrə hərəkəti zamanı görülən iş belə təyin olunur:

$U_1+U_5-U_3=0$ və ya $\frac{q_1}{C_1}+\frac{q_5}{C_5}-\frac{q_3}{C_3}=0$ (2)

Eyni qayda ilə AEBA və FAEBF konturları üçün alarıq:

$$\frac{q_2}{C_2}-\frac{q_4}{C_4}-\frac{q_5}{C_5}=0 \qquad (3)$$

$$\frac{q_1}{C_1}+\frac{q_2}{C_2}-\frac{q_4}{C_4}-\frac{q_3}{C_3}=0 \qquad (4)$$

Bundan əlavə, 1, 2, 5 və eləcə də 3, 4, 5 kondensatorlarını birləşdirən naqillər neytraldır. Ona görə daha iki tənlik yaza bilərik:

$$\begin{cases} q_2+q_5-q_1=0 \\ -q_3-q_5+q_4=0 \end{cases} \qquad (5)$$

buradan: $q_1-q_2=q_4-q_3$ (6)

(2)-dən: $$q_1 = -\frac{C_1}{C_5}q_5 + \frac{C_1}{C_3}q_3 \quad (7)$$

(3)-dən: $$q_2 = -\frac{C_2}{C_4}q_4 + \frac{C_2}{C_5}q_5 \quad (8)$$

(7) və (8)-dən: $$q_1 - q_2 = -\frac{C_1 + C_2}{C_5}q_5 + \frac{C_1}{C_3}q_3 - \frac{C_2}{C_4}q_4 \quad (9)$$

(6) və (9)-dan:
$$q_4 - q_3 = -\frac{C_1 + C_2}{C_5}q_5 + \frac{C_1}{C_3}q_3 - \frac{C_2}{C_4}q_4 \quad (10)$$

$q_5=q_4-q_3$ qiymətini (10)-da yerinə yazıb q_3-ü q_4-lə ifadə edək:
$$q_3 = \frac{C_3(C_2C_5 + C_4C_5 + C_1C_4 + C_2C_4)}{C_4(C_1C_5 + C_3C_5 + C_1C_3 + C_2C_3)}q_4 \quad (11)$$

q_5-i q_4 vasitəsi ilə ifadə edək:
$$q_5 = q_4 - q_3 = q_4\left[1 - \frac{C_3(C_2C_5 + C_4C_5 + C_1C_4 + C_2C_4)}{C_4(C_1C_5 + C_3C_5 + C_1C_3 + C_2C_3)}\right];$$

Sadələşdirdikdən sonra alarıq:
$$q_5 = \frac{C_5(C_1C_4 - C_2C_3)}{C_4(C_1C_5 + C_3C_5 + C_1C_3 + C_2C_3)}q_4 \quad (12)$$

Əgər $C_1C_4-C_2C_3=0$ olarsa, onda $q_5=0$ olar.

Buradan: $$\frac{C_1}{C_2} = \frac{C_3}{C_4} \quad (13)$$

Məsələdə verilənlərdən aydındır ki, (13) şərti ödənilir:
$$\frac{C_1}{C_2} = \frac{1}{2} \quad \text{və} \quad \frac{C_3}{C_4} = \frac{2}{4} = \frac{1}{2}.$$

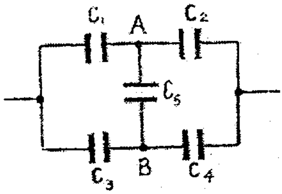
Deməli, $q_5=0$ və A və B nöqtələri arasında potensiallar fərqi yoxdur. Bu o deməkdir ki, sxemdə 5 kondensatoru heç bir rol oynamır. Onda yerdə qalan kondensatorların yüklərinin tapılmasına ehtiyayc qalmır. Sistemin tutumunu iki ardıcıl birləşmənin (C_1-C_2 və C_3-C_4) paralel birləşməsi kimi tapa bilərik:
$$\frac{1}{C'} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} \quad \text{və} \quad \frac{1}{C''} = \frac{1}{C_3} + \frac{1}{C_4}$$

$$C' = \frac{C_1C_2}{C_1+C_2} \quad \text{və} \quad C'' = \frac{C_3C_4}{C_3+C_4} \qquad (14)$$

$$C = C' + C'' = \frac{C_1C_2}{C_1+C_2} + \frac{C_3C_4}{C_3+C_4} = \left(\frac{1\cdot10^{-12}\cdot2\cdot10^{-12}}{1\cdot10^{-12}+2\cdot10^{-12}} + \right.$$

$$\left. + \frac{2\cdot10^{-12}\cdot4\cdot10^{-12}}{2\cdot10^{-12}+4\cdot10^{-12}}\right)F = \left(\frac{2}{3}+\frac{8}{6}\right)\cdot10^{-12}F = 2\cdot10^{-12}F = 2pF$$

81. Həlli: C_5-in tutumunun bütün sxemin tutumuna təsir etməməsi üçün A və B nöqtələrinin potensialı eyni olmalıdır (şəkil 136). Bunun üçün isə qalan dörd kondensatorun tutumları elə olmalıdır ki, bu şərt ödənsin (bax: məsələ 79):



Şəkil 136.

$$\frac{C_1}{C_2} = \frac{C_3}{C_4}; \text{ buradan}$$

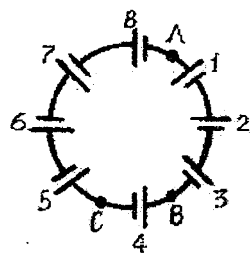
$$C_4 = \frac{C_2C_3}{C_1} = \frac{12\cdot10^{-12}\cdot6\cdot10^{-12}}{8\cdot10^{-12}}F = 9\cdot10^{-12}F = 9pF$$

82. Açarı qapadıqda yüklərin axını baş verirsə (şəkil 137) onda sistemin enerjisi azalır. Bu, o deməkdir ki, sistemin tutumu artır. Əgər açarı qapadıqda yüklərin axını baş vermirsə, sistemin tutumu dəyişmir. Bu, o halda mümkündür ki, $\frac{C_1}{C_2} = \frac{C_3}{C_4}$ şərti ödənilsin (bax: məsələ 79 və 80).

Şəkil 137.

83. a) Tutaq ki, A və B nöqtələri arasında n sayda element var (şəkil 138). Onda A və B arasındakı potensiallar fərqini dövrə hissəsi üçün Om qanununa görə belə ifadə edərik:

$$U_{AB} = i\sum_{i=1}^{n} R_i - \sum_{i=1}^{n}\varepsilon_i = iR_0n - n\varepsilon_0 \qquad (1)$$



Şəkil 138.

ε_0 –bir elementin e.h.q., R_0-onun daxili müqaviməti, i- AB hissəsindən axan cərəyan şiddətidir. Bütün elementlər ardıcıl birləşdirildiyi üçün i tam dövrənin cərəyan şiddətinə bərabərdir. Onu tam dövrə üçün Om qanunundan tapaq:

$$i=\frac{\sum_{i=1}^{N}\varepsilon_i}{\sum_{i=1}^{N}R_i}=\frac{N\varepsilon_0}{NR_0}=\frac{\varepsilon_0}{R_0}, \qquad (2)$$

N-dövrədə olan bütün elementlərin sayıdır. (2)-ni (1)-də yerinə yazaq:

$$U_{AB}=\frac{\varepsilon_0}{R_0}\cdot nR_0-n\varepsilon_0=n\varepsilon_0-n\varepsilon_0=0 \qquad (3)$$

Bu halda dövrənin ixtiyari iki nöqtəsi arasındakı potensiallar fərqi sıfra bərabərdir.

b) İndi tutaq ki, qalvanik elementlərin e.h.q.-ləri müxtəlifdir. Şərtə görə: $\varepsilon_i=kR_i$-dir (R_i-i-ci elementin daxili müqaviməti, k-mütənasiblik əmsalıdır). A və B nöqtələri arasındakı potensiallar fərqini yazaq:

$$U_{AB}=i\sum_{i=1}^{n}R_i-\sum_{i=1}^{n}\varepsilon_i=i\sum_{i=1}^{n}R_i-k\sum_{i=1}^{n}R_i=(i-k)\sum_{i=1}^{n}R_i \qquad (4)$$

Tam dövrə üçün:

$$i=\frac{\sum_{i}\varepsilon_i}{\sum_{i}R_i}=\frac{k\sum_{i=1}^{N}R_i}{\sum_{i=1}^{N}R_i}=k \qquad (5)$$

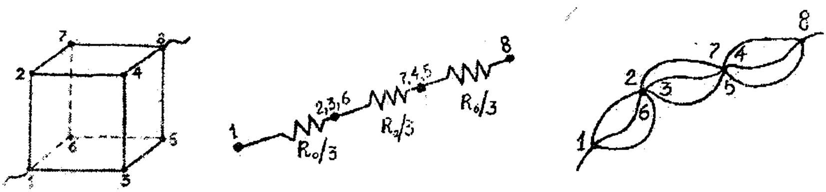
(5)-i (4)-də yerinə yazıb U_{AB}-ni tapaq:

$$U_{AB}=(k-k)\sum_{i=1}^{n}R_i=0 \qquad (6)$$

Yenə də birləşdirici naqillərin ixtiyari iki nöqtəsi arasındakı potensiallar fərqi sıfra bərabərdir.

c) Tək sayda elementləri birləşdirən naqillər arasındakı potensiallar fərqi ε_1-ə, bu saylar cüt olduqda isə sıfra bərabərdir.

84. Kubun simmetriyasından (şəkil 139) aydındır ki, 1 birləşmə nöqtəsinə görə eyni vəziyyətdə olan 2,3 və 6 nöqtələrinin potensialları eynidir. Onları müqaviməti sıfra bərabər olan ifratkeçirici məftillərlə bir-birinə birləşdirsək (belə birləşdirici məftilə şin deyilir), onda kubun müqavimətində heç bir dəyişiklik baş verməz. Belə olduqda 1-2, 1-3 və 1-6 tillərinin bir ucu 1 nöqtəsinə, digər ucu isə şinə birləşdirilmiş olacaq, yəni bu tillər bir-biri ilə paralel birləşir.



Şəkil 139, a,b,c.

Onların birlikdə yaratdığı müqaviməti (R') belə taparıq:

$$\frac{1}{R'} = \frac{1}{R_0} + \frac{1}{R_0} + \frac{1}{R_0}, \quad \text{buradan:} \quad R' = \frac{R_0}{3} \qquad (1)$$

R_0- bir tilin müqavimətidir.

Eyni qayda ilə digər birləşmə nöqtəsi olan 8-ə görə simmetrik yerləşən 4, 5 və 7 nöqtələrinin potensialları eynidir. Onları da bir-birinə ifratkeçirici şinlərlə birləşdirsək, kubun müqavimətində dəyişiklik baş verməz. Burada da 8-4, 8-5, 8-7 şinləri bir-biri ilə paralel birləşmiş olacaq.

Onların da ümumi müqaviməti (1) ifadəsi ilə təyin olunur: $R'' = \frac{R_0}{3}$.

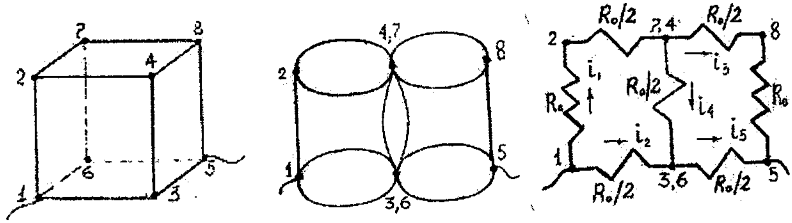
Yerdə qalan 4-3, 4-2, 5-3, 5-6, 7-2 və 7-6 tillərinin hər birinin bir ucu birinci şinə, digər ucu isə ikinci şinə birləşmişdir, yəni bu altı til bir-biri ilə paralel birləşmişdir. Onların ümumi müqaviməti:

$$R''' = \frac{R_0}{6} \text{-dır.}$$

Saydığımız birləşmələr sxematik olaraq şəkil 139 b-də və onların ekvivalent sxemi şəkil 139 c-də verilmişdir. Beləliklə, kubun ümumi müqavimətini göstərdiyimiz üç cür paralel birləşmənin bir-biri ilə ardıcıl birləşməsi kimi hesablaya bilərik:

$$R = R' + R'' + R''' = \frac{R_0}{3} + \frac{R_0}{3} + \frac{R_0}{6} = \frac{5}{6}R_0 = \frac{5}{6}Om \qquad (2)$$

85. Məsələnin simmetriyasından aydındır ki, 6 nöqtəsi ilə 3 nöqtəsi və 7 nöqtəsi ilə 4 nöqtəsi eyni potensiala malikdir (şəkil 140). Onda 6-3 və 7-4 nöqtələrini ifrat keçirici şinlərlə birləşdirsək, kubun müqaviməti dəyişməz. Bu hal üçün ekvivalent sxem şəkil 140 b və c-də verilmişdir.



Şəkil 140, a,b,c.

Sxemin ayrı-ayrı hissələrində cərəyanın istiqaməti şəkildə oxlarla işarə edilmişdir. 2-7, 7-8, 4-6, 1-3, 3-5 hissələrinin hər birinin müqaviməti R_0 (R_0-kubun bir tilinin müqavimətidir) olan paralel birləşdirilmiş iki müqavimətin cəminə $\left(\frac{1}{R'}=\frac{1}{R_0}+\frac{1}{R_0},\ R'=\frac{R_0}{2}\right)$ bərabərdir. 1 və 5 nöqtələri arasındakı U_{15} potensiallar fərqini, sxemdən göründüyü kimi, bir neçə cür ifadə edə bilərik. 1-2-4, 7-8-5 yolu ilə:

$$U_{15}=i_1\left(R_0+\frac{R_0}{2}\right)+i_3\left(\frac{R_0}{2}+R_0\right) \qquad (1)$$

1-2-7, 4-3, 6-5 yolu ilə:

$$U_{15}=i_1\left(R_0+\frac{R_0}{2}\right)+i_4\frac{R_0}{2}+i_5\frac{R_0}{2} \qquad (2)$$

1-3, 6-7, 4-8-5 yolu ilə:

$$U_{15}=i_2\frac{R_0}{2}-i_4\frac{R_0}{2}+i_3\left(\frac{R_0}{2}+R_0\right) \qquad (3)$$

Nəhayət, 1-3, 6-5 yolu ilə:

$$U_{15}=i_2\frac{R_0}{2}+i_5\frac{R_0}{2} \qquad (4)$$

Bu tənlikləri cüt-cüt birlikdə həll etsək, cərəyan şiddətlərini tapmaq üçün dörd tənlik alarıq. (1) və (4)-dən:

$$3i_1+3i_3=i_2+i_5 \quad (5)$$

(2) və (3)-dən:

$$3i_1+2i_4+i_5=i_2+2i_3 \quad (6)$$

(2) və (4)-dən:

$$3i_1+i_4=i_2 \quad (7)$$

(3) və (4)-dən:

$$3i_3-i_4=i_5 \quad (8)$$

Kirxhofun birinci qaydasını 7, 4 və 3, 6 nöqtələrinə tətbiq etməklə daha iki tənlik alarıq:

$$i_1=i_3+i_4 \quad (9)$$

$$i_5=i_2+i_4 \quad (10)$$

i_1 və i_5-in (9) və (10) ifadələrini (6)-da yerinə yazaq:

$$3(i_3+i_4)+2i_4+(i_2+i_4)=i_2+3i_3$$

Buradan: $6i_4=0$, yəni $i_4=0$ alarıq. (7)-(10)-dan i-lər arasındakı münasibəti belə müəyyən edərik:

$$i_1=i_3;\ i_5=i_2,\ i_3=\frac{1}{3}i_5,\ i_1=\frac{1}{3}i_2 \quad (11)$$

Om qanununu 1 və 5 nöqtələri arasındakı dövrə hissəsinə tətbiq edək:

$$i=\frac{U_{15}}{R} \quad (12)$$

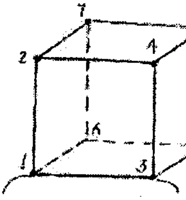
i-dövrədən axan ümumi cərəyan, R isə onun tam müqavimətidir (R-i tapmaq tələb olunur). Sxemdən aydın olduğu kimi, $i=i_1+i_2=i_3+i_5$ –dir. (1) və (11)-dən:

$i_1=\frac{U_{15}}{3R_0}$, (11) və (4)-dən: $i_2=\frac{U_{15}}{R_0}$. Bunlardan (12)-də istifadə edək:

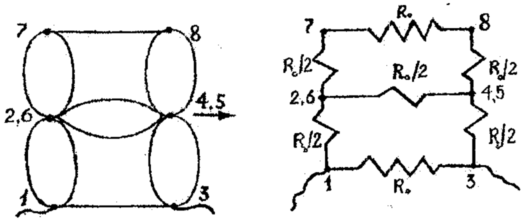
$\frac{U_{15}}{3R_0}+\frac{U_{15}}{R_0}=\frac{U_{15}}{R}$, buradan: $R=\frac{3}{4}R_0=\frac{3}{4}Om$.

Qeyd edək ki, $i_4=0$ olması 3,6 və 7,4 nöqtələrinin potensialının eyni olduğunu bildirir. Onda bu nöqtələr arasındakı müqavimət ümumi müqavimətə pay vermir. Bu halda R-i i-ləri hesablamadan sxemdən (şəkil 140, c) 1-2-7, 4-8-5 xəttilə yerləşən ardıcıl müqavimətlər birgəsinin 1-3, 6-5 xəttindəki ardıcıl müqavimətlərlə paralel birləşməsi kimi tapa bilərik. Yenə də eyni nəticəni alarıq.

86. Məsələnin simmetriyasından (şəkil 141 a) aydındır ki, 2 nöqtəsi ilə 6 nöqtəsinin və 4 nöqtəsi ilə 5 nöqtəsinin potensialı eynidir, yəni 2,6 və 4,5 nöqtələrini ifrat keçirici şinlərlə birləşdirsək, kubun müqaviməti dəyişməz. Onda (2-1)-(1-6), (2-7)-(7-6), (4-8)-(8-5), (4-3)-(3-5) cüt-cüt paralel birləşdirilmiş xətlər alarıq. Onların hər birinin müqa-



Şəkil 141,a.



Şəkil 141,b,c.

viməti $\frac{R_0}{2}$ -dir.

Ekvivalent sxem şəkil 141, b və c-də göstərilmişdir. 2,6-7-8-4,5 ardıcıl dövrə hissəsinin müqavimətini (R') belə taparıq:

$$R'=\frac{R_0}{2}+R_0+\frac{R_0}{2} \quad \text{və} \quad R'=2R_0 \qquad (1)$$

R' müqaviməti 2,6-4,5 xətti ilə paralel birləşir. Onların birlikdə yaratdığı R" müqavimətini tapaq:

Şəkil 86 a, b

$$\frac{1}{R''}=\frac{1}{2R_0}+\frac{1}{R_0/2} \quad \text{və} \quad R''=\frac{2R_0}{5} \qquad (2)$$

R" müqaviməti 1-2,6 və 4,5-3 müqavimətləri ilə ardıcıl birləşir. Bu xətt üzrə müqaviməti (R''') tapaq:

$$R'''=\frac{R_0}{2}+\frac{2R_0}{5}+\frac{R_0}{2}=\frac{7}{5}R_0 \qquad (3)$$

R''' müqaviməti 1-3 xətti ilə paralel birləşir. Bu müqaviməti hesablasaq, yekun müqaviməti (R) tapmış olarıq:

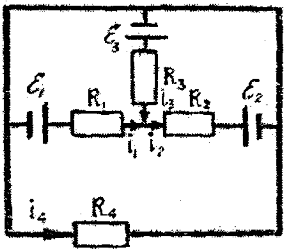
$$\frac{1}{R}=\frac{1}{7R_0/5}+\frac{1}{R_0}, \text{ buradan:} \qquad R=\frac{7}{12}R_0=\frac{7}{12}\cdot 1Om=\frac{7}{12}Om \qquad (4)$$

87. Cərəyanların qiymətlərini tapmaq üçün, Kirxhof qaydalarından istifvdə edək. Kirxhofun birinci qaydasına görə şəkil 142-dən:

$i_1+i_3=i_2$ (1)

Kirxhofun ikinci qaydasını sxemdə mövcud olan dörd qapalı kontura ayrı-ayrılıqda tətbiq etməklə 4 tənlik alarıq:

$$\begin{cases} i_2R_2 - i_4R_4 + i_1R_1 = \varepsilon_1 - \varepsilon_2 & (2) \\ i_3R_3 + i_2R_2 = \varepsilon_3 - \varepsilon_2 & (3) \\ i_1R_1 - i_3R_3 = \varepsilon_1 - \varepsilon_3 & (4) \\ i_4R_4 = 0 & (5) \end{cases}$$



Şəkil 142.

(5) tənliyindən aydındır ki, i_4=0-dır. (3)-dən i_2-ni, (4)-dən i_1-i i_3 vasitəsi ilə ifadə edək:

$$i_2 = \frac{\varepsilon_3 - \varepsilon_2}{R_2} - i_3\frac{R_3}{R_2} \qquad (6)$$

$$i_1 = i_3\frac{R_3}{R_1} + \frac{\varepsilon_1 - \varepsilon_3}{R_1} \qquad (7)$$

(6) və (7)-ni (1)-də yerinə yazıb, i_3-ü taparıq:

$$i_3 = \frac{R_1(\varepsilon_3 - \varepsilon_2) + R_2(\varepsilon_3 - \varepsilon_1)}{R_1R_2 + R_1R_3 + R_2R_3} \qquad (8)$$

i_3-ün (8) ifadəsini (7) və (6)-da yerinə yazıb i_1 və i_2-ni taparıq:

$$i_1 = \frac{R_3(\varepsilon_1 - \varepsilon_2) + R_2(\varepsilon_1 - \varepsilon_3)}{R_1R_2 + R_1R_3 + R_2R_3} \qquad (9)$$

$$i_2 = \frac{R_1(\varepsilon_3 - \varepsilon_2) + R_3(\varepsilon_1 - \varepsilon_2)}{R_1R_2 + R_1R_3 + R_2R_3} \qquad (10)$$

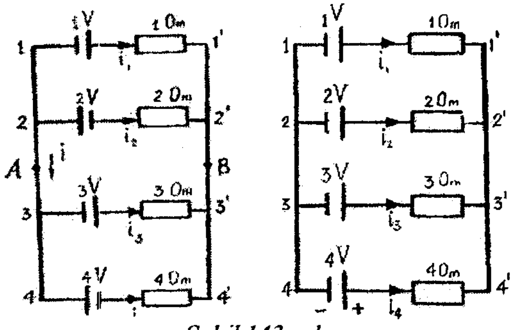
i-lərin ədədi qiymətləri belə olar:

$$i_1 = \frac{300\cdot(1{,}00-2{,}00)+200\cdot(1{,}00-3{,}00)}{100\cdot200+100\cdot300+200\cdot300}A = -6{,}3\cdot10^{-3}A = -6{,}3mA$$

$$i_2 = \frac{100\cdot(3{,}00-2{,}00)+300\cdot(1{,}00-2{,}00)}{11\cdot10^4}A = -1{,}8\cdot10^{-3}A = -1{,}8mA$$

$$i_3 = \frac{100\cdot(3{,}00-2{,}00)+200(3{,}00-1{,}00)}{11\cdot10^4}A = 4{,}5\cdot10^{-3}A = 4{,}5mA.$$

88. a) Cərəyan şiddətlərinin qiymət və istiqamətlərini tapmaq üçün Kirxhofun qaydalarından istifadə edək. İkinci qaydanı ayrı-ayrı qapalı konturlara tətbiq edək (şəkil 143, a,b).



Şəkil 143, a,b.

11'2'21-dən: $i_1R_1 - i_2R_2 = \varepsilon_1 + \varepsilon_2$ (1)

11'3'31-dən: $i_1R_1 - i_3R_3 = \varepsilon_1 - \varepsilon_3$ (2)

11'4'41-dən: $i_1R_1 - i_4R_4 = \varepsilon_1 + \varepsilon_4$ (3)

2 və 3 nöqtələri arasında axan cərəyan şiddətini i'-lə işarə edək (onun istiqaməti şəkildə oxla göstərilmişdir). Kirxhofun birinci qaydasını 2 və 3 nöqtələrinə tətbiq edək: $i' + i_1 + i_2 = 0$ və $i' = i_3 + i_4$. Buradan:

$$i_1 + i_2 = -i_3 - i_4 \qquad (4)$$

i_2, i_3 və i_4-ü uyğun olaraq (1), (2) və (3)-dən i_1 vasitəsi ilə ifadə edək:

$$i_2 = i_1\frac{R_1}{R_2} - \frac{\varepsilon_1 + \varepsilon_2}{R_2} \qquad (5)$$

$$i_3 = i_1\frac{R_1}{R_3} - \frac{\varepsilon_1 - \varepsilon_2}{R_3} \qquad (6)$$

$$i_4 = i_1\frac{R_1}{R_4} - \frac{\varepsilon_1 + \varepsilon_2}{R_4} \qquad (7)$$

(5), (6), (7)-ni (4)-də yerinə yazsaq i_1-i belə taparıq:

$$i_1 = \frac{(\varepsilon_1 + \varepsilon_2)R_3R_4 + (\varepsilon_1 - \varepsilon_3)R_2R_4 + (\varepsilon_1 + \varepsilon_4)R_2R_3}{R_2R_3R_4 + R_1R_3R_4 + R_1R_2R_4 + R_1R_2R_3} \qquad (8)$$

Parametrlərin sxemdə verilən qiymətlərini (8)-də istifadə edib, i_1-i hesablayaq:

$$i_1 = \frac{(1+2)\cdot 3\cdot 4+(1-3)\cdot 2\cdot 4+(1+4)\cdot 2\cdot 3}{2\cdot 3\cdot 4+1\cdot 3\cdot 4+1\cdot 2\cdot 4+1\cdot 2\cdot 3}A = 1A$$

(5), (6) və (7)-dən: i_2=-1A, i_3=1A, i_4=-1A alarıq.

Deməli, i_2 və i_4-ün istiqamətləri sxemdə əksinə göstərilmişdir.

Əgər A və B nöqtələrində məftilləri kəssək, onda bir-birindən asılı olmayan iki qapalı dövrə alarıq: 11'22'1 və 33'4'43. hər iki dövrədə müqavimətlər bir-biri ilə ardıcıl birləşmiş olur. Ona görə i_1=i_2 və i_3=i_4 olur. Buradan aydın olur ki, onların istiqamətləri dəyişməmişdir. Qiymətlərini isə hesablayaq. Qapalı dövrə üçün Om qanununu əvvəlcə 11'2'21 dövrəsinə tətbiq edək:

$$i = \frac{\varepsilon_1+\varepsilon_2}{R_1+R_2} = \frac{1+2}{1+2}A = 1A$$

Digər dövrə üçün: $$i = \frac{\varepsilon_3+\varepsilon_4}{R_3+R_4} = \frac{3+4}{3+4}A = 1A$$

Deməli, A və B nöqtələrində məftilləri kəsdikdə müqavimətlərdən keçən cərəyan dəyişməz qalır.

b) Eyni əməliyyatları şəkil 143-dəki b sxemi üçün də təkrar edək:

$$\left.\begin{aligned} i_1R_1 - i_2R_2 &= \varepsilon_1 - \varepsilon_2 \\ i_1R_1 - i_3R_3 &= \varepsilon_1 - \varepsilon_3 \\ i_1R_1 - i_4R_4 &= \varepsilon_1 - \varepsilon_4 \\ i_1 + i_2 &= -i_3 - i_4 \end{aligned}\right\} \qquad (9)$$

$$i_2 = i_1\frac{R_1}{R_2} - \frac{\varepsilon_1-\varepsilon_2}{R_2} \qquad (10)$$

$$i_3 = i_1\frac{R_1}{R_3} - \frac{\varepsilon_1-\varepsilon_3}{R_3} \qquad (11)$$

$$i_4 = i_1\frac{R_1}{R_4} - \frac{\varepsilon_1-\varepsilon_4}{R_4} \qquad (12)$$

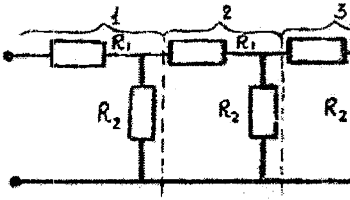
$$i_1 = \frac{(\varepsilon_1-\varepsilon_2)R_3R_4+(\varepsilon_1-\varepsilon_3)R_2R_4+(\varepsilon_1-\varepsilon_4)R_2R_3}{R_2R_3R_4+R_1R_3R_4+R_1R_2R_4+R_1R_2R_3} \qquad (13)$$

$$i_1 = \frac{(1-2)\cdot 3\cdot 4+(1-3)\cdot 2\cdot 4+(1-4)\cdot 2\cdot 3}{50}A = -0{,}92A$$

i_2=0,04A, i_3=0,36A, i_4=0,52A.

Sxemdə yalnız i_1-in istiqaməti yanlış göstərilmişdir.

89. Dövrədə həlqələrin sayı sonsuz olduğu üçün ikincidən başlayaraq götürülmüş dövrədə də həlqələrin sayı sonsuz olur (şəkil 144). Tutaq ki, dövrənin müqaviməti R-dir. Onda ikinci həlqədən başlayan sonsuz dövrənin də müqaviməti R olar. Bu müqavimət birinci həlqənin R_2 müqaviməti ilə paralel birləşmişdir. Onların birlikdə yaratdığı R' müqavimətini tapaq:



Şəkil 144.

$$\frac{1}{R'} = \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R} \quad \text{və ya} \quad R' = \frac{R_2 R}{R_2 + R} \qquad (1)$$

R' müqaviməti birinci həlqənin R_1 müqaviməti ilə ardıcıl birləşmişdir. R'-lə R_1-in cəmi dövrənin ümumi müqavimətinə (R-ə) bərabərdir:

$$R = R_1 + R' = R_1 + \frac{R_2 R}{R_2 + R}$$

Buradan: $$R^2 - R_1 R - R_1 R_2 = 0 \qquad (2)$$

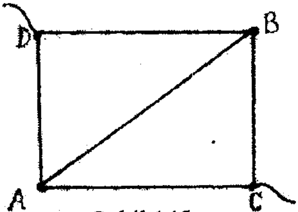
Kvadrat tənliyi həll edək:

$$R = \frac{R_1}{2} \pm \sqrt{\frac{R_1^2}{2} + R_1 R_2} \qquad (3)$$

Kökün qarşısındakı mənfi işarəsini fiziki məna kəsb etmədiyi üçün atsaq, alarıq:

$$R = \frac{R_1}{2} + \sqrt{\frac{R_1^2}{4} + R_1 R_2} = \left(\frac{2}{2} + \sqrt{\frac{4}{4} + 2 \cdot 4}\right) Om = 4 Om$$

90. A və B nöqtələri arasındakı müqavimət paralel birləşmiş üç müqavimətin: AD+DB, AC+CB və AC yaratdığı müqavimətə bərabərdir (şəkil 145). AD və CB parçalarının hər birinin müqavimətini r_a, AD və BD tərəflərinin müqavimətlərinin hər birini r_b, AB diaqonalının müqavimətini isə r_c ilə işarə edək. Məftillər en kəsiyi S sabit olan silindr şəklində olduğu üçün müqavimətləri belə ifadə edə bilərik:



Şəkil 145.

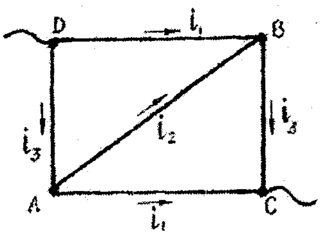
$$r_a = \rho\frac{a}{S},\quad r_b = \rho\frac{b}{S},$$
$$r_c = \rho\frac{\sqrt{a^2+b^2}}{S} \qquad (1)$$

AD və BD tərəflərinin müqavimətləri bir-birinə ardıcıl birləşdirilmişdir. Onların müqavimətlərinin cəmi r_a+r_b –dir. AC və CB tərəflərinin yaratdığı müqavimət r_a+r_b-dir. A və B nöqtələri arasındakı müqaviməti tapmaq üçün paralel birləşdirilmiş iki (r_a+r_b) və bir r_c müqavimətindən alınan yekun müqaviməti hesablayaq:

$$\frac{1}{R_{AB}} = \frac{2}{r_a+r_b}+\frac{1}{r_c}$$

buradan:

$$R_{AB} = \frac{r_c(r_a+r_b)}{r_a+r_b+2r_c} \qquad (2)$$



Şəkil 146.

C və D nöqtələri arasındakı müqaviməti tapmaq üçün budaqlardan axan cərəyanları araşdıraq.

Məsələnin simmetriyasından aydındır ki, AC və DB tərəflərindən axan cərəyanlar eynidir, eləcə də DA və BC tərəflərindən axan cərəyanlar eynidir (cərəyanların istiqamətləri şəkil 146-da oxlarla göstərilmişdir).

Kirxhofun birinci qaydasını A və ya B nöqtəsinə tətbiq edək:

$$i_3=i_1+i_2 \qquad (3)$$

D və C nöqtələri arasındakı potensiallar fərqini (U_{DC}) DAC və DABC dövrə hissələrindən istifadə edib, yazaq:

$$\begin{cases} i_3r_a + i_1r_b = U_{DC} \\ i_3r_a + i_2r_c + i_3r_a = U_{DC} \end{cases} \qquad (4)$$

(3) və (4)-dən:

$$i_1 = \frac{(r_a+r_b)U_{DC}}{2r_ar_b+r_ar_c+r_br_c} \qquad (5)$$

$$i_2 = \frac{(r_b - r_a)U_{DC}}{2r_a r_b + r_a r_c + r_b r_c} \qquad (6)$$

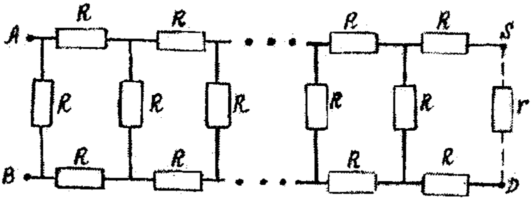
Om qanununa görə: $i = \dfrac{U_{DC}}{R_{DC}}$ (7)

$i = i_3 + i_1 = 2i_1 + i_2$, R_{DC} – D və C nöqtələri arasındakı müqavimətdir. Beləliklə:

$$R = \frac{2r_a r_b + r_a r_c + r_b r_c}{r_a + r_b + 2r_c} \qquad (8)$$

alarıq.

91. r müqavimətini elə seçmək lazımdır ki, sonuncu həlqənin müqaviməti elə r-ə bərabər olsun. Bu halda onun əvvəlindəki həlqənin də müqaviməti r olacaq və s. Bu qayda ilə birinci həlqəyə çatdıqdan sonra onun da müqaviməti r olacaq və beləliklə, A və B nöqtələri arasındakı müqavimət r-ə bərabər olacaq. Onu tapaq. C və D nöqtələrinə qoşulan r müqaviməti sonuncu həlqədə R və R müqaviməti ilə ardıcıl birləşir (bax: şəkil 147). Bunların ümumi müqaviməti R'=2R+r –dir. Bu müqavimət sonuncu həlqədəki digər R müqavimətinə paralel birləşir. Onların birlikdə yaratdığı müqavimət r-ə bərabər olmalıdır. Onda:



Şəkil 147.

$$\frac{1}{r} = \frac{1}{R} + \frac{1}{2R + r} \qquad (1)$$

buradan:

$$r^2 + 2Rr - 2R^2 = 0 \qquad (2)$$

(2) tənliyini həll edib r-i belə taparıq:

$$r = R\left(\sqrt{3} - 1\right) \qquad (3)$$

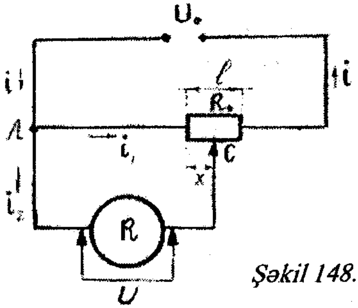
(fiziki məna kəsb etməyən ikinci həlli atdıq).

92. Sxemdə (şəkil 148) iki qapalı kontur üçün Kirxhofun ikinci qaydasını yazaq:

$i_1R_x+i(R_0-R_x)=U_0$ (1)

$i_2R-i_1R_x=0$ (2)

R_x-potensiometr telinin x uzunluğunun müqavimətidir $\left(R_x=\frac{R_0}{\ell}x\right)$.



Şəkil 148.

Kirxhofun birinci qanununu A nöqtəsinə tətbiq edək: $i=i_1+i_2$ (3)

(1), (2) və (3) tənliklərini birlikdə həll etsək, i_2-ni belə taparıq:

$$i_2=\frac{R_xU_0}{RR_0+(R_0-R_x)R_x}=\frac{U_0x}{\ell R+R_0(\ell-x)\frac{x}{\ell}} \qquad (4)$$

Potensiometr vasitəsi ilə cihaza verilən gərginlik $U=i_2R$-dir. i_2-nin (4) ifadəsindən istifadə etsək,

$$U=\frac{xRU_0}{\ell R+R_0(\ell-x)\frac{x}{\ell}} \qquad (5)$$

alarıq. $R \gg R_0$ olduqda:

$$U=\frac{xU_0}{\ell+\frac{R_0}{R}(\ell-x)\frac{x}{\ell}}\cong\frac{x}{\ell}U_0 \qquad (6)$$

U x-lə düz mütənasib dəyişir.

93. Plitkada ayrılan gücü (P) belə ifadə edək:

$P=iU$, i– plitkadan axan cərəyan şiddəti, U-tətbiq edilən gərginlikdir.

Dövrə hissəsi üçün Om qanunudan: $i=\frac{U}{R}$, R-i tapaq:

$$R=\frac{U}{i}=\frac{U}{P/U}=\frac{U^2}{P} \qquad (1)$$

Digər tərəfdən, R-i naqilin ölçüləri və xüsusi müqavimət (ρ) vasitəsi ilə belə ifadə etmək olar:

$$R = \rho\frac{\ell}{S} \qquad (2),$$

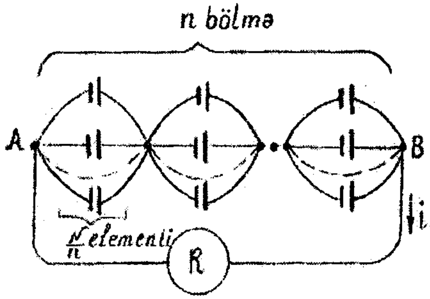
S-məftilin en kəsiyinin sahəsi, ℓ -onun uzunluğudur.
(1) və (2)-dən alarıq:

$$\ell = \frac{SU^2}{\rho P} = \frac{\pi\left(\frac{d^2}{4}\right)U^2}{\rho P} = \frac{3{,}14\cdot(0{,}4)^2\cdot 10^{-6}\cdot(220)^2}{4\cdot 1{,}05\cdot 10^{-6}\cdot 0{,}5\cdot 10^3}m = 11{,}6m \approx 12m$$

94. Sxemdə (şəkil 149) hər bölmənin ayrılıqda daxili müqavimətini (R') müqavimətlərin paralel birləşməsi qanunundan tapaq:

$$\frac{1}{R'} = \frac{1}{R_0} + \frac{1}{R_0} + ... + \frac{1}{R_0} = \frac{1}{R_0}\cdot\frac{N}{n}; \qquad (1)$$

$$R' = \frac{nR_0}{N}$$



Şəkil 149.

Hər bölmənin e.h.q. ε-na bərabər olacaq.
Ardıcıl birləşmiş bölmələrin daxili müqaviməti (R'') belə olar:

$$R'' = nR' = \frac{n^2 R_0}{N} \qquad (2)$$

Ardıcıl birləşmələrin yaratdığı e.h.q.-ni yazaq:

$$\varepsilon_{yek} = n\,\varepsilon \qquad (3)$$

Tam dövrə üçün Om qanunundan:

$$i = \frac{\varepsilon_{yek}}{R + R''} = \frac{n\varepsilon}{R + \frac{n^2 R_0}{N}} = \frac{nN\varepsilon}{RN + n^2 R_0} \qquad (4)$$

Cihazdakı potensial düşgüsü (U):

U=iR, sərf olunan güc (P) isə:

$$P = Ui = i^2 R = \frac{R\cdot n^2 N^2 \varepsilon^2}{\left(RN + n^2 R_0\right)^2} \qquad (5)$$

P-nin n-ə görə maksimumluq şərtini yazaq: $\frac{dP}{dn} = 0$ yaxud

$$RN^2\varepsilon^2\cdot\frac{2n\left(RN+n^2R_0\right)^2-2\left(RN+n^2R_0\right)\cdot 2R_0n^2}{\left(RN+n^2R_0\right)^4}=0$$

Surətin sıfra bərabər olması şərti belədir: $NR+n^2R_0-2R_0n^2=0$

Buradan: $$n_{max}=\sqrt{\frac{RN}{R_0}} \qquad (6)$$

n-in bu qiymətində güc maksimum olacaq:

$$P_{max}=\frac{R\cdot\left(\sqrt{\frac{RN}{R_0}}\right)^2\cdot N^2\varepsilon^2}{\left(RN+\frac{RN}{R_0}\cdot R_0\right)^2}=\frac{\varepsilon^2N}{4R_0} \qquad (7)$$

(6)-dan: $$n_{max}=\sqrt{\frac{0,300\cdot 24}{0,200}}=6,$$

(7)-dən: $$P_{max}=\frac{\varepsilon\cdot 24}{4\cdot 0,200}Vt=30Vt$$ alarıq.

95. Kondensator R müqaviməti ilə qapandıqdan sonra o, boşalmağa başlayacaq (müqavimətdən cərəyan axacaq). Yükün miqdarı getdikcə azaldığı üçün cərəyan şiddətini belə ifadə edərik :

$$i=-\frac{dq}{dt} \qquad (1)$$

Tutumun tərifindən istifadə edib kondensatorun köynəkləri arasındakı potensiallar fərqini yazaq :

$$C=\frac{q}{U}\ ;\quad U=\frac{q}{C} \qquad (2)$$

Om qanununa görə R müqavimətindən axan cərəyan şiddətinin ifadəsini də yazaq :

$$i=\frac{U}{R} \qquad (3)$$

(1), (2) və (3)-dən q- nü tapmaq üçün diferensial tənlik alarıq :

$$\frac{dq}{q}=-\frac{dt}{CR} \qquad (4)$$

Buradan : $$\ln q = -\frac{t}{CR} + A \qquad (5)$$

A - inteqrallama sabitidir. Onu başlanğıc şərtdən tapaq. t = 0 olduqda $q = q_0$- dır. Onda (5)- dən : $lnq_0 = A$ alarıq. Bunu (5)-də yerinə yazıb q-nü tapaq :

$$q = q_0 e^{-\frac{t}{CR}} \qquad (6)$$

a) (1) və (6) -dan i-nin dəyişmə qanununu taparıq :

$$i = -\frac{dq}{dt} = \frac{q_0}{CR} e^{-\frac{t}{CR}} \qquad (7)$$

b) τ müddətində R- dən keçən yükü hesablayaq :

$$q = \int_0^\tau i dt = \frac{q_0}{CR}\int_0^\tau e^{-\frac{t}{CR}} dt = \frac{q_0}{CR}(-CR)\cdot e^{-\frac{t}{CR}}\Big|_0^\tau = q_0\left(1 - e^{-\frac{\tau}{CR}}\right) \qquad (8)$$

c) R müqavimətində ayrılan istiliyin miqdarı cərəyanın τ müddətində gördüyü işə bərabərdir :

$$Q = A = \int_0^\tau iUdt = \int_0^\tau i\cdot\frac{q}{C}dt = \int_0^\tau \frac{q_0}{CR}\cdot\frac{1}{C}\cdot q_0 e^{-\frac{t}{CR}}dt =$$
$$= \frac{q_0^2}{C^2R}\int_0^\tau e^{-\frac{2t}{CR}}dt = \frac{q_0^2}{C^2R}\left(-\frac{CR}{2}\right)\cdot e^{-\frac{2t}{CR}}\Big|_0^\tau = \frac{q_0^2}{2C}\left(1 - e^{-\frac{2\tau}{CR}}\right) \qquad (9)$$

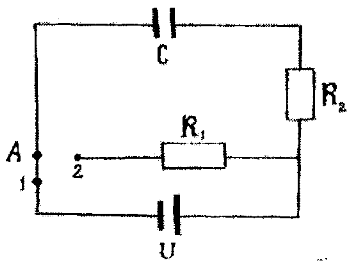
τ = 2,00 mks = 2,00. 10^{-6}c üçün parametrlərin qiymətlərini (8) və (9)-da yerinə yazıb, alarıq : q = 0,89 . 10^{-3} kl , Q = 0,25 C.

96. Dövrənin sxemi şəkil 150 -də verilmişdir.

dt müddətində R_1 müqavimətində ayrılan istilik, cərəyanın bu müddətdə gördüyü işə bərabərdir:

$dA = iU_1dt = i\cdot iR_1dt = R_1i^2dt$ (1)

i-ni məsələ 95-də olduğu kimi taparıq. Yeganə fərq R-in burada $R_1 + R_2$ olmasıdır:



Şəkil 150.

$$i=\frac{q_0}{C(R_1+R_2)}e^{-\frac{t}{C(R_1+R_2)}}=\frac{U_0}{(R_1+R_2)}e^{-\frac{t}{C(R_1+R_2)}} \quad (2)$$

Burada $q_0 = U_0C$ - yazdıq (q_0-başlanğıcda kondensatorun bir lövhəsindəki yük, U_0- ona tətbiq olunan gərginlikdir).

(2)-ni (1)-də yerinə yazıb, onu t-yə görə 0-dan ∞ -a qədər inteqrallasaq, R_1-müqavimətində ayrılan istiliyi taparıq :

$$Q=A=\int_0^\infty R_1 i^2 dt=R_1\int_0^\infty\left(\frac{U_0}{R_1+R_2}\right)^2 e^{-\frac{2t}{C(R_1+R_2)}}dt=$$

$$=R_1\cdot\frac{U_0^2}{(R_1+R_2)^2}\int_0^\infty e^{-\frac{2t}{C(R_1+R_2)}}dt=\frac{R_1U_0^2}{(R_1+R_2)^2}\cdot\left(-\frac{C(R_1+R_2)}{2}\right)e^{-\frac{2t}{C(R_1+R_2)}}\Bigg|_0^\infty=$$

$$=\frac{R_1CU_0^2}{2(R_1+R_2)}\left(-e^{-\infty}+e^0\right)=\frac{R_1}{2(R_1+R_2)}\cdot CU_0^2 \quad (3)$$

$$Q=\frac{500}{2(500+300)}\cdot 5{,}00\cdot 10^{-6}\cdot(200)^2C=6{,}25\cdot 10^{-2}C$$

97. Dövrədə axan cərəyan C_1 kondensatorunun (şəkil 96) q_1 yükünün dəyişməsi hesabına yaranır :

$$i=-\frac{dq_1}{dt} \quad (1)$$

i-cərəyanı kondensatorların arasındakı potensiallar fərqindən (U) asılıdır:

$$i=\frac{U}{R}=-\frac{U_2-U_1}{R}=-\frac{1}{R}\left(\frac{q_2}{C_2}-\frac{q_1}{C_1}\right) \quad (2)$$

Yükün saxlanması qanununa görə kondensatorların yüklərinin cəmi birinci kondensatorun ilkin yükünə ($q_0 = C_1U_0$-a) bərabərdir :

$q_1+q_2=q_0=C_1U_0$, buradan : $q_2=C_1U_0-q_1$ (3)

(1), (2) və (3)-dən q_1 üçün diferensial tənlik alarıq :

$$-\frac{dq_1}{dt}=-\frac{1}{R}\left[\frac{1}{C_2}(C_1U_0-q_1)-\frac{q_1}{C_1}\right]$$

buradan

$$\dot{q}_1 + \frac{1}{R}\left(\frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2}\right)q_1 - \frac{C_1 U_0}{RC_2} = 0 \tag{4}$$

(4)-ü ümumi şəkildə belə yazarıq :

$$\dot{q}_1 + pq_1 = Q$$

burada $$p = \frac{1}{R}\left(\frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2}\right), \quad Q = \frac{C_1 U_0}{RC_2} \tag{5}$$

işarə edilmişdir

Bu xətti bircins diferensial tənliyin riyaziyyatdan məlum ümumi həlli belədir :

$$q_1 = \exp\left[-\int p dt\right]\int\left\{Q\left[\exp\left(\int p dt\right)\right]dt + A\right\} \tag{6}$$

A- inteqrallama sabiti başlanğıc şərtlərdən tapılır.

P və Q parametrlərinin qiymətlərini (6) -da yerinə yazıb inteqralları açaq :

$$q_1 = \exp\left[-\int\frac{1}{R}\left(\frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2}\right)dt\right]\left\{\int\frac{C_1 U_0}{RC_2}\cdot\left[\exp\left(\int\frac{1}{R}\left(\frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2}\right)dt\right)dt\right] + A\right\} =$$

$$= \exp\left[-\frac{1}{R}\left(\frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2}\right)t\right]\left\{\int\frac{C_1 U_0}{RC_2}\left[\exp\left(\frac{1}{R}\left(\frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2}\right)t\right)\right]dt + A\right\} =$$

$$= \exp\left[-\frac{1}{R}\left(\frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2}\right)t\right]\left\{\frac{C_1}{C_2}\cdot\frac{U_0}{R}\cdot\frac{1}{\frac{1}{R}\left(\frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2}\right)}\exp\left[\frac{1}{R}\left(\frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2}\right)\right]t + A\right\} =$$

$$= \frac{C_1}{C_2}\cdot\frac{U_0}{\left(\frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2}\right)} + A\cdot e^{-\frac{1}{R}\left(\frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2}\right)t} \tag{7}$$

$t=0$ olduqda $q_1(0)=q_0=C_1 U_0$-dır. Onda (7) -dən :

$$q(0)=C_1U_0=\frac{C_1}{C_2}\cdot\frac{U_0}{\frac{1}{C_1}+\frac{1}{C_2}}+A\cdot e^0$$

Buradan : $$A=U_0C_1\cdot\frac{C_2}{C_1+C_2}$$.

(7)-də yerinə yazaq:

$$q_1=\frac{C_1}{C_2}\cdot\frac{C_1C_2U_0}{C_1+C_2}+\left(U_0C_1\frac{C_2}{C_1+C_2}\right)\cdot e^{-\frac{1}{R}\left(\frac{1}{C_1}+\frac{1}{C_2}\right)t}=$$
$$=\frac{C_1^2U_0}{C_1+C_2}\left(1+\frac{C_2}{C_1}\cdot e^{-\frac{1}{R}\left(\frac{1}{C_1}+\frac{1}{C_2}\right)t}\right) \qquad (8)$$

(8)-i (1)-də istifadə etsək i-ni taparıq.

$$i=-\frac{dq_1}{dt}=-\frac{C_1^2U_0}{C_1+C_2}\cdot\frac{C_2}{C_1}\cdot\left(-\frac{1}{R}\left(\frac{1}{C_1}+\frac{1}{C_2}\right)\right)e^{-\frac{1}{R}\left(\frac{1}{C_1}+\frac{1}{C_2}\right)t}=$$
$$=\frac{U_0}{R}e^{-\frac{1}{R}\left(\frac{1}{C_1}+\frac{1}{C_2}\right)t} \qquad (9)$$

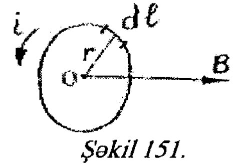
Birləşdirici naqillərdə ayrılan istilik cərəyanını gördüyü işə bərabərdir. Elementar işi yazaq :

$$dA=iUdt=i\cdot iRdt=i^2Rdt \qquad (10)$$

(9)-u nəzərə alıb (10)-u 0-dan ∞ -a qədər inteqrallasaq, ayrılan istiliyi taparıq :

$$Q_{is}=A=\int_0^\infty i^2Rdt=\frac{U_0^2}{R}\int_0^\infty e^{-\frac{2}{R}\left(\frac{1}{C_1}+\frac{1}{C_2}\right)t}dt=$$
$$=\frac{U_0^2}{R}\cdot\frac{R}{2\left(\frac{1}{C_1}+\frac{1}{C_2}\right)}\cdot e^{-\frac{2}{R}\left(\frac{1}{C_1}+\frac{1}{C_2}\right)t}\Bigg|_0^\infty=-\frac{U_0^2C_1C_2}{2(C_1+C_2)}\left(e^{-\infty}-e^0\right)= \qquad (11)$$
$$=\frac{C_1C_2}{2(C_1+C_2)}U_0^2\ ; \qquad Q_{is}=\frac{C_1C_2}{2(C_1+C_2)}U_0^2$$

98. a) Cərəyan çevrəsinin mərkəzində (şəkil 151) maqnit induksiyasını tapmaq üçün onun $d\ell$ qövs elementini ayıraq və $id\ell$ cərəyanının çevrənin o mərkəzində yaratdığı maqnit induksiyasını Bio-Savar-Laplas qanununa görə yazaq :



Şəkil 151.

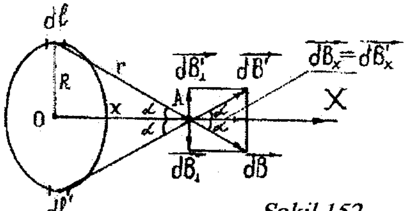
$$dB = \frac{\mu_0}{4\pi} \cdot \frac{id\ell \cdot \sin\theta}{r^2} \qquad (1)$$

$\theta - d\ell$ ilə r-radius- vektoru arasında qalan bucaqdır (θ=90^0).

(1) -i bütün çevrə boyunca inteqrallasaq, B-nı tapanq :

$$B = \int\limits_{(\ell)} \frac{\mu_0}{4\pi} \cdot \frac{id\ell}{r^2} = \frac{\mu_0 i}{4\pi r^2} \int\limits_{(\ell)} d\ell = \frac{\mu_0 i}{4\pi r^2} \cdot 2\pi r = \frac{\mu_0}{2} \cdot \frac{i}{r} \qquad (2)$$

b) Cərəyan çevrəsinin oxu üzərində maqnit induksiyasını tapmaq üçün əvvəlcə çevrə üzərində bir-birinə bərabər və O mərkəzinə görə simmetrik olan iki qövs elementi ($d\ell$ və $d\ell'$) ayıraq (şəkil 152). idl və idl′ cərəyan elementlərinin cərəyan oxunun üzərindəki ixtiyari A nöqtəsində yaratdığı maqnit induksiyası $d\vec{B}$ və $d\vec{B}'$ olsun. Onları x oxuna paralel ($d\vec{B}_x$ və $d\vec{B}'_x$) və ona perpendikulyar ($d\vec{B}_\perp$ və $d\vec{B}'_\perp$) toplananlara ayıraq. $d\vec{B}_\perp$ və $d\vec{B}'_\perp$ toplananları qiymətcə bərabər, istiqamətcə bir-birinin əksinədir. Ona görə onlar toplanaraq, bir-birini yox edir. $d\vec{B}_x$ və $d\vec{B}'_x$ toplananları istiqamətcə eyni olduğu üçün toplanaraq bir-birini gücləndirir. Beləliklə, nəticədə yekun maqnit induksiyası OX oxunun üzərindəki ixtiyari nöqtədə dairəvi cərəyanın ayrı-ayrı elementlərinin x oxu istiqamətindəki komponentlərinin cəminə bərabər olacaq :



Şəkil 152.

$$B = \int\limits_{(\ell)} dB_x = \int\limits_{(\ell)} dB \cdot \sin\alpha = \int\limits_{(\ell)} \frac{\mu_0}{4\pi} \cdot \frac{id\ell}{r^2} \cdot \frac{R}{r} = \frac{\mu_0 iR}{4\pi r^3} \int\limits_{(\ell)} d\ell =$$
$$= \frac{\mu_0 iR}{4\pi r^3} \cdot 2\pi R = \frac{\mu_0 i \cdot \pi R^2}{2\pi r^3} = \frac{\mu_0 P_m}{2\pi r^3} \qquad (3)$$

Burada $P_m = i \cdot \pi R^2$ - dairəvi cərəyanın maqnit momentidir.

Şəkildən aydın olduğu kimi, $r = \sqrt{R^2 + x^2}$ -dır. Bunu (3)-də yerinə yazaq :

$$B = \frac{\mu_0 P_m}{2\pi\left(R^2 + x^2\right)^{3/2}} \qquad (4)$$

x = 0 olduqda (4) asılılığı (2) ifadəsi ilə eyni olur. x >> R olarsa , onda:

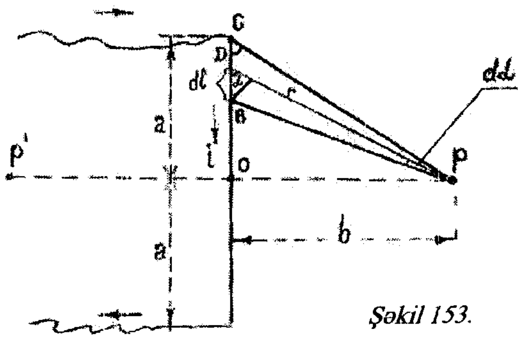
$$B = \frac{\mu_0 P_m}{2\pi x^3}$$

alarıq.

x = b = 100 mm = 0,1m üçün B -ni hesablayaq :

$$B = \frac{\mu_0 i R^2}{2\left(R^2 + x^2\right)^{3/2}} = \frac{1{,}257 \cdot 10^{-6} \cdot 1 \cdot 0{,}1^2}{2\left(0{,}1^2 + 0{,}1^2\right)^{3/2}} = 2{,}3 \cdot 10^{-6}\,Tl$$

99. Düzxətli hissənin üzərində kiçik dl parçası götürək (şəkil 153). idl cərəyan elementinin P nöqtəsində yaratdığı maqnit induksiyasını Bio- Savar- Laplas qanununa görə yazaq :



Şəkil 153.

$$dB = \frac{\mu_0 i}{4\pi} \cdot \frac{d\ell \sin\alpha}{r^2} \qquad (1)$$

ABD üçbucağından : AB = $d\ell \sin\alpha$, BAP üçbucağından; AB = $rd\alpha$; müqayisədən alarıq:

$$d\ell = \frac{rd\alpha}{\sin\alpha} \qquad (2)$$

DOP üçbucağından: $\sin\alpha = \frac{b}{r}$. Bunu (2) -də istifadə edib , (1)-də yerinə yazaq :

$$dB = \frac{\mu_0 i}{4\pi}\cdot\frac{r^2 d\alpha}{b}\cdot\frac{\sin\alpha}{r^2} = \frac{\mu_0 i}{4\pi b}\cdot\sin\alpha d\alpha \qquad (3)$$

P nöqtəsində naqilin düzxətli hissəsinin hər iki a parçasının yaratdığı maqnit sahəsi eynidir. Ona görə hesablamada bir hissənin yaratdığı sahəni tapıb, 2-yə vurmaq lazımdır :

$$B = 2\int_{\alpha_0}^{\frac{\pi}{2}}\frac{\mu_0 i}{4\pi b}\cdot\sin\alpha d\alpha = \frac{\mu_0 i}{2\pi b}\int_{\alpha_0}^{\frac{\pi}{2}}\sin\alpha d\alpha = -\frac{\mu_0 i}{2\pi b}\cos\alpha\Big|_{\alpha_0}^{\pi/2} = \frac{\mu_0 i}{2\pi b}\cdot\cos\alpha_0 \qquad (4)$$

Şəkil 153-dən: $\cos\alpha_0 = a/CP = a/\sqrt{a^2+b^2}$. Bunu (4)-də yerinə yazaq :

$$B = \frac{\mu_0 i}{2\pi b}\cdot\frac{a}{\sqrt{a^2+b^2}} = \frac{\mu_0 i}{2\pi b}\cdot\frac{1}{\sqrt{1+\left(\frac{b}{a}\right)^2}} \qquad (5)$$

a $\rightarrow \infty$ olduqda :

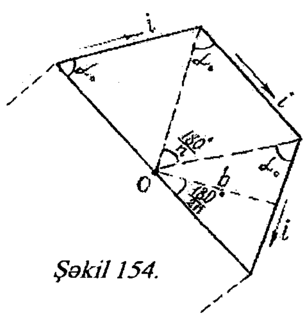
$$B = \frac{\mu_0 i}{2\pi b} \qquad (6)$$

alarıq.

100. Çoxbucaqlının hər bir tərəfinin onun mərkəzində yaratdığı sahənin maqnit induksiyası məsələ 99-da olduğu kimi (4) düsturu ilə təyin olunur :

$$B_n = \frac{\mu_0 i}{2\pi b}\cdot\cos\alpha_0 \qquad (1)$$

Burada, b- çoxbucaqlının mərkəzindən onun tərəflərindən birinə endirilən normal parçanın uzunluğu, α_0 - isə onun tərəflərindən biri ilə bu tərəfin bir ucunu mərkəzlə birləşdirən parça arasında qalan bucaqdır (şəkil 154-də çoxbucaqlının bir hissəsi verilmişdir). Şəkildən :



Şəkil 154.

$$\cos\alpha_0 = \frac{a_n}{2R} = \frac{2R\sin\frac{180^0}{n}}{2R} = \sin\frac{180^0}{n} \qquad (2)$$

a_n-R radiuslu çevrənin daxilinə çəkilmiş düzgün n-bucaqlının tərəfidir.

$$b^2 = R^2 - R^2\sin^2\frac{180^0}{n} = R^2\left(1-\sin^2\frac{180^2}{n}\right) = R^2\cos^2\frac{180^0}{n}$$

Buradan : $$b = R\cos\frac{180^0}{n} \qquad (3)$$

Çoxbucaqlının n tərəfinin O nöqtəsində yaratdığı sahəni tapmaq üçün B_n-i n-ə vurmaq lazımdır :

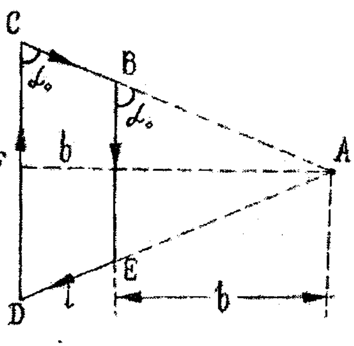
$$B = nB_n = \frac{n\mu_0 i}{2\pi}\cdot\frac{\cos\alpha_0}{b} = \frac{\mu_0 i}{2}\cdot\frac{n}{\pi}\cdot\frac{\sin\frac{180^0}{n}}{R\cos\frac{180^0}{n}} = \frac{\mu_0 i}{2R}\cdot\frac{n}{\pi}tg\frac{180^0}{n}$$

$$B = \frac{\mu_0 i}{2R}\cdot\frac{n}{\pi}tg\frac{\pi}{n} \qquad (4)$$

n $\to\infty$ limit halı üçün $\frac{n}{\pi}tg\frac{\pi}{n} = 1$-dir :

$$\lim_{n\to\infty}\frac{n}{\pi}tg\frac{\pi}{n} = \lim_{n\to\infty}\cdot\frac{\sin\frac{\pi}{n}}{\frac{\pi}{n}}\cdot\frac{1}{\cos\frac{\pi}{n}} = 1\cdot\frac{1}{\cos 0} = 1$$

Onda : $B = \frac{\mu_0 i}{2R}$ alarıq .



Şəkil 155.

101. CB və DE tərəflərinin A nöqtəsində (şəkil 155) yaratdığı maqnit sahəsi sıfra bərabərdir. Çünki onların radius-vektorla əmələ gətirdiyi bucaq 0 və 180^0-dir. BE tərəfindən axan cərəyanın yaratdığı maqnit sahəsi şəkil müstəvisindən bizə doğru, DC tərəfininki isə bizdən şəkil müstəvisinə doğru yönəlmişdir. Yekun sahə onların fərqinə bərabərdir. BE və DC oturacaqlarının A nöqtəsində yaratdığı sahə məsələ 99-da olduğu kimi təyin edilir və uyğun olaraq belə ifadə olunur :

$$B_1 = \frac{\mu_0 i}{2\pi b}\cdot\cos\alpha_0\,; \quad B_2 = -\frac{\mu_0 i}{2\pi 2b}\cdot\cos\alpha_0 \qquad (1)$$

Burada nəzərə aldıq ki, AE = 2b-dir. $\cos\alpha_0$ -ı tapıb, yerinə yazaq. Bunun üçün qeyd edək ki, verilmiş şərtlərdən ADC üçbucağının bərabərtərəfli , BE onun orta xətti, AF=2b olduğu aydındır. Onda :

$$\cos\alpha_0 = \frac{\ell/2}{BA} = \frac{\ell/2}{\sqrt{\ell^2/4 + b^2}} = \frac{\ell}{\sqrt{\ell^2 + 4b^2}} \qquad (2)$$

(1) və (2) -ni nəzərə alıb, A nöqtəsində yekun maqnit sahəsinin induksiyasını tapaq :

$$B = B_1 + B_2 = \frac{\mu_0 i}{2\pi b}\cos\alpha_0 - \frac{\mu_0 i}{2\pi 2b}\cdot\cos\alpha_0 =$$

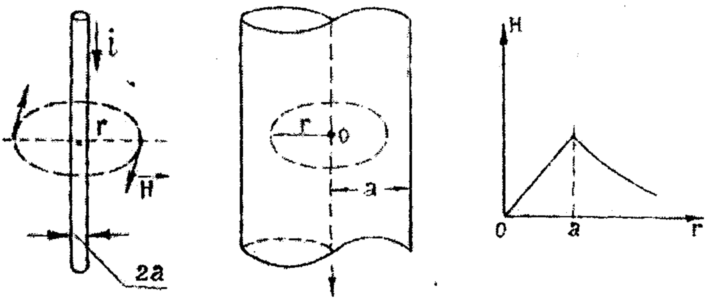
$$= \frac{\mu_0 i}{4\pi b}\cos\alpha_0 = \frac{\mu_0 i}{4\pi b}\cdot\frac{\ell}{\sqrt{\ell^2 + 4b^2}}\,;$$

$$B = \frac{\mu_0 i}{4\pi b}\cdot\frac{\ell}{\sqrt{\ell^2 + 4b^2}} \qquad (3)$$

Parametrlərin qiymətlərini yerinə yazıb B-ni hesablayaq :

$$B = \frac{1{,}257\cdot 10^{-6}\cdot 6{,}28}{4\cdot 3{,}14\cdot 5\cdot 10^{-2}}\cdot\frac{1\cdot 10^{-1}}{\sqrt{10^{-2} + 4\cdot 25\cdot 10^{-4}}} = 8{,}9\cdot 10^{-6}\,Tl$$

102. a) Naqilin xaricində (r >a) maqnit sahəsinin intensivliyini (H) tapmaq üçün onun (H-ın) sirkulyasiyası teoremindən istifadə edək. Bunun üçün naqilin oxuna perpendikulyar müstəvi götürək.



Şəkil 156, a,b,c.

Onun üzərində mərkəzi naqilin oxu üzərində olan ixtiyari r radiuslu çevrə cızaq (şəkil 156). Məsələnin simmetriyasından aydındır ki, çevrənin bütün nöqtələrində H-ın modulu eyni, istiqaməti isə hər bir nöqtədə toxunan boyunca saat əqrəbinin hərəkəti istiqamətdə yönəlmişdir.

Çevrə boyunca $\vec{H}$ -ın sirkulyasıyasını yazaq :

$\oint\left(\vec{H}d\vec{\ell}\right)=i$ yaxud $\int\limits_{(\ell)} Hd\ell\cdot\cos 0^0=i$, H çevrənin bütün nöqtələrində eyni olduğu üçün :

$$H\int d\ell=i\text{, buradan } H\cdot 2\pi r=i,\ H=\frac{i}{2\pi r} \qquad (1)$$

b) Naqilin daxilində onun oxuna perpendikulyar müstəvi üzərində radiusu r < a olan bir çevrə cızaq (şəkil 102 b). Sirkulyasiya teoremini həmin çevrəyə tətbiq edək :

$$H'\cdot 2\pi r'=i' \qquad (2)$$

$i'-r'$ radiuslu çevrənin daxilindən keçən cərəyan şiddətidir. Onu j-cərəyan sıxlığı vasitəsi ilə ifadə edə bilərik :

$$j=\frac{i}{s}=\frac{i}{\pi a^2},\qquad s=\pi a^2$$

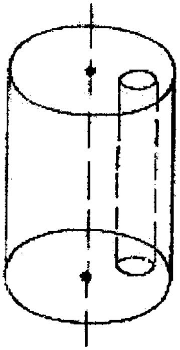
S-naqilin en kəsiyinin sahəsidir. $i'=j\cdot s'$ ($s'-r'$ radiuslu çevrə dairəsinin sahəsidir: $s'=\pi r'^2$). i' -in qiymətini (2)-də yerinə yazaq :

$$H'\cdot 2\pi r'=\frac{i}{\pi a^2}\cdot\pi r'^2\text{, buradan: } H'=\frac{i}{2\pi a^2}r' \qquad (3)$$

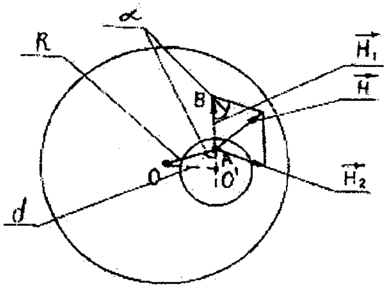
H-ın r-dən asılılığı şəkil 102 c-də göstərilmişdir. Naqilin daxilində (r ≤ a) H məsafədən xətti asılı olaraq artır. r > a olduqda isə H məsafədən hiperbolik qanunla azalır.

103. Şəkil 157-də naqilin həndəsi quruluşu, şəkil 158-də isə onun en kəsiyi göstərilmişdir. Boşluqda sahənin intensivliyini hesablamaq üçün silindri bütöv təsəvvür edək. Onda silindrin bütün en kəsiyindən j sıxlıqlı cərəyan axacaq. (Tutaq ki, onun istiqaməti şəkil müstəvisindən bizə doğru yönəlmişdir).

Bundan başqa bütöv qəbul etdiyimiz boşluq olan hissədə əks istiqamətli (bizdən şəkil müstəvisinə doğru). j sıxlıqlı əlavə cərəyan axır. Boşluq olan həcmdə əks istiqamətli bərabər qiymətli cərəyanlar bir-birini yox edir (bu, həmin həcmin boşluq olduğu deməkdir).



Şəkil 157.



Şəkil 158.

Boşluq daxilində ixtiyari bir A nöqtəsi götürək. Birinci cərəyanın A nöqtəsində yaratdığı maqnit sahəsinin intensivliyi:

$$H_1 = \frac{jR}{2}, \qquad (1)$$

ikinci cərəyanın yaratdığı isə :

$$H_2 = \frac{jr}{2} \qquad (2)$$

olar. Burada R -bütöv silindrin oxundan A nöqtəsinə qədər olan məsafə, r- isə boşluğun oxundan A nöqtəsinə qədər olan məsafədir. A nöqtəsində $\vec{H}_1$,R radiuslu çevrəyə toxunan (yəni $\vec{H}_1 \perp R$-dir), $\vec{H}_2$ isə O' mərkəzindən çəkilmiş r radiuslu çevrəyə toxunandır (yəni $\vec{H}_2 \perp r$-dir).
A nöqtəsindəki yekun sahəni şəkil 104-dən vektorların toplanması qaydası ilə tapırıq :

$$H = \sqrt{H_1^2 + H_2^2 - 2H_1H_2\cos\alpha} \qquad (3)$$

Burada α DBA bucağıdır. O, OAO' bucağına bərabərdir(tərəfləri bir-birinə perpendikulyar olduqları üçün). (1) və (2) -dən : $H_1/H_2 = R/r$-dir. Deməli, ABD və OAO' üçbucaqları oxşardır (uyğun iki tərəflərinin nisbəti və bu tərəflər arasında qalan bucaqlar bərabər olduğu üçün). $\cos\alpha$ -nı OAO' üçbucağından tapaq :

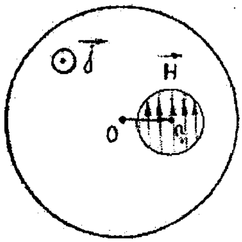
$$\cos\alpha = \frac{R^2 + r^2 - d^2}{2Rr} \qquad (4)$$

(1), (2) və (4)-ü (3)-də yerinə yazaq :

$$H = \sqrt{\frac{j^2R^2}{4} + \frac{j^2r^2}{4} - 2\frac{jR}{2}\cdot\frac{jr}{2}\cdot\frac{R^2 + r^2 - d^2}{2Rr}} = \frac{jd}{2} \qquad (5)$$

Yekun sahə A nöqtəsinin boşluğun harasında götürülməsindən asılı deyil, H boşluğun bütün nöqtələrində eynidir.

104. Biz məsələ 103-də göstərdik ki, ABD və OAO' üçbucaqları oxşardır (şəkil 158). Buradan aydındır ki, AOO' və BAD bucaqları bərabərdir. Digər tərəfdən: $AO \perp AB$-dır. Onda $AD \perp OO'$ və ya $H \perp d$ (baxdığımız halda d-nin istiqaməti O-dan O'-ə doğru yönəlmişdir). Boşluqda maqnit sahəsi bircins olduğu üçün qüvvə xətləri d-yə perpendikulyar olmaqla müntəzəm paylanmışdır (şəkil 159) . j-un şəkil müstəvisindən bizə doğru yönəldiyini, maqnit qüvvə xətlərinin, d vektorunun istiqamətlərini və boşluqda maqnit sahəsinin intensivliyinin modulunun məsələ 103-dəki (5) düsturu ilə təyin olunduğunu nəzərə alsaq, boşluq üçün H vektorunu belə ifadə edə bilərik :

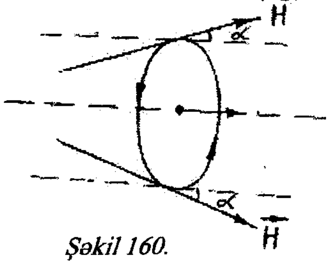


Şəkil 159.

$$\vec{H} = \frac{1}{2}\left[\vec{j}\vec{d}\right]$$

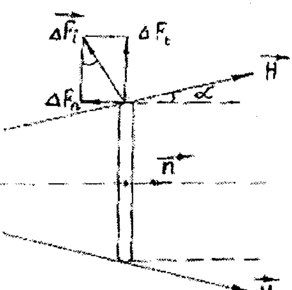
105. Həlqənin (şəkil 160) hər hansı Δl_i uzunluğuna maqnit sahəsi tərəfindən təsir edən qüvvəni (ΔF_i) Amper qanununa görə belə yazarıq:

$$\Delta\vec{F}_i = i\left[\Delta\vec{\ell}_i\vec{B}\right] = \mu_0 i\left[\Delta\vec{\ell}_i\vec{H}\right] \qquad (1)$$



Şəkil 160.

$\Delta\vec{F}_i$ maqnit qüvvə xətlərinə perpendikulyardır (şəkil 161). $\Delta\vec{F}_i$-i həlqə müstəvisinə paralel ($\Delta\vec{F}_{it}$) və perpendikulyar ($\Delta\vec{F}_{in}$) olmaqla iki toplanana ayıraq. Bütün çevrə boyunca $\Delta\vec{F}_{it}$ toplananları yalnız naqil çevrəsinin mexaniki gərilməsinə səbəb olacaq. Onların əvəzləyicisi sıfra bərabər olacaq. $\Delta\vec{F}_{in}$ toplananlarının əvəzləyicisi həlqəyə bütövlükdə maqnit sahəsinin artdığı istiqamətdə (şəkildə sağdan sola) təcil verəcək.



Şəkil 161.

Şəkildən aydın olduğu kimi :

$$\Delta F_{in} = \Delta F_i \cdot \sin\alpha \qquad (2)$$

(1)-i skalyar şəkildə yazaq :

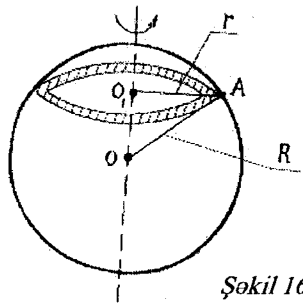
$$\Delta F_i = \mu_0 i \Delta\ell_i H \sin 90^0 = \mu_0 i \Delta\ell_i H \qquad (3)$$

Həlqəyə təsir edən qüvvələrin əvəzləyicisini tapmaq üçün (3)-ü nəzərə alıb (2) ifadəsini Δl_i üzrə cəmləməliyik :

$$F = \sum_i \Delta F_{in} = \sum_i \Delta F_i \cdot \sin\alpha = \mu_0 i H \sin\alpha \sum_i \Delta\ell_i = 2\pi R i H \mu_0 \sin\alpha \qquad (4)$$

$$F = 2\cdot 3{,}14\cdot 4\cdot 10^{-2}\cdot 5.8\cdot 10^3\cdot 1{,}257\cdot 10^{-6}\cdot \sin 10^0 N = 219\cdot 10^{-5} N = 2{,}19\cdot 10^{-3} N$$

106. Müstəvisi fırlanma oxuna perpendikulyar, qalınlığı (hündürlüyü) sonsuz kiçik (dx) olan bir kürə qurşağı götürək (şəkil 162). OA=R kürənin radiusudur. OO_1=x, O_1A=r işarə edək. Kürə fırlanarkən qurşağın səthindəki yükün hərəkətinə çevrə boyunca axan cərəyan kimi baxa bilərik. Onda O nöqtəsində qurşağın yaratdığı maqnit sahəsinin induksiyasını (dB) məsələ 98



Şəkil 162.

b-də olduğu kimi taparıq :

$$dB = \frac{\mu_0 i}{2} \cdot \frac{r^2}{\left(r^2 + x^2\right)^{3/2}} \qquad (1)$$

Burada i-qurşağın fırlanması nəticəsində onun səth yüklərinin yaratdığı cərəyan şiddətidir. Əvvəlcə onu tapaq.

Qurşağın yükü: $dq = \sigma \cdot dS = \sigma \cdot 2\pi R dx$ ($dS = 2\pi R dx$ -qurşağın səthinin sahəsidir). Cərəyan şiddətinin tərifinə görə :

$$i = \frac{dq}{T} = \frac{\sigma \cdot 2\pi R dx}{1/n} = 2\pi n \sigma R dx \qquad (2)$$

(T=1/n -kürənin fırlanma periodudur).

(2)-ni (1)-də yerinə yazıb, onu x-ın dəyişmə intervalında (-R-dən + R-ə qədər) inteqrallasaq, kürənin mərkəzində yaranan maqnit sahəsinin induksiyasını taparıq :

$$B = \int_{-R}^{R} \frac{\mu_0}{2} \cdot 2\pi n \sigma R \cdot \frac{r^2 dx}{\left(r^2 + x_2\right)^{3/2}} \qquad (3)$$

OO_1A üçbucağından : $r^2 = R^2 - x^2$.Bunu (3)-də nəzərə alaq :

$$B = 2 \cdot \int_0^R \mu_0 \pi n \sigma R \cdot \frac{\left(R^2 - x^2\right)dx}{\left(R^2 - x^2 + x^2\right)^{3/2}} = 2\pi\mu_0 n \sigma R \int_0^R \frac{\left(R^2 - x^2\right)dx}{R^3} =$$

$$= \frac{2\pi\mu_0 n\sigma}{R^2} \int_0^R \left(R^2 - x^2\right)dx = \frac{2\pi\mu_0 n\sigma}{R^2}\left(R^2 \cdot R - \frac{1}{3}R^3\right) = \frac{4\pi\mu_0 n\sigma R}{3};$$

$$B = \frac{4}{3}\pi\mu_0 n \sigma R \qquad (4)$$

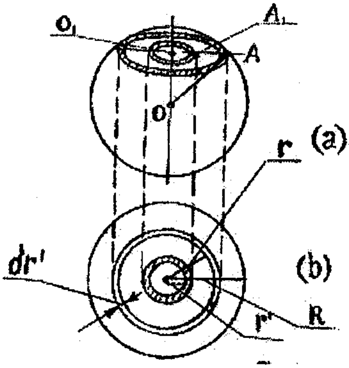
$$B = \frac{4}{3} \cdot 3{,}14 \cdot 1{,}257 \cdot 10^{-6} \frac{600}{60} \cdot 1{,}00 \cdot 10^{-5} \cdot 50 \cdot 10^{-3} Tl = 2{,}6 \cdot 10^{-11} Tl$$

107. Mexaniki impuls momenti ətalət momenti (I) ilə bucaq sürətinin hasilinə bərabərdir: N = Iω . Kürənin öz oxu ətrafında fırlanmasından alınan ətalət momenti belə ifadə olunur : $I = \frac{2}{5} mR^2$

Bunu N-in ifadəsində yerinə yazaq :

$$N = \frac{2}{5} m\omega R^2 \qquad (1)$$

Müstəvisi fırlanma oxuna perpendikulyar və hündürlüyü sonsuz kiçik (dx) olan bir kürə qurşağı götürək (şəkil 163,a). $OO_1=x$, $O_1A = r$ işarə edək. OA= R kürənin radiusudur. Kürə qurşağının daxilində radiusu $O_1\ A_1 = r'$, radius (r′) istiqamətdə qalınlığı dr′ və qurşaqla konsentrik olan bir həlqə götürək (şəkil 163,b), onun maqnit momentini (dp_m) tapaq. Maqnit momenti, konturdan keçən cərəyan şiddətinin konturun sahəsinə hasilinə bərabərdir:



Şəkil 163, a,b.

$$dP_m = \delta i \cdot \delta S$$

δi həlqədən keçən cərəyan şiddəti, $\delta S = \pi r'^2$ – onun səthinin sahəsidir.

$\delta i = \dfrac{dq}{T}$ -dir (dq-həlqənin yükü, T-kürənin fırlanma periodudur). $dq = dV \cdot \rho$ (dV-həlqənin həcmi, ρ – kürənin həcmi yük sıxlığıdır). $dV = 2\pi r' dr' dx$ (bunu həlqə diskinin $V = \pi r'^2 dx$ həcmini r′-ə görə diferensiallamaqla alarıq). Beləliklə :

$$dP_m = \frac{dq}{T} \cdot \pi r'^2 = \frac{2\pi r' dr' dx\,\rho}{2\pi / \omega} \cdot \pi r'^2 = \pi\rho\omega\, r'^3 dx \qquad (2)$$

(2)-ni r′ üzrə 0-dan r-ə qədər inteqrallasaq , kürə qurşağının maqnit momentini (δP_m) alarıq :

$$\delta P_m = \int_0^r \pi\rho\omega\, r'^3 dx dr' = \frac{1}{4}\pi\rho\omega\, r^4 dx \qquad (3)$$

Kürənin tam maqnit momentini (P_m) tapmaq üçün (3)-ü x-in dəyişmə intervalında (–R-dən +R-ə qədər) inteqrallayaq. Bunun üçün şəkildən istifadə edib , r-i x-lə əlaqələndirək : $r^2=R^2-x^2$.

$$P_m = \int_{-R}^{+R} \frac{1}{4}\pi\rho\omega r^4 dx = \frac{1}{2}\pi\rho\omega\int_0^R r^4 dx = \frac{1}{2}\pi\rho\omega\int_0^R \left(R^2 - x^2\right)^2 dx =$$

$$= \frac{1}{2}\pi\rho\omega\int_0^R \left(R^4 - 2R^2x^2 + x^4\right)dx = \frac{1}{2}\pi\rho\omega\left(R^5 - \frac{2}{3}R^5 + \frac{1}{5}R^5\right) =$$

$$= \frac{1}{2}\pi\rho\omega \cdot \frac{8}{15}R^5 = \frac{4}{3}\pi R^3 \cdot \rho \cdot \frac{1}{5}\omega R^2 = \frac{1}{5}q\omega R^2$$

Burada $q = \frac{4}{3}\pi R^3 \rho$ kürənin yükü olduğunu nəzərə aldıq.

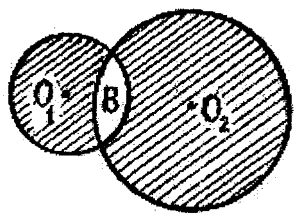
Beləliklə :

$$P_m = \frac{1}{5}q\omega R^2 \qquad (4)$$

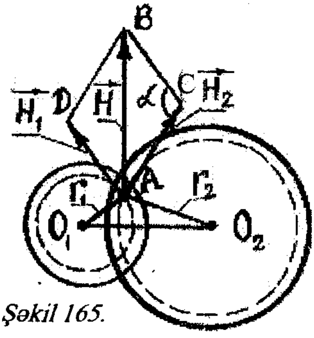
(1) və (4) -dən P_m/N nisbətini belə taparıq :

$$\frac{P_m}{N} = \frac{q}{m} \qquad (5)$$

108. Naqillərdə (şəkil 164) boşluq olan həcmdə cərəyan axmır. Ona görə hər naqilin cərəyanının boşluqda yaratdığı maqnit sahəsi onun bütöv halda yaratdığı maqnit sahəsi ilə boşluqdakı həcmdən əks istiqamətdə eyni sıxlıqlı cərəyan axdıqda yaranan maqnit sahəsinin cəminə bərabərdir. Əgər naqillərdə boşluq olmasa idi bu şərt öz-özünə ödənilərdi. Doğrudan da bütöv halda birinci naqilin bütün en kəsiyində, məs., şəkil müstəvisindən bizə doğru j sıxlıqlı cərəyan axırsa, onda onun boşluq olan həcmindən ikinci naqilin hesabına eyni sıxlıqlı əks istiqamətli cərəyan axacaq(ikinci naqildə cərəyan birinci naqildəkinin əksinə axdığı üçün). Eyni fikri ikinci naqilin boşluqda yaratdığı maqnit



Şəkil 164.



Şəkil 165.

sahəsi haqqında da söyləyə bilərik.

Beləliklə, boşluqda mövcud olan maqnit sahəsi naqillərin «bütöv» halda yaratdıqları maqnit sahələrinin cəminə bərabərdir. Onu tapmaq üçün boşluqda ixtiyari A nöqtəsi götürək. Mərkəzi O_1 nöqtəsində olan $O_1A = r_1$ və mərkəzi O_2 nöqtəsində olan $O_2A = r_2$ radiuslu iki çevrə çəkək (şəkil 165). Sirkulyasiya teoremindən istifadə edib, naqillərin A nöqtəsində yaratdığı maqnit sahəsinin intensivliyini (H_1 və H_2) tapaq.

$$H_1 \cdot 2\pi r_1 = j\pi r_1^2,\ H_2 \cdot 2\pi r_2 = j\pi r_2^2,\ H_1 = \frac{j}{2}r_1,\ H_2 = \frac{j}{2}r_2 \qquad (1)$$

Aydındır ki, $H_1 \perp r_1$, $H_2 \perp r_2$–dir, yəni $\angle O_1AO_2 = \angle ACB$ ($= \angle ADB$).

Digər tərəfdən, (1)-dən: $\frac{H_1}{H_2} = \frac{r_1}{r_2}$. Onda O_1AO_2 və ACB (yaxud ADB) üçbucaqları oxşardır. Oxşar üçbucaqların uyğun bucaqları bərabərdir : $\angle AO_2O_1 = \angle BAC$; $H_2 \perp AO_2$ olduğunu nəzərə alsaq, görərik ki, $H \perp O_1O_2$-dir, yəni yekun sahə şəkildə $H \perp d$ olub, yuxarı doğru yönəlmişdir.

H-ı ABC üçbucağından kosinuslar teoreminə görə tapaq :

$$H^2 = H_1^2 + H_2^2 - 2H_1H_2\cos\alpha \quad (\alpha = \angle ACB = O_1AO_2) \qquad (2)$$

$\cos\alpha$ -nı O_1AO_2 üçbucağından tapa bilərik :

$$d^2 = r_1^2 + r^2 - 2r_1r_2\cos\alpha \quad \text{yaxud} \quad \cos\alpha = \frac{r_1^2 + r_2^2 - d^2}{2r_1r_2} \qquad (3)$$

(2)-də (3)-ü və (1)-i nəzərə alaq :

$$H = \sqrt{H_1^2 + H_2^2 - 2H_1H_2 \cdot \frac{r_1^2 + r_2^2 - d^2}{2r_1r_2}} =$$

$$= \frac{j}{2}\sqrt{r_1^2 + r_2^2 - 2r_1r_2 \cdot \frac{r_1^2 + r_2^2 - d^2}{2r_1r_2}} =$$

$$= \frac{j}{2}\sqrt{r_1^2 + r_2^2 - r_1^2 - r_2^2 + d^2} = \frac{jd}{2}$$

$$H = \frac{jd}{2} \tag{4}$$

d-ni vektor kimi götürüb, istiqamətini O_1-dən O_2-yə doğru yönəltsək, H-ı vektor şəklində belə yaza bilərik :

$$\vec{H} = \frac{[\vec{j}\vec{d}]}{2} \tag{5}$$

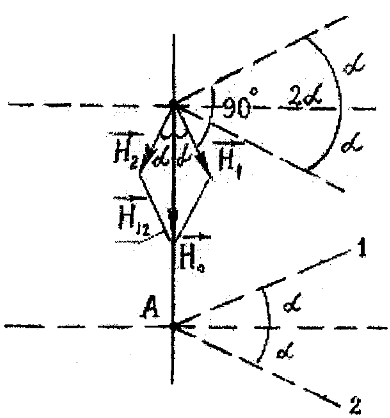
(4)-dən H-ın ədədi qiymətini hesablayaq :

$$H = \frac{jd}{2} = \frac{1000\frac{A}{sm^2}\cdot 5sm}{2} = 2{,}5\cdot 10^5\,\frac{A}{m}$$

109. Naqillərin A kəsişmə nöqtəsindən cərəyan müstəvisinə perpendikulyar düz xətt keçirək (şəkil 166). Onun ixtiyari B nöqtəsində (AB=r) cərəyanların yaratdığı maqnit sahəsini məsələ 99-da olduğu kimi təyin edək. Məs., 1-ci budağın yaratdığı maqnit sahəsinin intensivliyi belə olar :

$$H_1 = \int_{\pi/2}^{\pi} \frac{i}{4\pi r}\sin\theta d\theta = -\frac{i}{4\pi r}\cos\theta\Big|_{\pi/2}^{\pi} = \frac{i}{4\pi r} \tag{1}$$

Budaqlarda cərəyan şiddəti eyni olduğu üçün ikinci budağın B-nöqtəsində yaratdığı maqnit sahəsi də ədədi qiymətcə H_1-ə bərabər olacaq : $H_2 = H_1$. Budaqlanmamış hissədə cərəyan şiddəti 2i olduğu üçün onun B nöqtəsində yaratdığı sahə: $H_0 = 2H_1$ olar.



Şəkil 166.

H_1 vektorunun istiqaməti Bio-Savar-Laplas qanununa görə B nöqtəsindən keçən və cərəyan müstəvisinə paralel olan müstəvi üzərində olub, birinci budağın cərəyanı ilə 90^0-lik bucaq əmələ gətirir, istiqaməti isə şəkil müstəvisindən oxucuya doğru yönəlmişdir.

H_2 həmin müstəvidə H_1-lə 2α bucağı əmələ gətirir. Onların cəmi (H_{12}) vektorların toplanması qaydası ilə belə ifadə olunur :

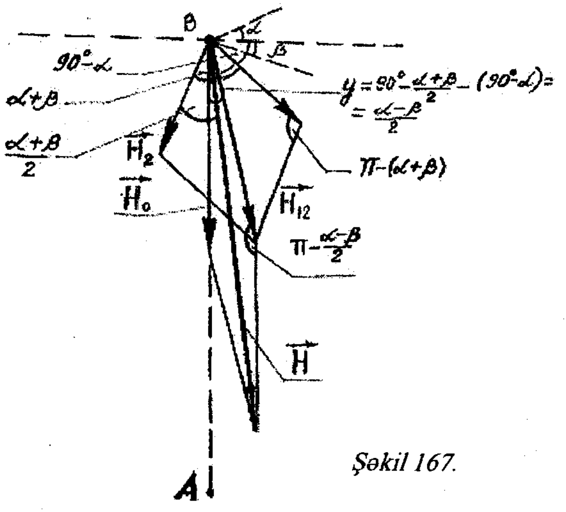
$$H_{12} = \sqrt{H_1^2 + H_2^2 - 2H_1H_2\cos(\pi - 2\alpha)} = \sqrt{2}H_1\sqrt{1+\cos 2\alpha} = \\ = \sqrt{2}H_1\sqrt{2}\cos\alpha = 2H_1\cos\alpha \qquad (2)$$

$\vec{H}_{12}$-nin istiqaməti cərəyan xəttinə perpendikulyardır (şəkil müstəvisindən oxucuya doğru). Məsələnin simmetriyasından aydındır ki, $\vec{H}_0$ vektoru da $\vec{H}_{12}$ istiqamətindədir. Onda yekun maqnit sahəsi belə təyin olunar :

$$H = H_{12} + H_0 = 2H_1\cos\alpha + 2H_1 = 2H_1(\cos\alpha + 1) = \\ = 2\cdot\frac{i}{4\pi r}\cdot 2\cdot\cos^2\frac{\alpha}{2} = \frac{i}{\pi r}\cdot\cos^2\frac{\alpha}{2}; \quad H = \frac{i}{\pi r}\cos^2\frac{\alpha}{2} \qquad (3)$$

110. H_1, H_2 və H_0-ın ədədi qiymətləri məsələ 109-da olduğu kimi hesablanır və uyğun olaraq eyni düsturlarla ifadə olunur.

$\vec{H}_1$, $\vec{H}_2$ və $\vec{H}_0$ vektorlarının istiqamətləri şəkil 167-də göstərilmişdir (onların istiqamətləri məsələ 109-da olduğu kimi müəyyən edilir).



Şəkil 167.

$\vec{H}_1$ və $\vec{H}_2$-nin vektor cəmindən $\vec{H}_{12}$ alınır. Onun modulunu hesablayaq :

$$H_{12} = \sqrt{H_1^2 + H_2^2 - 2H_1H_2\cos[\pi - (\alpha+\beta)]} = \sqrt{2}H_1\sqrt{1+\cos(\alpha+\beta)} \quad (1)$$

Yekun H vektoru H_{12} ilə H_0-ın vektor cəminə bərabərdir. Şəkil 115-dən alarıq :

$$H=\sqrt{H_{12}^2+H_0^2-2H_{12}H_0\cos\left(\pi-\frac{\alpha-\beta}{2}\right)}=$$

$$=\sqrt{2H_1^2[1+\cos(\alpha+\beta)]+4H_1^2+2\cdot\sqrt{2}\cdot 2\cdot H_1\sqrt{1+\cos(\alpha+\beta)}\cdot\cos\frac{\alpha-\beta}{2}}=$$

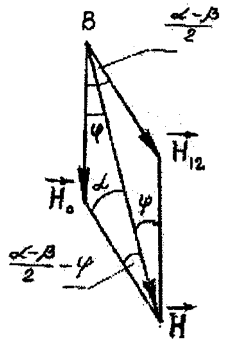
$$=H_1\sqrt{6+2\cos(\alpha+\beta)+4\cdot\sqrt{2}\cdot\sqrt{2}\cdot\cos\frac{\alpha+\beta}{2}\cdot\cos\frac{\alpha-\beta}{2}}=$$

$$=H_1\sqrt{6+2\cos(\alpha+\beta)+4(\cos\alpha+\cos\beta)}$$

$$H=\frac{i}{4\pi r}\sqrt{6+2\cos(\alpha+\beta)+4(\cos\alpha+\cos\beta)} \qquad (2)$$

Burada $\cos x\cdot\cos y=\frac{1}{2}\left[\cos\left(\frac{x+y}{2}\right)+\cos\frac{x-y}{2}\right]$ düsturundan istifadə etdik. $\vec{H}_0$ vektoru AB xəttinə perpendikulyar olub, bu xətdən keçən və budaqlanmamış cərəyanın istiqamətinə perpendikulyar olan müstəvi üzərindədir. $\vec{H}$ vektoru $\vec{H}_0$-la φ bucağı əmələ gətirir. φ bucağını tapaq. Bunun üçün $\vec{H}_0$ vektorunun ucundan $\vec{H}$ xəttinə normal endirək və alınan parçanın uzunluğunu d ilə işarə edək (şəkil 168). Şəkildən alarıq :

$$\begin{cases} d=H_0\sin\varphi \\ d=H_{12}\sin\left(\frac{\alpha-\beta}{2}-\varphi\right)\end{cases}$$



Şəkil 168.

Buradan:

$$H_0\sin\varphi=H_{12}\sin\left(\frac{\alpha-\beta}{2}-\varphi\right)$$

Sağ tərəfdə iki bucaq fərqinin sinusu düsturundan istifadə edək:

$$H_0\sin\varphi=H_{12}\left(\sin\frac{\alpha-\beta}{2}\cos\varphi-\cos\frac{\alpha-\beta}{2}\sin\varphi\right)$$

$H_0=2H_1$ və H_{12}- nin (1) dusturu ilə ifadəsini nəzərə alaq :

$$\frac{2H_1}{\sqrt{2H_1}\sqrt{1+\cos(\alpha+\beta)}}\cdot \sin\varphi+\cos\frac{\alpha-\beta}{2}\cdot \sin\varphi=\sin\frac{\alpha-\beta}{2}\cdot\cos\varphi$$

Hər tərəfi $\cos\varphi$ -yə bölüb $tg\varphi$ -ni tapaq :

$$tg\varphi=\frac{\sin\frac{(\alpha-\beta)}{2}}{\frac{2}{\sqrt{2}\sqrt{1+\cos(\alpha+\beta)}}+\cos\frac{\alpha-\beta}{2}}=\frac{\sin\frac{\alpha-\beta}{2}}{\frac{2}{\sqrt{2}\sqrt{2}\cos\frac{\alpha+\beta}{2}}+\cos\frac{\alpha-\beta}{2}}=$$

$$=\frac{2\cos\frac{\alpha+\beta}{2}\cdot\sin\frac{\alpha-\beta}{2}}{2+2\cos\frac{\alpha+\beta}{2}\cdot\cos\frac{\alpha-\beta}{2}}=\frac{\sin\alpha-\sin\beta}{2+\cos\alpha+\cos\beta}$$

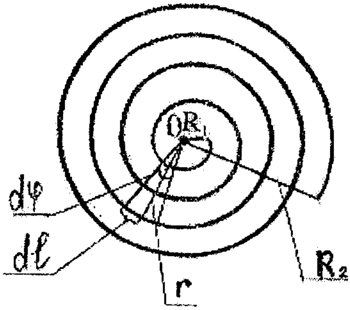
$$\varphi=arctg\frac{\sin\alpha-\sin\beta}{2+\cos\alpha+\cos\beta} \qquad (3)$$

111. Cari r radiusuna malik olan sarğının üzərində sonsuz kiçik dl elementi (şəkil 169) götürək. idl cərəyan elementinin O nöqtəsində (spiralın mərkəzində) yaratdığı maqnit sahəsinin intensivliyi Bio- Savar-Laplas düsturuna görə belə olar :

$$dH=\frac{1}{4\pi}\cdot\frac{id\ell}{r^2} \qquad (1)$$

Müntəzəm sarınmış spiralda birincidən başlayaraq hər sonrakı sarğının radiusu eyni ΔR qədər artır.

Spiral üzrə hərəkət etdikdə bir dövr 2π bucaq yoluna ekvivalentdir. Bir dövrdə radiusun artımı ΔR-dir. φ bucaq yoluna uyğun gələn artımı (bunu x-lə işarə edək) tənasüb qaydası ilə tapa bilərik :



Şəkil 169.

2π – ΔR

φ – x

$$x=\frac{\Delta R}{2\pi}\cdot\varphi$$

İxtiyari sarğının radiusu r-i belə taparıq:

$$r=R_1+x=R_1+\frac{\Delta R}{2\pi}\varphi=R_1+\frac{R_2-R_1}{N\cdot 2\pi}\cdot\varphi \qquad (2)$$

Digər tərəfdən, $d\ell$-i mərkəzi $d\varphi$ bucağı vasitəsi ilə belə ifadə edərik :

$$d\varphi = \frac{d\ell}{r};\ d\ell = r d\varphi \qquad (3)$$

(3), (2) və (1)-dən alarıq :

$$dH = \frac{1}{4\pi}\cdot\frac{i\cdot r d\varphi}{r^2} = \frac{i}{4\pi}\cdot\frac{d\varphi}{r} = \frac{i}{4\pi}\cdot\frac{d\varphi}{R_1 + \frac{R_2 - R_1}{2\pi N}\varphi} \qquad (4)$$

(4)-ü 0-dan $2\pi N$-ə qədər inteqrallasaq, O nöqtəsində spiralın yaratdığı maqnit sahəsinin intensivliyini taparıq :

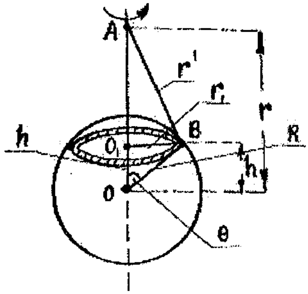
$$H = \int_0^{2\pi N}\frac{i}{4\pi}\cdot\frac{d\varphi}{R_1 + \frac{R_2 - R_1}{2\pi N}\varphi} = \frac{i}{4\pi}\cdot\frac{2\pi N}{R_2 - R_1} ln\left(R_1 + \frac{R_2 - R_1}{2\pi N}\varphi\right)\Bigg|_0^{2\pi N} =$$

$$= \frac{i}{2}\cdot\frac{N}{R_2 - R_1}\left[ln\left(R_1 + \frac{R_2 - R_1}{2\pi N}\cdot 2\pi N\right) - ln\,R_1\right] = \frac{i}{2}\cdot\frac{N}{R_2 - R_1} ln\frac{R_2}{R_1};$$

$$H = \frac{N\cdot i}{2(R_2 - R_1)}\ln\frac{R_2}{R_1} \qquad (5)$$

112. Kürənin üzərində müstəvisi fırlanma oxuna perpendikulyar olan sonsuz kiçik dh hündürlüklü kürə qurşağı ayıraq (şəkil 170).

Qurşağın səthindəki yük : $dq = \sigma . ds$ ($ds = 2\pi R dh$, ds – qurşağın yan səthinin sahəsi, dh – onun hündürlüyü, $\sigma = \frac{q}{4\pi R^2}$, σ – kürənin q yükünün səth sıxlığıdır).



Şəkil 170.

Fırlanma zamanı qurşağın yükünün yaratdığı *di* cərəyan şiddətini belə taparıq :

$$di = \frac{dq}{T} = \frac{\sigma\cdot 2\pi R dh}{2\pi/\omega} = \sigma R\omega dh$$

T-fırlanma periodudur.

Fırlanan qurşağın fırlanma oxunun ixtiyari A nöqtəsində yaratdığı maqnit sahəsinin intensivliyini məsələ 98-dəki (3) düsturundan istifadə edib, tapaq :

$$dH=\frac{di\cdot r_1^2}{2r'^3}$$

((3)-dəki i əvəzinə di, R və r əvəzinə, uyğun olaraq, r_1 və r' yazdıq).

Şəkildən göründüyü kimi, $r'=\sqrt{r^2-2rR\cos\theta+R^2}$, $h=R\cos\theta$ və $dh=-R\sin\theta d\theta$; $r_1=R\sin\theta$. Bunları nəzərə alsaq, dH-ı belə ifadə edərik:

$$dH=\sigma R\omega\cdot(-R\sin\theta d\theta)\cdot\frac{(R\cdot\sin\theta)^2}{2\left(r^2-2rR\cos\theta+R^2\right)^{3/2}}=$$

$$=-\frac{q\omega R^2}{8\pi}\cdot\frac{\sin^3\theta d\theta}{(2rR)^{3/2}\left(\frac{r^2+R^2}{2rR}-\cos\theta\right)^{3/2}} \qquad (1)$$

Yazılışı sadələşdirmək üçün $\frac{r^2+R}{2rR}=a$, $\frac{q\omega R^2}{8\pi(2rR)^{3/2}}=b$ əvəz edək. (1)-i θ -nın 0-la π arasında dəyişmə intervalında inteqrallasaq, H-ı taparıq :

$$H=b\int_0^{\pi}\frac{\sin^3\theta d\theta}{(a-\cos\theta)^{3/2}} \qquad (2)$$

İnteqralı açmaq üçün yeni inteqrallama dəyişəninə keçək: $a-\cos\theta=y, \sin\theta d\theta=dy, \sin^2\theta=1-\cos^2\theta=1-(a-y)^2$;

$$H=b\int_{a-1}^{a+1}\frac{\left[1-(a-y)^2\right]dy}{y^{3/2}}=b\int_{a-1}^{a+1}\left[y^{-3/2}-y^{-3/2}\left(y^2-2ay+a^2\right)\right]dy=$$

$$=b\left[-2y^{-1/2}\Big|_{a-1}^{a+1}-\int_{a-1}^{a+1}\left(y^{1/2}-2ay^{-1/2}+a^2y^{-3/2}\right)dy\right]=b\left[-2\left(\frac{1}{(a+1)^{1/2}}-\frac{1}{(a-1)^{1/2}}\right)-\right.$$

$$\left.-\left(\frac{2}{3}y^{3/2}-4ay^{1/2}-2a^2y^{-1/2}\right)\Big|_{a-1}^{a+1}\right]=$$

$$=b\left[-2\left(\frac{1}{\left(\frac{r^2+R^2}{2rR}+1\right)^{1/2}}-\frac{1}{\left(\frac{r^2+R^2}{2rR}+=-1\right)^{1/2}}\right)-\frac{2}{3}\left((a+1)^{3/2}-(a-1)^{3/2}\right)+\right.$$

$$\left.+4a\left((a+1)^{3/2}-(a-1)^{3/2}\right)+2a^2\left(\frac{1}{(a+1)^{1/2}}-\frac{1}{(a-1)^{1/2}}\right)\Bigg|_{a-1}^{a+1}\right]=$$

$$=b\left[-2(2rR)^{1/2}\left(\frac{1}{r+R}-\frac{1}{r-R}\right)-\frac{2}{3}\left(\frac{(r+R)^3}{(2rR)^{3/2}}-\frac{(r-R)^3}{(2rR)^{3/2}}\right)+\right.$$

$$\left.+4\left(\frac{r^2+R^2}{2rR}\right)\left(\frac{r+R}{(2rR)^{1/2}}-\frac{r-R}{(2rR)^{1/2}}\right)+2\left(\frac{r^2+R^2}{2rR}\right)^2\left(\frac{(2rR)^{1/2}}{r+R}-\frac{(2rR)^{1/2}}{r-R}\right)\right]=$$

$$=b\left[\frac{4R(2rR)^{1/2}}{r^2-R^2}-\frac{4R}{3}\cdot\frac{3r^2+R^2}{(2rR)^{3/2}}+\frac{8R\left(r^2+R^2\right)}{(2rR)^{3/2}}-\frac{4R}{(2rR)^{3/2}}\cdot\frac{\left(r^2+R^2\right)^2}{r^2-R^2}\right]=$$

$$=b\cdot\frac{4R}{(2rR)^{3/2}}\cdot\left[\frac{(2rR)^2-\left(r^2+R^2\right)^2}{r^2-R^2}-\frac{3r^2+R^2-6r^2-6R^2}{3}\right]=$$

$$=b\cdot\frac{4R}{(2rR)^{3/2}}\left[-\frac{3\left(r^2-R^2\right)^2}{3\left(r^2-R^2\right)}+\frac{3r^2+5R^2}{3}\right]=b\frac{4R}{(2rR)^{3/2}}\cdot\frac{8R^2}{3}=$$

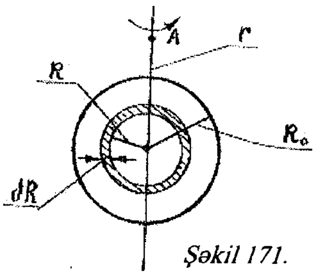
$$=\frac{q\omega R^2}{8\pi(2rR)^{3/2}}\cdot\frac{32R^3}{3(2rR)^{3/2}}=\frac{4q\omega R^5}{3\pi(2rR)^3}=\frac{q\omega R^2}{6\pi r^3};$$

$$H=\frac{q\omega}{6\pi}\cdot\frac{R^2}{r^3} \qquad (3)$$

Burada r kürənin mərkəzindən fırlanma oxunun üzərində olan cari nöqtəyə qədər olan məsafədir.

113. Kürənin daxilində qalınlığı sonsuz kiçik dR, radiusu R olan kürə təbəqəsi götürək (şəkil 171). Bu kürə təbəqəsinin yükünü dq belə tapanq:

$$dq = dV\rho = 4\pi R^2 dR \cdot \frac{q}{\frac{4}{3}\pi R_0^3} = \frac{3qR^2 dR}{R_0^3}$$



Şəkil 171.

(dV – kürə təbəqəsinin həcmi, ρ-kürənin həcm yük sıxlığıdır).

Təbəqənin A nöqtəsində yaratdığı maqnit sahəsini məsələ 112-dəki (3) düsturuna əsasən tapanq :

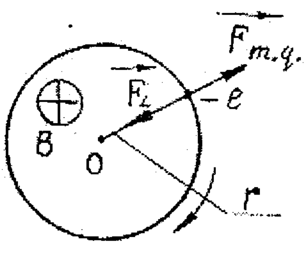
$$dH = \frac{\omega dq}{6\pi} \cdot \frac{R^2}{r^3} = \frac{\omega}{6\pi} \cdot \frac{3qR^2 dR}{R_0^3} \cdot \frac{R^2}{r^3} = \frac{\omega q}{2\pi R_0^3} \cdot \frac{R^4 dr}{r^3} \qquad (1)$$

(1)-i R-in dəyişmə intervalında (0-dan R_0-a qədər) inteqrallasaq, bütün kürənin A nöqtəsində yaratdığı sahəni taparıq :

$$H = \frac{\omega q}{2\pi R_0^3 r^3} \cdot \int_0^{R_0} R^4 dr = \frac{\omega q}{2\pi R_0^3 r^3} \cdot \frac{1}{5} R_0^5 = \frac{\omega q}{10\pi} \cdot \frac{R_0^2}{r^3};$$

$$H = \frac{\omega q}{10\pi} \cdot \frac{R_0^2}{r^3} \qquad (2)$$

114. Şəkil 172-də silindrin oxundan r məsafəsində metalın sərbəst elektronlarından birinin trayektoriyası göstərilmişdir. Çevrə boyunca hərəkət edən elektrona fırlanma nəticəsində F_{mr} mərkəzdənqaçma qüvvəsi və maqnit sahəsində F_l Lorens qüvvəsi təsir edir. Onların istiqamətləri, şəkildə göstərildiyi kimi, bir-birinin əksinədir.



Şəkil 172.

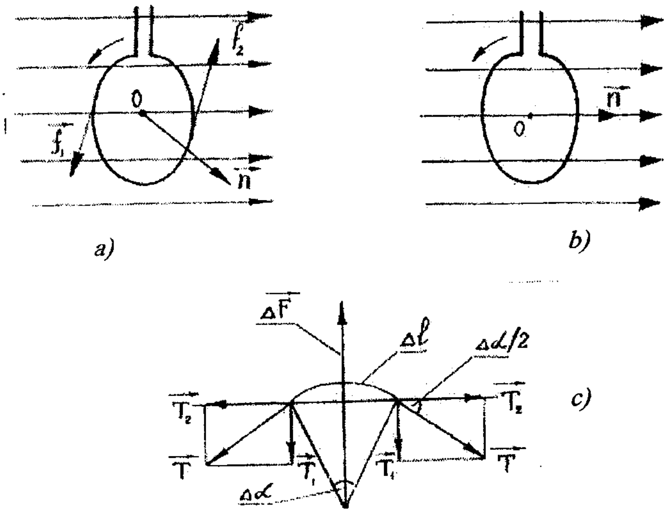
Əgər $F_L > F_{mr}$ olarsa, onda elektronlar silindrin oxuna doğru hərəkət edər, onun oxunda mənfi yüklər. səthində isə müsbət yüklər toplanar. $F_L < F_{mr}$ olduqda sahənin istiqaməti əksinə dəyişər (qeyd edək ki, yüklərin axını o vaxta qədər davam edəcək ki, elektrik sahəsinin yaratdığı əks axın onu tarazlaşdırsın). Əgər $F_L = F_{mr}$ olarsa, onda elektronlar orbitlərini dəyişməz və silindr neytral qalar. Bu halı təmin edən şərti müəyyən edək :

$$e\upsilon B\sin 90^0 = \frac{m\upsilon^2}{r} \quad \text{və ya} \quad e\mu_0 H = \frac{m\omega r}{r}, \quad B = \mu_0 H$$

Buradan alarıq : $$H = \frac{m\omega}{\mu_0 e}$$

Maqnit sahəsinin istiqaməti silindrin fırlanma istiqaməti ilə sağ burğu qaydası ilə əlaqələnməlidir.

115. Həlqənin müstəvisi maqnit qüvvə xətləri ilə 90^0-dən fərqli bucaq təşkil etdikdə ona maqnit sahəsi tərəfindən cüt qüvvə təsir edəcək (şəkil 173,a). Cüt qüvvənin yaratdığı qüvvə momenti həlqəni fırladaraq onun n normalını (daha doğrusu, p_m maqnit momentini) qüvvə xətlərinə paralel vəziyyətə gətirəcək (şəkil 173,b).



Şəkil 173, a,b,c.

Bu andan qüvvə momenti sıfra bərabər olacaq və çevrənin cərəyanı ilə maqnit sahəsinin istiqaməti arasında sağ burğu münasibəti yaranacaq. Bundan sonra maqnit sahəsi tərəfindən həlqəyə təsir edən qüvvə onun gərilməsinə səbəb olacaq. Həlqənin kiçik Δl qövsünə təsir edən qüvvə ΔF olsun (şəkil 173, c). Onun yaratdığı gərilmə qüvvəsi (T) şəkildə göstərilmişdir. Amper qanununa görə :

$\Delta F = i\Delta\ell B\sin 90^0 = i\mu_0 H\Delta\ell;\quad \Delta\ell = R\Delta\alpha;\quad \Delta F = i\mu_0 RH\Delta\alpha$

Digər tərəfdən, tarazlıq halında ΔF sağ və sol tərəfdən təsir edən T gərilmə qüvvələrinin 2 T_1 əvəzləyicisinə bərabərdir : $\Delta F = 2T_1$. Şəkildən

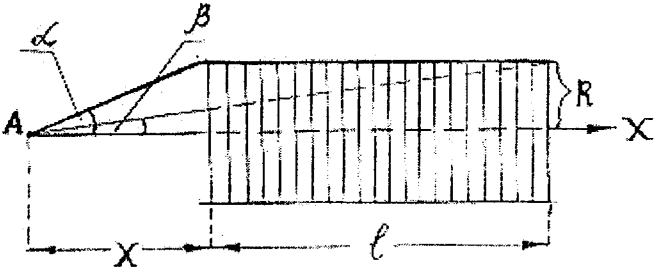
$$T_1 = T\sin\frac{\Delta\alpha}{2} = T\frac{\Delta\alpha}{2}.\ \text{Onda}\quad \Delta F = 2T\frac{\Delta\alpha}{2} = T\Delta\alpha$$

ΔF-in qiymətini burada yerinə yazaq :

$i\mu_0 RH\Delta\alpha = T\Delta\alpha$ və

$$T = i\mu_0 RH = 1\cdot 1{,}257\cdot 10^{-6}\cdot 5\cdot 10^{-2}\cdot 800N = 5{,}03\cdot 10^{-5}N \cong 5\cdot 10^{-5}N$$

116. x oxunu solenoidin oxu boyunca yönəldək (şəkil 174) və onun başlanğıcını A nöqtəsində seçək (koordinat başlanğıcının harada seçilməsinin məsələnin həllinə təsiri yoxdur).

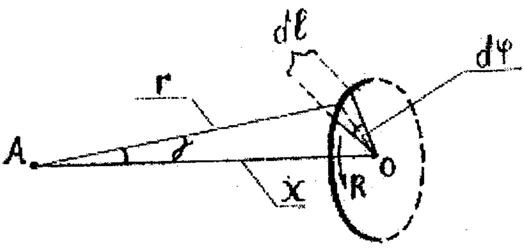


Şəkil 174.

Sarğılardan ixtiyari birinin üzərində sonsuz kiçik dl parçasını Ayıraq (şəkil 175) $id\ell$ cərəyan elementinin A nöqtəsində yaratdığı maqnit sahəsinin intensivliyi (dH) belə ifadə olunur (bax: məsələ 98):

$$dH = \frac{1}{4\pi}\cdot\frac{id\ell}{r^2}\cdot\sin\gamma \tag{1}$$

Solenoidin başlanğıcından onun sarğıları (daha doğrusu, spiralı) üzrə hərəkət etdikdə r radius -vektorunun ucunun cızdığı bucaq yolunu φ ilə işarə edək. Bir sarğının başlanğıcından sonuna qədər bucaq yolu 2 π, N sarğı keçdikdən sonra isə - 2πN olar.



Şəkil 175.

Sarğılar müntəzəm sarındığı üçün iki qonşu sarğı arasındakı məsafə $\Delta x_0 = \dfrac{\ell}{N}$ -dir.

$\vec{r}$ tam bir sarğı boyunca hərəkət etdikdə onun döndüyü bucaq yolu 2π, x' koordinatının dəyişməsi isə Δx_0-olur. $\vec{r}$ ixtiyari φ bucağı qədər döndükdə x-ın dəyişməsini (Δx) tənasübdən istifadə edərək tapa bilərik :

$2\pi - \Delta x_0$

$\varphi - \Delta x$

$$\Delta x = \frac{\Delta x_0 \varphi}{2\pi}$$

Onda: $x = x_1 + \Delta x = x_1 + \dfrac{\Delta x_0 \cdot \varphi}{2\pi} = x_1 + \dfrac{\ell}{2\pi N}\varphi$

Şəkildən: $\sin\gamma = \dfrac{R}{r}$; $r = \sqrt{R^2 + x^2}$ $\quad d\ell = Rd\varphi$

Bunları (1)-də nəzərə alaq:

$$dH = \frac{1}{4\pi} \cdot \frac{i \cdot Rd\varphi}{r^2} \cdot \frac{R}{r} = \frac{iR^2}{4\pi} \cdot \frac{d\varphi}{\left[R^2 + \left(x_1 + \dfrac{\ell}{2\pi x}\varphi\right)^2\right]^{3/2}} \qquad (2)$$

H-ı tapmaq üçün (2)-ni φ-nin $\varphi_1 = 0$-dan $\varphi_2 = 2\pi N$ dəyişmə intervalında inteqrallayaq :

$$H = \int_0^{2\pi N} \frac{iR^2}{4\pi} \cdot \frac{d\varphi}{\left[R^2 + \left(x_i + \dfrac{\ell}{2\pi N}\varphi\right)^2\right]^{3/2}} \qquad (3)$$

Belə əvəzləmə aparaq : $x_1 + \dfrac{\ell}{2\pi N}\varphi = y$, $d\varphi = \dfrac{2\pi N}{\ell}dy$

$\varphi_1 = 0$ olduqda $y_1 = x_1$, $\varphi_2 = 2\pi N$ olduqda $y_2 = x_1 + \ell$ -dir.

$$H = \frac{iR^2N}{2\ell}\int_{x_1}^{x_1+\ell}\frac{dy}{\left(R^2+y^2\right)^{3/2}} \qquad (4)$$

İnteqralı daha sadə şəklə salmaq üçün yeni inteqrallama dəyişənini belə seçək:

$$y = Rtgt,\ dy = \frac{Rdt}{\cos^2 t};\ y = x_1 \text{ olduqda } t_1 = arctg\frac{x_1}{R},$$

$$y_2 = x_1 + \ell \text{ olduqda } t_2 = arctg\frac{x_1+\ell}{R} \text{ olur.}$$

Bunları (4) –də istifadə edək :

$$H = \frac{iR^2N}{2\ell}\int_{t_1}^{t_2}\frac{Rdt}{\cos^2 t\cdot\left(R^2+R^2tg^2t\right)^{3/2}} = \frac{iN}{2\ell}\int_{t_1}^{t_2}\cos t dt =$$

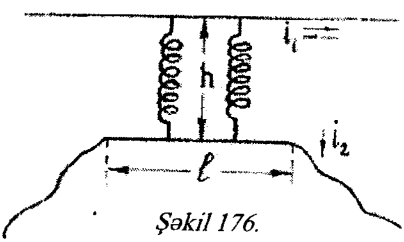
$$= \frac{iN}{2\ell}\sin t\Big|_{t_1}^{t_2} = \frac{iN}{2\ell}\left[\sin\left(arctg\frac{x_1+\ell}{R}\right) - \sin\left(arctg\frac{x_1}{R}\right)\right] =$$

$$= \frac{iN}{2\ell}\left[\sin\left(\arcsin\frac{\frac{x_1+\ell}{R}}{\sqrt{1+\left(\frac{x_1+\ell}{R}\right)^2}}\right) - \sin\left(\arcsin\frac{\frac{x_1}{R}}{\sqrt{1-\left(\frac{x_1}{R}\right)^2}}\right)\right] =$$

$$= \frac{iN}{2\ell}\left(\frac{x_1+\ell}{\sqrt{R^2+\left(x_1+\ell\right)^2}} - \frac{x_1}{\sqrt{R^2+x_1^2}}\right) = \frac{iN}{2\ell}(\cos\beta - \cos\alpha);$$

$$H = \frac{iN}{2\ell}(\cos\beta - \cos\alpha) \quad (5)$$

117. Şin uzun olduğu üçün onun yaratdığı maqnit sahəsi sonsuz düz cərəyanlı naqilin sahəsi kimidir:



Şəkil 176.

$B_l = \frac{\mu_0 i}{2\pi x}$ (x-şindən hesablanan məsafədir). Naqillərdən axan cərəyanlar (şəkil 176) eyni istiqamətli olduqda şinin naqilə göstərdiyi təsir qüvvəsi şaquli istiqamətdə yuxarı (şinə doğru), cərəyanlar əks istiqamətli olduqda onun əksinə yönələcək , (birinci halda naqillər bir-birini cəzb edir, ikinci halda isə itələyir). Amper qanunundan istifadə edib, bu qüvvənin ifadəsini yazaq :

$$F = i_2 \ell B_1 \sin 90^0 = \frac{\mu_0}{2\pi x} \cdot i_1 i_2 \ell \qquad (1)$$

Sıxılma və ya dartılma zamanı yaylarda meydana çıxan elastiklik qüvvəsi (f) Huk qanununa görə təyin olunur:

$$f = \pm 2k(h - x) \qquad (2)$$

(bərabərlikdən sonrakı müsbət işarəsi cərəyanların istiqaməti eyni, mənfi işarəsi isə - əks olduqda götürülür).

Tarazlıq halında əks istiqamətli olan F və f qüvvələri bir-birinə bərabər olur: F=f. Bu şərtdən istifadə edib x-i tapaq:

1) Cərəyaplar eyni istiqamətli olduqda:

$$\frac{\mu_0 i_1 i_2 l}{2\pi x} = 2k(h - x) \text{ yaxud } x^2 - hx + \frac{\mu_0 i_1 i_2 l}{4\pi k} = 0 \qquad (3)$$

$$x = \frac{h}{2} \pm \sqrt{\frac{h^2}{4} - \frac{\mu_0 i_1 i_2 l}{4\pi k}} \qquad (4)$$

$$x_l = \frac{h}{2} + \sqrt{\frac{h^2}{4} - \frac{\mu_0 i_l i_2 l}{4\pi k}}\ ;\ x_2 = \frac{h}{2} - \sqrt{\frac{h^2}{4} - \frac{\mu_0 i_l i_2 l}{4\pi k}}$$

$\frac{h^2}{4} > \frac{\mu_0 i_l i_2 l}{4\pi k}$ və ya $k > \frac{i_l i_2 l}{h^2}$ olduqda naqillər bir-birini cəzb edir və x_1 dayanıqlı, $x_2$isə dayanıqsız tarazlıq halına uyğun gəlir.

2) Cərəyanlar müxtəlif istiqamətli olduqda:

$$\frac{\mu_0 i_l i_2 l}{2\pi x} = 2k(x - h) \text{ yaxud } x^2 - hx - \frac{\mu_0 i_l i_2 l}{4\pi k} = 0 \qquad (5)$$

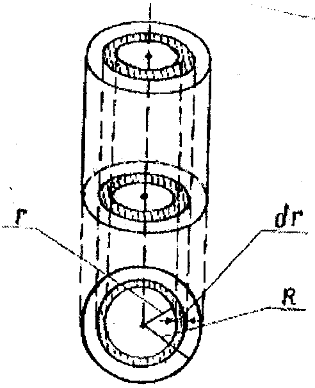
$$x = \frac{h}{2} + \sqrt{\frac{h^2}{4} + \frac{\mu_0 i_l i_2 l}{4\pi k}} \qquad (6)$$

(ikinci kök fiziki baxımdan mə'nasızdır, onu atdıq). Bu halda naqillər bir-birini itələyir və x-in (6) ilə tə'yin olunan qiymətində tarazlıq yaranır.

118. Polyarizasiya nəticəsində silindrin həcmində və səthində polyarizasiya yükləri yaranacaq. Həcm yük sıxlığını ρ', səth yük sıxlığını σ' ilə işarə edək. Mə'lum olduğu kimi,

$\rho' = -div\vec{P}$ və

$\sigma' = P - dir$. Onda :



Şəkil 177.

$$\rho' = -div(k\vec{r}) = -k\left(\frac{\partial x}{\partial x} + \frac{\partial y}{\partial y}\right) = -2k \quad (1)$$

$$\sigma' = P = kR \quad (2)$$

Silindrin daxilində divarının qalınlığı sonsuz kiçik dr olan silindr təbəqəsi götürək (şəkil 177). Bu təbəqədə olan yükün miqdarı $dq = \rho' dv = 2\pi rhdr\rho'$ $\left(dv = 2\pi r \cdot hdr\right)$. Bu yükün yaratdığı cərəyan sıxlığını belə taparıq:

$$j_{\text{həcm}} = \frac{dq}{ds \cdot T} = \frac{2\pi rhdr\rho'}{h \cdot dr \cdot 2\pi / \omega} = \omega\rho' r \quad (3)$$

Burada $h \cdot dr$ - yükün keçdiyi en kəsiyinin sahəsi, T – silindrin fırlanma periodudur. Silindrik təbəqənin vahid uzunluğuna düşən cərəyan şiddəti elementini tapaq:

$$di_{\text{həcm}} = j_{\text{həcm}} \cdot dr \cdot 1 = j_{\text{həcm}} dr = \omega\rho' rdr \quad (4)$$

Silindrik təbəqələrin yaratdığı maqnit sahəsini onları solenoidə bənzədərək tapa bilərik. Buradan aydındır ki, r-lə təsvir olunan nöqtədə yalnız ondan xaricdə olan təbəqələr maqnit sahəsi yaradır, daxili təbəqələr isə bu nöqtədə sahə yaratmır. r-dən xaricdə olan təbəqələrin yaratdığı cərəyan şiddətini (4)-ü r-dən R-ə qədər inteqrallamaqla taparıq :

$$i_{\text{həcm}} = \int_r^R di = \int_r^R \omega\rho' rdr = \omega\rho' \cdot \frac{1}{2} r \Big|_r^R = \frac{\omega\rho'}{2}\left(R^2 - r^2\right) \quad (5)$$

Buradakı i solenoidin vahid uzunluğuna düşən sarğılarının yaratdığı $n_0 i$ cərəyanına uyğun olduğu üçün silindrin həcm yüklərinin yaratdığı intensivliyi belə ifadə edərik:

$$H_{həcm} = i = \frac{\omega\rho'}{2}\left(R^2 - r^2\right) = -\frac{\omega}{2}\cdot 2k\left(R^2 - r^2\right) = -\omega k\left(R^2 - r^2\right) \quad (6)$$

Silindrin vahid uzunluğunda olan səth yüklərinin miqdarı $\sigma \cdot 2\pi R \cdot 1$, onun yaratdığı cərəyan şiddəti :

$$i_{səth} = \frac{\sigma' \cdot 2\pi R}{T} = \frac{kR \cdot 2\pi R}{2\pi / \omega} = kR^2\omega, \quad (7)$$

maqnit sahəsi isə:

$$H_{səth} = kR^2\omega \quad (8)$$

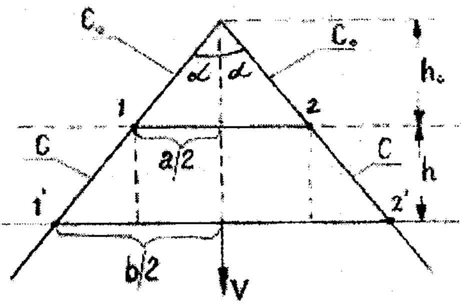
olar.

Yekun sahə

$$H = H_{həcm} + H_{səth} = -\omega k\left(R^2 - r^2\right) + kR^2\omega = k\omega r^2$$

$$H = k\omega r^2 \quad (9)$$

119. Tutaq ki, tağ 1-2 vəziyyətindən υ sür'əti ilə t müddətində $1' - 2'$ vəziyyətinə gəlmişdir (şəkil 178). Konturdan keçən sel $122'1'$ trapesiyasının sahəsindən keçən sel qədər dəyişmişdir. Onda elektromaqnit induksiyasının əsas qanununa görə konturda yaranan e.h.q.-ni belə tapariq:



Şəkil 178.

$$\varepsilon = -\frac{d\Phi}{dt} = -\frac{d}{dt}(SB) \quad (1)$$

S-trapesiyasının sahəsidir. Onu tə'yin edək: $S = \frac{a+b}{2}\cdot h$. Şərtə görə $h = \upsilon t$ -dir. a və b-ni şəkildən tapaq:

$$a = 2h_0 tg\alpha; \quad b = 2(h_0 + h)tg\alpha = 2(h_0 + \upsilon t)tg\alpha$$

Bunları (1)-də nəzərə alaq, özü də sağ tərəfdəki mənfi işarəsini nəzərə almayaq, çünki o, induksiya cərəyanının istiqamətini bildirir. Onu biz sonda müəyyən edəcəyik.

$$\varepsilon = B\frac{d}{dt}\cdot\frac{1}{2}\{[2h_0 tg\alpha + 2(h_0+\upsilon t)tg\alpha]\upsilon t\} = Btg\alpha\frac{d}{dt}[(2h_0+\upsilon t)\upsilon t] = \tag{2}$$
$$= Btg\alpha(\upsilon^2 t + \upsilon(2h_0+\upsilon t)) = 2\upsilon Btg\alpha(h_0+\upsilon t)$$

Konturun ümumi müqavimətini tapaq :

$$R = R_1(2(c_0+c)+b) = R_1\left(2\cdot\frac{b}{2\sin\alpha}+b\right) = R_1 b\frac{1+\sin\alpha}{\sin\alpha} =$$
$$= R_1\cdot 2(h_0+\upsilon t)tg\alpha\cdot\frac{1+\sin\alpha}{\sin\alpha} = 2R_1(h_0+\upsilon t)\cdot\frac{1+\sin\alpha}{\cos\alpha} \tag{3}$$

Qapalı dövrə üçün Om qanununa görə :

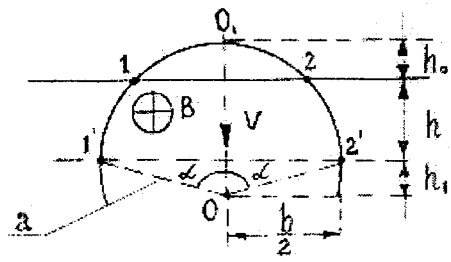
$$i = \frac{\varepsilon}{R} = \frac{2\upsilon B(h_0+\upsilon t)tg\alpha}{2R_1(h_0+\upsilon t)\frac{1+\sin\alpha}{\cos\alpha}} = \frac{\upsilon B}{R_1}\cdot\frac{\sin\alpha}{1+\sin\alpha}$$

$$i = \frac{\upsilon B}{R_1}\cdot\frac{\sin\alpha}{1+\sin\alpha} \tag{4}$$

Göründüyü kimi, cərəyan şiddəti sabit qalır : i=const

1-2 tağının hərəkəti zamanı konturdan keçən sel artır. Lens qaydasına görə induksiya cərəyanının istiqaməti elə olmalıdır ki, konturdan keçən sel azalsın. Bunun üçün induksiya cərəyanının yaratdığı sahə xarici sahənin əksinə olmalıdır, yəni induksiya cərəyanı kontur üzrə saat əqrəbinin əksinə axmalıdır (tağda cərəyan 1-dən 2-yə doğru yönəlməlidir).

120. Tağın hərəkəti nəticəsində (şəkil 179) konturdan keçən induksiya seli dəyişir və konturda induksiya e.h.q. və induksiya cərəyanı yaranır. Tutaq ki, tağ 1-2 vəziyyətindən başlayaraq sabit sürətlə sürüşür və t müddətində $1'$ - $2'$ vəziyyətinə gəlir. 1-2-$2'$-$1'$-1 fiqurunun sahəsini S-lə işarə edək. Ondan keçən induksiya seli $\Phi = BS$ olar.



Şəkil 179.

Elektromaqnit induksiyasının əsas qanununa görə induksiya e.h.q.-ni (ε) tapaq :

$$\varepsilon = -\frac{d\Phi}{dt} = -\frac{d}{dt}(BS) = -B\frac{dS}{dt} \qquad (1)$$

S-i tapmaq üçün 1'O 2' O_1 1', sektorunun sahəsindən 12O_1, seqmentinin (S_0) sahəsini və *1' 2'* O üçbucağının sahəsini çıxmalıyıq:

$$S = \frac{\pi a^2}{360^0}\cdot 2\alpha - S_0 - \frac{1}{2}b\cdot h_1 \qquad (2)$$

Şərtə görə: $h = \upsilon t$ -dir. Onda

$$h_1 = a - (h_0 + h) = a - (h_0 + \upsilon t); \; b = 2h_1 tg\alpha = 2(a - h_0 - \upsilon t)\cdot\frac{\sin\alpha}{\cos\alpha};$$

$$cos\,\alpha = \frac{h_1}{a}; \quad \alpha = arccos\frac{h_1}{a} = arccos\frac{a - h_0 - \upsilon t}{a};$$

Bunları (2)-də nəzərə alaq:

$$S = a^2\alpha - S_0 - \frac{1}{2}\cdot 2(a - h_0 - \upsilon t)\cdot\frac{\sin\alpha}{\cos\alpha}\cdot(a - h_0 - \upsilon t) =$$

$$= a^2\alpha - S_0 - (a - h_0 - \upsilon t)^2\cdot\frac{\sin\alpha}{\cos\alpha} =$$

$$= a^2 \arccos\frac{a - h_0 - \upsilon t}{a} - S_0 - (a - h_0 - \upsilon t)^2\cdot\frac{\sin\arccos\frac{a - h_0 - \upsilon t}{a}}{\cos\arccos\frac{a - h_0 - \upsilon t}{a}} =$$

$$= a^2 \arccos\frac{a - h_0 - \upsilon t}{a} - S_0 - (a - h_0 - \upsilon t)^2\cdot\frac{\sqrt{1 - \frac{(a - h_0 - \upsilon t)^2}{a^2}}}{\frac{a - h_0 - \upsilon t}{a}} =$$

$$= a^2 \arccos\frac{a - h_0 - \upsilon t}{a} - S_0 - (a - h_0 - \upsilon t)\sqrt{a^2 - (a - h_0 - \upsilon t)^2} \qquad (3)$$

$\frac{dS}{dt}$ -ni hesablayaq:

$$\frac{dS}{dt}=a^2\left(-\frac{1}{\sqrt{1-\left(\frac{a-h_0-\upsilon t}{a}\right)^2}}\cdot\left(-\frac{\upsilon}{a}\right)\right)-(-\upsilon)\sqrt{a^2-(a-h_0-\upsilon t)^2}-\frac{1}{2}\cdot$$

$$\cdot\frac{-2(a-h_0-\upsilon t)\cdot(-\upsilon)\cdot(a-h_0-\upsilon t)}{\sqrt{a^2-(a-h_0-\upsilon t)^2}}=$$

$$=\frac{\upsilon}{\sqrt{a^2-(a-h_0-\upsilon t)^2}}\left(a^2+a^2-(a-h_0-\upsilon t)^2-(a-h_0-\upsilon t)^2\right)=$$

$$=\frac{2\upsilon\left[a^2-(a-h_0-\upsilon t)^2\right]}{\sqrt{a^2-(a-h_0-\upsilon t)^2}}=2\upsilon\sqrt{a^2-(a-h_0-\upsilon t)^2}=\upsilon\cdot b \qquad (4)$$

(4)-ü (1)-də yerinə yazıb, ε-nun mütləq qiymətini tapaq :

$$\varepsilon=uB\cdot b \qquad (5)$$

Om qanununa görə i-ni tapmaq üçün konturun R ümumi müqavimətini hesablayaq. $1'O_1 2'$ qovsünun uzunluğu : $\ell=2\alpha a$, $1'2'$ vətərinin uzunluğu isə b-dir:

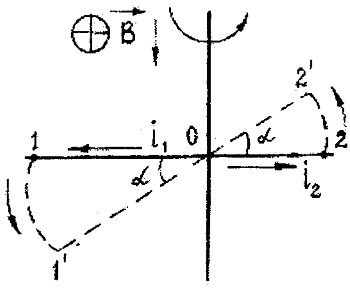
$$R=R_l(2\alpha a+b)$$

Beləliklə :

$$i=\frac{\varepsilon}{R}=\frac{\upsilon Bb}{R_1(2\alpha a+b)}=\frac{\upsilon B}{R_1}\cdot\frac{1}{\alpha\cdot\frac{a}{b/2}+1}=\frac{\upsilon B}{R_1\left(\frac{\alpha}{\sin\alpha}+1\right)} \qquad (6)$$

Cərəyanın istiqaməti saat əqrəbinin əksinədir (bax məsələ 119).

121. Çubuq fırlanarkən onun $\alpha=\omega t$ bucağı qədər döndüyü vəziyyət şəkil 180-də göstərilmişdir. O11'O sektorunu yelpiyin açılmış vəziyyətinə (onun yığılmış halı 01 xəttidir) bənzətmək olar. Yelpik tədricən açıldıqda onun konturundan keçən maqnit induksiya seli getdikcə artır. Bu isə



Şəkil 180.

induksiya e.h.q. –nin yaranmasına səbəb olur. Əgər konturun O11'O xətti qapalı naqildən ibarət olsa idi, ondan induksiya cərəyanı axardı. Lens qaydasına görə bu cərəyanın istiqamətini təyin edək. Tutaq ki, maqnit sahəsi yuxarıdan aşağı doğru yönəlib. Konturdan keçən sel artdığı üçün induksiya cərəyanının istiqaməti elə olmalıdır ki, maqnit selinin artımına mane olsun. Bunun üçün konturda induksiya cərəyanı saat əqrəbinin əksi istiqamətdə axmalıdır. Onda çubuğun 01 hissəsində cərəyan 0-dan 1-ə doğru istiqamətlənər. Eyni qayda ilə çubuğun 0-2 hissəsində cərəyan 0-dan 2-yə doğru axar. Bu, onu göstərir ki, çubuğun 01 və 02 hissələrində induksiyalanan e.h.q.-ləri əks işarəli olacaq. t müddətində çubuğun 1-0 və 0-2 hissələrinin cızdığı sektorların sahələri:

$$S_1 = \frac{\pi(\ell - \ell_1)^2}{360^0} \cdot \omega t \text{ və } S_2 = \frac{\pi \ell_1^2}{360^0} \cdot \omega t ,$$

onlardan keçən sel: $\Phi_1 = BS_1$ və $\Phi_2 = BS_2$, elektromaqnit induksiyası nəticəsində yaranan e.h.q. isə :

$$\varepsilon_1 = -\frac{d\Phi_1}{dt}, \quad \varepsilon_2 = -\frac{d\Phi_2}{dt}$$

olar.

Yekun e.h.q. bunların fərqinə bərabər olacaq :

$$\varepsilon = \varepsilon_2 - \varepsilon_1 = \frac{d}{dt}(\Phi_1 - \Phi_2) = B\frac{\pi}{360^0}\omega\left((\ell - \ell_1)^2 - \ell_1^2\right) =$$

$$= B\frac{\pi}{2\pi} \cdot 2\pi n\left(\ell^2 - 2\ell\ell_1 + \ell_1^2 - \ell_1^2\right) = \pi n B\ell(\ell - 2\ell_1)$$

Çubuq qapalı dövrə yaratmadığı üçün onun uclarındakı potensiallar fərqi elə e.h.q. –nə bərabər olacaq:

$$U = \varepsilon = \pi n B \ell(\ell - 2\ell_1)$$

$$U = 3{,}14 \cdot \frac{120}{60} \cdot 1{,}00 \cdot 10^{-3} \cdot 1{,}2(1{,}2 - 2 \cdot 0{,}25) = 5{,}3 \cdot 10^{-3} V$$

122. a) Maqnit sahəsi olmadıqda fırlanan neytral metal diskin daxilindəki elektronlara mərkəzdən qaçma qüvvəsi təsir edir və yüklər yenidən paylanır. Bu proses o vaxta qədər davam edir ki, yaranmış elektrik sahəsində elektrona mərkəzə doğru təsir edən qüvvə mərkəzdənqaçma qüvvəsinə bərabər olsun. Yaranmış sahənin intensivliyini E ilə işarə etsək, bu qüvvələrin tarazlığını belə yazarıq :

$$\frac{m\upsilon^2}{r} = eE;$$

Buradan:

$$E = \frac{m\upsilon^2}{er} = \frac{m\omega^2 r}{e} = \frac{4\pi^2 n^2 m}{e} r \qquad (1)$$

r-in dəyişmə intervalında (0-la a arasında) (1)-i inteqrallasaq, tələb olunan potensiallar fərqini taparıq :

$$U = \int_0^a E dr = \frac{4\pi^2 n^2 m}{\ell} \int_0^a r dr = \frac{2\pi^2 n^2 m}{\ell} a^2 \qquad (2)$$

$$U = \frac{2 \cdot 3{,}14^2 \cdot \frac{1000}{60} \cdot 0{,}911 \cdot 10^{-30}}{1{,}602 \cdot 10^{-19}} \cdot (0{,}250)^2 = 2{,}0 \cdot 10^{-9} V$$

b) Maqnit sahəsində elektrona təsir edən Lorens qüvvəsi mərkəzdənqaçma qüvvəsindən çox-çox böyükdür. Ona görə bu halda mərkəzdənqaçma qüvvəsini nəzərə almayacağıq. Maqnit sahəsinin varlığı elektronların paylanmasını yenidən dəyişdirir. Yaranan elektrik sahəsinin E intensivliyini yenə də qüvvələrin balansından tapanq : $F_l = eE$ yaxud $e\upsilon B = eE$

Buradan : $$E = \upsilon B = 2\pi n B r \qquad (3)$$

U-nu tapaq : $$U = \int_0^a 2\pi n B r dr = \pi n B a^2 \qquad (4)$$

$$U = 3{,}14 \cdot \frac{1000}{60} \cdot 1{,}00 \cdot 10^{-2} \cdot (0{,}250)^2 = 3{,}3 \cdot 10^{-2} V$$

123. Elektrostatikadan məlumdur ki, yüklənmiş metal (və ümumiyyətlə keçirici) cisimlərdə yüklər onların səthində paylanır (eyni işarəli yüklər bir-birini itələdiyi üçün). Belə cismin bütün nöqtələrinin potensialı eynidir. Ona görə sükunətdə olan yüklənmiş silindrin oxu ilə səthi arasında potensiallar fərqi sıfırdır. Silindr fırlanma hərəkətinə gətirildikdə Q yükü yenə də səthdə paylanmış olur və onun nizamlı hərəkəti silindrin səthində fırlanma istiqamətində və ya onun əksi istiqamətdə (sonuncu hal mənfi işarəli yükə aiddir) elektrik cərəyanı yaradır. Bu səth cərəyanını solenoidin sarğılarından axan cərəyana bənzətmək olar. Ona görə o, silindrin daxilində oxuna paralel yönəlmiş bircins maqnit sahəsi yaradacaq.

Silindrin vahid uzunluğuna düşən səth cərəyanını tapaq :

$$i_s = \frac{Q}{T} = \frac{Q}{2\pi/\omega} = \frac{Q\omega}{2\pi} \qquad (1)$$

Bu cərəyan solenoidin vahid uzunluğundakı n_0 sayda sarğının yaratdığı $n_0 i$ cərəyanına ekvivalentdir. Ona görə onun silindrin daxilində yaratdığı maqnit sahəsinin intensivliyini belə ifadə edərik :

$$H = i_s = \frac{Q\omega}{2\pi} \qquad (2)$$

Metalın məxsusi (öz atomlarına mənsub olan) sərbəst elektronları da fırlanma hərəkətində iştirak edir. Ona görə də onlara F_l Lorens qüvvəsi $\left(\vec{F}_l = e\left[\vec{\upsilon}\vec{B}\right]; F_l = e\upsilon B\cdot\sin 90^0 = \mu_0 e\upsilon H\right)$ təsir edir. F_l elektronun xətti sürətindən (υ isə silindrin oxundan olan məsafədən) asılıdır. Mərkəzdənqaçma qüvvəsini F_l-ə nisbətən nəzərə almaya bilərik. Bunun üçün : $F_l \gg F_{mq}$ və ya $\mu_0 e\omega r H \gg m r\omega^2$ yəni

$$H \gg \frac{m\omega}{\mu_0 e} \qquad \text{yaxud} \qquad Q \gg \frac{2\pi}{\mu_0}\cdot\frac{m}{e} \qquad (3)$$

şərti ödənilməlidir.

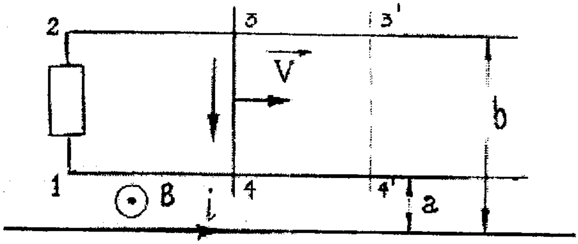
Metalın məxsusi sərbəst elektronlarının yenidən paylanması silindrin daxilində elektrik sahəsinin yaranmasına səbəb olur. Bu sahədə elektrona təsir edən qüvvə $F_{el} = eE$ (E-elektrik sahəsinin intensivliyidir) Lorens qüvvəsinə bərabər olduqda dinamik tarazlıq yaranır. Bu şərtdən istifadə edib, E-ni tapaq :

$$F_{el} = F_l; \quad eE = \mu_0 e\omega H r; \quad E = \mu_0\omega H r \qquad (4)$$

Silindrin oxu ilə səthi arasındakı potensiallar fərqini tapmaq üçün sonuncu ifadəni 0-dan a-ya qədər inteqrallamaq lazımdır:

$$U = \int_0^a E dr = \mu_0\omega H\int_0^a r dr = \frac{1}{2}\mu_0\omega H a^2 = \frac{\mu_0}{4\pi}Q\omega^2 a^2 \qquad (5)$$

124. a) Tutaq ki, 3-4 çubuğu t müddətində $3' - 4'$ vəziyyətinə gəlmişdir (şəkil 181). Bu zaman konturdan keçən selin artımı $3 - 3' - 4' - 4$ dördbucaqlısının sahəsindən keçən selə bərabər olacaq. Bu maqnit sahəsi düzxətli i cərəyanı tərəfindən yaradılır və onun (maqnit sahəsinin) qiyməti məsafədən asılı olaraq $B = \frac{\mu_0 i}{2\pi x}$ qanunu ilə dəyişir (x-verilmiş nöqtənin i düzxətli cərəyanından olan məsafəsidir). Sağ burğu qaydasından istifadə etsək, B-nin istiqamətinin şəkil müstəvisindən oxucuya doğru yönəldiyini müəyyən edərik.



Şəkil 181.

Maqnit induksiyası məsafədən asılı olaraq dəyişdiyi üçün onun b-a intervalında orta qiymətini hesablayaq :

$$B_{or} = \frac{1}{b-a}\int_a^b \frac{\mu_0 i}{2\pi x}dx = \frac{\mu_0 i}{2\pi(b-a)}\int_a^b \frac{dx}{x} = \frac{\mu_0 i}{2\pi(b-a)} ln\frac{b}{a} \qquad (1)$$

Maqnit induksiya selini (Φ) və onun köməkliyi ilə induksiya e.h.q. –ni tapaq :

$$\Phi = B_{or}\cdot(b-a)\upsilon t;\ \ \varepsilon = -\frac{d\Phi}{dt} = -B_{or}\cdot(b-a)\cdot\upsilon \qquad (2)$$

Mənfi işarəsi Lens qaydasının ödənilməsini təmin edir. Bundan sonra mənfi işarəsini nəzərə almayacağıq.

İnduksiya cərəyanının şiddətini tam dövrə üçün Om qanunundan tapaq :

$$i_{in} = \frac{\varepsilon}{R} = \frac{B_{or}(b-a)\upsilon}{R} = \frac{\mu_0 i}{2\pi(b-a)}\left(\ln\frac{b}{a}\right)\cdot\frac{(b-a)\upsilon}{R} =$$

$$= \frac{\mu_0 i\upsilon}{2\pi R}\ln\frac{b}{a};\ \ i_{in} = \frac{\mu_0 i\upsilon}{2\pi R}\ln\frac{b}{a} \qquad (3)$$

Konturdan keçən sel artdığı üçün Lens qaydasına görə induksiya cərəyanının istiqaməti elə olmalıdır ki, selin artmasına mane olsun, yəni onun maqnit sahəsi oxucudan şəkil müstəvisinə doğru yönəlsin. Bunun üçün konturda cərəyan saat əqrəbi istiqamətdə axmalıdır.

Deməli, çubuqda cərəyan 3 nöqtəsindən 4 nöqtəsinə doğru istiqamətlənməlidir.

b) Sol əl qaydasına görə i cərəyanının maqnit sahəsi çubuğun hərəkət sürətinin əksinə təsir edir. Ona görə çubuğun hərəkət sürətini sabit saxlamaq üçün ona B_{or} sahəsinin yaratdığı təsir qüvvəsinə bərabər qüvvə ilə sürət istiqamətində təsir etmək lazımdır. Bu qüvvənin qiymətini və təsir nöqtəsini tapaq. Amper qanununa görə çubuğa təsir edən qüvvənin qiymətini belə ifadə edərik :

$$F = i_{in} \cdot B_{or}(a-b) \cdot \sin 90^0 = \left(\frac{\mu_0 i}{2\pi} ln\frac{b}{a}\right)^2 \cdot \frac{\upsilon}{R} \qquad (4)$$

Bu qüvvənin tətbiq nöqtəsi düz naqildən elə x məsafəsində yerləşir ki, həmin məsafədə düz naqilin maqnit sahəsi $B=B_{or}$ olsun. Onda :

$$B = B_{or} = \frac{i}{2\pi x}$$

Buradan :

$$x = \frac{i}{2\pi B_{or}} = \frac{b-a}{\ln\frac{b}{a}} \qquad (5)$$

c) Çubuğun hərəkətinə sərf olunan gücü tapmaq üçün əvvəlcə çubuğun t müddətində yerdəyişməsi zamanı görülən işi tapaq :

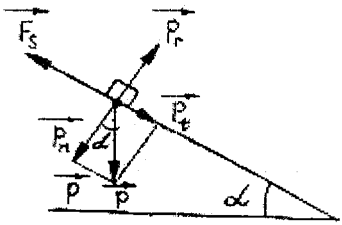
$$A = F\upsilon t \cdot \cos 0^0 = \left(\frac{\mu_0 i}{2\pi}\ln\frac{b}{a}\right)^2 \frac{\upsilon^2}{R} t \qquad (6)$$

Gücün tərifindən

$$P = \frac{dA}{dt} = \left(\frac{\mu_0 i\upsilon}{2\pi R} ln\frac{b}{a}\right)^2 R = i_{in}^2 \cdot R \qquad (7)$$

$$P = i_{in}^2 R$$

125. Sistemin şaquli müstəvi ilə kəsiyi şəkil 182-də göstərilmişdir. Tirə təcil verən qüvvələr ağırlıq qüvvəsinin P_t toplananı və F_s sürtünmə qüvvəsidir. Onların ifadələrini yazaq:



Şəkil 182.

$$P_t = P\sin\alpha;\quad F_S = kP_n = kP\cos\alpha$$

Tirə maqnit sahəsi olmadıqda təsir edən yekun qüvvə:

$$F = P_t - P_S = P(\sin\alpha - k\cos\alpha)$$

olar.

Nyutonun ikinci qanunundan istifadə edib, tirin təcilini tapaq :

$$ma = mg(\sin\alpha - k\cos\alpha);\quad a = g(\sin\alpha - k\cos\alpha) \qquad (1)$$

Başlanğıc sürətin $\upsilon_0=0$ olduğunu nəzərə alıb, tirin sürətinin ifadəsini yazaq:

$$\upsilon = at = g(\sin\alpha - k\cos\alpha)t \qquad (2)$$

Tirin hərəkəti nəticəsində konturun sahəsinin elementar dəyişməsi: $ds = \upsilon dt\cdot\ell$, t müddətində dəyişməsi isə:

$$\Delta S = \int_0^t \upsilon\ell dt = g\ell(\sin\alpha - k\cos\alpha)\int_0^t tdt = \frac{1}{2}g\ell(\sin\alpha - k\cos\alpha)t^2 \text{ olar.}$$

Konturdan keçən selin zamana görə törəməsi:

$$\frac{d\Phi}{dt} = \frac{d}{dt}(B\Delta S) = \frac{d}{dt}\left(\frac{1}{2}B\ell g(\sin\alpha - k\cos\alpha)t^2\right) = Bg\ell(\sin\alpha - k\cos\alpha)t$$

Bu ifadə ədədi qiymətcə induksiya e.h.q.-nə (ε) bərabərdir:

$$\varepsilon = Bg\ell(\sin\alpha - k\cos\alpha)t \qquad (3)$$

İnduksiya cərəyan şiddətini (i) Om qanunundan taparıq :

$$i = \frac{\varepsilon}{R} = \frac{Bg\ell}{R}(\sin\alpha - k\cos\alpha)t = \frac{B\ell}{R}\upsilon \qquad (4)$$

Lens qaydasına görə induksiya cərəyanı konturda saat əqrəbi istiqamətdə axacaq. Onda sol əl qaydasından aydındır ki, tirə B maqnit sahəsi tərəfindən onun hərəkətinin əksinə yönəlmiş F_A amper qüvvəsi təsir edəcək :

$$F_A = i\ell B \sin 90^0 = \frac{B^2\ell^2}{R}\upsilon \qquad (5)$$

Stasionar halda F_A=F olmalıdır :

$$\frac{B^2\ell^2}{R}\cdot\upsilon = mg(\sin\alpha - k\cos\alpha)$$

Buradan :

$$\upsilon = \frac{mgR}{B^2\ell^2}(\sin\alpha - k\cos\alpha) \qquad (6)$$

126. Sayğacı çevirdikdə onun sarğılarından keçən maqnit seli dəyişir, bu isə induksiya cərəyanının yaranmasına səbəb olur. Bir sarğını 90^0 çevirdikdə onun konturundan keçən sel SB qədər, 180^0 çevirdikdə isə 2SB qədər dəyişir. N sarğıda selin dəyişməsi $\Delta\Phi = 2SBN$ olacaq. Tutaq ki, bu dəyişmə Δt müddətində baş verir. Onda dövrədə yaranan induksiya e.h.q. –nin mütləq qiyməti belə olar: $\varepsilon = \frac{\Delta\Phi}{\Delta t}$. Om qanununa görə: $i = \frac{\Delta\Phi/\Delta t}{R}$, buradan isə:

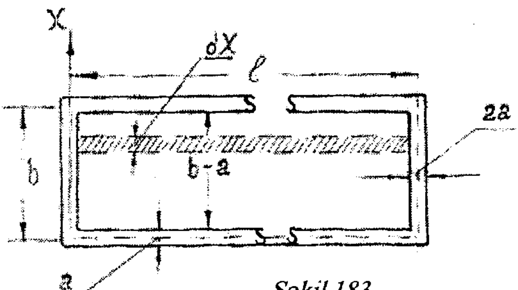
$$i\Delta t = \frac{\Delta\Phi}{R} \text{ yaxud } q = \frac{2SBN}{R} = \frac{2S\mu_0 HN}{R}$$

Nəhayət, son ifadədən alarıq:

$$H = \frac{qR}{2S\mu_0 N} = \frac{4{,}50\cdot 10^{-6}\cdot 40{,}0}{2\cdot 3{,}00\cdot 10^{-6}\cdot 1{,}257\cdot 10^{-6}\cdot 60} = 4{,}0\cdot 10^5\,\frac{A}{m}$$

127. Tutaq ki, çərçivədən cərəyan axır və onun şiddəti i-dir. Bu cərəyan çərçivənin daxilində Φ maqnit induksiya seli yaradacaq. İnduktivliyin tərifinə görə:

$$\Phi = Li \qquad (1)$$



Şəkil 183.

Seli yaradan çərçivənin uzunluğu l olan iki tərəfdən və uzunluğu b olan digər iki tərəfdən axan cərəyandır. Bu cərəyanların çərçivənin daxilində yaratdığı maqnit sahələri eyni istiqamətli olub, çərçivə müstəvisinə perpendikulyardır. l>>b olduğu üçün hesablamanı mürəkkəbləşdirməmək xatirinə uzunluğu b olan tərəflərdən axan cərəyanın maqnit sahəsini nəzərə almayaq.

Çərçivənin daxilində tərəfləri l və dx olan elementar dördbucaqlı ayıraq (şəkil 183). x oxunu kiçik tərəflərdən birinin oxu boyunca seçək. x oxundan eni sonsuz kiçik (dx) olan dördbucaqlıya qədər olan məsafəni x-lə işarə edək. l kifayət qədər böyük olduğu üçün uzun tərəflərdən axan cərəyanın maqnit sahəsini sonsuz düzxətli cərəyanın sahəsi kimi götürə bilərik. Onda, məs., alt oturacaqdan axan cərəyanın x nöqtəsində yaratdığı maqnit induksiyasını belə ifadə edərik :

$$B_1 = \frac{\mu\mu_0 i}{2\pi}\cdot\frac{1}{x} \qquad (2)$$

Bu sahə nəticəsində elementar dördbucaqlıdan keçən seli yazaq:

$$d\Phi_1 = \ell dx\cdot B_1 = \frac{\mu\mu_0 i\ell}{2\pi}\cdot\frac{dx}{x} \qquad (3)$$

Alt tərəfdən axan cərəyanın çərçivə müstəvisində yaratdığı seli tapmaq üçün (3) -ü a-dan (b-a) –ya qədər inteqrallamalıyıq :

$$\Phi_1 = \frac{i\ell\mu\mu_0}{2\pi}\int_a^{b-a}\frac{dx}{x} = \frac{i\ell\mu\mu_0}{2\pi}\ln x\Big|_a^{b-a} = \frac{i\ell\mu\mu_0}{2\pi}\ln\frac{b-a}{a} \qquad (4)$$

Qarşı tərəfin cərəyanı da bu qədər sel yaradacaq. Onda ümumi sel :

$$\Phi = 2\Phi_1 = 2\frac{\mu\mu_0\ell i}{2\pi}\ln\frac{b-a}{a} = \left(\frac{\mu\mu_0\ell}{\pi}\ln\frac{b-a}{a}\right)\cdot i$$

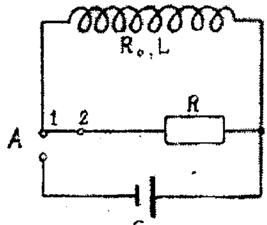
olar.

Son ifadəni (1)-lə müqayisə etsək, L-i taparıq :

$$L = \frac{\mu\mu_0\ell}{\pi}\ln\frac{b-a}{a} \qquad (5)$$

$$L = \frac{1\cdot 1{,}257\cdot 10^{-6}\cdot 10{,}0}{3{,}14}\cdot\ln\frac{0{,}10-0{,}001}{0{,}001} = 2{,}8\cdot 10^{-5}\,(\text{hn})$$

$$L = 2{,}8\cdot 10^{-5}\ \text{hn}$$



Şəkil 184.

128. Açar 2 vəziyyətinə gətirildikdə (şəkil 184) dövrə xarici mənbədən ayrılır. Lakin bu zaman L sayğacı ilə R müqaviməti qapalı dövrə yaradır, cərəyanın azalması sayğacdan keçən maqnit selinin azalmasına və dövrədə ε' induksiya e.h.q. – nin yaranmasına səbəb olur. Yaranan induksiya e.h.q. $\varepsilon' = -L\dfrac{di}{dt}$-dir. Onda tam dövrə üçün Om qanununu belə yazarıq:

$$i = \frac{\varepsilon'}{R_0 + R} = -\frac{L\dfrac{di}{dt}}{R_0 + R}$$

Buradan:

$$\frac{di}{i} = -\frac{(R_0 + R)}{L}dt \text{ və ya } \ln i = -\frac{(R_0 + R)t}{L} + A,$$

A-inteqrallama sabitini başlanğıc şərtdən taparıq. t=0 olduqda $i=i_0$-dır. Bu şərtdən istifadə etsək, $A=\ln i_0$ alarıq. Onda :

$$i = i_0 e^{-\frac{R_0+R}{L}t} \qquad (1)$$

dt müddətində R müqavimətində ayrılan istilik miqdarını Coul-Lens qanununa görə belə yazarıq: $dQ=i^2Rdt$. Bu ifadəni t-nin 0-dan ∞-a (i-nin i_0-dan 0-a) qədər dəyişmə intervalında inteqrallasaq, R muqavimətində ayrılan tam istilik miqdarını taparıq :

$$Q = \int_0^\infty i^2 R dt = \int_0^\infty i_0^2 R e^{\frac{-2(R_0+R)}{L}t} dt = i_0^2 R \int_0^\infty e^{\frac{-2(R_0+R)}{L}t} dt =$$

$$= -i_0^2 R \cdot \frac{L}{2(R_0 + R)} e^{\frac{-2(R_0+R)}{L}t}\Bigg|_0^\infty = \frac{i_0^2 RL}{2(R_0 + R)} = \frac{RL}{R_0 + R} \cdot$$

$$\cdot \frac{i_0^2 \cdot R_0^2}{2R_0^2} = \frac{R}{R_0 + R} \cdot \frac{L\varepsilon^2}{2R_0^2}$$

$$Q = \frac{R}{R_0 + R} \cdot \frac{L\varepsilon^2}{2R_0^2} \qquad (2)$$

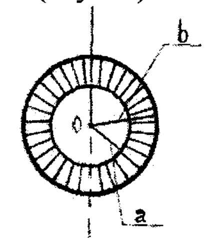
$$Q = \frac{2{,}00}{1{,}00 + 2{,}00} \cdot \frac{2 \cdot 10^{-6} \cdot (3{,}00)^2}{2 - 1} = 6{,}0 \cdot 10^{-6} (C)$$

129. Sonsuz düz naqildən keçən cərəyan şiddətini i_1, onun yaratdığı maqnit sahəsinin induksiyasını B_1-lə işarə edək:

$$B_1 = \frac{\mu\mu_0}{2\pi} \cdot \frac{1}{x} \qquad (1)$$

x- verilmiş nöqtədən düz naqilə qədər olan məsafədir.

Düz naqilin maqnit sahəsinin induksiya xətləri, mərkəzləri onun oxu üzərində olan konsentrik çevrələrdən ibarətdir. Bu xətlər toroidin hər bir sarğısını kəsib keçir, özü də kəsişmə nöqtəsində sarğı konturunun normalına paralel olur. Şəkil 185,a-da toroid-düz naqil sistemi, şəkil 185,b-də isə toroidin sarğılarından birinin konturu göstərilmişdir. Düz naqil cərəyanının toroidin bir sarğısının konturunda yaratdığı maqnit induksiya selini Φ' tapaq. Maqnit sahəsi məsafədən asılı olaraq dəyişdiyi üçün əvvəlcə eni dx (boyu δ) olan elementar sahədən keçən seli tapaq :

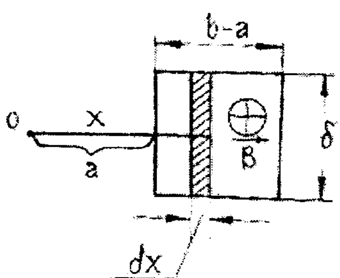


$$d\Phi' = \delta \cdot dx \cdot B_1 = \delta \cdot \frac{\mu\mu_0}{2\pi} \cdot \frac{dx}{x} \qquad (2)$$

Bir sarğıdan keçən seli tapmaq üçün (2)-ni x-in dəyişmə intervalında (a-dan b-yə qədər) inteqrallayaq :

$$\Phi' = \int_a^b \frac{\delta\mu\mu_0 i}{2\pi} \cdot \frac{dx}{x} = \frac{\delta\mu\mu_0 i}{2\pi} \int_a^b \frac{dx}{x} = \frac{\delta\mu\mu_0 i}{2\pi} \ln\frac{b}{a}$$

(3)



Toroidin bütün sarğılarından keçən seli tapmaq üçün Φ'-i sarğıların sayına vurmaq lazımdı :

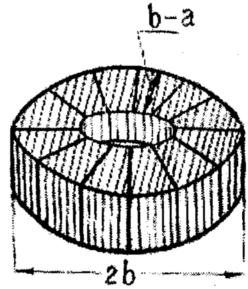
$$\Phi = \Phi' \cdot N = \left(\frac{\mu\mu_0 \delta N}{2\pi} \ln\frac{b}{a} \right) i \qquad (4)$$

Şəkil 185, a,b.

Digər tərəfdən induktivliyin tərifinə görə: $\Phi_1 = L_{12} i$. Müqayisədən alarıq :

$$L_{12} = \frac{\mu\mu_0 \delta N}{2\pi} \ln\frac{b}{a}$$

(5)



Şəkil 186.

130. Maqnit sahəsinin enerjisinin həcm sıxlığının:

$$\omega = \frac{1}{2}\mu\mu_0 H^2$$

düsturundan istifadə edib, toroidin bütün V həcmindəki W enerjisini belə yazarıq :

$$W = \omega \cdot V \qquad (1)$$

V-ni tapmaq üçün radiusu b, hündürlüyü b-a olan xarici silindrin həcmindən radiusu a, hündürlüyü b-a olan daxili silindrin həcmini çıxmaq lazımdır (şəkil 186):

$$V = V_1 - V_2 = \pi b^2(b-a) - \pi a^2(b-a) = \pi(b-a)(b^2-a^2) = \pi(b-a)^2(b+a) \qquad (2)$$

Toroidin mərkəzi xəttinin radiusu : $r = a + \frac{b-a}{2} = \frac{a+b}{2}$ -dir.

Bu xətt üzərində maqnit sahəsinin intensivliyi və induksiya vektoru :

$$H = \frac{N \cdot i}{2\pi r} = \frac{Ni}{\pi(a+b)} \quad \text{və} \quad B = \frac{\mu\mu_0 Ni}{\pi(a+b)} \qquad (3)$$

olar. (2) və (3)-ü (1) –də yerinə yazaq :

$$W = \omega \cdot V = \frac{1}{2}\mu\mu_0 H^2 \cdot \pi(b-a)^2(b+a) = \frac{\pi}{2} H \cdot B(b-a)^2(b+a) \qquad (4)$$

$$H = \frac{N \cdot i}{\pi(a+b)} = \frac{1000 \cdot 1{,}26}{3{,}14 \cdot (0{,}2 + 0{,}25)} = 890\left(\frac{A}{m}\right)$$

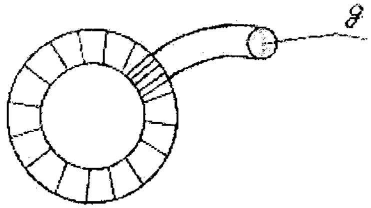
H-ın bu qiymətində texniki təmiz dəmirin induksiya vektoru B=1,5 Tl-dır. Onda:

$$W = \frac{3{,}14}{2} \cdot 8{,}90 \cdot 10^2 \cdot 1{,}5(0{,}25 - 0{,}20)^2 \cdot (0{,}25 + 0{,}20)C = 2{,}4C$$

olar.

131. Əsas sarğının cərəyanı söndürüldükdə toroidin daxilində maqnit sahəsi tədricən azalaraq sıfra çatır. Bu müddətdə əlavə sarğıdan (şəkil 187) keçən sel zamandan asılı olaraq dəyişir (azalır).

Ona görə də qalvanometr dövrəsində induksiya cərəyanı yaranır. İnduksiya e.h.q. əlavə sarğıdan selin dəyişməsi ilə belə əlaqələnir:



Şəkil 187.

$$\varepsilon = -\frac{d\Phi}{dt} = -\frac{d(BSN_1)}{dt},\ S = (b-a)^2$$

S bir sarğının en kəsiyinin sahəsidir. Qapalı dövrə üçün Om qanununa

görə : $$i = \frac{\varepsilon}{R}.$$

Digər tərəfdə, dövrənin hər-hansı nöqtəsində en kəsiyindən dt müddətində keçən yük:

$$dq = idt = \frac{\varepsilon}{R}dt = -\frac{d(BSN_1)}{Rdt}dt = -\frac{SN_1}{R}dB$$

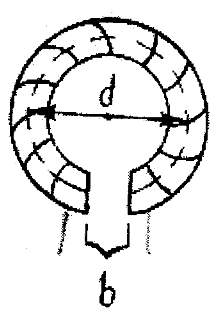
Tam yükü tapmaq üçün bu ifadəni B-nin dəyişmə intervalında (B-dən O-a qədər) inteqrallamaq lazımdır:

$$q = -\int_B^0 \frac{SN_1}{R}dB = \frac{SN_1B}{R} = \frac{N_1B(b-a)^2}{R}$$

$$q = \frac{20 \cdot 1{,}5 \cdot (0{,}25 - 0{,}20)^2}{31{,}0}\ \text{Kl} = 2{,}4 \cdot 10^{-3}\ \text{Kl}$$

132. Toroidin (şəkil 188) orta xəttini çəkək və bu xətt üzrə intensivlik vektorunun sirkulyasiyasını yazaq :

$$(\pi d - b)H_1 + bH_2 = iN \qquad (1)$$



Şəkil 188.

H_1-dəmir içlik olan hissədə, H_2- yarıqda maqnit sahəsinin intensivliyidir. Dəmir içliklə hava sərhəddində intensivlik vektorunun sınma qanununa görə normal komponentlər (H_1 və H_2 baxdığımız sirkulyasiya xəttinə toxunan olduğu üçün düşmə sərhədinə perpendikulyardır) arasında olan münasibət belədir :

$\frac{H_1}{H_2}=\frac{\mu_2}{\mu_1}$. Buradan : $H_1=\frac{\mu_2}{\mu_1}\cdot H_2$. Şərtə görə H$_2$=H, $\mu_2=1$ və $\mu_1=\mu$-dür, yəni: $H_1=\frac{1}{\mu}H$.

Bunları (1)-də yerinə yazıb, μ-nü tapaq:

$$(\pi d-b)\frac{1}{\mu}H+bH=i\cdot N;\ \mu=\frac{(\pi d-b)H}{i\cdot N-bH} \qquad (2)$$

$$\mu=\frac{\left(3{,}14\cdot 0{,}50-1{,}00\cdot 10^{-3}\right)\cdot 6{,}00\cdot 10^{5}}{0{,}85\cdot 1000-1{,}00\cdot 10^{-3}\cdot 6{,}00\cdot 10^{5}}=38\cdot 10^{2}$$

133. Enerjinin saxlanması qanunundan istifadə edib dt müddəti üçün enerji balansını yazaq. Solenoidə tətbiq olunan xarici e.h.q. ε, ondan keçən yük dq olsun. dt müddətində xarici mənbəyin sərf etdiyi enerji εdq-dür. Bu enerji solenoidin maqnit sahəsinin enerjisinin dW_m dəyişməsinə, onun deformasiyası zamanı görülən δA mexaniki işə və $\delta Q=Ri^2dt$ istiliyinə sərf olunacaq (R-solenoidin aktiv müqavimətidir). Onda enerji balansı belə olar:

$$\varepsilon dq=dW_m+\delta A+\delta Q \qquad (1)$$

$\delta Q=Ri^2dt=Ri\cdot idt=Ridq$ olduğunu nəzərə alaq və (1)-də dəyişiklik aparaq:

$$(\varepsilon-Ri)dq=dW_m+\delta A \qquad (2)$$

Solenoidin dövrə hissəsi üçün Om qanununu belə yazarıq:

$$iR=\varepsilon+\varepsilon_{in}=\varepsilon-\frac{d\Phi}{dt}.$$

Burada $\varepsilon_{in}=-\frac{d\Phi}{dt}$ – induksiya e.h.q., Φ-solenoidin sarğılarından keçən seldir. Son ifadədən:

$$(\varepsilon-Ri)=\frac{d\Phi}{dt} \qquad (3)$$

(3)-ü (2)-də yerinə yazaq:

$$\frac{d\Phi}{dt}\cdot dq=\delta A+\delta Q \text{ və ya } \frac{d\Phi}{dt}\cdot dq=d\Phi\cdot\frac{dq}{dt}=d\Phi\cdot i$$

olduğunu nəzərə alsaq :

$$id\Phi=dW_m+\delta A \qquad (4)$$

alarıq. Seli cərəyan şiddəti (i) və induktivliklə (L) ifadə edib $(\Phi = Li)$, (4)-ün sol tərəfində dəyişiklik aparaq:

$$id\Phi = id(Li) = d\left(\frac{Li^2}{2}\right) + \frac{i^2}{2}dL \qquad (5)$$

(5)-i (4)-də istifadə edək:

$$d\left(\frac{Li^2}{2}\right) + \frac{i^2}{2}dL = dW_m + \delta A \qquad (6)$$

(6)-nın sol tərəfindəki birinci hədd solenoidin maqnit sahəsinin enerjisinin dəyişməsidir:

$$dW_m = d\left(\frac{Li^2}{2}\right)$$

Onda sağ və sol tərəfin müqayisəsindən alarıq:

$$\delta A = \frac{i^2}{2}dL \qquad (7)$$

dL –i solenoidin induktivliyinin ifadəsindən tapaq:

$$L = \frac{\mu_0 N^2 S}{\ell}; \quad dL = -\frac{\mu_0 N^2 S}{\ell^2}d\ell \qquad (8)$$

Solenoidin deformasiyası zamanı görülən mexaniki iş F_{el} (bax: şəkil 36) elastiklik qüvvəsi ilə onun dl mütləq deformasiyasının (sıxılmasının) hasilinə bərabərdir :

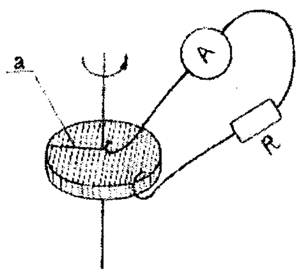
$$\delta A = F_{el} \cdot dl = -k(\ell_0 - \ell)d\ell \qquad (9)$$

Digər tərəfdən (7)-dən (8)-i nəzərə almaqla:

$$\delta A = -\frac{\mu_0 N^2 S}{2\ell^2}d\ell \qquad (10)$$

(9) və (10)-un müqayisəsindən alarıq:

$$\ell_0 = \ell + \frac{\mu_0 N^2 S}{k\ell^2} \cdot \frac{i}{2} \qquad (11)$$



Şəkil 189.

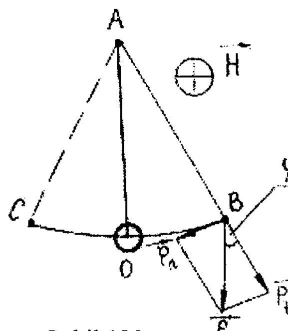
134. Məsələ 122(b)-dən məlumdur ki, bu halda diskin mərkəzi ilə kənarları arasında : $U = \pi n B a^2$ düsturu ilə ifadə olunan potensiallar fərqi yaranır

$(B = \mu_0 H$ maqnit sahəsinin induksiyasıdır). Dövrədən (şəkil 189) axan cərəyan şiddətini Om qanununa görə taparıq :

$$i = \frac{U}{R} = \frac{\pi n B a^2}{R} = \frac{3{,}14 \cdot 1000 \cdot 1{,}257 \cdot 10^{-6} \cdot 7{,}96 \cdot 10^5 \cdot \left(10 \cdot 10^{-2}\right)^2}{10} A = 0{,}314A$$

135. Çarxın (və ya diskin) mərkəzi ilə çevrəsi (kənarları) arasında potensiallar fərqinin yaranmasına səbəb fırlanma hərəkətində metalın sərbəst elektronlarına maqnit sahəsi tərəfindən Lorens qüvvəsinin təsir etməsidir (mərkəzdənqaçma qüvvəsi kiçik olduğu üçün onu nəzərə almırıq). Çarxın mərkəzi ilə kənarları keçirici cağlarla əlaqələndiyi üçün eyni şərtlər daxilində potensiallar fərqi U da dəyişməz qalacaq, yəni ampermetrin göstərişi bu halda da i=0,314 A olacaq.

136. Əvvəlcə maqnit sahəsi olmadıqda rəqqasın sönmə dekrementini təyin edək. Bu halda rəqqasa kvazielastik qüvvə və müqavimət qüvvəsi təsir edir.



Şəkil 190.

Kvazielastik qıvvə, şəkil 190-dan aydın olduğu kimi P_n-ə bərabərdir (P_n-ağırlıq qüvvəsinin rəqqasın qoluna perpendikulyar olan komponentidir):

$P_n = p\sin\varphi \cong mg\varphi$ (1)

Müqavimət qüvvəsi:

$$F_{\text{müq}} = k\frac{d\varphi}{dt} = k\varphi' \qquad (1,a)$$

Hərəkət tənliyini yazaq :

$F = -P_n - F_{\text{müq}}$ və ya $ma = -mg\varphi - k\varphi'$

$a = \ell\beta$ (β-bucaq təcilidir: $\beta = \varphi''$) yazaq:

$m\ell\varphi'' = -mg\varphi - k\varphi'$,

buradan: $$\varphi'' + \frac{k}{m\ell}\varphi' + \frac{g}{\ell}\varphi = 0 \qquad (2)$$

(2) sönən rəqsin tənliyidir. Belə əvəzləmə aparaq :

$$\frac{k}{m\ell} = 2\lambda, \quad \varphi = ue^{-\lambda t} \qquad (3)$$

φ -nin zamana görə birinci və ikinci törəməsini tapaq və (2)-də yeni dəyişənə keçək:

$$\varphi' = u'e^{-\lambda t} - \lambda u e^{-\lambda t};\ \ \varphi'' = u''e^{-\lambda t} - 2\lambda u'e^{-\lambda t} + \lambda^2 u e^{-\lambda t} \tag{4}$$

$$u''e^{-\lambda t} - 1\lambda u'e^{-\lambda t} + \lambda^2 u e^{-\lambda t} + 2\lambda\left(u'e^{-\lambda t} - \lambda u e^{-\lambda t}\right) + \frac{q}{e} u e^{-\lambda t} = 0$$

$e^{-\lambda t}$ -yə ixtisar edib, sadələşdirdikdən sonra alarıq:

$u'' + \left(\frac{q}{\ell} - \lambda^2\right)u = 0;\ \ \frac{q}{\ell} > \lambda^2$ olduqda (əks halda rəqsi hərəkət alınmaz):

$$\sqrt{\frac{q}{\ell} - \lambda^2} = \omega \tag{5}$$

işarə edə bilərik: $$u'' + \omega^2 u = 0 \tag{6}$$

Bu tənliyin həlli belədir:

$$u = a_0 \cos(\omega t + \alpha) \tag{7}$$

Deməli:

$$\varphi = a_0 e^{-\lambda t} \cos(\omega t + \alpha) \tag{8}$$

Rəqsin amplitudunu yazaq:

$$a = a_0 e^{-\lambda t} \tag{9}$$

Loqarifmik dekrementi tapaq:

$$\delta = \ln\frac{a_n}{a_{n+1}} = \ln\frac{a_0 e^{-\lambda t}}{a_0 e^{-\lambda(t+T)}} = \lambda T \tag{10}$$

T-rəqsin periodudur:

$$T = \frac{2\pi}{\omega} = \frac{2\pi}{\sqrt{\frac{q}{\ell} - \lambda^2}} = \frac{2\pi}{\sqrt{\frac{q}{\ell} - \left(\frac{k}{2m\ell}\right)^2}} \tag{11}$$

$$\delta = \frac{k}{2m\ell} \cdot \frac{2\pi}{\sqrt{\frac{q}{\ell}\left(\frac{k}{2m\ell}\right)^2}} = \frac{\pi k}{m\ell\sqrt{\frac{q}{\ell} - \left(\frac{k}{2m\ell}\right)^2}} \tag{12}$$

İndi $H \neq 0$ olan hala baxaq. Tutaq ki, rəqqas AO tarazlıq vəziyyətindən t müddətində φ qədər meyl edərək, AB vəziyyətinə gəlmişdir. Bu zaman dövrənin konturundan keçən maqnit seli artmış olur və bunun nəticəsində dövrədə induksiya cərəyanı yaranır. Deyək ki, maqnit sahəsi oxucudan şəkil müstəvisinə doğru yönəlib. Onda Lens qaydasına görə induksiya cərəyanı dövrədə saat əqrəbinin əksinə (rəqqasın qolunda B-dən A-ya doğru) axmalıdır. AB qoluna maqnit sahəsi tərəfindən rəqqasa təsir edən qüvvə sağdan sola doğru (hərəkətin əksinə) təsir edəcək. Rəqqas tarazlıq vəziyyətindən sol tərəfə keçdikdə dövrə konturundan keçən maqnit seli azalacaq, induksiya cərəyanı isə saat əqrəbi istiqamətində (A-dan B-yə doğru) yönələcək. Bu halda rəqqasa təsir edən Amper qüvvəsi soldan sağa doğru (yenə də hərəkətin əksinə) təsir edəcək. Deməli, Amper qüvvəsi müqavimət qüvvəsi ilə eyni işarəlidir. Onun qiymətini tapaq:

$$F_A = i\ell B = i\ell\mu_0 H \tag{13}$$

i -dövrədə yaranan induksiya cərəyanıdır, onu Om qanununa görə tapaq:

$$i = \frac{\varepsilon}{R} \tag{14}$$

Burada ε - induksiya e.h.q.-dir.

$\varepsilon = -\dfrac{d\Phi}{dt}$, Φ - rəqqasın rəqsi zamanı dövrə konturunda t müddətində konturdan keçən selin dəyişməsidir. Əgər rəqqas, məs., sağ tərəfə meyl edirsə, onda Φ OABO sahəsindən keçən seldir:

$$\Phi = B \cdot S_{OAB} = B\frac{\pi\ell^2}{360^0} \cdot \varphi = \frac{B\ell^2}{2}\varphi$$

(S_{OAB}-ni sektorun sahəsi kimi tapdıq). İşarəni nəzərə almadan ε-nu hesablayaq:

$$\varepsilon = \frac{d\Phi}{dt} = \frac{d}{dt}\left(\frac{B\ell^2}{2}\varphi\right) = \frac{B\ell^2}{2}\frac{d\varphi}{dt} = \frac{\mu H\ell^2}{2} \cdot \varphi' \tag{15}$$

(13)-(15)-dən

$$F_A = \frac{\mu_0^2 H^2 \ell^3}{2R}\varphi' \tag{16}$$

Rəqsin tənliyini yazaq:

$F = -P_n - F_{müqu} - F_A$ və ya

$$m\ell\varphi'' = -mg\varphi - k\varphi' - \frac{\mu_0^2 H^2 \ell^3}{2R}\varphi'$$

Buradan:

$$\varphi'' + \frac{1}{m\ell}\left(\kappa + \frac{\mu_0^2 H^2 \ell^3}{2R}\right)\varphi' + \frac{q}{\ell}\varphi = 0$$

$$\frac{1}{m\ell}\left(\kappa + \frac{\mu_0^2 H^2 \ell^3}{2R}\right) = 2\lambda' \qquad (17)$$

işarə edək. Onda diferensial tənlik bu şəklə düşər:

$$\varphi'' + 2\lambda'\varphi' + \frac{q}{\ell}\varphi = 0 \qquad (18)$$

Tənliyi sadələşdirmək üçün bu cür əvəzləmə aparaq:

$$\varphi = u\ell^{-\lambda' t} \qquad (19)$$

φ' və φ'' -i tapaq:

$$\varphi' = u'e^{-\lambda' t} - \lambda' u e^{-\lambda' t}; \qquad \varphi'' = \left(u'' - 2\lambda' u' + \lambda'^2 u\right)e^{-\lambda' t} \qquad (20)$$

(19) və (20) –ni (18)-də yerinə yazıb, müəyyən sadələşdirmə apardıqdan sonra yeni dəyişən u üçün belə diferensial tənlik alarıq:

$$u'' + \left(\frac{q}{\ell} - \lambda'^2\right)u = 0 \qquad (21)$$

Bu, dairəvi tezliyi:

$$\omega = \sqrt{\frac{q}{\ell} - \lambda'^2} \qquad (22)$$

olan harmonik rəqsin tənliyidir. Onun məlum həlli belədir:

$$u = a_0 \cos(\omega t + \alpha) \qquad (23)$$

α-başlanğıc faza, a_0-amplituddur.

Artıq φ-nin zamandan asılılığını yaza bilərik:

$$\varphi = a_0 e^{-\lambda' t}\cos(\omega t + \alpha) \qquad (24)$$

Bu hal üçün δ' loqarifmik dekrementi hesalayaq:

$$\delta' = \ln\frac{a_0 e^{\lambda' t}}{a_0 e^{-\lambda'}(t+T)} = \lambda' T' \qquad (25)$$

T' -rəqsin periodudur:

$$T' = \frac{2\pi}{\omega} = \frac{2\pi}{\sqrt{\frac{q}{\ell} - \lambda'^2}} \qquad (26)$$

$\frac{\delta'}{\delta}$ -nisbətini tapaq:

$$\frac{\delta'}{\delta} = \frac{\lambda' T'}{\lambda' T'} = \frac{\frac{1}{2m\ell}\left(k + \frac{\mu_0^2 H^2 \ell^3}{2R}\right)\cdot\frac{2\pi}{\sqrt{\frac{q}{\ell} - \left[\frac{1}{2m\ell}\left(k + \frac{\mu_0^2 H^2 \ell^3}{2R}\right)\right]^2}}}{\frac{\kappa\cdot 2\pi}{2m\ell}\cdot\left(\sqrt{\frac{g}{\ell} - \left(\frac{k}{2m\ell}\right)^2}\right)^{-1}} = \qquad (27)$$

$$= \frac{\left(k + \frac{\mu_0^2 H^2 \ell^3}{2R}\right)\sqrt{\frac{q}{\ell} - \left(\frac{k}{2m\ell}\right)^2}}{k\sqrt{\frac{q}{\ell} - \frac{1}{4m^2\ell^2}\left(k + \frac{\mu_0^2 H^2 \ell^3}{2R}\right)^2}}$$

Bu nisbət loqarifmik dekrementin neçə dəfə artdığını göstərir.

137. İnduktivliyi L olan qapalı dövrədə maqnit selinin dəyişməsi Φ ilə induksiya cərəyan ştiddəti arasındakı əlaqə belədir:

$$\Phi = Li \text{ yaxud } i = \frac{\Phi}{L} = \frac{B\ell^2}{L2}\varphi = \frac{\mu_0 H\ell^2}{2L}\varphi \quad \text{(bax: məsələ 136).}$$

i-nin bu qiymətini Amper qüvvəsinin ifadəsində yerinə yazaq:

$$F_A = i\ell B = \frac{\mu_0 H\ell^2}{2L}\varphi\cdot l\cdot\mu_0 H = \frac{\mu_0^2 H^2 \ell^3}{2L}\varphi \qquad (1)$$

Rəqsin tənliyini yazaq:

$$m\ell\varphi'' = -mg\varphi - k\varphi' - \frac{\mu_0^2 H^2 \ell^3}{2L}\varphi$$

Buradan:

$$\varphi'' + \frac{\kappa}{m\ell}\varphi' + \left(\frac{g}{\ell} + \frac{\mu_0^2 H^2 \ell^2}{2mL}\right)\varphi = 0 \qquad (2)$$

$$\frac{k}{2m\ell} = \lambda_1, \quad \frac{g}{\ell} + \frac{\mu_0^2 H^2 \ell^2}{2mL} = b_1 \qquad (3)$$

işarə edək. Onda:

$$\varphi'' + 2\lambda_l\varphi' + b_l\varphi = 0 \qquad (4)$$

(4) tənliyini məsələ 136-da olduğu kimi həll edib alarıq:

$$\varphi = a_0 e^{-\lambda_1 t}\cos(\omega_1 t + \alpha) \qquad (5)$$

Burada:

$$\omega_1 = \sqrt{b_1 - \lambda_1^2} = \sqrt{\frac{q}{\ell} + \frac{\mu_0^2 H^2 \ell^2}{2mL} - \frac{k^2}{4m^2\ell^2}} \qquad (6)$$

Rəqsin periodunu ω_1 -in ifadəsindən alarıq:

$$T_1 = \frac{2\pi}{\omega_1} = \frac{2\pi}{\sqrt{\frac{q}{\ell} + \frac{\mu_0^2 H^2 \ell^2}{2mL} - \frac{k^2}{4m^2\ell^2}}} \qquad (7)$$

Sönmə dekrementini hesablayaq:

$$\delta_1 = \ln\frac{a_0 e^{-\lambda_1 t}}{a_0 e^{-\lambda_1 (t+T_1)}} = \lambda_1 T_1 = \frac{K}{2m\ell}\cdot\frac{2\pi}{\sqrt{\frac{q}{\ell} + \frac{\mu_0^2 H^2 \ell^2}{2mL} - \frac{k^2}{4m^2\ell^2}}} \qquad (8)$$

(8) -dən və məsələ 136 –nin (12) ifadəsindən:

$$\frac{\delta_1}{\delta} = \frac{k}{2m\ell}\cdot\frac{2\pi}{\sqrt{\frac{q}{\ell} + \frac{\mu_0^2 H^2 \ell^2}{2mL} - \frac{k^2}{4m^2\ell^2}}}\cdot\frac{m\ell\sqrt{\frac{q}{\ell} - \frac{k^2}{4m^2\ell^2}}}{\pi k} =$$

$$=\frac{\sqrt{\frac{q}{\ell}-\frac{k^2}{4m^2\ell^2}}}{\sqrt{\frac{q}{\ell}+\frac{\mu_0^2H^2\ell^2}{2mL}-\frac{k^2}{4m^2\ell^2}}} \tag{9}$$

Periodların nisbəti isə belə olar:

$$\frac{T_1}{T}=\frac{\sqrt{\frac{q}{\ell}-\frac{k^2}{4m^2\ell^2}}}{\sqrt{\frac{q}{\ell}+\frac{\mu_0^2H^2\ell^2}{2mL}-\frac{k^2}{4m^2\ell^2}}} \tag{10}$$

Həm sönmənin loqarifmik dekrementi, həm də rəqsin periodu artmışdır.

138. Rəqsin tənliyini yazmaq üçün rəqqasa təsir edən Amper qüvvəsini tapaq: $F_A = i\ell\mu_0 H$. Burada i məlum deyil. Onu kondensatorun köynəklərindən birinin yükünün zamana görə dəyişməsindən tapa bilərik ($i=\frac{dq}{dt}$). Tutumun tərifindən: $C=\frac{q}{U}$. Buradan: $q = CU = C\varepsilon$ (ε-induksiya e.h.q.-dir). Məsələ 136-da ε üçün aldığımız (15)-düsturundan istifadə edək:

$$i=\dot{q}=C\dot{\varepsilon}=\frac{C\mu_0 H\ell^2}{2}\dot{\varphi} \tag{1}$$

Onda: $F=i\ell\mu_0 H=\frac{C\mu_0 H^2\ell^3}{2}$ alarıq. İndi rəqsin tənliyini yazа bilərik:

$$m\ell\ddot{\varphi}=-mg\varphi-k\dot{\varphi}-\frac{C\mu_0 H^2\ell^2}{2}\ddot{\varphi} \tag{2}$$

Qruplaşma aparıb tənliyi sadə şəklə salaq:

$$\ddot{\varphi}+2\lambda_2\dot{\varphi}+b\varphi=0 \tag{3}$$

Burada: $\lambda_2 = \dfrac{k}{2m\ell\left(1+\dfrac{C\mu_0 H^2\ell^2}{2}\right)}$, $\quad b_2 = \dfrac{q}{\ell\left(1+\dfrac{C\mu_0{}^2 H^2\ell^2}{2}\right)}$ (4)

işarə etmişik.

(3) diferensial tənliyini məsələ 136-dakı kimi həll etsək, alarıq:

$$\varphi = a_0 e^{-\lambda_2 t}\cos(\omega_2 t + \alpha) \tag{5}$$

ω_2-nin ifadəsi belədir:

$$\omega_2 = \sqrt{b_2 - \lambda_2^2} = \sqrt{\frac{\left(\dfrac{q}{\ell}\left(1+\dfrac{C\mu_0^2 H^2\ell^2}{2m}\right) - \left(\dfrac{k}{2m\ell}\right)^2\right)}{1+\dfrac{C\mu_0^2 H^2\ell^2}{2m}}} \tag{6}$$

Rəqsin periodunu tapaq:

$$T_2 = \frac{2\pi}{\omega_2} = \frac{2\pi\left(1+\dfrac{C\mu_0^2 H^2\ell^2}{2m}\right)}{\sqrt{\dfrac{q}{\ell}\left(1+\dfrac{C\mu_0^2 H^2\ell^2}{2m}\right) - \left(\dfrac{k}{2m\ell}\right)^2}} \tag{7}$$

Amplitudun: $a = a_0 e^{-\lambda_2 t}$ ifadəsindən istifadə edib sönmənin loqarifmik dekrementini tapaq:

$$\delta_2 = \ln\frac{a_n}{a_n+1} = \ln\frac{a_0 e^{-\lambda_2 t}}{a_0 e^{-\lambda_2 (t+T_2)}} = \lambda_2 T_2 = \frac{k}{2ml\left(1+\dfrac{C\mu_0^2 H^2\ell^2}{2m}\right)}\cdot$$

$$\cdot\frac{2\pi\left(1+\dfrac{C\mu_0^2 H^2\ell^2}{2m}\right)}{\sqrt{\dfrac{q}{\ell}\left(1+\dfrac{C\mu_0^2 H^2\ell^2}{2m}\right) - \left(\dfrac{k}{2ml}\right)^2}} = \frac{\pi k}{ml\sqrt{\dfrac{q}{\ell}\left(1+\dfrac{C\mu_0^2 H^2\ell^2}{2m}\right) - \left(\dfrac{k}{2ml}\right)^2}} \tag{8}$$

Loqarifmik dekrement azalmışdır. Onun neçə dəfə azaldığını tapmaq üçün $\frac{\delta}{\delta_2}$ nisbətini hesablayaq. (8)-dən və məsələ 136-nın (12) düsturundan alarıq:

$$\frac{\delta}{\delta_2}=\frac{\dfrac{\pi k}{ml\sqrt{\dfrac{q}{\ell}-\left(\dfrac{k}{2ml}\right)^2}}}{\dfrac{\pi k}{ml\sqrt{\dfrac{q}{\ell}\left(1+\dfrac{C\mu_0^2H^2\ell^2}{2m}\right)-\left(\dfrac{k}{2ml}\right)^2}}}=\frac{\sqrt{\dfrac{q}{\ell}\left(1+\dfrac{C\mu_0^2H^2\ell^2}{2m}\right)-\left(\dfrac{k}{2ml}\right)^2}}{\sqrt{\dfrac{q}{\ell}-\left(\dfrac{k}{2ml}\right)^2}} \tag{9}$$

Rəqsin periodu artmışdır. Onun neçə dəfə artdığını tapmaq üçün $\frac{T_2}{T}$ nisbətini hesablayaq. (7)-dən və məsələ 136 – nın (11) düsturundan alarıq:

$$\frac{T_2}{T}=\frac{2\pi\left(1+\dfrac{C\mu_0^2H^2\ell^2}{2m}\right)}{\sqrt{\dfrac{q}{\ell}\left(1+\dfrac{C\mu_0^2H^2\ell^2}{2m}\right)-\left(\dfrac{k}{2ml}\right)^2}}\cdot\frac{\sqrt{\dfrac{q}{\ell}-\left(\dfrac{k}{2ml}\right)^2}}{2\pi}=$$

$$=\frac{\left(1+\dfrac{C\mu_0^2H^2\ell^2}{2m}\right)\sqrt{\dfrac{q}{\ell}-\left(\dfrac{k}{2ml}\right)^2}}{\sqrt{\dfrac{q}{\ell}\left(1+\dfrac{C\mu_0^2H^2\ell^2}{2m}\right)-\left(\dfrac{k}{2ml}\right)^2}} \tag{10}$$

139. Bu halda induksiya nəticəsində dövrədə yaranan cərəyan şiddətini kondensatorun köynəklərindən birinin yükünün zamana görə dəyişmə qanunundan tapa bilərik. Tutumun tərifinə görə: $C=\frac{q}{U}$ dur. Buradan $q=CU=C\varepsilon$ (ε-induksiya e.h.q.-dir). Məsələ 125-dən: $\varepsilon = B\ell g(\sin\alpha - k\cos\alpha)t = B\ell\upsilon$. Bundan istifadə edib, i–ni tapaq:

$$i = \frac{dq}{dt} = \frac{d(C\varepsilon)}{dt} = \frac{d(CB\ell\upsilon)}{dt} = CB\ell\frac{d\upsilon}{dt} = CB\ell a \qquad (1)$$

$a = \dfrac{d\upsilon}{dt}$ -tirçiyin təcilidir. Təsir edən qüvvələrin əvəzləyicisi ma -ya bərabərdir:

$ma = F - F_A$ yaxud $ma = mg(\sin\alpha - k\cos\alpha) - i\ell BC$

$i\ell B = F_A$ -Amper qüvvəsidir. F-in qiymətini məsələ 125-dən götürdük. (1) ifadəsindən istifadə etsək, alarıq:

$$ma = mg(\sin\alpha - k\cos\alpha) - B^2\ell^2 aC$$

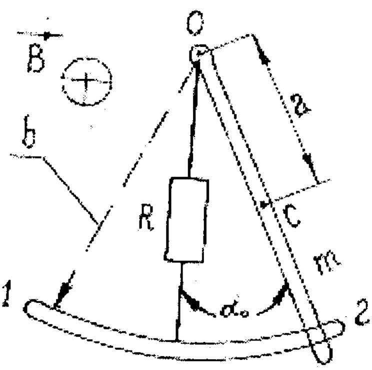
Buradan:

$$a = \frac{mg(\sin\alpha - k\cos\alpha)}{m + B^2\ell^2 C} \qquad (2)$$

Deməli, tirçik (2) ilə ifadə olunan sabit təcillə hərəkət edəcək.

140. Lens qaydasından istifadə edib, göstərə bilərik ki, rəqs zamanı dövrədən induksiya cərəyanı axdıqda çubuğa təsir edən Amper qüvvəsi həmişə çubuğun hərəkətinin əksinə yönələcək (bax: Məsələ 136).

Amper qüvvəsi belə ifadə olunur: $F_A = ibB$ (b-çubuğun uzunluğu, i –dövrədə yaranan induksiya cərəyanıdır. Om qanunundan i - ni tapmaq üçün əvvəlcə ε induksiya e.h.q.-ni hesablayaq: $\varepsilon = -\dfrac{d\Phi}{dt}$. Φ-ni tapaq. Tutaq ki, çubuq ilkin vəziyyətindən hər-hansı α bucağı qədər meyl etmişdir. Onda Φ – α bucağının yaratdığı sektorun (şəkil 191) sahəsindən keçən selə bərabər



Şəkil 191.

olacaq: $\Phi = SB = \dfrac{\pi b^2}{360^0} \cdot \alpha B = \dfrac{b^2}{2} B\alpha$. ε -nu hesablayaq (onun işarəsini nəzərə almayaq):

$$\varepsilon = \frac{d\Phi}{dt} = \frac{d}{dt}\left(\frac{b^2 B\alpha}{2}\right) = \frac{b^2 B}{2}\frac{d\alpha}{dt} = \frac{b^2 B}{2}\dot{\alpha} \qquad (1)$$

i- ni Om qanununa görə tapariq:

$$i = \frac{\varepsilon}{R} = \frac{b^2 B}{2R}\dot{\alpha} \qquad (2)$$

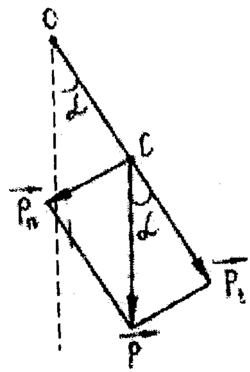
(2)-ni F_A-nın ifadəsində yerinə yazaq:

$$F_A = ibB = \frac{b^3 B^2}{2R}\dot{\alpha} \qquad (3)$$

Çubuğa təsir edən kvazielastiklik qüvvəsi P ağırlıq qüvvəsinin həmişə tarazlıq vəziyyətinə istiqamətlənmiş P_n toplananıdır (şəkil 192).

$$P_n = P\sin\alpha \cong mg\alpha$$

(α kiçik olduğu üçün $\sin\alpha \approx \alpha$ -dır).



Şəkil 192.

Artıq çubuğun hərəkət tənliyini yaza bilərik:

$$M = I\beta \qquad (4)$$

M-çubuğa təsir edən qüvvə momentlərinin cəmi, I-çubuğun O nöqtəsinə görə ətalət momenti, β-bucaq təcilidir ($\beta = \ddot{\alpha}$). Şteyner teoreminə görə:

$$I = I_0 + ma^2 \qquad (5)$$

Qüvvələrin momentlərini və I-nin ifadəsini (4)-də yerinə yazaq:

$$I\beta = -mg\alpha \cdot a - \frac{b^3 B^2}{2R}\dot{\alpha} \cdot a$$

Yaxud: $$\left(I_0 + ma^2\right)\ddot{\alpha} = mga \cdot \alpha - \frac{b^3 B^2 a}{2R}\dot{\alpha}$$

Buradan:

$$\ddot{\alpha} + \frac{b^3 B^2 a}{2R\left(I_0 + ma^2\right)}\dot{\alpha} + \frac{mga}{I_0 + ma^2}\alpha = 0 \tag{6}$$

Sabit vuruqları belə işarə edək:

$$\frac{b^3 B^2 a}{4R\left(I_0 + ma^2\right)} = \lambda; \qquad \frac{mga}{I_0 + ma^2} = k \tag{7}$$

Bunları (6)-da nəzərə alsaq, tənlik yığcam şəklə düşər:

$$\ddot{\alpha} + 2\lambda\dot{\alpha} + k\alpha = 0 \tag{8}$$

α-nı yeni dəyişənlə əvəz edək:

$$\alpha = ue^{-\lambda t}; \qquad \dot{\alpha} = \left(\dot{u} - \lambda u\right)e^{-\lambda t}; \qquad \ddot{\alpha} = \left(\ddot{u} - \lambda\dot{u} + \lambda^2 u\right)e^{-\lambda t} \tag{9}$$

(9)-u (8)-də nəzərə alaq:

$$\ddot{u} + \left(k - \lambda^2\right)u = 0 \tag{10}$$

$k > \lambda^2$ olduqda : $k - \lambda^2 = \omega^2$ yaza bilərik.

Buradan:

$$\omega = \sqrt{k - \lambda^2} = \sqrt{\frac{mga}{I_0 + ma^2} - \frac{\left(b^3 B^2 a\right)^2}{16R^2\left(I_0 + ma^2\right)^2}} \tag{11}$$

(10) –un həlli belədir:

$$u = a_0 \cos\left(\omega t + \alpha_1\right) \tag{12}$$

Burada a_0 -amplitud, α_1 -başlanğıc fazadır. (12) –ni (9) –un birinci tənliyində yerinə yazsaq, alınıq:

$$\alpha = a_0 e^{-\lambda t}\cos\left(\omega t + \alpha_1\right) \tag{13}$$

Şərtə görə t=0 olduqda $\alpha = \alpha_0$-dır. Bu şərti (13)-də istifadə edək:

$$\alpha_0 = a_0 \cos\alpha_1$$

Sağ tərəfin α_0 olması üçün $\alpha_1 = 0$ və $a_0 = \alpha_0$ olmalıdır. Bunu nəzərə alıb (13) –ü yenidən yazaq:

$$\alpha = a_0 e^{-\lambda t}\cos\omega t \tag{14}$$

Göründüyü kimi, amplitudu:

$$\alpha_0 = a_0 e^{-\lambda t} \tag{15}$$

olan sönən rəqs aldıq.

$k > \lambda^2$ şərti rəqsin alınması üçün maqnit sahəsinin qiymətləri üzərinə məhdudiyyət qoyur. Doğurudan da:

$$\frac{mga}{I_0 + ma^2} > \left(\frac{b^3 B^2 a}{4R(I_0 + ma^2)}\right)^2$$

Buradan: $$B^2 < \frac{4R\sqrt{mga(I_0 + ma^2)}}{b^3 a} \qquad (16)$$

Maqnit sahəsinin induksiyası bu şərti ödəmədikdə çubuq rəqsi hərəkət etmir.

141. Yenə də çubuğun hərəkətini iki qüvvə (daha doğrusu, onların qüvvə momentləri) müəyyənləşdirir: ağırlıq qüvvəsinin $P_n = P\sin\alpha$ komponenti və cərəyanlı çubuğa maqnit sahəsində təsir edən F_A Amper qüvvəsi. Birinci qüvvə əvvəlki kimidir, F_A-nı isə yenidən hesablamalıyıq. Bunun üçün əvvəlcə i–ni tapaq:

$$i = \frac{dq}{dt} = \frac{d(CU)}{dt} = \frac{d(C\varepsilon)}{dt} = \frac{d(C\dot{\Phi})}{dt} = C\frac{d^2\Phi}{dt^2} =$$

$$= C\frac{d^2}{dt^2}\left(\frac{b^2 B\alpha}{2}\right) = \frac{Cb^2 B}{2}\frac{d^2\alpha}{dt^2} = \frac{Cb^2 B^2}{2}\ddot{\alpha}$$

(Φ –in qiymətini məsələ 140–dan götürdük). İndi F_A-nı yazaq:

$$F_A = ibB = \frac{Cb^3 B^2}{2}\ddot{\alpha} \qquad (1)$$

Hərəkət tənliyini yazaq:

$$I\ddot{\alpha} = -mg\alpha \cdot a - \frac{Cb^3 B^2}{2R}\ddot{\alpha} \cdot a = 0$$

$I = I_0 + ma^2$ olduğunu nəzərə alıb qruplaşma aparaq:

$$\ddot{\alpha} + \frac{mga}{I_0 + ma^2 + \frac{Cb^3 B^2 a}{2}}\alpha = 0 \qquad (2)$$

$$\omega=\sqrt{\frac{mga}{I_0+ma^2+\frac{Cb^3B^2a}{2}}}=\sqrt{\frac{mg\frac{b}{2}}{I_0+\frac{mb^2}{4}+\frac{Cb^4B^2}{4}}}=\sqrt{\frac{mgb}{4I_0+mb^2+Cb^4B^2}} \qquad (3)$$

Burada $a=\frac{b}{2}$ -ni yerinə yazaq:

(2) –dən: $$\ddot{\alpha}+\omega^2\alpha=0 \qquad (4)$$

Bu, ω dairəvi tezliyi ilə rəqs edən harmonik rəqsin tənliyidir. Onun həlli belədir:

$$\alpha=a_0\cos(\omega t+\alpha_1) \qquad (5)$$

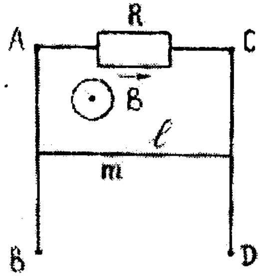
Başlanğıc şərtdən istifadə edək: t=0 olduqda $\alpha=\alpha_0$-dır.

Buradan aydındır ki, $\alpha_1=0$ və $a_0=\alpha_0$ -dir. Bunları (5)-də yerinə yazaq:

$$\alpha=\alpha_0\cos\omega t$$

Beləliklə, çubuq harmonik rəqs edir. Bu rəqsin dairəvi tezliyi (3)-lə ifadə olunur.

142. Tutaq ki, naqil (şəkil 193) hərəkət zamanı yerini x qədər dəyişmişdir. Onda bu müddətdə konturdan keçən selin dəyişməsi: $\Phi=\ell xB$ olar. Onun yaratdığı induksiya e.h.q. $\varepsilon=\frac{d\Phi}{dt}=\ell B\dot{x}$ (işarəni nəzərə almadıq), induksiya cərəyan şiddəti isə $i=\frac{\varepsilon}{R}=\frac{\ell B}{R}\dot{x}$ olar. Naqilə təsir edən Amper qüvvəsini yazaq:



Şəkil 193.

$$F_A=i\ell B=\frac{\ell^2B^2}{R}\dot{x} \qquad (\dot{x}=\upsilon-dir).$$

Dövrədə induksiya cərəyanı saat əqrəbi istiqamətində axdığı üçün (bunu Lens qaydasına görə təyin edirik) Amper qüvvəsi ağırlıq qüvvəsinin əks istiqamətində yönələcək. Naqilin hərəkət tənliyini belə yazarıq:

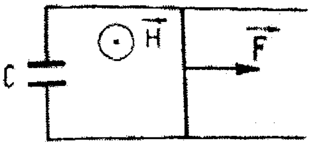
$$ma = mg - F_A \quad \text{yaxud} \quad a = g - \frac{\ell^2 B^2}{mR}\upsilon \qquad (1)$$

a təcili əvvəlcə azalır və qüvvələr bir-birinə bərabər olduqdan sonra a=0 olur. Bu andan başlayaraq naqil sabit:

$$\upsilon = \frac{mgR}{\ell^2 B^2} = \frac{mgR}{\ell^2 \mu_0^2 H} \qquad (2)$$

sürəti ilə hərəkət edir.

143. Naqil F qüvvəsinin təsiri ilə sağa doğru (şəkil 194) uzaqlaşdığı üçün kontürdan keçən maqnit seli artacaq. Lens qaydasına görə dövrədə yaranan induksiya cərəyanının istiqaməti elə olmalıdır ki, selin artımına mane olsun. Bunun üçün onun maqnit sahəsi oxucudan şəkil müstəvisinə doğru yönəlməlidir, yəni induksiya cərəyanı dövrədə saat əqrəbi istiqamətində axmalıdır. Onda xarici maqnit sahəsi tərəfindən hərəkət edən naqilə təsir edən Amper qüvvəsi F-in əksinə yönələcək. Naqilin hərəkət tənliyini belə yazarıq:



Şəkil 194.

$ma = F - F_A$, a-təcil, $F_A = \ell i B$ -Amper qüvvəsidir. F_A-da i məlum deyil. Onu tapaq:

$i = \frac{dq}{dt} = \frac{d(CU)}{dt} = \frac{d(C\varepsilon)}{dt}$, q- kondensatorun köynəklərindən birinin yükü, ε-induksiya e.h.q. –dir. ε –nu təyin edək. Naqil yerini x qədər dəyişdikdə dövrə konturundan keçən sel Φ=Blx qədər artacaq.

Onda: $\varepsilon = \frac{d\Phi}{dt} = B\ell\dot{x}$ olar. Bunu i-nin ifadəsində yerinə yazaq:

$$i = \frac{Cd\varepsilon}{dt} = CB\ell\ddot{x} \quad \text{və} \quad F_A = C\ell^2 B^2 \ddot{x} = C\ell^2 \mu_0^2 H^2 a$$

Bunu nəzərə alıb, hərəkət tənliyini yenidən yazaq:

$$ma = F - C\ell^2 \mu_0^2 H^2 a$$

Buradan:

$$a = \frac{F}{m + C\ell^2\mu_0^2 H^2}$$

alarıq. Göründüyü kimi, *a* sabitdir. *F* qüvvəsinin gördüyü iş naqilin maqnit sahəsinin və kondensatorun elektrik sahəsinin artmasına sərf olunur.

144. Solenoidin maqnit sahəsinin cərəyan şiddəti ilə əlaqəsini nəzərə alsaq, görərik ki, dövrə qapandıqda maqnit sahəsinin induksiyası da zamanla düz mütanasib artır:

$$B = \frac{\mu_0 N}{\ell} i = \frac{\mu_0 N}{\ell} kt \tag{1}$$

Solenoidin sarğılarından keçən seli (Φ) və onun köməkilyi ilə induksiya e.h.q.-nı hesablayaq:

$$\Phi = BNS = \frac{\mu_0 N^2 S}{\ell} kt \qquad \left(S = \pi r^2\right) \tag{2}$$

$$\varepsilon_{in} = \frac{d\Phi}{dt} = \frac{\mu_0 N^2 S}{\ell} k \tag{3}$$

ε_{in} -nın işarəsi cərəyanın əksinədir. Solenoidin ucları arasındakı potensiallar fərqi:

$$U = iR - \varepsilon = kRt - \varepsilon_{un} = kRt + \frac{\mu_0 N^2 S}{\ell} k \tag{4}$$

Əgər U (4)-lə ifadə olunarsa, onda *i* zamanla mütanasib olar:

$$i = \frac{U - \varepsilon_{in}}{R} = kt \tag{5}$$

145. Həlqənin müqaviməti *R*=0 olduğu üçün ondakı yekun e.h.q. həmişə sıfra bərabərdir. Bu, o vaxt mümkün olar ki, həlqədən keçən ümumi selin dəyişməsi sıfra bərabər olsun. Bunun üçün xarici sahənin hesabına yaranan selin dəyişməsi $d\Phi_{xar}$ və induksiya cərəyanının hesabına yaranan selin dəyişməsi $d\Phi_{in}$ qiymətcə bərabər *istiqamətcə müxtəlif* olmalıdır.

$$d\Phi_{xar} = d\Phi_{in} \tag{1}$$

$$d\Phi_{xar} = dB \cdot S = \mu_0 dH\pi r^2; \qquad d\Phi_{in} = Ldi$$

Bunları nəzərə alıb, (1)-in sol tərəfini 0-dan H_0-a, sağ tərəfini 0-dan i-yə qədər inteqrallayaq:

$$\mu_0 \pi r^2 \int_0^i dH = L \int_0^i di \quad \text{və ya} \quad \mu_0 \pi r^2 H_0 = Li$$

Buradan:

$$i = \frac{\mu_0 \pi r^2 H_0}{L} \qquad (2)$$

146. Məsələ 145-dən aydındır ki, ifratkeçirici həlqədən keçən maqnit seli həmişə sabit qalır. Xarici maqnit sahəsinin həlqədə əvvəlcə yaratdığı sel $\Phi = BS = \mu_0 H \pi r^2$-dır. Maqnit sahəsi kəsildikdən sonra da həlqədən keçən sel yenə də $\Phi = \mu_0 H \pi r^2$ olacaq. İkinci halda maqnit selini yaradan həlqədə meydana çıxan induksiya cərəyanı olacaq.

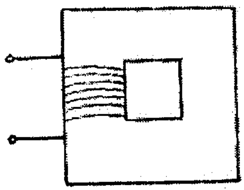
147. Sarğacın (şəkil 195) induktivliyi induksiya e.h.q. və cərəyan şiddəti vasitəsi ilə belə əlaqələnir:

$$\varepsilon_i = -L\frac{di}{dt}$$

(1)

Digər tərəfdən, ε_i -ni konturdan keçən selin dəyişməsinə görə də təyin edə biləirik:

$$\varepsilon_i = -\frac{d\Phi}{dt} = -\frac{d}{dt}(BSN) = -SN\frac{dB}{dt} \qquad (2)$$



Şəkil 195.

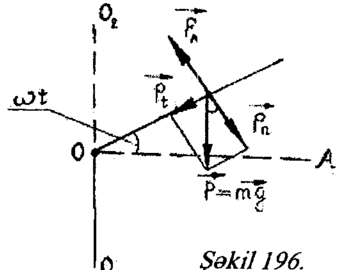
Solenoid üçün: $B = \mu\mu_0 \frac{N}{\ell} i$ olduğunu nəzərə alsaq, (2)-ni bu şəkildə yazarıq:

$$\varepsilon_i = \mu\mu_0 \frac{SN^2}{\ell}\frac{di}{dt} \qquad (3)$$

(1)-lə (3)-ün müqayisəsindən L–i taparıq:

$$L = \frac{\mu\mu_0 SN^2}{\ell} \qquad (4)$$

148. a) Şəkil 196-da çubuğun, O nöqtəsindən keçən O_1O_2 şaquli xəttindən sağ tərəfdəki vəziyyətlərindən biri göstərilmişdir. Ağırlıq qüvvəsinin $\vec{P}_n$ toplananı çubuğa onu saat əqrəbi istiqamətində fırladan qüvvə momenti ilə təsir edir. ω-nın sabit qalması üçün çubuğa maqnit sahəsi tərəfindən $\vec{P}_n$-in əksinə yönəlmiş Amper quvvəsi (F_A) təsir etməlidir. Bunun üçün cərəyan O fırlanma nöqtəsindən çevrəyə doğru axmalıdır. Çubuq O_1O_2 xəttindən sol tərəfə keçdikdə P_n-in yaratdığı fırlanma momenti istiqamətini dəyişməlidir. Ona görə Amper qüvvəsinin də yaratdığı fırlanma momenti istiqamətini dəyişməlidir. Qərarlaşmış halda $P_n=F_A$ olmalıdır. P_n və F_A-nın qiymətlərini yazaq: $P_n = P\cos\omega t = mg\cos\omega t;\ F_A = ibB$



Şəkil 196.

Onda: $mg\cos\omega t = ibB$. Buradan:

$$i = \frac{mg}{bB}\cos\omega t \qquad (1)$$

alarıq.

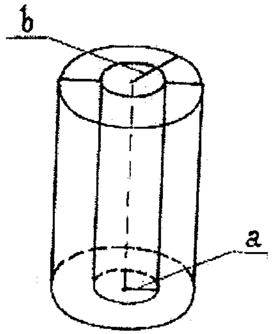
b) Cərəyan şiddətini xarici e.h.q. ε və induksiya e.h.q. ε_i formalaşdırır:

$$i = \frac{\varepsilon + \varepsilon_i}{R} \qquad (2)$$

ε_i-ni tapaq: $\varepsilon_i = -\dfrac{d\Phi}{dt} = -\dfrac{d(BS)}{dt} = \dfrac{Bb^2\omega}{2}$

(S-başlanğıcda və t anında çubuğun vəziyyətlərinin yaratdığı dairə sektorunun sahəsidir: $S = \dfrac{\pi b^2}{360^0}\cdot\omega t = \dfrac{b^2}{2}\omega t$). Bunları və i–nin (1) ifadəsini (2)-də nəzərə alaq:

$$\frac{mg}{bB}\cos\omega t = \frac{1}{R}\left(\varepsilon - \frac{b^2B}{2}\omega\right).$$



Şəkil 197.

Buradan:

$$\varepsilon = \frac{mgR}{bB}\cos\omega t + \frac{Bb^2}{2}\omega \qquad (3)$$

149. 1) Kabelin (şəkil 197) vahid uzunluğunun tutumunu onun tərifinə görə belə ifadə edərik:

$$C_l = \frac{q_l}{U} \qquad (1)$$

q_1 – köynəklərdən birinin vahid uzunluğuna düşən yük, U-isə onlar arasındakı potensiallar fərqidir. U-nu köynəklər arasındakı intensivliyin:

$$E = \frac{q_l}{2\pi\varepsilon_0\varepsilon}\cdot\frac{1}{r}$$

(bunu Qaus teoreminə görə tapa bilərik) düsturundan istifadə edib, hesablayaq:

$$U = \int_a^b Edr = \frac{q_1}{2\pi\varepsilon_0\varepsilon}\int_a^b \frac{1}{r}dr = \frac{q_1}{2\pi\varepsilon_0\varepsilon}\cdot\ln\frac{b}{a} \qquad (2)$$

(2)-ni (1) –də yerinə yazaq:

$$C_1 = \frac{q_1}{U} = \frac{2\pi\varepsilon_0\varepsilon}{\ln\frac{b}{a}} = \frac{2\cdot 3{,}14\cdot 8{,}85\cdot 10^{-12}\cdot 2{,}3}{\ln\frac{5{,}4}{1{,}5}}\frac{F}{m} = 100\frac{pF}{m}$$

2) İnduktivliyi maqnit sahəsinin enerjisinin ifadəsindən istifadə edib tapa bilərik. Kabelin vahid uzunluğunun maqnit sahəsinmn enerjisi:

$$W = \frac{L_1 i^2}{2} \qquad (3)$$

Digər tərəfdən, həmin enerjini belə də ifadə edə bilərik:

$$W = \frac{1}{2}\mu_0 \int_{(V)} \mu H^2 dV \qquad (4)$$

İnteqralamanı a-dan b-yə qədər aparmalıyıq, çünki maqnit sahəsi iki silindrin arasındakı fəzadadır (bax: məsələ 150). $dV = 2\pi rrdr$ (şəkil 148) və daxili naqilin maqnit sahəsi: $H = \frac{i}{2\pi}\cdot\frac{1}{r}$.

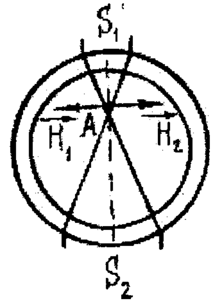
Bunları (4)-də yerinə yazıb, inteqrallamanı yerinə yetirək:

$$W = \frac{1}{2}\mu\mu_0 \int_a^b \frac{i^2}{4\pi^2} \cdot \frac{1}{r^2} \cdot 2\pi r dr = \frac{1}{2\pi}\mu\mu_0 i^2 \int_a^b \frac{1}{r} dr = \frac{\mu\mu_0 i^2}{2\pi} \ln\frac{b}{a} \qquad (5)$$

(5) –lə (3)-ün müqayisəsindən:

$$L_l = \frac{\mu\mu_0}{2\pi} ln \frac{b}{a} \qquad (6)$$

$$L_1 = \frac{1 \cdot 1{,}257 \cdot 10^{-6}}{2 \cdot 3{,}14} \ln \frac{5{,}4}{1{,}5} \frac{Hn}{m} = 2{,}6 \cdot 10 \frac{Hn}{m}$$



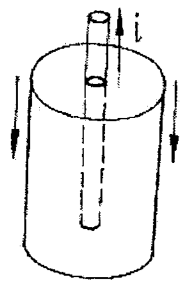
Şəkil 198.

150. Borudan axan cərəyanın onun daxilində yaratdığı maqnit sahəsinin intensivliyini tapmaq üçün xəyalımızda borunu oxuna paralel nazik təbəqələrə bölək. Alınan hər bir nazik zolağın yaratdığı maqnit sahəsini cərəyanlı düz naqilin maqnit sahəsi kimi tapa bilərik. İstənilən nöqtədə bu zolaqların yaratdığı maqnit sahələrinin cəmi yekun sahəni verəcək. Şəkil 198-da borunun en kəsiyi verilmişdir. İxtiyarı A nöqtəsində kifayət qədər kiçik S_1 və S_2 qövslərini əhatə edən zolaqların yaratdığı maqnit sahəsinin intensivliyini tapaq. Şəkildən göründüyü kimi, S_2 qövsü S_1 qövsünün yaratdığı sektorun kənar radiuslarının (r_1) uzantısı nəticəsində alınmışdır və onun radiusu r_2-dir. Aydın olduğu kimi, S_1 və S_2 qövsələrinin əhatə etdiyi i_1 və i_2 cərəyan şiddətləri uyğun olaraq S_1 və S_2 ilə düz mütanasib olacaq. Onda:

$$\frac{i_1}{i_2} = \frac{S_1}{S_2} \qquad (1)$$

Digər tərəfdən, S_1 və S_2 A nöqtəsinə qədər olan məşafə ilə mütənasibdir, yəni

$$\frac{i_1}{i_2} = \frac{r_1}{r_2} \qquad (2)$$



Şəkil 199.

S_1 və S_2 qövslərinə uyğun gələn cərəyanların maqnit sahəsini düz cərəyanın maqnit sahəsi kimi yazaq:

$$H_1 = \frac{i_1}{2\pi r_1}, \qquad H_2 = \frac{i_2}{2\pi r_2} \qquad (3)$$

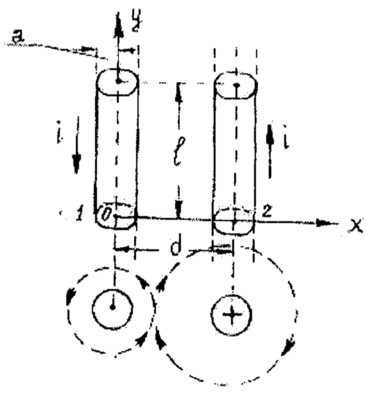
Onda:

$$\frac{H_1}{H_2} = \frac{i_1}{i_2}\cdot\frac{r_2}{r_1} = \frac{r_1}{r_2}\cdot\frac{r_2}{r_1} = 1$$

Deməli, S_1 və S_2 qövslərinin əhatə etdiyi cərəyanların A nöqtəsində yaratdığı maqnit sahələri qiymətcə bərabərdir: $H_1 = H_2$. Asanlıqla myəyyən etmək olar ki, $\vec{H}_1$ və $\vec{H}_2$ -nin istiqamətləri bir-birinin əksinə yönəlmişdir, yəni $\vec{H}_1 + \vec{H}_2 = 0$. Eyni qayda ilə A nöqtəsini borunun en kəsiyinin digər uyğun qövsləri ilə birləşdirsək, ümumi maqnit sahəsinin sıfra bərabər olduğunu görərik. Nəticədə alırıq ki, borunun daxilində maqnit sahəsi sıfra bərabərdir.

151. Xarici təbəqələrdə olan cərəyanin kabelin (şəkil 199) daxilində yaratdığı maqnit sahəsinin intensivliyi sıfra bərabərdir (bax: məsələ 150). Ona görə kabelin daxilindəki maqnit sahəsi yalnız onun daxili xəttindən keçən cərəyanın yaratdığı maqnit sahəsindən ibarət olacaq. Daxili xəttin sahəsini isə cərəyanlı sonsuz duz naqilin yaratdığı sahə kimi təyin edə bilərik: $H = \frac{i}{2\pi r}$, r -daxili naqilin oxundan hesablanan məsafədir ($r \geq a$, a –daxili naqilin radiusudur, onu kifayət qədər kiçik qəbul edirik).

152. Naqillərin oxları arasında sahəsi S=ld olan səthdən keçən maqnit induksiya seli hər iki naqilin yaratdığı selin cəminə bərabərdir, çünki, şəkil 200-dən aydın olduğu kimi, hər iki cərəyanın maqnit sahəsinin qüvvə xətləri S səthində eyni istiqamətlidir. Özü də hər iki cərəyanın yaratdığı sel bir-birinə bərabərdir.



Şəkil 200.

Birinci cərəyanın yaratdığı

maqnit induksiya selini hesablayaq. Naqilin oxundan a məsafəsinədək cərəyanın maqnit sahəsi onun daxilində hər hansı x məsafəsində belə ifadə olunur:

$$B_1' = \mu_0 \frac{i}{2\pi a^2} x \qquad (1)$$

Bu sahənin yaratdığı sel:

$$\Phi_1' = \int_0^a B_1' \ell dx = \mu_0 \frac{i\ell}{2\pi a^2} \int_0^a x dx = \mu_0 \frac{i\ell}{4\pi} \qquad (2)$$

Naqilin xaricində maqnit sahəsi bu cür asılılığa malikdir:

$$B_1'' = \mu_0 \frac{i\ell}{2\pi x} \qquad (3)$$

B_1'' -in yaratdığı seli tapaq

$$\Phi_1'' = \int_a^d B_1'' \ell dx = \mu_0 \frac{i\ell}{2\pi} \int_a^d \frac{dx}{x} = \mu_0 \frac{i\ell}{2\pi} ln \frac{d}{a} \qquad (4)$$

Birinci naqilin yaratdığı ümumi sel

$$\Phi_1 = \Phi_1' + \Phi_1'' = \mu_0 \frac{i\ell}{2\pi} \left(\frac{1}{2} + ln \frac{d}{a} \right) \qquad (5)$$

Hər iki cərəyanın birlikdə yaratdığı seli tapmaq üçün Φ_1-i 2-yə vurmalıyıq

$$\Phi_1 = 2\Phi_1 = \mu_0 \frac{i\ell}{\pi} \left(\frac{1}{2} + ln \frac{d}{a} \right) \qquad (6)$$

$\Phi = Li$ olduğu üçün :

$$L = \mu_0 \frac{\ell}{\pi} \left(\frac{1}{2} + ln \frac{d}{a} \right) \qquad (7)$$

alarıq

$$L = 1{,}257 \cdot 10^{-6} \cdot \frac{0{,}5}{3{,}14} \left(\frac{1}{2} + ln \frac{20}{2} \right) = 4{,}58 \cdot 10^{-7} \text{ Hn}$$

153. Çərçivənin uzunluğu l olan tərəflərinə təsir edən qüvvə: $F = i\ell B = \mu_0 i\ell H$ -dır. Naqilin hərəkət sürəti υ olduqda mühərrikin gücü P-ni belə ifadə edirik:

$$P = 2F\upsilon = 2\mu_0 i\ell H\upsilon = 2\mu_0 i\ell \frac{d}{2} H\omega = \mu_0 i\ell dH\omega = \mu_0 iSH\omega \qquad (1)$$

Cərəyan şiddətini Om qanunundan tapaq:

$$i = \frac{U + \varepsilon_i}{R} \qquad (2)$$

ε_i –induksiya e.h.q. –dir: $\varepsilon_i = -\frac{d\Phi}{dt}$ (Φ -selin t müddətində dəyişməsidir)

$$\Phi = 2B\ell \upsilon t = 2B\ell\frac{d}{2}\omega t = \mu_0 HS\omega t.$$ Onda

$$\varepsilon_i = -\mu_0 HS\omega \quad \text{və} \quad i = \frac{U - \mu_0 HS\omega}{R} \qquad (3)$$

(3)-ü (1)-də istifadə edək:

$$P = \frac{U}{R}\mu_0 SH\omega - \frac{\mu_0^2 S^2 H^2 \omega^2}{R} \qquad (4)$$

Maksimumluq şərtinə görə $\frac{dP}{d\omega} = 0$ olmalıdır. (4)-dən:

$$\frac{U}{R}\mu_0 SH - \frac{2\mu_0^2 S^2 H^2}{R}\omega = 0 \qquad \omega_{max} = \frac{U}{2\mu_0 SH} \qquad (5)$$

ω_{max} qiymətini (4) –də yerinə yazsaq, gücün maksimum qiymətini taparıq:

$$P_{max} = \frac{U^2}{4R} \qquad (6)$$

$\omega = \omega_{max}$ olduqda

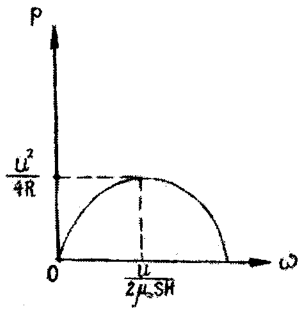
$$\varepsilon_i = -\mu_0 HS\frac{U}{2\mu_0 SH} = -\frac{U}{2}$$

və

$$i = \frac{U - \mu_0 HS \cdot \frac{U}{2\mu_0 SH}}{R} = \frac{U}{2R}$$

alarıq.

P-nin ω -dan asılılığı şəkil 201-də göstərilmişdir.



Şəkil 201.

154. a) Elektronun elektrik sahəsində əldə etdiyi enerji $W = eU$ -dur. Digər tərəfdən, sürəti υ olan elektronun kinetik enerjisi: $E_k = \frac{m_0\upsilon^2}{2}$ -dir (m_0-elektronun sükunət kütləsidir).

Enerjinin saxlanması qanununa görə:

$W = E_k$ və ya $eU = \frac{m_0\upsilon^2}{2}$ Buradan:

$$\upsilon = \sqrt{\frac{2eU}{m_0}} = \sqrt{\frac{2\cdot 1{,}6\cdot 10^{-19}\cdot 100}{0{,}911\cdot 10^{-30}}}\frac{m}{s} = 5{,}9\cdot 10^6\frac{m}{s}.$$

b) İkinci halda elektrik sahəsi böyük olduğu üçün elektronun sürəti daha çox artır və burada relyativist effekti nəzərə almaq lazım gəlir.

Hərəkətdə olan elektronun enerjisi mc^2-dır (m-hərəkətdə olan elektronun kütləsidir). Onun sükunət enerjiçi isə m_0c^2 -dır. Onda enerji balansını belə yazmalıyıq:

$mc^2 - m_0c^2 = eU$ $\quad m = \frac{m_0}{\sqrt{1-\frac{\upsilon^2}{c^2}}}$ olduğunu nəzərə alıb, υ – ni tapaq:

$$\frac{m_0c^2}{\sqrt{1-\frac{\upsilon^2}{c^2}}} - m_0c^2 = eU \quad \text{və ya} \quad \sqrt{1-\frac{\upsilon^2}{c^2}} = \frac{m_0c^2}{eU+m_0c^2}$$

Buradan:

$$\upsilon = c\sqrt{1-\left(\frac{m_0c^2}{eU+m_0c^2}\right)^2};$$

$$\upsilon = 3\cdot 10^8\sqrt{1-\left(\frac{0{,}911\cdot 10^{-30}\cdot(3\cdot 10^8)^2}{1{,}6\cdot 10^{-19}\cdot 100\cdot 10^3 + 0{,}911\cdot 10^{-30}\cdot(3\cdot 10^8)^2}\right)^2}\frac{m}{c} = 1{,}64\cdot 10^8\frac{m}{s};$$

Sürəti bu hal üçün klassik yolla hesablayaq:

$$\upsilon_\kappa = \sqrt{\frac{eU}{m_0}} = \sqrt{\frac{1{,}6\cdot 1^{-19}\cdot 100\cdot 1000}{0{,}911\cdot 10^{-30}}} = 1{,}87\cdot 10^8\left(\frac{m}{s}\right)$$

Relyativist hal üçün $\upsilon_r = 1{,}64\cdot 10^8 \frac{m}{s}$ aldıq. Göründüyü kimi, $\upsilon_k > \upsilon_r$ -dir; $\frac{\upsilon_k}{\upsilon_r} = 1{,}14$.

155. Elektrik sahəsi olmadıqda damcıya iki qüvvə təsir edir: 1) P=mg ağırlıq qüvvəsi və sürətlə mütanasib olan $F_{1m\ddot{u}q} = k\upsilon_1$ (k-mütanaiblik əmsalıdır). Yekun qüvvəni belə yazarıq: $F_1 = P - k\upsilon_1$ yaxud $ma_l = mg - k\upsilon_l$. Damcı bərabərsürətli hərəkət etdiyi üçün $a_1=0$ - dır. Onda: $mg-k\upsilon_1=0$ və buradan k-nı taparıq: $k = \frac{mg}{\upsilon_l}$.

Kondensator yükləndikdən sonra damcıya üç qüvvə təsir edir: 1) ağırlıq qüvvəsi P=mg; 2) müqaimət qüvvəsi $F_{2muq} = k\upsilon_2 = \frac{mg}{\upsilon_1}\cdot\upsilon_2$; 3) elektrik sahəsi tərəfindən yüklü zərrəciyə təsir edən $F_{el} = e'E$ (E-köynəklər arasındakı elektrik sahəsinin intensivliyidir: $E = \frac{U}{d}$). Yenə də hərəkət düzxətli bərabər sürətli olduğu üçün qüvvələrin əvəzləyicisi sıfra bərabərdir:

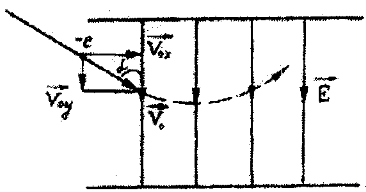
$$F_{el} - mg - \frac{mg}{\upsilon_l}\cdot\upsilon_2 = 0 \text{ və ya } e'\cdot\frac{U}{d} - mg - mg\frac{\upsilon_2}{\upsilon_1} = 0$$

Buradan alarıq:

$$e' = mg\frac{d}{U}\left(1+\frac{\upsilon_2}{\upsilon_1}\right) = 6{,}4\cdot 10^{-16}\cdot 9{,}8\cdot 10{,}0\cdot 10^{-3}\frac{1}{90{,}0}\left(1+\frac{0{,}016}{0{,}078}\right)Kl = 8Kl = 8Kl$$

(e =1,6 x 10^{-19} Kl elektronün yüküdür).

156. X oxunu sahəyə perpendikulyar, y oxunu isə sahə istiqamətində yönəldək (şəkil 154). Onda $\vec{\upsilon}_0$ -ın komponentləri belə olar: $\upsilon_{0x} = \upsilon_0 \sin\alpha$;



Şəkil 202.

$\upsilon_{0y} = \upsilon_0 \cos\alpha \cdot F = eE$ qüvvəsi elektrona sahənin əksi istiqamətdə təsir edəcək. Onun yaratdığı təcil Nyutonun ikinci qanununa görə belə ifadə olunur:

$$a = \frac{F}{m} = \frac{eE}{m} \tag{2}$$

Sürətin x və y komponentlərini yazaq:

$$\begin{cases} \upsilon_x = \upsilon_{0x} = \upsilon_0 \sin\alpha \\ \upsilon_y = \upsilon_0 \cos\alpha - \dfrac{eE}{m}t \end{cases} \tag{3}$$

Sürətin modulunu tapaq:

$$\upsilon = \sqrt{\upsilon_x^2 + \upsilon_y^2} = \sqrt{\upsilon_0^2 \sin^2\alpha + \left(\upsilon_0 \cos\alpha - \frac{eE}{m}t\right)} = \sqrt{\upsilon_0 - 2\frac{eE}{m}\upsilon_0 t + \frac{e^2E^2}{m^2}t^2} \tag{4}$$

Sürətin minimum qiymətini $\dfrac{d\upsilon}{dt} = 0$ şərtindən tapaq:

$$\frac{d\upsilon}{dt} = \frac{-2\dfrac{eE}{m}\upsilon_0 + 2\dfrac{e^2E^2}{m^2}t}{2\sqrt{\upsilon_0^2 - 2\dfrac{eE}{m}\upsilon_0 + \dfrac{e^2E^2}{m^2}\upsilon_0 t^2}} = 0$$

Buradan: $$t = \frac{m\upsilon_0 \cos\alpha}{eE} \tag{5}$$

T-nin bu qiymətini (4)-də yerinə yazıb, $\upsilon_{min} - y$ hesablayaq:

$$\upsilon_{min} = \sqrt{\upsilon_0^2 - 2\frac{eE}{m}\upsilon_0 \cdot \frac{m\upsilon_0 \cos\alpha}{eE} + \frac{e^2E^2}{m^2}\cdot\left(\frac{m\upsilon_0 \cos\alpha}{m}\right)^2} = \upsilon_0 \sin\alpha \tag{6}$$

Trayektoriyanın əyriliyi (C) onun əyrilik radiusunun tərs qiymətinə bərabərdir: $C = \dfrac{1}{R}$

Mərkəzə qaçma təcili ilə sürətin: $a_n = \dfrac{\upsilon^2}{R}$ əlaqəsindən υ-nin minimum qiymət aldığı nöqtədə $a_n = a = \dfrac{eE}{m}$ -dir. Onda:

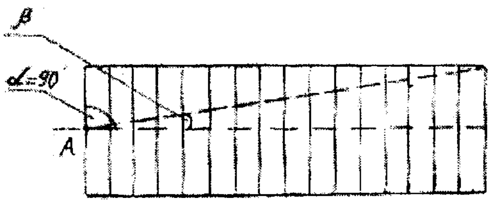
$$C = \frac{1}{R} = \frac{eE}{m\upsilon_{min}^2} = \frac{eE}{m\upsilon_0^2 \sin^2\alpha} \qquad (7)$$

alarıq.

157. Maqnit sahəsində elektrona təsir edən qüvvə:

$F = e\upsilon B \cdot \sin 90^0 = e\upsilon B$,

B-verilmiş nöqtədə maqnit sahəsinin induksiyasıdır. Solenoidin (şəkil 203) oxunun üzərində (bax: məsələ 116) $B = \mu_0 \mu H = \frac{in}{2}$ $(\cos\beta - \cos\alpha)$, α və β bucaqları şəkildə göstərilmişdir. Baxdığımız halda $\alpha = 90^0$ və $\beta = 0^0$ (sonuncu solenoid uzun olduğu üçün). Bunları nəzərə alıb, F-in düsturunu yazaq:



Şəkil 203.

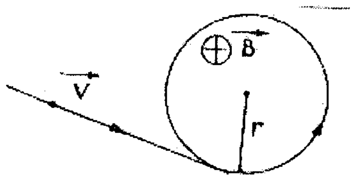
$$F = e\upsilon B = e\upsilon\mu\mu_0 \frac{in}{2}\left(cos\,0^0 - cos\,90^0\right) = \frac{\mu\mu_0 e\upsilon ni}{2};$$

$$F = \frac{1 \cdot 1{,}257 \cdot 10^{-6} \cdot 1{,}6 \cdot 10^{-19} \cdot 3 \cdot 10^7 \cdot 30 \cdot 10^2 \cdot 2{,}00}{2} = 1{,}8 \cdot 10^{-14}(N)$$

158. a) Maqnit sahəsi yaradıldıqdan sonra α-zərrəciyi, υ-yə perpendikulyar istiqamətdə $F = e'\upsilon B$ qüvvəsi təsir edəcəkdir (şəkil 204).

Bu qüvvənin yaratdığı mərkəzəqaçma təcili:

$a_n = \frac{F}{m} = \frac{e'\upsilon B}{m}$ olacaq.



Şəkil 204.

Digər tərəfdən: $a_n = \frac{\upsilon^2}{r}$-dir.

Müqayisədən alarıq:

$$r=\frac{m\upsilon}{e'B}=\frac{\upsilon}{\frac{e'B}{m}}=\frac{\upsilon}{\omega_s},\omega_s=\frac{e'B}{m}$$ siklotron tezliyidir.

$$r=\frac{m\upsilon}{e'B}=\frac{6{,}65\cdot10^{-27}\cdot0{,}350\cdot10^{7}}{2\cdot1{,}6\cdot10^{-19}\cdot1{,}00}m=0{,}73\cdot10^{-1}m=7{,}3sm.$$

b) α - zərrəciyin maqnit momenti:

$P_m=is$ (i - zərrəciyin çevrə boyunca yaratdığı cərəyan, $S=\pi r^2$ -trayektoriya dairəsinin sahəsidir). i–ni belə taparıq:

$$i=\frac{e'}{T}=\frac{e'}{2\pi/\omega_s}=\frac{e'\cdot\omega_s}{2\pi}=\frac{e'^2B}{2\pi m}$$

(T- α -zərrəciyin fırlanma periodudur).

$$P_m=\frac{e'^2B}{2\pi m}\cdot\pi r^2=\frac{e'^2B}{2m}\cdot\frac{m^2\upsilon^2}{e'^2B^2}=\frac{m\upsilon^2}{2B}$$

$$P_m=\frac{m\upsilon^2}{2B}=\frac{6{,}65\cdot10^{-27}\cdot(0{,}350\cdot10^7)^2}{2\cdot1{,}000}=4{,}1\cdot10^{-14}\left(\frac{C}{Tl}\right)$$

Mexaniki impuls momenti:

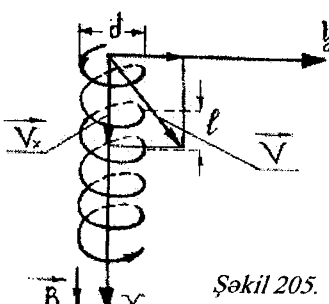
$$M=m\upsilon r=6{,}65\cdot10^{-27}\cdot0{,}350\cdot10^{7}\cdot7{,}3\cdot10^{-2}=1{,}7\cdot10^{-21}\left(\frac{\kappa q\cdot m^2}{s}\right)$$

$\frac{P_m}{M}$ nisbəti belə olar:

$$\frac{P_m}{M}=\frac{m\upsilon^2}{2B}\cdot\frac{1}{m\upsilon r}=\frac{\upsilon}{2Br}=\frac{\upsilon\cdot e'B}{2B\cdot m\upsilon}=\frac{e'}{2m}$$

$$\frac{P_m}{M}=\frac{e'}{2m}=\frac{2\cdot1{,}6\cdot10^{-19}}{2\cdot6{,}65\cdot10^{-27}}=0{,}24\cdot10^{8}=2{,}4\cdot10^{7}\left(\frac{Kl}{kq}\right).$$

159. x oxunu spiralın oxu üzrə, y oxunu isə ona perpendkulyar istiqamətdə götürək. (şəkil 205) Elektronun spiral üzrə hərəkət etməsi üçün maqnit sahəsi x oxu boyunca yönəlməlidir və elektronun sürət vektoru



Şəkil 205.

bu istiqamətlə iti bucaq əmələ gətirməlidir. Bu halda sürətin υ_x toplananı spiralın addımını, υ_y toplananı isə onun diametrini müəyyən edir. Elektronun fırlanma periodu (bax: məsələ 158):

$T=\frac{2\pi}{\omega_s}=\frac{2\pi}{eB/m}=2\pi\frac{m}{eB}$ -dir. Elektronun bir period ərzində spiral boyunca getdiyi yol:

$l=\upsilon_x T$ -dir. Buradan: $\upsilon_x=\frac{\ell}{T}=\frac{leB}{2\pi m}$, spiralın radiusu: $r=\frac{\upsilon_y}{\omega_s}$ -dir. Buradan:

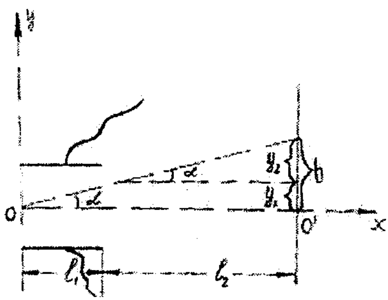
$$\upsilon_y=r\omega_s=\frac{d}{2}\cdot\frac{eB}{m}$$

Elektronun sürətini belə tapanq:

$$\upsilon=\sqrt{\upsilon_x^2+\upsilon_y^2}=\sqrt{\left(\frac{leB}{2\pi m}\right)^2+\left(\frac{deB}{2m}\right)^2}=\frac{eB}{2\pi m}\sqrt{\pi^2d^2+l^2}$$

$$\upsilon=\frac{1{,}6\cdot10^{-19}\cdot5{,}0\cdot10^{-3}}{2\cdot3{,}14\cdot0{,}911\cdot10^{-30}}\sqrt{(3{,}14\cdot80-10^{-3})^2+\left(200\cdot10^{-3}\right)^2}=4{,}5\cdot10^7\left(\frac{m}{s}\right).$$

160. Koordinat başlanğıcını qurğunun oxu üzərində meyletdirici sistemin girişində seçib, x oxunu qurğunun oxu üzrə (soldan sağa), y oxunu isə şaquli istiqamətdə yuxarı yönəldək (şəkil 206). Əvvəlcə tutaq ki, elektron dəstəsinə yalnız elektrik sahəsi təsir edir, özü də sahənin istiqamətini elə seçək ki, elektronlar şaquli istiqamətdə yuxarıya doğru meyl etməsin. Elektrona elektrik sahəsində təsir edən qüvvə:



Şəkil 206.

$F_e=eE$, onun yaratdğı təcil: $a=\frac{eF}{m}$ olar. Elektrik sahəsindən çıxana qədər elektronun getdiyi yol: $y_1=\frac{at^2}{2}=\frac{eE}{2m}t^2$ olar. Bu zaman elektron öz əvvəlki hərəkət istiqamətindən α bucaqı altında meyl edəcək. Elektrik sahəsindən çıxdıqdan sonra elektron hərəkət istiqamətini sabit saxlayaraq, ekrana düşəcək və onun ekranda meyli $y_1 + y_2 = b$ olacaq. Şəkildən aydın olduğu kimi, $y_2 = l_2 tg\alpha$. Digər tərəfdən: $tg\alpha = \frac{\upsilon_y}{\upsilon_0}$ -dır, υ_o –elektronun başlanğıc sürəti, υ_y -onun elektrik sahəsində y oxu istiqamətində əldə etdiyt sürətdir: $\upsilon_y = at = \frac{eE}{m} \cdot t$. Onda $tg\alpha = \frac{eE}{m\upsilon_0} t$ və $y_2 = \frac{l_2 eE}{m\upsilon_0} \cdot t$ olar.

Elektron x oxu istiqamətdə t müddətində υ_0 sürəti ilə l_1 məsafəsini qət etmişdir. Onda : $t = \frac{l_1}{\upsilon_0}$. Ekranda elektronun y oxu istiqamətdə ümumi meyli:

$$b = y_1 + y_2 = \frac{eE}{2m} t^2 + \frac{l_2 eE}{m\upsilon_o} \cdot t = \frac{eE}{2m} \cdot \frac{l_1^2}{\upsilon_o^2} + \frac{l_2 eE}{m\upsilon_o} \cdot \frac{l_1}{\upsilon_0} =$$
$$= \frac{eEl_1}{m\upsilon_0^2}\left(\frac{l_1}{2} + l_2\right); b = \frac{eEl_1}{m\upsilon_0^2}\left(\frac{l_1}{2} + l_2\right) \qquad (1)$$

Sanki elektron kondensatorun mərkəzindən meyl etməyə başlamışdır.

Yalnız maqnit sahəsi təsir etdikdə maqnit sahəsinin induksiyasını elə seçə bilərik ki, elektronun meyli yenə də b olsun. Bu cür rejimdə, sahələrdən birinin istiqamətini əvvəlkinin əksinə götürüb dəstəyə hər iki sahə ilə eyni zamanda təsir etsək, onların meyli bir-birini tarazlaşdıracaq və elektron dəstəsi ekranın mərkəzinə düşəcək. Bu halda elektrona elektrik və maqnit sahəsi tərəfindən təsir edən qüvvələr bir-birinə bərabər olacaq:

$F_e + F_l$ və ya $eE = e\upsilon_o B$. Buradan: $E = \upsilon_0 B$ (2)

alarıq. Hələlik υ_0 sürəti bizə məlum deyil. Onu enerjinin saxlanması qanunundan tapa bilərik. U potensiallar fərqində elektronun əldə etdiyi enerji: eU-dur. Bu enerji elektronun $\frac{m\upsilon_o^2}{2}$ kinetik enerjisinə çevrilmişdir. Onda: $eU = \frac{m\upsilon_0^2}{2}$

Buradan: $$\upsilon_o = \left(\frac{2eU}{m}\right)^{1/2} \quad (3)$$

(2)-ni və (3)-ü (1)-də yerinə yazaq:

$$b = \left(\frac{e}{m}\right)^{\frac{1}{2}} \cdot \frac{eBl_1}{(2U)^{1/2}}\left(\frac{l_1}{2} + l_2\right)$$

Buradan: $$\left(\frac{e}{m}\right)^{-1/2} = \frac{Bl_1}{b(2U)^{1/2}}\left(\frac{l_1}{2} + l_2\right)$$

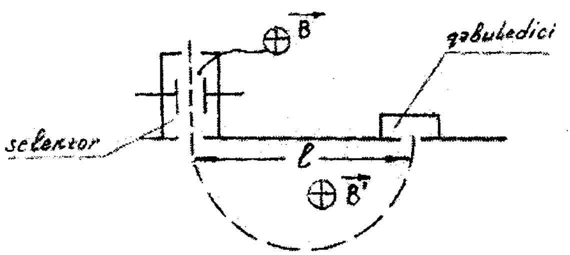
Hər iki tərəfi kvadrata yüksəldək:

$$\left(\frac{e}{m}\right)^{-1} = \frac{B^2 l_1^2}{2Ub^2}\left(\frac{l_1}{2} + l_2\right)^2$$

Deməli: $$\frac{e}{m} = \frac{2Ub^2}{B^2 l_1^2\left(\frac{l_1}{2} + l_2\right)^2} \quad (4)$$

$$\frac{e}{m} = \frac{2\cdot 500\cdot\left(50\cdot 10^{-3}\right)^2}{\left(3{,}70\cdot 10^{-4}\right)^2\left(50\cdot 10^{-3}\right)^2\left(\frac{50}{2}\cdot 10^{-3} + 175\cdot 10^{-3}\right)^2}\frac{Kl}{\kappa q} = 1{,}8\cdot 10^{11}\frac{Kl}{kq} = 1{,}8\cdot 10^{11}\frac{Kl}{kq}$$

161. Selektordan çıxan ionun ilkin düzxətli yolundan meyl etməməsi üçün ona təsir edən $F_l = e\upsilon_0 B$ Lorens qüvvəsi və elektrik sahəsi tərəfindən təsir edən $F_e = eE$ qüvvəsi bir-birinə bərabər olmalıdır: $F_l = F_e$. Bu şərtdən istifadə edib, selektoru tərk edən ionun υ_o sürətini taparıq: $\upsilon_0 = \frac{E}{B'}$. Bu ion B′ maqnit sahəsində dairəvi orbitlə yarım çevrə



Şəkil 207.

qövsünü qət edərək qəbulediciyə daxil olur (şəkil 207). Bu çevrənin radiusu r belə təyin olunur (bax: məsələ 158):

$$r = \frac{\upsilon_0}{\omega_s} = \frac{\upsilon_0}{eB/m} = \frac{mE}{eBB'}; r = \frac{l}{2} \text{ olduğu üçün;} \quad \frac{l}{2} = \frac{mE}{eBB'}$$

və buradan ionlaşmış atomun kütləsini belə taparıq: $m = \dfrac{elBB'}{2E}$

Şərtə görə e ədədi qiymətcə elektronun yükünə bərabərdir.

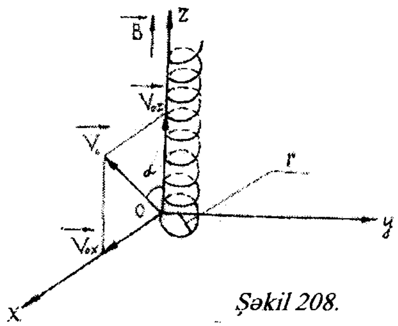
Kütlə ədədini (A) tapmaq üçün atomun kütləsini onun 1 molunda olan atomların sayına (N_A-Avaqodro ədədinə vurmaq lazımdır:) $A = mA_A = \dfrac{elBB'N_A}{2E}$

$$1)\ A_1 = \frac{1{,}6\cdot10^{-19}\cdot0{,}4\cdot5{,}00\cdot10^{-2}\cdot5{,}00\cdot10^{-2}\cdot6{,}025\cdot10^{26}}{2\cdot120\cdot10^{2}} = 4{,}0$$

$$2)\ A_2 = \frac{1{,}6\cdot10^{-19}\cdot0{,}4\cdot5{,}00\cdot10^{-2}\cdot5{,}00\cdot10^{-2}\cdot6{,}025\cdot10^{26}}{2\cdot160\cdot10^{2}} = 3{,}0$$

Hər iki ion hemum atomuna mənsubdur: birinci ion He^4, ikinci isə He^3 izotopudur.

162. υ_0-ı υ_{0z} və υ_{ox} komponentlərinə ayıraq (şəkil 208). Elektrona maqnit sahəsində təsir edən qüvvə: $F_L = e\upsilon_{ox}B$ olacaq. O, Z oxu istiqamətində sabit $\upsilon_{oz} = \upsilon_0\cos\alpha$ sürəti ilə irəliləmə və xoy müstəvisi üzərində:



Şəkil 208.

$$a_n = \frac{e\upsilon_{ox}B}{m} = \frac{e\upsilon_0 \sin\alpha}{m}B$$

mərkəzəqaçma təcili ilə fırlanma hərəkətində iştirak edəcək. Nəticədə onun trayektoriyası bir tərəfi Z oxuna toxunan silindrik spiraldan ibarət alacaq.

Spiralın radiusu: $r = \frac{\upsilon_{ox}}{\omega_s} = \frac{\upsilon_0 \cdot \sin\alpha}{eB/m} = \frac{m\upsilon_o}{eB}\sin\alpha$ – dır.

Z istiqamətdə koordinatın zamandan asılılığı belədir:

$$z = \upsilon_{0z}t = (\upsilon_0 \cos\alpha)t \qquad (1)$$

Əgər $\upsilon_{oz} = o$ olsa idi, onda elektron xoy müstəvisi üzərində mərkəzi y=r nöqtəsində olan çevrə boyunca dövri hərəkət edərdi.

Bu halda t=0 olduqda x=0 olduğunu nəzərə alsaq, görərik ki, x belə harmonik qanunla dəyişir:

$$x = r\sin\omega_s t = \frac{m\upsilon_0 \sin\alpha}{eB}\cdot\sin\left(\frac{eB}{m}t\right) \qquad (2)$$

Əgər koordinat başlanğıcı y=r nöqtəsində olsa idi, çevrənin tənliyi belə olardı:

$$x'^2 + y'^2 = r^2 \qquad (3)$$

Lakin çevrənin mərkəzi $x = o, y = r$ nöqtəsində olduğu üçün $x' = x, y' = y - r$ əvəzetməsi aparsaq baxdığımız çevrənin tənliyini alarıq:

$$x^2 + (y - r)^2 = r^2 \qquad (4)$$

Əks x-in əvəzinə (2) ifadəsini yazaq və sadələşdirmə aparaq:

$$r^2\sin^2\omega_s t + y^2 - 2ry + r^2 = r^2$$

$$y^2 - 2ry + r^2\sin^2\omega_s t = 0$$

Tənliyi həll edək:

$$y = r \pm \sqrt{r^2 - r^2\sin^2\omega_s t} = r(1 \pm \cos\omega_s t)$$

t=0 anında y=0 olduğunu nəzərə alsaq, görərik ki, $(\pm)$ işarəsindən yalnız (-) işarəsini saxlamalıyıq:

$$y = r(1 - \cos\omega_s t) \qquad (5)$$

(2) və (3) ifadələri həm də spiralın xoy müstəvisi üzərindəki proyeksiyasını təsvir edir. Onda elektronun parametrik şəkildə hərəkət tənliklərini belə yazarıq:

$$\begin{cases} x = \dfrac{m\upsilon_0 \sin\alpha}{eB}\cdot\sin\left(\dfrac{eB}{m}t\right) \\ y = \dfrac{m\upsilon_0 \sin\alpha}{eB}\left[1 - \cos\left(\dfrac{eB}{m}t\right)\right] \\ z = (\upsilon_0 \cos\alpha)t \end{cases} \qquad (6)$$

Elektronun trayektoriyası (yəni spiral) yoz müstəvisini hər periodda iki dəfə kəsir: 1) başlanğıcda (t=0) və 2) tam periodların sonunda (t=kT, k=0,1,2,... T-rəqsin periodudur):

1) $y = 0$

$$x = r\sin(\omega_s \cdot kT) = r \cdot \sin\left(\omega_s \cdot \frac{k2\pi}{\omega_s}\right) = r\sin 2\pi = 0$$

$$z = (\upsilon_0 \cos\alpha) \cdot kT = \upsilon_0 \cos\alpha \cdot k\frac{2\pi}{\omega_s} = \frac{2\pi\upsilon_0 m\cos\alpha}{eB} \cdot k$$

və

2) $y = 2r = \dfrac{2m\upsilon_0 \sin\alpha}{eB}$ (bu, t=$\left(\kappa + \dfrac{1}{2}\right)T$ anlarına uyğundur);

$$x = r\sin\left(\omega_s \cdot \left(k + \frac{1}{2}\right)T\right) = r\sin\left(k + \frac{1}{2}\right)2\pi = r\sin\pi = 0$$

$$z = (\upsilon_0 \cos\alpha) \cdot \left(k + \frac{1}{2}\right)T = \upsilon_0 \cos\alpha \cdot \left(k + \frac{1}{2}\right) \cdot \frac{2\pi}{\omega_s} = \frac{2\pi\upsilon_0 m\cos\alpha}{eB}\left(k + \frac{1}{2}\right);$$

$\kappa = 0,1,2$ olduqda

163. Protonun dairəvi orbitdə qalması üçün F_L Lorens qüvvəsi $F_{m.q.}$ – mərkəzdən qaçma qüvvəsinə bərabər olmalıdır:

$$F_L = F_{m.q.} \text{ yaxud } e\upsilon B = \frac{m\upsilon^2}{r}.$$

Buradan $\upsilon = \dfrac{eBr}{m}$ alarıq. Sürətin bu ifadəsi bütün orbitlər üçün, o cümlədən ən kənar orbit üçün ödənilir. Ən kənar orbitdə elektronun sürəti maksimum olur. Bu orbit üçün $r = \dfrac{d}{2}$ olduğundan:

$$\upsilon_{\max} = \frac{eBr}{m} = \frac{eBd}{2m} = \frac{1{,}6 \cdot 10^{-19} \cdot 1{,}20 \cdot 1}{2 \cdot 1{,}672 \cdot 10^{-27}} = 5{,}8 \cdot 10^7 \left(\frac{m}{s}\right)$$

Buna uyğun maksimal kinetik enerji belə olar:

$$W_{max}=\frac{m\upsilon_{max}}{2}=\frac{e^2B^2d^2}{8m}=\frac{\left(1{,}6\cdot 10^{-19}\right)^2\cdot(1{,}20)^2\cdot 1^2}{8\cdot 1{,}672\cdot 10^{-27}}C=0{,}28\cdot 10^{-11}C=$$

$$=\frac{0{,}28\cdot 10^{-11}}{1{,}6\cdot 10^{-19}}eV=1{,}72\cdot 10^7 eV=17{,}2MeV$$

Protonun $\upsilon_{max}-a$ qədər sürətləndirilməsinə sərf olunan vaxtı tapmaq üçün belə mühakimə aparaq. Proton hər periodda iki dəfə elektrik sahəsinə düşür və onun hər birində potensiallar fərqi U olan iki nöqtə arasındakı məsafəni qət edərək eU qədər enerji alır. Fırlanma periodu $T=\frac{2\pi}{\omega_s}$ sabit olduğu üçün $W_{max}-u$ $2eU$-ya bölsək, sərf olunan periodların sayını: $n=\frac{W_{max}}{2eU}$ və bunu da T-yə vursaq, sərf olunan ümumi zamanı (τ) tapanq:

$$\tau=n\cdot T=\frac{W_{max}}{2eU}\cdot\frac{2\pi}{\omega_s}=\frac{e^2B^2d^2}{8m\cdot 2eU}\cdot\frac{2\pi\cdot m}{eB}=\frac{\pi Bd^2}{8U};$$

$$\tau=\frac{3{,}14\cdot 1{,}2\cdot 1^2}{8\cdot 10^5}s=0{,}47\cdot 10^{-5}s;$$

164. a) Elektronun bir periodda əldə etdiyi enerji $W_0=e\varepsilon$ – dur (ε-induksiya e.h.q.-dir). Onun modulunu tapaq:

$$\varepsilon=\frac{d\Phi}{dt}=\frac{d\left(s\overline{B}\right)}{dt},$$ şərtə görə: $\overline{B}=kt\cdot t=\tau$ olduqda.

$\overline{B}=B_1:\ B_1=k\tau$

Buradan: $k=\frac{B_1}{\tau}$. Onda: $\varepsilon=\frac{d\left(\pi r^2\kappa t\right)}{dt}=\frac{\pi r^2B_1}{\tau}$

Elektron W enerjisinə malik olmaq üçün n sayda dövr etməlidir. n-i belə tapanq:

$n=\frac{W}{W_0}=\frac{W}{e\varepsilon}=\frac{W\tau}{\pi r^2 B_1}$. Bir dövrdə elektronun getdiyi yol: $l_0=2\pi r, n-$dövrdə isə:

$$l=nl_0=\frac{W\tau}{\pi r^2 B_1}\cdot 2\pi r=\frac{2W\tau}{reB_1}$$

$$l=\frac{2W\tau}{reB_1}=\frac{2\cdot 50\cdot 10^6\cdot 1{,}6\cdot 10^{-19}\cdot 1{,}00\cdot 10^{-3}}{0{,}3\cdot 1{,}6\cdot 10^{-19}\cdot 0{,}200}m=1{,}7\cdot 10^6 m=1700km.$$

Elektronun enerjisi böyük olduğu üçün onun sürətini relyativist effekti nəzərə almaqla hesablamalıyıq. Bu halda enerjinin saxlanması qanununu belə yazmalıyıq:

$$mc^2-m_0c^2=W \text{ yaxud } \frac{m_0c^2}{\sqrt{1-\frac{\upsilon^2}{c^2}}}-m_0c^2=W;$$

Buradan:

$$\upsilon=c\sqrt{1-\left(\frac{m_0c^2}{W+m_0c^2}\right)^2};$$

$$\upsilon=3\cdot 10^8\sqrt{1-\left(\frac{0{,}911\cdot 10^{-30}\cdot 9\cdot 10^{16}}{5\cdot 10^7\cdot 1{,}6\cdot 10^{-19}+0{,}911\cdot 10^{-30}\cdot 9\cdot 10^{16}}\right)^2}\frac{m}{s}=$$

$$=3\cdot 10^8\cdot 0{,}99995\frac{m}{s}==0{,}99995\,c$$

(c - işığın vakuumdakı sürətidir).

165. Orbitlərin radiusları: $r_1=\frac{\upsilon}{\omega_1}$ və $r_2=\frac{\upsilon}{\omega_2}$ ω_1 və ω_2 uyğun orbitlər üçün tsiklotron tezliyidir:

$\omega_1=\frac{eB}{m_1}$, $\omega_2=\frac{eB}{m_2}$ (m_1 və m_2 U^{235} v U^{238}izotoplarının kütləsidir)

Dairəvi orbitlərin diametrlərinin fərqi δ -dır. Onda:

$$\delta = 2(r_2 - r_1) = 2\left(\frac{\upsilon}{\omega_2} - \frac{\upsilon}{\omega_1}\right) = 2\upsilon\left(\frac{m_2}{eB} - \frac{m_1}{eB}\right) = 2\frac{\upsilon}{eB}(m_2 - m_1)$$

yəni: $B = 2\cdot\frac{\upsilon}{e\delta}\Delta m(\Delta m = m_2 - m_1$ -uranın ağır və yüngül izotopla-rının kütlələrinin fərqidir $(\Delta m = m_2 - m_1 = (238 - 235)m_p - \text{dir})$. υ-ni enerjinin itməməsi qanunundan taparıq:

$\varepsilon = \frac{m\upsilon^2}{2}$, ε-nu eV-la deyil, coulla ifadə etsək, ε-nu e-yə vurmalıyıq. Onda $\upsilon = \left(\frac{2e\varepsilon}{m}\right)^{1/2}$ alarıq (m-uran atomunun kütləsidir).

Bunu B-nin ifadəsində yerinə yazaq:

$$B = 2\cdot\left(\frac{2e\varepsilon}{m}\right)^{1/2}\cdot\frac{\Delta m}{e\delta} = 2\left(\frac{2\varepsilon}{em}\right)^{1/2}\cdot\frac{\Delta m}{\delta}$$

δ-nın daha böyük ola bilmə imkanını da nəzərə alsaq, son ifadəni bərabərsizlik şəklində yazarıq:

$$B \le 2\left(\frac{\varepsilon}{em}\right)^{1/2}\cdot\frac{\Delta m}{\delta} = 2\left(\frac{5\cdot 10^3}{1{,}6\cdot 10^{-19}\cdot 238\cdot 1{,}67\cdot 10^{-27}}\right)^{1/2}\cdot\frac{3\cdot 1{,}67\cdot 10^{-27}}{5\cdot 10^{-3}}Tl =$$

$= 0{,}8Tl; B \le 0{,}8Tl.$

İzotopların ayrılma müddətini tapmaq üçün ionların özü ilə apardığı ümumi yükün (q) miqdarından istifadə edək:

$q = i\tau$ və ya $\tau = \frac{q}{i}$

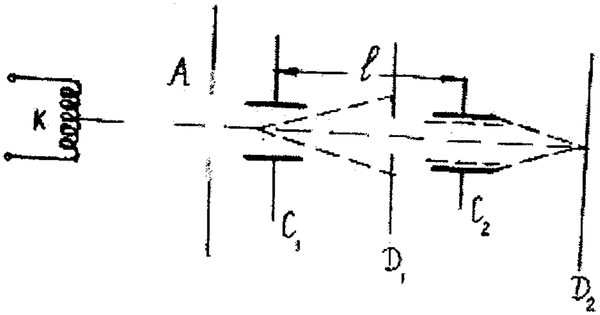
Qəbulediciyə düşmək üçün hər bir atom ionlaşmış olmalıdır. Onun yükü e-dir. Kütləsi M olan atomların sayını n belə taparıq:

$n = \frac{M}{A\cdot m_p}$, A-uranın nisbi atom kütləsi, m_p-protonun kütləsidir.

q=ne olduğunu nəzərə alıb, τ-nun ifadəsini belə yazarıq:

$$\tau = \frac{q}{i} = \frac{ne}{i} = \frac{eM}{Am_p i} = \frac{1{,}6\cdot 10^{-19}\cdot 1}{238\cdot 1{,}67\cdot 10^{-27}}s = 8\cdot 10^7 s = 2{,}5\,\text{il}.$$

166. Hər bir elektron birinci kondensatorun sahəsinə düşdükdə onun sahəsində qüvvə xətlərinin əksi istiqamətdə meyl edir. İkinci kondensator bu meyli neytrallaşdırsa (yəni elektronu həmin qədər əks istiqamətdə meyl etdirsə), onda elektron dəstəsi düz xətt boyunca hərəkət edərək, ekranın mərkəzində nöqtə şəkilli ləkə yaradar (şəkil 209).



Şəkil 209.

Kondensatorların sahələri eyni olduğuna görə bu şəraiti almaq üçün elektronun iki kondensator arasındakı məsafəni qət etdiyi müddətdə ikinci kondensatorda elektrik sahəsi elə dəyişməlidir ki, o, birinci kondensatorun sahəsi ilə əks fazalı olsun. Bunun üçün həmin müddət yarım periodun tək misillərinə bərabər olmalıdır: $t = (2n+1)T/2$, $n = 0,1,2,...$-tam ədədlərdir. Qurğunun oxu boyunca elektronlar anoddan sonra sabit sürətlə hərəkət etdiyi üçün:

$$l = \upsilon t = \upsilon(2n+1)\frac{T}{2} \qquad (1)$$

υ-ni enerjinin saxlanması qanunundan ($\upsilon << c$ halı üçün) belə tapanq: $eU = \frac{m\upsilon^2}{2}$. Buradan:

$$\upsilon = \sqrt{\frac{2eU}{m}} \qquad (2)$$

Bunu və $T = \frac{2\pi}{\omega}$ olduğunu (1)-də nəzərə alaq:

$$l = \sqrt{\frac{2eU}{m}}(2n+1)\cdot\frac{\pi}{\omega} \qquad (3)$$

Hər iki tərəfi kvadrata yüksəldib, $\frac{e}{m}$ -i tapaq:

$$\frac{e}{m} = \frac{l^2\omega^2}{2\pi^2 U(2n+1)} \qquad (4)$$

(n=0,1,2...).

167. Kondensatorun köynkləri arasındakı həcm V=Sl -dir. Bir saniyədə bu həcmdə yaranan ionların sayı n=Vq=Slq-dur. Onda V həcmində t san-də yaranan yükün miqdarı: $Q = net = Slqet$ olar.

Tərifə görə: $i_q = \frac{dQ}{dt} = slqe$ alarıq.

$i_q = slqe = 100\cdot10^{-4}\cdot5\cdot10^{-2}\cdot5\cdot10^{6}\cdot1{,}6\cdot10^{-19}A = 4\cdot10^{-16}A.$

168. Kondensatorun lövhələri arasında fəza yükləri mövcuddur. Elektrik induksiya vektorunun $(\vec{D})$diverqensiyası fəza yüklərinin həcm sıxlığına bərabərdir:

$di\upsilon\vec{D} = -\rho(x)$. x oxunu lövhələrə perpendikulyar, koordinat başlanğıcını katodun üzərində (onun mərkəzində) götürək. Kondensatorun sahəsinin simmetriyasından aydındır ki, diverqensiya yalnız x oxu istiqamətində sıfırdan fərqlidir:

$$\frac{dD}{dx} = -\rho(x) \qquad (1)$$

$D = \varepsilon_0 E = -\varepsilon_0\frac{dU}{dx}$ olduğu üçün (1) -dən:

$$\frac{d^2U}{dx^2} = \frac{1}{\varepsilon_0}\rho(x) \qquad (2)$$

Elektronların yürüklüyünü μ, konsentrasiyasını n-lə işarə etsək, cərəyan sıxlığını (j) belə ifadə edərik:

$$j = -en\mu E = -\rho(x)\mu E = \rho(x)\mu\frac{dU}{dx} \qquad (3)$$

$\rho(x) = en$-dir.

(2) və (3) –dən:

$$\frac{dU}{dx}\cdot\frac{d^2U}{dx^2} = \frac{j}{\varepsilon_0\mu} \text{ və ya } \frac{d}{dx}\left(\frac{dU}{dx}\right)^2 = \frac{2j}{\varepsilon_o\mu} \qquad (4)$$

$j=j_d$ olduqda (cərəyan sıxlığı doyma qiymətinə çatdıqda) $x = 0 - \partial a \left(\frac{dU}{dx}\right)_{x=0} = 0$ -dır. Onda (4)-ü dx-ə görə inteqrallasaq, alarıq:

$$\left(\frac{dU}{dx}\right)^2 = \frac{2j_q}{\varepsilon_0\mu}x$$

Buradan:

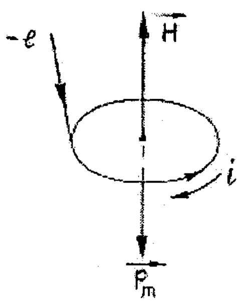
$$\frac{dU}{dx} = \sqrt{\frac{2j_q}{\varepsilon_0\mu}}x^{1/2} \qquad (5)$$

(5)-i bir daha inteqrallayıb alarıq (sol tərəfi U-nun o-dan U -ya, sağ tərəfi x-in o-dan d-yə qədər dəyişmə intervalında):

$$U_0 = \frac{2}{3}\sqrt{\frac{2j_q}{\varepsilon_0\mu}}d^{3/2} \qquad (6)$$

Buradan hər tərəfi kvadrata yüksəldib, μ -nü taparıq:

$$U_0^2 = \frac{4}{9}\cdot\frac{2j_q}{\varepsilon_0\mu}d^3$$
$$\mu = \frac{8j_q d^3}{9\varepsilon_0 U_0^2} \qquad (7)$$



Şəkil 210.

169. Elektron maqnit sahəsinə düşdükdə radiusu $r = \frac{\upsilon}{\omega_s}$ olan çevrə boyunca fırlanmağa başlayır (şəkil 210.) ω_s - tsiklotron tezliyi belə ifadə olunur:

$$\omega_s = \frac{eB}{m} = \frac{e\mu_0 H}{m}$$

(m – elektronun kütləsidir), fırlanma periodu:

$$T = \frac{2\pi}{\omega_s} = \frac{2\pi m}{e\mu_0 H}\text{-dır.}$$

Orbit üzrə elektronun yaratdığı cərəyanın şiddətini onun tərifindən istifadə edib tapanq:

$$i = \frac{e}{T} = \frac{e^2\mu_0 H}{2\pi m}$$

Dairəvi cərəyanın yaratdığı maqnit momenti cərəyan şilddəti ilə cərəyanın əhatə etdiyi dairənin sahəsinin hasilinə bərabərdir:

$$P_m = iS = \frac{e^2\mu_0 H}{2\pi m}\cdot \pi r^2 = \frac{e^2\mu_0 H}{2m}\cdot\left(\frac{\upsilon}{\omega_s}\right)^2 = \frac{e^2\mu_o H}{2m}\cdot\frac{\upsilon^2 m^2}{e^2\mu_0^2 H^2} = \frac{m\upsilon^2}{2\mu_0 H}$$

$$P_m = \frac{m\upsilon^2}{2\mu_0 H}$$

170. Lövhələr arasında müxtəlif işarəli ionlar əks istiqamətdə hərəkət edir, ona görə də onların yaratdığı cərəyanlar toplanır. Lövhələr arasındakı V həcmində t müddətində yaranan ümümi yük: $Q = q|e|V.t$ -dir.

(V=sd). Doyma cərəyan şiddəti:

$$i_d = \frac{dQ}{dt} = q|e|V = q|e|sd\text{ .Buradan:}$$

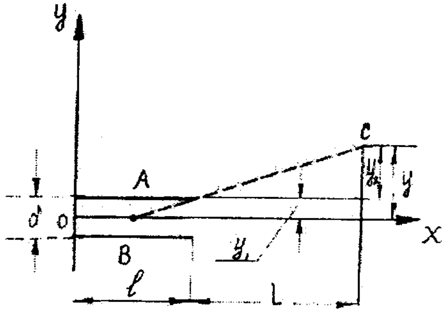
$$q = \frac{i_d}{|e|Sd} = \frac{10^{-6}}{1{,}6\cdot 10^{-19}\cdot 10\cdot 10^{-4}\cdot 10\cdot 10^{-2}} = 6\cdot 10^{18}\left(\frac{1}{m^3\cdot s}\right)$$

171. Koordinat başlanğıcını elektronların idarəedici kondensatora daxil olduğu yerdə lövhələrdən eyni məsafədə elə seçək ki, x oxu lövhələrin mərkəzini birləşdirən parçaya perendikulyar olsun, y oxunu isə lövhələrin müstəvilərinə perpendikulyar götürək (şəkil 211).

Lövhələrin arasında l məsafəsində elektrik sahəsi tərəfindən elektrona F=eE=eU/d qüvvəsi təsir edəcək və elektron y oxu istiqamətində

$a_y = \frac{F}{m} = \frac{e}{m} U / d$ təcili

alacaq. x oxu istiqamətində qüvvə təsir etmədiyi üçün υ_x



Şəkil 211.

sabit qalacaq (υ_x elektronun başlanğıc υ sürətinə bərabərdir). Ona görə elektron l məsafəsini $t_1 = \frac{l}{\upsilon_x} = \frac{l}{\upsilon}$ müddətində qət edəcək. t_1 müddətində o, y oxu istiqamətində $y_1 = \frac{at_1^2}{2} = \frac{eU}{2dm} \cdot \frac{l^2}{\upsilon^2}$ qədər yerini dəyişəcək. Kondensatorun sahəsindən çıxdıqdan sonra elektron sabit sürətlə hərəkət edəcək, $t_2 = \frac{l}{\upsilon_x} = \frac{l}{\upsilon}$ müddətində ekranın C nöqtəsinə düşəcək. Bu zaman o, y oxu istiqamətdə əlavə olaraq:

$$y_2 = \upsilon_y \cdot t_2 = at_1 \cdot t_2 = \frac{eU}{dm} \cdot \frac{l}{\upsilon} \cdot \frac{L}{\upsilon} = \frac{e}{m} \cdot \frac{ULl}{d\upsilon^2}$$

qədər meyl edəcək. y oxu istiqamətdə ümumi mey

$$y = y_1 + y_2 = \frac{e}{m} \cdot \frac{Ul^2}{2d\upsilon^2} + \frac{e}{m} \cdot \frac{UlL}{d\upsilon^2} = \frac{e}{m} \cdot \frac{Ul}{d\upsilon^2}\left(\frac{l}{2} + L\right)$$

Buradan borunun həssaslığını $\left(\frac{y}{U}\right)$ belə alarıq:

$$\frac{y}{U} = \frac{e}{m} \cdot \frac{l}{d\upsilon^2}\left(\frac{l}{2} + L\right) \qquad (1)$$

υ-ni enerjinin saxlanması qanunundan taparıq:

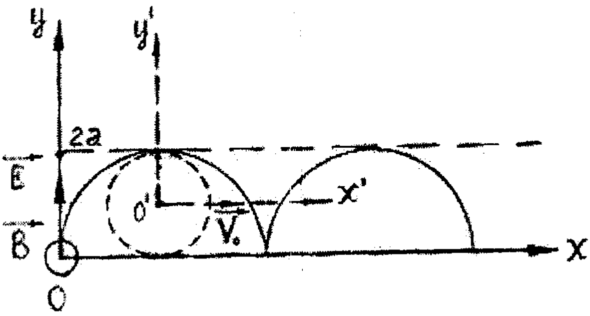
$$eU_0 = \frac{m\upsilon^2}{2}; \upsilon = \left(2\frac{e}{m}U_0\right)^{1/2} \qquad (2)$$

Əgər $l << L$ olarsa, (2)-ni də nəzərə alsaq y/U-nu belə ifadə edərik:

$$\frac{y}{U} = \frac{lL}{2U_0 d} \qquad (3)$$

172. Zərrəciyin trayektoriyasını tapmaq üçün onun hərəkət tənliyini həll etmək lazımdır. Zərrəciyə iki qüvvə təsir edir: 1) y oxu istiqamətində $F_E=e'E$ elektrik sahəsi tərəfindən təsir edən qüvvə (bu qüvvə yalnız y oxu istiqamətində zərrəciyin sürətinin və yerdəyişməsinin qiymətini, onun hərəkət fazasından asılı olaraq, artırır və ya azaldır); 2) Lorens qüvvəsi: $\vec{F_L} = e'\left[\vec{\upsilon}\vec{B}\right]$.

Bu qüvvə zərrəciyi xy müstəvisində hərəkət etdirir (şəkil 212). F_L^{-i} komponentləri ilə ifadə edək:



Şəkil 212.

$$F_L = e'\left[\vec{\upsilon}\vec{B}\right] = e^1\begin{vmatrix} \vec{i} & \vec{j} & \vec{k} \\ \upsilon_x & \upsilon_y & 0 \\ 0 & 0 & B \end{vmatrix} = e'\upsilon_y B\cdot\vec{i}\vec{i} - e'\upsilon_x B\vec{j} + 0\cdot\vec{k} = \qquad (1)$$

$$= e'\upsilon_y B\cdot\vec{i} - e'\upsilon_x B\cdot\vec{j}$$

$\vec{i},\vec{j},\vec{k}$ -koordinat oxlarının ortlarıdır.

Hərəkət tənlyini yazaq:

$$\begin{cases} m\ddot{x} = e'\upsilon_y B \\ m\ddot{y} = e'E - e'\upsilon_x B \end{cases} \quad \text{yaxud} \quad \begin{cases} \ddot{x} = \dfrac{e'B}{m}\dot{y} \\ \ddot{y} = \dfrac{e'E}{m} - \dfrac{e'B}{m}\dot{x} \end{cases} \qquad (2)$$

Burada $\upsilon_x = \dot{x}, \upsilon_y = \dot{y}$ olduğunu nəzərə aldıq. (2) sisteminin həllini bu şəkildə axtaraq:

$$x = a(\omega t - \sin\omega t), y = a(1 - \cos\omega t) \qquad (3)$$

α və ω tapılması tələb olunan sabitlərdir.

x və y –in birinci və ikinci tərtib törəmələrini (3)-dən tapıb, (2)-də yerinə yazaq:

$$\begin{cases} \dot{x} = a\omega(1 - \cos\omega t); & \ddot{x} = a\omega^2 \sin\omega t \\ \dot{y} = a\omega \sin\omega t; & \ddot{y} = a\omega^2 \cos\omega t \end{cases}$$

(2)-nin birinci tənliyindən:

$$a\omega^2 \sin\omega t = \frac{e'B}{m} a\omega \sin\omega t; \qquad (4)$$

Buradan:

$$\omega = \frac{e'B}{m} = \omega_s$$

Yəni ω tsiklotron tezliyinə bərabərdir. (2)-nin ikinci tənliyindən alarıq:

$$a\omega^2 \cos\omega t = \frac{e'E}{m} - \frac{e'B}{m} \cdot a\omega(1 - \cos\omega t)$$

Buradan: $a = \dfrac{m}{e'} \cdot \dfrac{E}{B^2}$ (5)

a və ω -nın qiymətlərini (3)-də yerinə yazaq:

$$x = \upsilon_l t - a \sin\omega t; y = a(1 - \cos\omega t) \qquad (6)$$

Burada: $\upsilon_1 = \dfrac{E}{B}, a = \dfrac{m}{e'} \cdot \dfrac{E}{B^2}, \omega = \omega_s = \dfrac{e'B}{m}$ – dir. (7)

t=0 anında koordinat başlanğıcı və oxları xoy koordinat sistemi ilə üst-üstə düşən və ona nəzərən υ_l sabit sürəti ilə x oxu istiqamətində hərəkət edən $x'0'y'$ koordinat sisteminə keçək, zərrəciyin trayektoriyası bu sistemdə çevrə şəklində olar. Bunun üçün belə əvəzetmə aparaq:

$$x' = x - \upsilon_1 t; y' = y - a \qquad (8)$$

(6)-da yerinə yazsaq, alarıq:

$$\dot{x} = -a\sin\omega t; \qquad y' = -a\cos\omega t \qquad (9)$$

Bu, o deməkdir ki, zərrəcik K^1 sistemində radiusu a olan çevrə boyunca sabit ω bucaq sürəti ilə saat əqrəbi istiqamətində fırlanır (şəkil 212).

k sistemində zərrəciyin trayektoriyası oxu sabit sürətlə irəliləmə hərəkətində olan çarxın sağanağı üzərində götürülmüş hər hansı nöqtənin trayektoriyasına bənzəyir (bax: şəkil 212).

Bu cür hərəkət edən nöqtənin trayektoriyası tsikloida adlanır.

Zərrəciyin k sisteminə nəzərən sürətini tapaq:

$$\upsilon = \sqrt{\upsilon_x^2 + \upsilon_y^2} = \sqrt{a^2\omega^2(1-\cos\omega t)^2 + a\omega^2\sin^2\omega t} = a\omega\sqrt{1-2\cos\omega t + 1} = \qquad (10)$$
$$= a\omega\sqrt{2-2\cos\omega t} = \sqrt{2}a\omega\sqrt{1-\cos\omega t} \qquad \upsilon = \sqrt{2}a\omega\sqrt{1-\cos\omega t}$$

173. Fırladılan sarğac ilə birliklə yükdaşıyıcılar da hərəkət edir. Sarğac tormozlandıqda hər bir elektrona tormozlayıcı qüvvənin əksinə yönəlmiş $F = -m\frac{d\upsilon}{dt}$ ətalət qüvvəsi təsir edir. Bu F dövrədə kənar qüvvə rolunu oynayır. Kənar qüvvələrin yaratdığı intensivlik E^*, tərifə görə, vahid yükə təsir edən qüvvədir:

$$E^* = \frac{F}{e} = -\frac{m}{e}\frac{d\upsilon}{dt}.$$

İntensivliyin qapalı dövrə üzrə sirkulyasiyası e.h.q.-nə (ε) bərabərdir:

$$\varepsilon = \oint E^* dl = -\frac{m}{e}\cdot\frac{d\upsilon}{dt}l$$

(l-sarğac sarğılarının uzunluğudur: $l = \pi dN$). Om qanununna əsasən cərəyan şiddətini tapaq:

$$i = \frac{\varepsilon}{R} = -\frac{m}{e}\cdot\frac{\pi dN}{R}\frac{d\upsilon}{dt}$$

Dövrədən keçən ümumi yükü hesablayaq:

$$q=\int_0^{\infty} idt=\int_0^{\infty}\left(-\frac{m\pi dN}{eR}\frac{d\upsilon}{dt}\right)dt=-\frac{m}{e}\cdot\frac{\pi dN}{eR}\int_{\upsilon_0}^{0}d\upsilon=\frac{m}{e}\cdot\frac{\pi dN}{eR}\cdot\upsilon_0$$

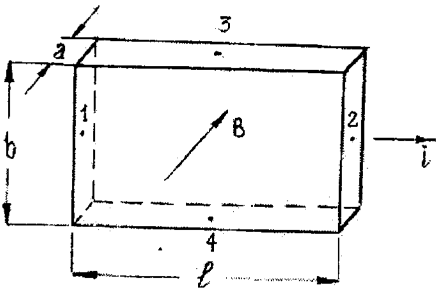
Buradan:

$$\frac{e}{m}=\frac{\pi dN}{Rq}\upsilon_0=\frac{\pi dN}{Rq}\cdot\frac{d}{2}\omega=\frac{\pi d^2N}{2Rq}\cdot 2\pi n=\frac{\pi^2 d^2 Nn}{Rq}=$$

$$=\frac{3{,}14^2\cdot\left(500\cdot 10^{-3}\right)^2 400\cdot 100}{50\cdot 1{,}10\cdot 10^{-8}}\frac{\text{kq}}{\text{Kl}}=1{,}8\cdot 10^{11}\frac{\text{kq}}{\text{Kl}}$$

Misdə yükdaşıyıcıların yükünün işarəsi mənfidir. Bu, qalvanometrin əqrəbinin sağdan sola meyl etməsindən aydın olur. Yükdaşıyıcılar müsbət yüklü olsa idi, əqrəb sağa meyl etməli idi.

174. Maqnit sahəsi yarandıqdan sonra elektronlara 4-dən 3-ə doğru istiqamətlənmiş $F_L=e\upsilon_x B$ (υ_x -dreyf sürətidir) Lorens qüvvəsi təsir edəcək, ona görə sərbəst elektronlar paralelopipedin (lövhənin) üst üzünə toplanacaq (şəkil 213). Onun alt üzündə isə elektronların çatışmazlığı yaranacaq, yəni lövhənin alt üzü müsbət yüklənəcək. Nəticədə 4 nöqtəsindən 3 nöqtəsinə doğru istiqamətlənmiş yeni elektrik sahəsi yaranacaq. Bu sahəyə Holl sahəsi, yaranan effektə isə Holl effekti deyilir. Dinamik tarazlıq halında Holl sahəsi tərəfindən elektrona təsir edən $F_e=eE_{34}$ qüvvəsi F_L qüvvəsi ilə tarazlaşır: $eE_{34}=e\upsilon_x B$. Buradan:



Şəkil 213.

$$\upsilon_x=\frac{E_{34}}{B}=\frac{U_{34}}{bB} \qquad (1)$$

Diferensial şəkildə Om qanununu yazaq:

$$j = \sigma E_{12} = e\mu n E_{12} = e \cdot \frac{\upsilon_x}{E_{12}} \cdot n \cdot E_{12} = en \cdot \frac{U_{34}}{bB} \qquad (2)$$

Burada yürüklüyün $\mu = \dfrac{\upsilon_x}{E_{12}}$ ifadəsindən və sahənin intensivliyi ilə potensiallar fərqi arasındakı $E = \dfrac{U}{l}$ əlaqəsindən istifadə etdik.

Cərəyan sıxlığını başqa cür də ifadə edə bilərik:

$$j = \frac{i}{s} = \frac{i}{ab} \qquad (3)$$

(3) –lə (2)-nin bərabərliyindən alarıq:

$$\frac{i}{ab} = \frac{enU_{34}}{bB} \text{ və } n = \frac{iB}{eaU_{34}} \qquad (4)$$

Dreyf sürətinin (υ_x) yürüklüklə əlaqəsini yazaq:

$$\upsilon_x = \mu E_{12} = \mu \frac{U_{12}}{l} \qquad (5)$$

(5)-lə (1)-in müqayisəsindən alarıq: $\mu \dfrac{U_{12}}{l} = \dfrac{U_{34}}{bB}$.

Buradan:

$$\mu = \frac{lU_{34}}{bU_{12}B} \qquad (6)$$

n və μ -nün ədədi qiymətlərini hesablayaq:

$$n = \frac{iB}{eaU_{34}} = \frac{10{,}6 \cdot 0{,}100}{1{,}6 \cdot 10^{-19} \cdot 1 \cdot 10^{-3} \cdot 0{,}55 \cdot 10^{-7}} \frac{1}{m^3} = 1{,}2 \cdot 10^{29} \frac{1}{m^3}$$

$$\mu = \frac{lU_{34}}{bU_{12}B} = \frac{60 \cdot 10^{-3} \cdot 0{,}55 \cdot 10^{-7}}{20{,}0 \cdot 10^{-3} \cdot 0{,}51 \cdot 10^{-3} \cdot 0{,}100} \frac{m^2}{V \cdot s} = 3{,}2 \cdot 10^{-3} \frac{m^2}{V \cdot s};$$

175. Hidrogen ionu iki ardıcıl toqquşma arasında elektrik sahəsinin təsiri ilə bərabər yeyinləşən hərəkətdə olur. Onun təcili $a = \dfrac{eE}{m_l}$ -dir. Onda sərbəst yolun uzunluğunu belə ifadə edərik:

$$\lambda = \frac{at^2}{2} = \frac{eE}{2m_1}t^2 \qquad (1)$$

m_1 -hidrogen atomunun kütləsidir.

Yolun sonunda (toqquşma anında) hidrogen ionunun malik olduğu sürət: $\upsilon_l = at = \dfrac{eE}{m_l}t$. Buradan sərbəst yolu getməyə sərf olunan müddəti tapanq:

$$t = \frac{m_1\upsilon_1}{eE} \qquad (2)$$

υ_l-i toqquşma zamanı impulsun saxlanması qanunundan tapanq (qeyd edək ki, toqquşma qeyri elastik olduğu üçün enerjinin saxlanması qanunu ödənilmir).

$$m_1\upsilon_1 = (m_1 + m_2)\upsilon \qquad (3)$$

m_2 -helium atomunun kütləsi, υ hər iki atomun toqquşmadan sonrakı sürətidir. Bu zaman hidrogen ionunun itirdiyi enerji heliumun ionlaşmasına kifayət etməlidir, yəni:

$$\frac{m_l\tau_l^2}{2} - \frac{(m_l + m_2)\upsilon^2}{2} = eU_l \qquad (4)$$

υ-ni (3)-dən tapıb, (4)-də yerinə yazdıqdan sonra υ_l -i belə tapanq:

$$\upsilon_1 = \left(\frac{2(m_1 + m_2)eU_1}{m_1m_2}\right)^{1/2} \qquad (5)$$

(5) və (2)-ni (1)-də nəzərə alaq:

$$\lambda = \frac{eE}{em_1}\cdot\left(\frac{m_1}{eE}\right)^2\cdot\frac{2(m_1 + m_2)eU_1}{m_1m_2} = \frac{(m_1 + m_2)U_1}{m_2E};$$

$$\lambda = \frac{(m_1 + m_2)U_1}{m_2E} \qquad (6)$$

$$\lambda = \frac{(1+4)1{,}672\cdot10^{-27}\cdot21{,}4}{4\cdot1{,}672\cdot10^{-27}\cdot10\cdot10^{-2}}m = 26{,}75\cdot10^{-2}m \approx 27sm$$

176. Dəyişən cərəyan şiddəti, adətən, sinus qanunu ilə dəyişir: $i = i_0 \sin\omega t, i_0$ -cərəyan şiddətinin amplitud qiyməti, ω -onun dairəvi tezliyidir. Şərtə görə: $i_0 = \sqrt{2}i_{ef}$

Hər yarım perioddan sonra cərəyanın istiqaməti dəyişir. Ona görə cərəyan şiddətinin orta qiymətini bir yarım period üçün tapmaq lazımdır:

$$i_{0r} = \frac{1}{T/2}\int_0^{T/2} i_0 \sin\omega t dt = \frac{2i_0}{T}\int_0^{T/2}\sin\omega t dt = -\frac{2i_0}{T\omega}\cos\omega t\Big|_0^{T/2} = \frac{-2i_0}{2\pi}\cdot$$

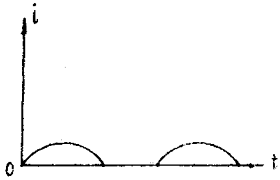
$$\cdot\left(\cos\omega\cdot\frac{T}{2} - \cos 0\right) = \frac{2i_0}{\pi} = \frac{2\sqrt{2}i_{ef}}{\pi};$$

$$i_{or} = \frac{2\sqrt{2}\cdot7}{3{,}14}A = 6{,}3A$$

177. Elektroliz üçün Faradeyinbirinci qanununa görə elektrod üzərində ayrılan madənin miqdarı M belə ifadə olunur:

M=kq=kit (1)

Burada: $k = \dfrac{m}{eZ}$, m-mis atomunun kütləsi, Z–onun ionlaşma tərtibi, e–elementar yükdür. i zamandan asılı olduğu üçün (şəkil 214) onun bir period üzrə orta qiymətini götürmək lazımdır.



Şəkil 214.

Birinci yarımperiodda cərəyan şiddətinin orta qiyməti (bax. məsələ 176)

$i_{or} = \dfrac{2i_o}{\pi}$ -dir, ikinci yarımperiodda isə cərəyan sıfra bərabərdir. Onda M maddəsi bütün τ müddətində deyil onun yarısı qədər vaxt ərzində $\left(t = \dfrac{\tau}{2}\right)$ ayrılmışdır:

$$M = \kappa i_{or}\frac{\tau}{2} = \frac{m}{eZ}\cdot\frac{2i_0}{\pi}\cdot\frac{\tau}{2} = \frac{i_0 m\tau}{\pi eZ};\qquad \begin{pmatrix} CuSO_4 \longleftrightarrow \overset{++}{Cu} + \overset{--}{SO} \\ Z = 2 \end{pmatrix}$$

Buradan: $i_0 = \frac{\pi eZM}{m\tau} = \frac{3{,}14\cdot 1{,}6\cdot 10^{-19}\cdot 2\cdot 200\cdot 10^{-6}}{\frac{63{,}54}{6{,}025\cdot 10^{-27}\cdot 10\cdot 60}} = 3{,}2(A)$

178. a) əvvəlcə bir periodda dövrədən keçən yükün miqdarını (q_1) tapaq:

$$q_1 = 2\cdot\int_0^{T/2} i_0\sin\omega t dt = -\frac{2i}{\omega}\cos\omega t\Big|_0^{T/2} = \frac{4i_0}{\omega} \tag{1}$$

q-nü q_1-ə bölsək, akkumulyatorun dolmasına sərf olunan periodların n sayını taparıq:

$$n = \frac{q}{q_1} = \frac{q\omega}{4i_0} \tag{2}$$

t=nT müddətində akkumulyator dolar, yəni:

$$t = \frac{q\omega}{4i_0}T = \frac{q2\pi}{4i_0} = \frac{\pi q}{2i_0} = \frac{\pi q}{2\cdot\sqrt{2}\cdot i_{ef}} \tag{3}$$

Burada $i_{ef} = \frac{i_0}{\sqrt{2}}$ ifadəsindən istifadə etdik (i_{ef}-istilik ampermetrinin göstərdiyi cərəyan şiddətidir).

$$t = \frac{\pi q}{2\sqrt{2}i_{ef}} = \frac{3{,}14\cdot 20}{2\sqrt{2}\cdot 1{,}5}saat \cong 15saat$$

b) Yenə də əvvəlcə bir period ərzində dövrədən keçən yükü tapaq:

$$q_1 = \int_0^T idt = \int_0^{T/2} i_0\sin\omega t dt + \int_{T/2}^T idt = \frac{i_0}{\omega}\cdot 2 + 0 = \frac{2i_0}{\omega} \tag{4}$$

İkinci yarımperiodda i=0 olduğu üçün ikinci inteqral sıfra bərabərdir.

Akkumulyatorun dolması üçün tələb olunan periodların sayını (n) tapaq:

$$n = \frac{q}{q_1} = \frac{q\omega}{2i_0} \qquad (5)$$

Akkumulyatorun dolmasına sərf olunan zaman:

$$t = nT = \frac{q\omega T}{2i_0} = \frac{q2\pi}{2i_0} = \frac{q\pi}{i_0} \qquad (6)$$

Buradan i_0 düzlənən cərəyanın sıfırdan fərqli olan yarımperiodlarda amplitud qiymətidir. Onu tapaq. İstilik ampermetrinin göstərişi dövrədə ayrılan istilik miqdarından asılıdır. Coul - Lens qanununa görə:

$$Q = Ri^2 = Ri_0^2 \sin^2 \omega t \qquad (7)$$

Bir period ərzində ayrılan orta istilik miqdarını hesablayaq:

$$Q = \frac{1}{T}\left[\int_0^{T/2} Ri_0^2 \sin^2 \omega t dt + \int_{T/2}^{T} Rdt\right] = \frac{Ri_0^2}{T}\int_0^T \sin^2 \omega t dt + 0 =$$

$$= \frac{Ri_0^2}{T} \cdot \int_0^{T/2} - \frac{1-\cos 2\omega t}{2} dt = \frac{Ri_0^2}{T} \cdot \frac{T}{4} + 0 = \frac{Ri_0^2}{4} \qquad (8)$$

Buradan aydındır ki, cərəyan şiddətinin effektiv qiyməti (yəni ampermetrin göstərişi) belədir:

$i_{ef}^2 = \frac{i_0^2}{4}$ yaxud $i_{ef} = \frac{i_0}{2}$. Buradan $i_0 = 2i_{ef}$.

Bunu (6) –da yerinə yazaq:

$$t = \frac{q\pi}{i_0} = \frac{q\pi}{2i_{ef}} = \frac{20 \cdot 3{,}14}{2 \cdot 1{,}5} saat = 21 saat$$

179. Dövrədə yalnız dəyişən cərəyan olduqda sabit cərəyan ampermetri sıfır göstərəcək, çünki onun hərəkət edən hissələri ani cərəyanın dəyişməsi ilə «ayaqlaşa» bilməz. Bu zaman istilik ampermetri dəyişən cərəyanın effektiv qiymətini, yəni:

$i_2 = \frac{i_0}{\sqrt{2}}$ göstərəcək. Dövrədə hər iki cərəyan oxdıqda sabit cərəyan ampermetri cərəyanın orta qiymətini göstərəcək. Dəyişən cərəyanın bir dövrdə orta qiyməti sıfırdır. Ona görə də ümumi cərəyanın orta qiyməti elə sabit cərəyana bərabərdir. Bu isə i_1 -dir. Sabit cərəyan ampermetri i_1=6A göstərəcək.

İstilik ampermetrində istilik effekti yaradan cərəyan $i=i_1+i_2$-dir. Onda dövrə hissəsində vahid zamanda ayrılan istiliyi belə ifadə edərik:

$$Q=i^2R=R(i_1+i_2)^2=R\left(i_1^2+i_{20}^2\cdot\sin^2\omega t+2i_1i_{20}\sin\omega t\right)$$

Burada dəyişən cərəyan da iştirak etdiyindən bir dövrdə ayrılan istilik miqdarını hesablamaq üçün sağ tərəfin zamana görə orta qiymətini hesablamalıyıq. Bir period üzrə $\overline{\sin\omega t}=0$ $\overline{\sin^2\omega t}=\frac{1}{2}$-dir (kəmiyyətlərin üstündəki xətt onun orta qiymətini ifadə edir). Beləliklə:

$$Q=R\left(i_1^2+i_{20}^2\cdot\frac{1}{2}\right)=R\left(i_1^2+\frac{i_{20}^2}{2}\right)=R\left(i_1^2+i_{2ef}^2\right)$$

Bu istiliyi ümumi cərəyanın effektiv qiyməti ilə də ifadə edə bilərik:

$$Q=Ri_{ef}^2$$

Son iki ifadənin muqayisəsindən alarıq:

$$i_{ef}=\sqrt{i_1^2+i_{2ef}^2}=\sqrt{36+64}A=10A$$

Deməli: dəyişən cərəyan ampermetri 10 A göstərəcək.

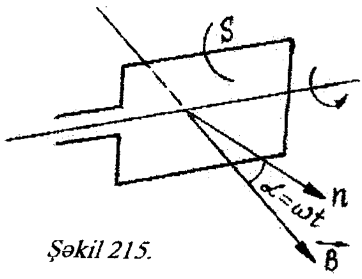
180. Başlanğıc anı elə seçək ki, çərçivənin normalı maqnit induksiya vektoruna perpendikulyar olsun ($\vec{B}$ vektoru çərçivə müstəvisinin üzərində olsun), onda maqnit induksiya selini belə ifadə edərik:

$$\Phi=BS\cos\omega t \qquad (1)$$

İnduksiya e.h.q.-ni və cərəyan şiddətini belə taparıq:

$$\varepsilon=-\frac{d\Phi}{dt}=BS\omega\sin\omega t \qquad (2)$$

$$i=\frac{\varepsilon}{R}=\frac{BS\omega}{R}\sin\omega t \qquad (3)$$



Şəkil 215.

Buradan aydındır ki,

$$\varepsilon_{\max}=BS\omega,\quad i_{\max}=\frac{BS\omega}{R} \qquad (4)$$

olacaq. e.h.q.-nin və i-nin effektiv qiymətlərini müəyyənləşdirmək üçün cərəyanın gücünü hesablayaq:

$$P = i\varepsilon = \frac{(BS\omega)^2}{R} \cdot \sin^2 \omega t \qquad (5)$$

P-nin bir dövr ərzində orta qiymətini tapmaq üçün $\sin^2\omega t$-nin orta qiymətini bilməliyik:

$$\overline{\sin^2 \omega t} = \frac{1}{T}\int_0^T \sin^2 \omega t dt = \frac{1}{T}\int_0^T \frac{(1-\cos 2\omega t)}{2} dt = \frac{1}{2}$$

(5)-dən:

$$\overline{P} = \frac{(SB\omega)^2}{2R} = \frac{SB\omega}{\sqrt{2}R} \cdot \frac{SB\omega}{\sqrt{2}} = i_{ef} \cdot \varepsilon_{ef} \qquad (6)$$

yəni

$$i_{ef} = \frac{SB\omega}{\sqrt{2}R} \quad \text{və} \quad \varepsilon_{ef} = \frac{SB\omega}{\sqrt{2}} \qquad (7)$$

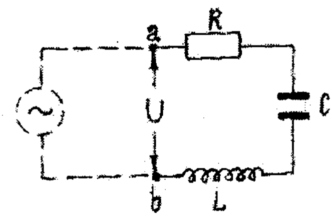
$$\varepsilon_{max} = SB\omega = 60{,}0 \cdot 10^{-4} \cdot 2{,}00 \cdot 10^{-2} \cdot 2\pi \cdot 20B = 1{,}51 \cdot 10^{-2} V$$

$$\varepsilon_{ef} = \frac{\varepsilon_{max}}{\sqrt{2}} = \frac{1{,}5 \cdot 10^{-2}}{\sqrt{2}} V = 1{,}07 \cdot 10^{-2} V$$

181. Dövrənin sxemi şəkil 216-da verilmişdir. Əvvəlcə gərginliyin amplitud qiymətini (U_0) hesablayaq:

$$U_0 = \sqrt{2}U_{ef} = 1{,}41 \cdot 127V = 179{,}1V$$

a) Cərəyan şiddətinin effektiv qiymətini (i_{ef}) tapmaq üçün əvvəl onun i_0 amplitud qiymətini hesablayaq:



Şəkil 216.

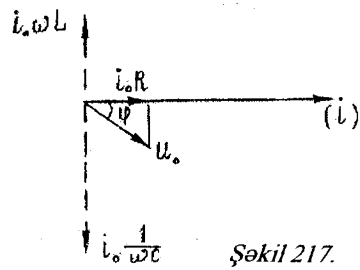
$$i_0 = \frac{U_0}{Z} = \frac{U_0}{\sqrt{R^2 + \left(\omega L - \frac{1}{\omega C}\right)^2}} =$$

$$= \frac{179{,}1A}{\sqrt{(800)^2 + \left(2\pi \cdot 50 \cdot 1{,}27 - \frac{1}{2\pi \cdot 50 \cdot 1{,}59 \cdot 10^{-6}}\right)^2}} = 0{,}1A$$

$$i_{ef} = \frac{i_0}{\sqrt{2}} = \frac{0{,}1}{\sqrt{2}} A = 0{,}071A$$

b) i ilə U arasındakı fazalar fərqini məlum vektor diaqramından (şəkil 217).

$\left(tg\varphi = \frac{\omega L - \frac{1}{\omega C}}{R}\right.$ ifadəsindən) tapaq



Şəkil 217.

$$tg\varphi = \frac{2\pi \cdot 50 \cdot 1{,}27 - \frac{1}{2\pi \cdot 50 \cdot 1{,}53 \cdot 10^{-6}}}{800} = -2$$

φ=–arctg2=–63^0 (cərəyan şiddəti fazaca gərginliyi qabaqlayır).

c) Aktiv müqavimətdə gərginlik düşgüsünün amplitud qiyməti:

$$U_{Ro} = i_0 R = 0{,}1 \cdot 800V = 80V,$$

effektiv qiyməti isə: $U_{Ref} = \frac{U_{Ro}}{\sqrt{2}} = 57V$ olar.

Tutumdakı gərginliyin amplitud qiyməti:

$$U_{Co} = i_0 \cdot R_C = i_0 \cdot \frac{1}{\omega C} = 0{,}1 \cdot \frac{1}{2\pi \cdot 50 \cdot 1{,}53 \cdot 10^{-6}} V = 200V,$$

effektiv qiyməti isə $U_{Cef} = \frac{U_{Co}}{\sqrt{2}} = \frac{200V}{\sqrt{2}} = 142V$ olar.

İnduktivlikdəki gərginliyin amplitud qiyməti

$$U_{LO} = i_0 \cdot R_L = i_0 \cdot \omega L = 0{,}1 \cdot 2\pi \cdot 50 \cdot 1{,}72V = 39{,}8V,$$

effektiv qiyməti

$$U_{Lef} = \frac{U_{LO}}{\sqrt{2}} = \frac{39{,}8}{\sqrt{2}} = 28V \text{ -dur.}$$

ç) Dövrədə ayrılan güc belə olar:

$$N = i_{ef} \cdot U_{Ref} \cdot \cos\varphi = 0{,}071 \cdot 57 \cdot 0{,}454Vt = 4{,}0Vt$$

182. Hesablamanı həlqənin müstəvisi maqnit induksiya vektoruna perpendikulyar olan andan başlasaq, həlqə konturundan keçən maqnit selinin zamandan asılılığını belə ifadə edərik:

$\Phi = BS\cos\omega t$, $S = \frac{\pi d_1^2}{4}$ -həlqənin sahəsi, $\omega = 2\pi n$ -fırlanma bucaq surətidir. Həlqədə induksiyalanan e.h.q-ni tapaq :

$$\varepsilon = -\frac{d\Phi}{dt} = BS\,\omega\,\sin\omega t$$

Həlqənin tam müqaviməti (Z) belə olar:

$$Z = \sqrt{R^2 + \omega^2 L^2}$$

R – həlqənin aktiv müqavimətidir. Misin xüsusi müqavimətinin $\rho = 1{,}7 \cdot 10^{-8}\,\frac{Om}{m}$ olduğunu nəzərə alıb, R-i tapaq :

$$R = \rho\frac{\ell}{S_2} = \rho\frac{\pi d_1}{\pi d_2^2/4} = \rho\frac{4d_1}{d_2^2}$$

$$R = \frac{4\rho d_1}{d_2^2} = \frac{4 \cdot 1{,}7 \cdot 10^{-8} \cdot 10 \cdot 10^{-2}}{1 \cdot 10^{-6}}\,Om = 6{,}8 \cdot 10^{-3}\,Om$$

Om qanununa görə cərəyan şiddətini tapaq :

$$i = \frac{\varepsilon}{Z} = \frac{BS\omega}{\sqrt{R^2 + \omega^2 L^2}}\sin\omega t = i_0 \sin\omega t$$

Burada i_0 – cərəyanın amplitud qiymətidir:

$$i_0 = \frac{BS\omega}{\sqrt{R^2 + \omega^2 L^2}} = \frac{2\pi nBS}{\sqrt{R^2 + 4\pi^2 n^2 L^2}}$$

Cərəyan şiddətinin effektif qiymətini tapaq:

$$i_{ef} = \frac{i_0}{\sqrt{2}} = \frac{2\pi nB\frac{\pi d^2}{r}}{\sqrt{2}\sqrt{R^2 + 4\pi^2 n^2 L^2}}$$

$$\omega L = 2\pi nL = 2 \cdot 3{,}14 \cdot 10 \cdot 3{,}5 \cdot 10^{-7}\,Om = 2{,}2 \cdot 10^{-5}\,Om$$

$\omega L << R$ olduğu üçün:

$$i_{ef} = \frac{\pi^2 nBd_1^2}{2\sqrt{2}R} = \frac{9{,}86 \cdot 10 \cdot 1 \cdot 10^{-3} \cdot 100 \cdot 10^{-4}}{2 \cdot 1{,}41 \cdot 6{,}8 \cdot 10^{-3}}\,A = 0{,}051A$$

b) Əgər $R \approx 0$ olarsa, onda

$$i_{ef}=\frac{\pi_2\, nBd_1^2}{\sqrt{8\left(0+4\pi^2n^2L^2\right)}}=\frac{\pi_2\, nBd_1^2}{4\sqrt{2}\pi nL}=\frac{\pi Bd_1^2}{4\sqrt{2}L}$$

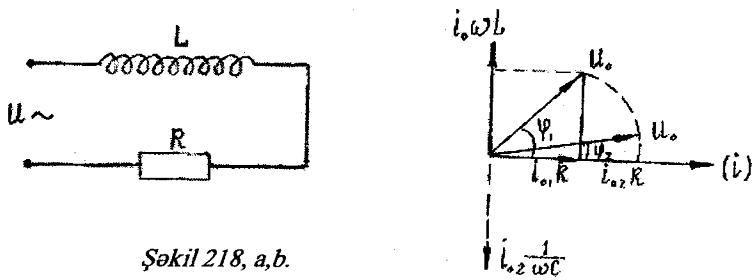
Bu halda cərəyan şiddəti fırlanma tezliyindən asılı deyil.

$$i_{ef}=\frac{3{,}14\cdot 1\cdot 10^{-3}\cdot 100\cdot 10^{-4}}{4\cdot 1{,}41\cdot 3{,}5\cdot 10^{-7}}A=16A$$

183. a) Bir saniyədə ayrılan istilik dövrədə ayrılan gücə bərabərdir:

$$P=Q=i_{ef}\cdot U_{ef}\cdot\cos\varphi$$

Dövrənin sxemi və onun vektor diaqramı şəkil 218 (a və b) -də göstərilmişdir.



Şəkil 218, a,b.

$$cos\varphi_1=\frac{i_{01}R}{U_0}=\frac{i_{01ef}R}{U_{ef}};$$

$$i_{01}=\frac{U_0}{Z_1}=\frac{U_0}{\sqrt{R^2+\omega^2L^2}}$$

Son ifadədən : $$i_{ef}=\frac{U_{ef}}{\sqrt{R_2+\omega^2L^2}}$$

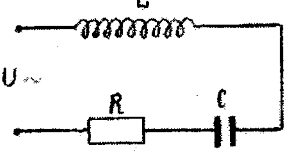
Bunları nəzərə alsaq, birinci hal üçün dövrədə ayrılan istiliyi belə ifadə edərik:

$$Q_1=\frac{U_{ef}\cdot i_{ef}^2\cdot R}{U_{ef}}=i_{ef}^2R=\frac{U_{ef}^2\cdot R}{R^2+\omega^2L^2}$$

$$Q_1=\frac{220^2\cdot 10}{10^2+4\pi^2\cdot 50^2\cdot 3{,}18^2\cdot 10^{-4}}Vt=2{,}42\cdot 10^3\,Vt$$

b) İkinci hal üçün dövrənin sxemi şəkil 219-da, vektor diaqrammıisə şəkil 218 b-də verilmişdir. Bu hal üçün dövrənin ümumi müqaviməti :

$$Z = \sqrt{R^2 + \left(\omega L - \frac{1}{\omega C}\right)^2}$$



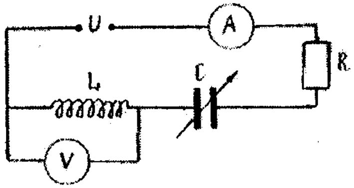
Şəkil 219.

Eyni əməliyyatları təkrar etsək, alarıq:

$$Q_2 = \frac{U_{ef}^2 R}{R^2 + \left(\omega L - \frac{1}{\omega C}\right)^2} = \frac{220^2 \cdot 10}{100 + \left(2\pi \cdot 3{,}18 \cdot 10^{-2} - \frac{1}{2\pi \cdot 3{,}18 \cdot 10^{-4}}\right)} Vt = 4{,}84 \cdot 10^3 Vt$$

İkinci halda dövrədə istilik iki dəfə çox ayrılır.

184. İnduktivlikdəki potensial düşgüsü (şəkil 220) gərginliklərin rezonansı şəraitində mümkündür.



Şəkil 220.

Bu isə $\omega L - \frac{1}{\omega C} = 0$ olduqda baş verir.

Belə olduqda Z=R və $i_0 = \frac{U_0}{R}$,

yəni $i_{ef} = \frac{U_{ef}}{R}$ olar. Onda induktivlikdəki potensial düşgüsü :

$$U_L = R_L \cdot i_{ef} = \omega L \cdot \frac{U_{ef}}{R} = 2\pi \cdot 50 \cdot 0{,}318 \frac{220}{22} V \cong 1000V$$

Voltmetr məhz bu qiyməti göstərəcək. Ampermetrin göstərişi isə:

$$i_{ef} = \frac{U_{ef}}{R} = \frac{220}{22} A = 10A$$

olacaq. Qeyd edək ki, $C = \frac{1}{\omega^2 L}$ olduğu üçün kondensatordakı reaktiv müqavimət induktivlikdəki reaktiv müqavimətə bərabərdir:

$$R_\omega = \frac{1}{\omega C} = \frac{1}{\omega \cdot \frac{1}{\omega^2 L}} = \omega L = R_L$$

Ona görə tutumdakı potensial düşgüsü də 1000V-a bərabərdir.

185. Radioqəbuledicinin siqnalı aydın şəkildə tutması üçün konturda rezonans şəraiti yaradılmalıdır. Bu isə siqnalın tezliyi konturun məxsusi tezliyinə bərabər olduqda yaranır. Konturun məxsusi tezliyini tutumun ən kicik və ən böyük qiymətlərində hesablayaq:

$$\omega_{01}=\sqrt{\frac{1}{CL}}=\sqrt{\frac{1}{9{,}7\cdot 10^{-12}\cdot 1\cdot 10^{-3}}}=1{,}015\cdot 10^{7}\,Hs$$

$$\omega_{02}=\sqrt{\frac{1}{CL}}=\sqrt{\frac{1}{92\cdot 10^{-12}\cdot 1\cdot 10^{-3}}}=3{,}297\cdot 10^{6}\,Hs$$

Bu tezliklərə uyğun gələn elektromaqnit dalğalarının uzunluqlarını tapaq:

$$\lambda_1=\frac{c}{\nu_1}=\frac{c\cdot 2\pi}{\omega_1}=\frac{3\cdot 10^{8}\cdot 2\cdot 3{,}14}{1{,}015\cdot 10^{7}}m=186m$$

$$\lambda_2=\frac{c\cdot 2\pi}{\omega_2}=\frac{3\cdot 10^{8}\cdot 3{,}15}{3{,}297\cdot 10^{6}}m=571m$$

Qəbuledici dalğa uzunluğu $(186\div 571)$ m intervalında olan siqnalları tuta bilər.

186. Konturun keyfiyyətliyi loqarifmik dekrement (δ) vasitəsi ilə belə ifadə olunur: $Q=\frac{\pi}{\delta}$. Loqarifmik dekrement sönmə əmsalı (β) ilə periodun (T) hasilinə bərabərdir.

$$\delta=\beta T,\quad \beta=\frac{R}{2L}$$

$$T=\frac{2\pi}{\omega}=\frac{2\pi}{\sqrt{\omega_0^2-\beta^2}}=\frac{2\pi}{\sqrt{\frac{1}{LC}-\frac{R^2}{4L^2}}}$$

$\omega_0=\sqrt{\frac{1}{LC}}$ – konturun məxsusi tezliyidir.

Bunları nəzərə alıb Q-nün düsturunu yazaq:

$$Q=\frac{L}{R}\omega=\frac{L}{R}\sqrt{\omega_0^2-\beta^2}=\sqrt{\frac{L}{R^2C}-\frac{1}{4}};$$

$$Q=\sqrt{\frac{100\cdot 10^{-6}}{1^2\cdot 4\cdot 10^{-6}}-\frac{1}{4}}=4{,}975$$

Verilmiş təqribi düstura görə

$$Q=\frac{1}{R}\sqrt{\frac{L}{C}}=\frac{1}{1}\cdot\sqrt{\frac{100\cdot 10^{-6}}{4\cdot 10^{-6}}}=5$$

Nisbi xətanı tapaq

$$\frac{\Delta Q}{Q}=\frac{5-4{,}975}{4{,}975}=0{,}005;\quad \frac{\Delta Q}{Q}=0{,}5\%$$

187. $\dfrac{\omega_0-\omega}{\omega_0}$ nisbətinin konturu xarakterizə edən parametrldərlə ifadəsi:

$$\frac{\omega_0-\omega}{\omega_0}=1-\frac{\omega}{\omega_0}=1-\frac{\sqrt{\omega_0^2-\beta^2}}{\omega_0}=1-\sqrt{1-\frac{\beta^2}{\omega_0^2}}=$$

$$=1-\sqrt{1-\frac{\frac{R^2}{4L^2}}{\frac{4}{LC}}}=1-\sqrt{1-\frac{R^2C}{4L}} \tag{1}$$

olar. $\dfrac{R^2C}{L}$-i keyfiyyətliyin ifadəsindən tapaq (bax: məsələ 186):

$$Q=\sqrt{\frac{L}{R^2C}-\frac{1}{4}};\quad \frac{R^2C}{L}=\frac{1}{Q^2+\frac{1}{4}} \tag{2}$$

(2)-ni (1)-də yerinə yazaq:

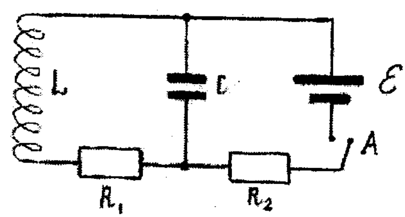
$$\frac{\omega_0-\omega}{\omega_0}=1-\sqrt{1-\frac{1}{4}\cdot\frac{1}{Q^2+\frac{1}{4}}}=1-\sqrt{1-\frac{1}{4Q^2+1}} \tag{3}$$

$\frac{1}{4Q^2+1} << 1$ olduğu üçün $(1 \pm x)^n = 1 \pm nx$ təqribi düsturundan istifadə edə bilərik. Burada $x = \frac{1}{4Q^2+1}$, $n = \frac{1}{2}$-dir.

$$\frac{\omega_0 - \omega}{\omega_0} \cong 1 - \left(1 - \frac{1}{2} \cdot \frac{1}{4Q^2+1}\right) = \frac{1}{8Q^2+2} = \frac{1}{8 \cdot (10{,}0)^2 + 2} =$$

$$= \frac{1}{802} = 0{,}0012; \quad \frac{\omega_0 - \omega}{\omega_0} = 0{,}12\%$$

188. Açar açılan anda (şəkil 221) LC konturundakı ümumi enerji C kondensatorunun elektrik sahəsinin



Şəkil 221.

$$W_C = \frac{1}{2} C U_C^2$$

(U_c–kondensatorun köynəkləri arasındakı potensiallar fərqidir) enerjisi ilə sarğacın maqnit sahəsinin $W_H = \frac{1}{2} L i_0^2$ (i_0 – başlanğıc anda (qərarlaşmış halda) konturdan axan cərəyan şiddətinin qiymətidir) enerjisinin cəminə bərabərdir:

$$W = W_C + W_H = \frac{1}{2} C U_C^2 + \frac{1}{2} L i_0^2 \qquad (1)$$

i_0-ı $\varepsilon R_2 R_1 L \varepsilon$ qapalı konturuna Kirxhofun ikinci qaydasını tətbiq etməklə tapa bilərik:

$$i_0 (R_1 + R_2) = \varepsilon; \quad i_0 = \frac{\varepsilon}{R_1 + R_2} \qquad (2)$$

Eyni qayda ilə $\varepsilon C R_2 \varepsilon$ konturundan

$$U_C = \varepsilon - i_0 R_2 = \varepsilon - \frac{\varepsilon}{R_1 + R_2} \cdot R_2 = \frac{R_1}{R_1 + R_2} \cdot \varepsilon \qquad (3)$$

(2) və (3)-ü (1)-də yerinə yazsaq, alarıq:

$$W=\frac{1}{2}C\cdot\left(\frac{R_1}{R_1+R_2}\right)^2\varepsilon^2+\frac{1}{2}L\left(\frac{\varepsilon}{R_1+R_2}\right)^2=$$

$$=\frac{1}{2}\left(\frac{\varepsilon}{R_1+R_2}\right)^2\cdot\left(CR_1^2+L\right)=\frac{1}{2}\left(\frac{1{,}4}{1+50}\right)^2\left(1\cdot10^{-5}\cdot1+0{,}1\right)=3{,}80\cdot10^{-5}(C)$$

Tahirov Vladimir İsmayıl oğlu
fizika-riyaziyyat elmləri doktoru, professor,
Azərbaycan Milli Elmlər Akademiyasının müxbir-üzvü

Tahirov Elxan Vladimir oğlu
fizika-riyaziyyat elmləri namizədi, baş elmi işçi

Qəhrəmanov Nadir Fərrux oğlu
fizika-riyaziyyat elmləri doktoru, professor

«Ümumi fizika kursu» üzrə məsələlər (həlli ilə).
«Elektrik və maqnit hadisələri»

MÜNDƏRİCAT

Yığılmağa verilmişdir: 10.05.2005-ci il
Çapa imzalanmışdır: 18.05.2005- ci il.
Kağız formatı: 60x84 1/16. Tiraj 500. şərti ç/v 8,675 Sifariş 10

Sumqayıt Dövlət Universitetinin mətbəəsində çap olunmuşdur.
Ünvan: 5008, Sumqayıt ş. 43-cü məhəllə.