

A. Çaryýew Ç. Seýitnepesow



RADIOTOLKUNLARYŇ ÝAÝRAÝYŞY WE ANTENNA-FIDER GURLUŞLARY

A. Caryvew, Ç. Seyitnepesow

**RADIOTOLKUNLARYŇ ÝAÝRAÝYŞY WE
ANTENNA-FIDER GURLUŞLARY**

Türkmen döwlet ulag we aragatnaşyk institutynyň
talyplary üçin okuw kitaby

Türkmenitanyň Bilim Ministrligi tarapyndan makullandy

AŞGABAT –2010ý.

SÖZBAŞY

Häzirki wagtda Türkmenistanyň telekommunikasiýa torlarynda dünýä standartlaryna gabat gelýän ýokary tilsimatly telekommunikasiýa enjamlary giňden ornaşdyryldy. Garaşsyzlyk ýyllarynda Türkmenistanda in ýokary telekommunikasiýa tilsimatlary boýunça guralan radiotelefon, radiogiriş öýjükli aragatnaşyk ulgamlary, optiki-süýümlü, sanly radioreleli we kosmiki aragatnaşyk ulgamlary we öýjükli aragatnaşyk ulgamlary hereket edýärler. Telekommunikasiýa ulgamlaryny we torlaryny döwrebaplaşdyrylmagy üçin diňe dünýä derejesine laýyk gelýän häzirki zaman sanly kommutasiýa tehnikasy, ýokary tizlikli sanly we optiki-süýümlü iberiji ulgamlary we sanly ulgamlaryň beýleki enjamlary ulanylýar. Daşary ýurtlardan Türkmenistana getirilýan telekommunikasiýa enjamlary Halkara elektrik aragatnaşyk soýuzynyň işläp düzen ISO-9001 görnüsli halkara standartyna doly gabat gelýär.

Garaşsyzlyk ýyllarynyň dowamynda Türkmenistanda Aşgabat-Tejen-Mary-Türkmenabat, Türkmenabat-Atamyrat, Aşgabat-Serdar-Bereket-Balkanabat-Türkmenbaşy magistral radioreleli aragatnaşyk ulgamlary we beýleki sebitara sanly radiorele aragatnaşyk ulgamlary işe girizildi.

Şu okuw kitaby radioaragatnaşyk ulgamlarynyň antenalarynyň iş prinsipleri, görnüşleri, tehniki parametrleri we häsiýetnamalary we radiotolkunlaryň ýaýraýşy barasynda nazary we amaly maglumatlary saklaýar.

Okuw kitaby telekommunikasiýa ugurlary boýunça hünärmanleri taýarlaýan ýokary we ýörite orta okuw

mekdepleriniň mugallymlary we talyplary üçin niýetlenendir. Okuw kitaby aragatnaşyk ulagamlarynyň taslamalary işlenip düzülende we telekommunikasiýa ugurlary boýunça diplom taslamalary ýerine ýetirlende ulanylmaga maslahat berilip bilner.

1. GIRIŞ. TÄZE GALKYNYŞ WE BEÝIK ÖZGERTMELER ZAMANASYNDA TÜRKMENISTANDA RADIOARAGATNAŞYGYŇ ÖSÜŞI

Täze Galkynyş we Beýik özgertmeler zamanasynda Türkmenistanyň şäherara-halkara telekomunikasiya liniýalarynyň umumy uzaklygy 7331,23 km ýetirildi. Olardan 3853,34 km kabelli 3477,89 km mis we 665,8 km optiki-süýmli görnüşli aragatnaşyk liniýalarydyr. Häzirki wagtda Türkmenistanyň telekomunikasiýa ulgamyndaky telefon beketleriniň umumy oturdylan sygymy 2 700 000 belgiden geçdi we şol sanda olaryň 2 300 000 köpräk belgisi öýjükli aragatnaşyk ulgamlaryna degişlidir.

Türkmenistanyň ykdysatyýetiniň 2000-nji ýyllardan başlap ösüş depginleriniň ýokarlanmagy bilen ýurdumyzyň aragatnaşyk pudagyna dünýäniň beýleki öňdebaryjy öýjükli aragatnaşyk korporasiýalaryna düýpli maýa goýumlaryny goýmaga ynamly şertler döredi. Türkmenistanda öýjükli aragatnaşygyň döwlet standarty görnüşinde dünýäde gin ýaýran GSM-900 görnüşli Ýewropa standarty kabul edildi. Türkmenistanyň Aragatnaşyk Ministrligi bilen Germaniýanyň “Siemens AG” kompaniýasynyň arasynda baglanyşylan şertnamanyň durmuşa geçirilmegi bilen 2005-nji yylda Türkmenistanyň Aragatnaşyk Ministirliginiň “Altyn-Asyr” kärhanasynyň esasynda 50000 belgili milli öýjükli aragatnaşyk tory ulanylmaga tabşyryldy.

“Altyn-Asyr” öýjükli aragatnaşyk kärhanasy abonentlere şeýle ykjam aragatnaşyk hyzmatlaryny görkezip başlady.

1. Ilatyň, karhanalarynyň, edaralaryň, guramalaryň, döwlet dolandyryş guramalaryň, hususy eýeçilikdäki kärhanalaryň we beýlekileriň peýjing we öýjükli aragatnaşyk hyzmatlaryna bolan isleglerini kanagatlandyrmak.

2. Milli öýjükli aragatnaşyk ulgamynyň abonentlerine adaty öýjükli telefon hyzmatlaryndan başga-da goşmaça aragatnaşyk hyzmatlaryny görkezmek, şol sanda gysga tekstleri ibermek we kabul etmek (SMS), ses habarnamalaryny ibermek we kabul etmek, çagyryşa garaşmak, konferens aragatnaşygy we şuna meňzeş aragatnaşyk hyzmatlary görkezmek.

2006-njy yylda Türkmenistanyň aragatnaşyk Ministriliginiň Hytaý halk Respublikasynyň “Huawei Technologies LTD” kompaniýasy bilen baglanyşan uly göwrümlü şertnamasynyň çäklerinde “Altyn Asyr” kärhanasynyň öýjükli aragatnaşyk hyzmatlary giňeldilip, onuň Aşgabat şäherinde, Ahal, Lebap, Mary, Balkan we Daşoguz welaýatlarynda abonentleriniň sany 105000 belgi ulaldyldy. şu taslamany amala aşyrmak üçin “Huawei Technologies LTD” kompaniýasy Aşgabat şäheri üçin GSM-1800 görnüşli, welaýatlar üçin bolsa GSM-900 görnüşli öýjükli aragatnaşyk torlarynyň enjamalryny getirdi. şu taslamanyň amala aşyrylmagy bilen Aşgabat şäheriniň abonentleri bilen bir hatarda welaýat we etrap merkezleriniň we beýleki ilatly ýerleriň abonentleri ýokary tilsimatly öýjükli aragatnaşyk hyzmatlaryndan peýdalanmaga mümkinçilik aldylar. 2005-nji ýylda Russiýa Federasiýasynyň “Mobilnyýe Telesistemy ” (MTS) açyk paydarlar jemgiýeti BCTI kompaniýasynyň paýnamalarynyň 100%-ni satyn aldy we “MTS” ady bilen öýjükli aragatnaşyk hyzmatlaryny edip başlady. MTS

kompaniýasynyň Türkmenistanyň öýjükli aragatnaşyk toryna uly maýa goyumlaryny goýmagynyň netijesinde şu kompaniýanyň abonentleriniň sany 2006-njy ýylyň ahyrynda 60000 abonent, 2007-nji ýylýn Ýun aýynda bolsa 250000 abonent eýtirildi.

Hormatly Prezidentimiziniň Türkmenistanda internet ulgamynyň hyzmatlarynyň elýeter etmek barasynda alyp barýan üznüksiz işleriniň netijesinde 2008-nji ýylyň Ýun aýynda MTS kompaniýasy we 2009-njy ýylda “Altyn asyr” öýjükli aragatnaşyk kärhanasy mobil abonentler üçin maglumatlaryň buçalaýyn geçiriş tehnologiýasy (GPRS) boýunça ykjam radiointernet hyzmatlaryny ýola goýdular.

Hormatly Prezidentimiziniň Türkmenistanyň aragatnaşyk pudagyny iň dünýä standartlarynyň derejesidäki tehnologiýaly enjamlaryň esasynda ösdürmek boýunça edýän üznüksiz tagallalaryň netijesinde Türkmenistanyň telekommunikasiýa torlarynda öýjükli aragatnaşygynyň 3G nesiliniň enjamlary ornaşdyrylyp başlandy.

Türkmen telewideniýesiniň milli teleradioprogrammalarynyň efire ýaýramagyny üpjün etmek üçin Türkmenistanyň çäklerinde 283 telegörkeziş we 50 radio iberiji guruldy. Türkmenistanyň aragatnaşyk ministrligi bilen “Ýewraziýa Trans Limited” kompaniýasynyň arasynda baglaşylan şertnama görä Türkmenistanyň milli tele we radioýaýlymynyň “Watan” habarlar gepleşiginiň we “Altyn asyr we Türkmenistan” ýaýlymlarynyň tehniki üpjünçilikleriniň häzirki zaman enjamlary bilen kämilleşdirilmegi amala aşyryldy.

Türkmenistanyň Prezidenti Hormatly Gurbanguly Berdimuhammedowyň yörüre Karary bilen, türkmen telewideniýasynyň täze 5-nji teleýaýlymynyň enjamlaşdyrylmagy üçin enjamlaryň satyn alynmagyna degişli bäsleşik yglan edildi. Bäsleşik geçilenden soň, „Rohde & Scharz“, „Prima Telekom“, „Ýewraziýa Trans Limited“, „NPP Triada-TW“ ýaly, belli firmalar bilen milli radioýaýlymynyň täze 4-nji radioýaýlymy üçin enjamlaryň satyn alynmagyna degişli şertnamalar baglaşyldy. Häzirki wagtda iň ýokary tilsimatly telekommunikasiýa enjamlary bilen abzallaşdyrylan milli radiogepleşikler ulgamynyň „Owaz“ atly 4-nji radioýaýlymy we milli telegepleşikler ulgamynyň „Türkmen Owazy“ atly 5-nji teleýaýlymy doly işe girizildi.

2008-nji ýylyň Fewral aýynyň 8-nde Türkmenistanyň Ministrler Kabinetiniň giňeldilen mejlisinde Türkmenistanyň Prezideniti Hormatly Gurbanguly Berdimuhamedow Watanymyzyň teleradiogepleşikler ulgamyny dünýä standartlarynyň derejesinde ösdürmäge gönükdürilen taryhy karara gol çekdi. Şu karara laýyklykda Garaşsyz Watanymyzyň paýtagty Aşgabat şäheriniň gündogar sebitinde beýikligi 91 metr bolan telewizion minara gurular.

Okuw kitaby telekommunikasiýa ugurlary boýunça hünärmanleri taýarlaýan ýokary we ýörite orta okuw mekdepleriniň mugallymlary we talyplary üçin niýetlenendir.

§2. Wakumda elektrtomagnit meýdanynyň esasy deňlemeleri.

Makswelliň deňlemeleri

2.1. Doly elektrik akymynyň kanuny

Hemişelik geçiriji elektrik akymlary üçin doly elektrik akymynyň kanuny magnit meýdanynyň induksiýasynyň islendik ýapyk konturyň boýy boýunça köwlenmesiniň (sirkulýasynyň) bu konturyň öz içinde saklaýan elektrik akymlarynyň algebraik jeminiň (“ I_i ”) magnit meýdanynyň hemişeligine (μ_0) köpeltmek hasylyna deňdigini görkezýär, ýagny

$$\oint_{L_s} \mathbf{B} d\mathbf{l} = \mu_0 \sum I_i. \quad (2.1)$$

3.2-nji çyzgy üçin (3.1) deňleme aşakdaky ýaly yazylar:

$$\oint_L \mathbf{B} d\mathbf{l} = \mu_0 (I_1 + I_2 - I_3). \quad (2.1a)$$

\mathbf{B} wektoryň L kontur boýunça köwlenmesi elektrik akymynyň ugry bilen sag nurbat ulgamyny emele getirýär.

$$\text{Belli bolşy ýaly } \oint_L \mathbf{B} d\mathbf{l}, \text{ onda}$$

$$\int_L \mathbf{B} d\mathbf{l} = \oint_s \mathbf{j} ds \quad (2.2)$$

bu ýerde \mathbf{j} - geçiriş elektrik akymynyň dykzlygy; S , bu - L kontur tarapyndan çäklendirilýän üst. (3.2) deňlemäniň çep tarapyna Stoksyň teoremasyny ulanallyň

$$\oint_L \mathbf{B} d\mathbf{l} = \oint_S \text{rot} \mathbf{B} d\mathbf{s} \quad (2.3)$$

şeýlelikde (3.2) we (3.3) deňlemelerden alarys

$$\oint_S (\text{rot} \mathbf{B} - \mu_0 \mathbf{j}) d\mathbf{s} = 0. \quad (2.4)$$

Soňky deňlemede $d\mathbf{s} \neq 0$, onda

$$\text{rot} \mathbf{B} = \mu_0 \mathbf{j}. \quad (2.5)$$

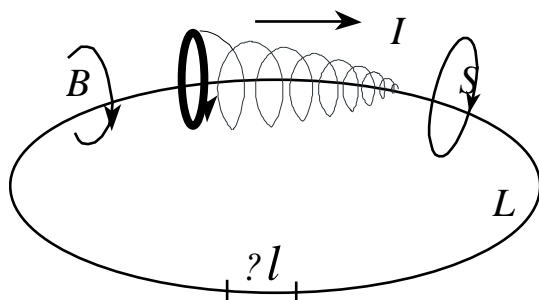
Öňki paragrafda belleýşimiz ýaly magnit meýdany diňe geçiriş elektrik akymlyry we hereket edýän zaryadlar tarapyndan döredilmän, eýsem ol süýşme elektrik akymlyry tarapyndan hem döredilýär. şonuň üçin hem (3.1) - (3.5) deňlemelerde I doly elektrik akymy bolup ol geçiriş we süýşme elektrik akymlyrynyň jemine deňdir. \mathbf{j} bolsa bu elektrik akymlyrynyň dykzlyklarynyň jemidir. Onda (3.2) we (3.5) deňlemeler aşakdaky görnüşe eýe bolarlar:

$$\oint_L \mathbf{B} d\mathbf{l} = \mu_0 [\mathbf{j} + \epsilon_0 (\partial \mathbf{E} / \partial t)] ds = 0, \quad (2.6)$$

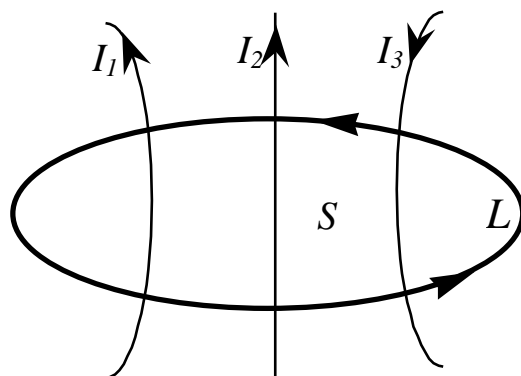
$$\operatorname{rot}\mathbf{B}=\mu_0\mathbf{j}+\mu_0\varepsilon_0(\partial\mathbf{E}/\partial t) .$$

(2.7)

Bu deňleme Makswelliň differensial deňlemeleriniň biridir we doly elektrik akymynyň kanunynyň umumylaşdyrylan görnüşidir.



2.1-nji Surat



2.2-nji Surat

2.2. Elektromagnit induksiýa kanunynyň differensial görnüşi

Ýapyk geçiriji bilen çäklenen üst arkaly magnit meýdanynyň induksiýasynyň akymy (Φ) üýtgeşe, bu geçirijide induksiýanyň elektrik hereketlendiriji güýjiniň

(EHG) (ε_{ind}) täsiri sebäpli elektrik akymy döreýär. Bu Faradeýiň elektromagnit induksiýa kanunydyr

$$\varepsilon_{ind} = -d\Phi/dt.$$

(2.8)

(3.8) deňlemedäki minus alamaty ýapyk geçiriji bilen çäklenen üst boýunça magnit meýdanynyň induksiýasynyň akymy san taýdan artanda, akym induksiýanyň elektrik hereketlendiriji güýji bilen çep nurbat ulgamyny, kemelende bolsa sag nurbat ulgamyny emele getirýändigini görkezýär.

Geçirijide elektrik akymynyň ýüze çykmagyna üýtgeýän elektrik meýdanynyň döremegi sebäp bolýar. Ýapyk geçirijidäki (konturdaky) induksiýanyň elektrik hereketlendiriji güýji san taýdan birlik položitel zarýady ýapyk geçiriji boýunça süýşürmek üçin elektrik meýdanynyň edýän işine deňdir

$$\varepsilon_{ind} = \oint_l \mathbf{E} d\mathbf{l} \quad (2.9)$$

Belli bolşy ýaly magnit meýdanynyň induksiýasynyň akymy aşakdaky deňlemeden kesgitlenýär:

$$\Phi = \oint_l \mathbf{B} d\mathbf{s} \quad (2.10)$$

Onuň ölçeg birligi weberdir (Wb). (2.8), (2.9) we (2.10) deňlemelerden

$$\oint_l E dl = -d/dt \oint_l B ds \quad (2.11)$$

Elektromagnit induksiýa hadysasy ýapyk geçirijiniň barlygy bilen bagly däl. Geçiriji ýok hem bolsa üýtgeýän magnit meýdanynyň induksiýasy üýtgeýän elektrik meýdanyny döredýär. Ýapyk geçiriji bolsa elektrik akymynyň emele gelmegini üpjün edýär.

(2.11) deňlemäniň çep tarapyna Stoksyň teoremasyny

ulanyp we integrirleme üstüň wagta bagly dældigini

hasaba alyp (3.11) deňlemeden alarys

$$\oint_S \text{rot } E ds = - \oint_S \partial B / \partial t ds \quad (2.12)$$

(2.12) deňlemede S islendik üst bolany üçin

$$\text{rot } E = - \partial B / \partial t. \quad (2.13)$$

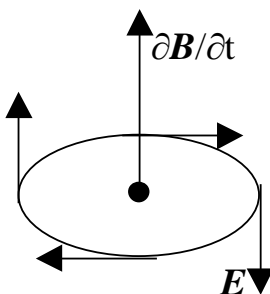
Soňky deňlemedäki minus alamaty magnit meýdanynyň induksiýasynyň üýtgame tizligi bilen ýapyk geçirijide ýüze çykýan induksiýanyň elektrik hereketlendiriji güýji çep nurbat ulgamyny emele getirýändigini görkezýär (2.3-nji çyzgy). (2.13) deňleme elektromagnit induksiýa

kanunynyň differensial görnüşidir we Makswelliň deňlemeleriniň biridir. (2.13) deňlemäniň çep we sag taraplaryndan diwergensiýa (*div*) alalyn

$$\operatorname{div} \operatorname{rot} \mathbf{E} = - \operatorname{div} (\partial \mathbf{B} / \partial t). \quad (3.14)$$

(2.14) deňlemede $\operatorname{div} \operatorname{rot} \mathbf{E} = 0$ we diwergensiýanyň wagta bagly däldiginden peýdalanyp alarys

$$- (\partial / \partial t) \operatorname{div} \mathbf{B} = 0 \quad \text{ýa-da} \quad \operatorname{div} \mathbf{B} = 0. \quad (3.15)$$



2.3-nji Surat

(2.15) deňleme Makswelliň deňlemeleriniň biri bolup ol magnit meýdanynyň güýç çyzyklarynyň başlanýan hem-de tamamlanýan nokatlarynyň ýokdugyny görkezýär. Bu bolsa tebigatda magnit zarýadlarynyň ýokdugyny aňladýar. Magnit meýdanynyň güýç çyzyklary hemişe ýapykdyr ýa-da tükeniksizlige gidýär.

2.3. Makswelliň deňlemeleri

2.3.1 Makswelliň deňlemeleriniň differensial görnüşi

Wakuumda Makswelliň differensial deňlemeleriniň toplumy aşakdaky deňlemelerden ybaratdyr:

$$\operatorname{rot}\mathbf{B}=\mu_0\mathbf{j}+\mu_0\varepsilon_0\partial\mathbf{E}/\partial t \quad (\text{I})$$

$$\operatorname{rot}\mathbf{E}=-\partial\mathbf{B}/\partial t \quad (\text{II})$$

$$\operatorname{div}\mathbf{B}=0 \quad (\text{III})$$

(2.16)

$$\operatorname{div}\mathbf{E}=\rho/\varepsilon_0 \quad (\text{IV})$$

Bu alty sany ululyk (E_x , E_y , E_z , B_x , B_y , B_z) üçin sekiz sany skalýar deňlemeleriň toplumydyr. ρ , j_x , j_y , j_z ululyklar berlen hasaplanýar. (II), (III) we (I), (IV) deňlemeleriň birmeňzeş differensial netijeleri bolup, olar biri-birleri bilen baglanyşandyr. (II) we (III) deňlemeleriň birmeňzeş differensial netijeleriniň barlygyny görkezmek üçin (II) deňlemäniň iki tarapyndan hem div alalyň we (III) deňlemäni wagta görä differensirläliň, ýagny $(\partial/\partial t)\operatorname{div}\mathbf{B}=0$ ((3.14) we (3.15) deňlemelere seret). (IV) deňlemäni hem (I) deňlemäniň differensial netijesi hökmünde seredip bolýar. Muny görkezmek üçin (I) deňlemäniň iki tarapyndan hem div alalyň:

$$\operatorname{divrot}\mathbf{B}=\mu_0\operatorname{div}\mathbf{j}+\mu_0\varepsilon_0(\partial/\partial t)\operatorname{div}\mathbf{E}.$$

Soňky deňlemede $\operatorname{divrot}\mathbf{B}=0$, onda

$$\operatorname{div} \mathbf{j} + \varepsilon_0 (\partial / \partial t) \operatorname{div} \mathbf{E} = 0. \quad (2.5)$$

(2.5) deňlemäni $\operatorname{div} \mathbf{j} + \partial \rho / \partial t = 0$ deňleme bilen deňeşdirip (2.16) deňlemeler toplumynyň (IV) deňlemesini alarys:

$$\operatorname{div} \mathbf{E} = \rho / \varepsilon_0.$$

(3.16) deňlemeler toplumynda başlangyç ($t=0$) pursatda \mathbf{E} we \mathbf{B} wektorlaryň bahalary V göwrümiň hemme nokatlarynda berlen bolmaly. Olar gyra şertler ($t=0$ - dan $t=t$ wagt aralygynda \mathbf{E} we \mathbf{B} wektorlaryň bahalary S üstde berlen bolmaly) hem-de zaryadlaryň algebraik jeminiň saklanmak kanuny bilen bilelikde \mathbf{E} we \mathbf{B} wektorlary doly kesgitlemäge mümkinçilik berýär.

2.3.2. Makswelliň deňlemeleriniň integral görnüşi

(2.16) deňlemeler toplumynyň (I) deňlemesini integral görnüşde ýazmak üçin bu deňlemä girýän ululyklaryň (\mathbf{B} , \mathbf{j} , \mathbf{E}) L kontur bilen çäklenen S üst arkaly akymalaryny hasaplamaly, ýagny

$$\oint_S \mathbf{B} \cdot d\mathbf{s} = \mu_0 \oint_S \mathbf{j} \cdot d\mathbf{s} + \mu_0 \varepsilon_0 (\partial / \partial t) \oint_S \mathbf{E} \cdot d\mathbf{s}. \quad (2.6)$$

(3.6) deňlemäniň çep tarapyna Stoksyň teoremasyny ulanyp alarys:

$$\oint_S \mathbf{B} \cdot d\mathbf{s} = \oint_L \mathbf{B} \cdot d\mathbf{l}, \text{ onda}$$

$$\oint_L \mathbf{B} \cdot d\mathbf{l} = \mu \oint_S I + \mu_0 \epsilon_0 \left(\frac{\partial}{\partial t} \oint_L \mathbf{E} \cdot d\mathbf{s} \right), \quad (2.7)$$

bu ýerde $I = \oint_S \mathbf{j} \cdot d\mathbf{s}$.

(2.16) deňlemeler toplumynyň (II) deňlemesi hem ýokardaky ýaly integral görnüşe özgerdilýär:

$$\oint_L \mathbf{E} \cdot d\mathbf{l} = - \frac{\partial}{\partial t} \oint_S \mathbf{B} \cdot d\mathbf{s}. \quad (2.8)$$

(3.16) deňlemeler toplumynyň (III) we (IV) deňlemeleriniň iki tarapyny hem S ýapyk üst bilen çäklenen V göwrüm boýunça integrirlemek we Ostrogradskiý-Gaussyň teoremasyny ulanmak ýoly bilen bu deňlemeleriň integral görnüşlerine geçilýär:

$$\int_V \operatorname{div} \mathbf{B} \, dV = \oint_S \mathbf{B} \cdot d\mathbf{s}, \quad (2.9)$$

$$\operatorname{div} \mathbf{E} dV = (1/\varepsilon_0) \int_V \rho dV \quad (2.10)$$

Ostrogradskiý-Gaussyň teoremasyny ulanyp, (2.10) deňlemiden alarys

$$\oint_S \mathbf{E} ds = q/\varepsilon_0,$$

bu ýerde $q = \int_V \rho dV$ - V göwrümdäki zarýad.

şeýlelikde Makswelliň deňlemeleriniň integral görnüşi:

$$\left\{ \begin{array}{l} \oint_L \mathbf{B} dl = \mu_0 I + \mu_0 \varepsilon_0 (\partial / \partial t) \oint_S \mathbf{E} ds; \end{array} \right. \quad (\text{V})$$

$$\left\{ \begin{array}{l} \oint_L \mathbf{B} dl = -\partial / \partial t \oint_S \mathbf{B} ds; \end{array} \right. \quad (\text{VI})$$

$$\left\{ \begin{array}{l} \oint_S \mathbf{E} ds = 0; \end{array} \right. \quad (\text{VII})$$

$$\left\{ \begin{array}{l} \oint_S \mathbf{E} ds = q / \varepsilon_0. \end{array} \right. \quad (\text{VIII})$$

(2.23)

Makswelliň deňlemeleri magnit meýdanynyň hereket edýän zarýadlar we wagta görä üýtgeýän elektrik meýdany tarapyndan döredilýändigini hem-de onuň köwlenme meýdanydygyny görkezýär. Belli bolşy ýaly *rot* -ry nola deň bolmadyk meýdana köwlenme meýdan diýliýär. Eger elektrik meýdany üýtgeýän magnit meýdany tarapyndan döredilýän bolsa, onda ol meýdan

köwlenme meýdandyr ($\text{rot}\mathbf{E}=-\partial\mathbf{B}/\partial t$), eger-de dynçlykdaky zarýadlar tarapyndan döredilen bolsa, onda ol köwlenme meýdany dälendir ($\text{rot}\mathbf{E}=0$).

şýlelikde elektrik we magnit meýdanlary üznüksiz

baglanyşykda bolup olar ýeke-täk elektromagnit

meýdanynyň dürli görnüşde ýüze çykasydyr. Bu

meýdan hemişe hereketde bolup ol energiýa eýedir.

2.4. Elektromagnit meýdany üçin energiýanyň saklanmak kanuny

Elektromagnit meýdanynyň energiýasynyň saklanmak kanunyny getirip çykarmak üçin S ýapyk üst bilen çäklenen V göwrümde hereket edýän elektromagnit meýdanyna seredeliň. Magnit meýdany tarapyndan zarýadlara täsir edýän güýç (Lorensiň güýji) zarýadlaryň tizligine perpendikulýar bolanlygy üçin magnit meýdany iş etmeýär. Güýjenmesi \mathbf{E} bolan elektrik meýdany bolsa q zarýady $d\mathbf{r}$ aralyga süýşürmek üçin $dA=\mathbf{F}d\mathbf{r}=q\mathbf{E}d\mathbf{r}$ iş edýär.

Onda kuwwat $(dA/dt)=P=q\mathbf{E}(d\mathbf{r}/dt)=q\mathbf{E}\mathbf{v}$ bolar. Bu ýerde \mathbf{v} - zarýadlaryň tizligi. Birlik göwrümdäki zarýadlaryň sany ρ/q , onda elektromagnit meýdanynyň kuwwatynyň dykzlygy

$$(dA/dt)\rho/q=P=q\mathbf{E}(d\mathbf{r}/dt)=q\mathbf{E}\mathbf{v}\rho/q=\mathbf{E}\mathbf{v}\rho=\mathbf{E}\mathbf{j}.$$

Seredilýän V göwrümdäki doly kuwwat

$$\oint_V \mathbf{E} j dV. \quad (2.24)$$

Bu deňleme elektromagnit meýdanynyň energiýasynyň seredilýän V göwrümdäki zarýadlaryň kinetik energiýasyna öwürülmesini häsiýetlendirýär. Soňky deňlemä (2.16) deňlemeler toplumynyň (I) deňlemesinden \mathbf{j} -niň bahasyny goýup alarys:

$$P = (1/\mu_0) \oint_V \mathbf{E} \text{rot} \mathbf{B} dV - \varepsilon_0 \mathbf{E} (\partial \mathbf{E} / \partial t) dV. \quad (2.25)$$

Wektor analizinden belli bolşy ýaly $\text{div}[\mathbf{E}\mathbf{B}] = \mathbf{B} \text{rot} \mathbf{E} - \mathbf{E} \text{rot} \mathbf{B}$. Bu deňlemeden

$$\mathbf{E} \text{rot} \mathbf{B} = \mathbf{B} \text{rot} \mathbf{E} - \text{div}[\mathbf{E}\mathbf{B}] \quad (2.26)$$

(2.16) deňlemeler toplumynyň (II) deňlemesinden $\text{rot} \mathbf{E} = -\partial \mathbf{B} / \partial t$ aňlatmany hasaba alyp (2.26) deňlemäni aşakdaky görnüşde ýazalyň

$$\mathbf{E} \text{rot} \mathbf{B} = -\mathbf{B} (\partial \mathbf{B} / \partial t) - \text{div}[\mathbf{E}\mathbf{B}]. \quad (2.11)$$

(2.25) we (2.11) deňlemelerden

$$P = (1/\mu_0) \oint_V \mathbf{B}(\partial \mathbf{B} / \partial t) dV - (1/\mu_0) \int_V \operatorname{div}[\mathbf{E} \mathbf{B}] dV - \varepsilon_0 \int_V \mathbf{E}(\partial \mathbf{E} / \partial t) dV = - (1/\mu_0) \oint_S [\mathbf{E} \mathbf{B}] dV - \int_V \{ (1/\mu_0) \mathbf{B}(\partial \mathbf{B} / \partial t) + \varepsilon_0 \mathbf{E}(\partial \mathbf{E} / \partial t) \} dV. \quad (2.28)$$

Belli gatnaşyklardan peýdalanalyň:

$$\mathbf{E}(\partial \mathbf{E} / \partial t) = (1/2)(\partial \mathbf{E}^2 / \partial t), \quad \mathbf{B}(\partial \mathbf{B} / \partial t) = (1/2)(\partial \mathbf{B}^2 / \partial t) \quad \text{we}$$

$$(1/\mu_0) \int_V \operatorname{div}[\mathbf{E} \mathbf{B}] dV = (1/\mu_0) \oint_S [\mathbf{E} \mathbf{B}] ds.$$

şeýlelikde (2.28) deňleme soňky gatnaşyklaryň esasynda aşakdaky görnüşe eýe bolýar:

$$P = -1/\mu_0 \oint_S [\mathbf{E} \mathbf{B}] ds - \partial / \partial t (1/2) \oint_S (\varepsilon_0 E^2 + (B^2/\mu_0)) dV = \int_V \Pi ds - \partial W / \partial t, \quad (2.29)$$

$\Pi = (1/\mu_0)[\mathbf{E} \mathbf{B}]$ - wektora Poýtingiň wektory diýilýär we ol giňişlikde elektromagnit energiýasynyň hereketini häsiýetlendirýär. $W = (1/2) \int_V (\varepsilon_0 E^2 + (1/\mu_0) B^2) dV$, bu V 1göwrümdäki elektromagnit meýdanynyň energiýasy. (3.29) deňlemäni aşakdaky görnüşde ýazalyň

$$\partial W / \partial t = -P - \Pi ds. \quad (2.30)$$

(2.30) deňlemeden görnüşi ýaly V göwrümdäki elektromagnit meýdanynyň energiýasy wagt birliginde bölünip çykyan Joulyň ýylylygy ($P = \mathbf{jE}$) we energiýanyň S üst arkaly akymy $\Pi = (1/\mu_0)[\mathbf{EB}]$ sebäpli üýtgeýär.

§ 3. Makswelliň deňlemeleri üçin araçäk şertler

3.1. Hemişelik elektromagnit meýdanynyň deňlemeleri

Hemişelik elektrik we magnit meýdanlary (stasionar meýdanlar) üçin Makswelliň differensial deňlemeleriniň toplumy aşakdaky görnüşde ýazylýarlar.

$$\begin{aligned} \operatorname{rot} \mathbf{B} &= \mu_0 \mathbf{j}; & (\text{I}) \\ \operatorname{rot} \mathbf{E} &= 0; & (\text{II}) \\ \operatorname{div} \mathbf{H} &= 0; & (\text{III}) \\ \operatorname{div} \mathbf{E} &= \rho / \epsilon_0. & (\text{IV}) \end{aligned} \quad (3.1)$$

(4.1) deňlemeler toplumyndan görnüşi ýaly hemişelik elektromagnit meýdany üçin elektrik we magnit meýdanlarynyň arasyndaky baglanyşyklar ýitýär we olara biri-birlerinden aýratynlykda seredip bolýar. (4.1) deňlemeler toplumynyň (I) deňlemesinden görnüşi ýaly magnit meýdanynyň ýeke-täk çeşmesi bolup, ol geçirij elektrik akymydyr. şeýle hem bu deňlemeler toplumynyň (IV) deňlemesinden görnüşi ýaly elektrik meýdanynyň çeşmesi bolup zaryadlar hyzmat edýärler. Belli bolşy ýaly

elementar bölejikleriň magnit momentleri hem magnit meýdanynyň çeşmesi bolup durýarlar. Biz muňa elektrodinamikanyň magnitostatika bölümünde serederis.

şunlukda (4.1) deňlemeler toplumynyň (II) we (IV) deňlemeleri $\mathbf{j}=0$ şert bilen birlikde wakuumda elektrostatikanyň esasy deňlemeleridir.

§ 4. Dielektriklerde elektromagnit tolkunlarynyň ýaýramagy

4.1. Tekiz monohromatik tolkunlar

Tolkunyň ýaýraýan ugruna perpendikulýar tekizligiň hemme nokatlarynda elektromagnit meýdanynyň güýjenmeleriniň wektorlary birmeňzeş bolan elektromagnit tolkuna tekiz elektromagnit tolkuny diýilýär.

Eger elektromagnit tolkunynyň elektrik meýdanynyň güýjenmesiniň wektory wagta görä kesgitli ýygylýkly garmonik kanun boýunça üýtgeýän bolsa, onda oňa monohromatik tolkun diýilýär. Eger tekiz elektromagnit tolkuny Z okunyň boýy boýunça ýaýraýan bolsa onda tolkunyň meýdanynyň güýjenmeleriniň wektorlary aşakdaky görnüşe eýe bolýarlar:

$$\mathbf{E}(z,t)=\mathbf{E}(z)e^{i\omega t}, \quad \mathbf{H}(z,t)=\mathbf{H}(z)e^{i\omega t} \quad (4.1)$$

4.2. Elektromagnit meýdanynyň güýjenmesi üçin deňleme

Zarýadlar ýok halatynda çaksiz birhilli sreda ($\varepsilon = \text{hemişelik}$, $\mu = \text{hemişelik}$) seredeliň. Onuň geçirijiligi $\gamma = 0$.
Makswelliň deňlemelerinden peýdalanalyň:

$$\text{rot}\mathbf{H} = \varepsilon \frac{\partial \mathbf{E}}{\partial t}, \quad (4.2)$$

$$\text{rot}\mathbf{E} = -\mu \frac{\partial \mathbf{H}}{\partial t}. \quad (4.3)$$

(4.2) deňlemäniň iki tarapyny hem wagta görä differensirläliň:

$$\frac{\partial}{\partial t} \text{rot}\mathbf{H} = \varepsilon \frac{\partial^2 \mathbf{E}}{\partial t^2} \quad \text{ya-da} \quad \text{rot} \frac{\partial^2 \mathbf{H}}{\partial t^2} = \varepsilon \frac{\partial^2 \mathbf{E}}{\partial t^2} \quad (4.4)$$

(4.3) we (4.4) deňlemelerden

$$-\frac{1}{\mu} \text{rot}\mathbf{E} = \varepsilon \frac{\partial^2 \mathbf{E}}{\partial t^2} \quad (4.5)$$

$$\operatorname{rot} \operatorname{rot} \mathbf{E} = -\varepsilon\mu \frac{\partial^2 \mathbf{F}}{\partial t^2} \Rightarrow [\Delta[\Delta \mathbf{E}]] = -\varepsilon\mu \frac{\partial^2 \mathbf{F}}{\partial t^2}$$

$$\Delta(\Delta \mathbf{E}) - \Delta^2 \mathbf{E} = -\varepsilon\mu \frac{\partial^2 \mathbf{F}}{\partial t^2}, \quad \operatorname{div} \mathbf{E} = (\Delta \mathbf{E}) = 0$$

sebäbi zarýadsyz birhilli sredada $\operatorname{div} \mathbf{E} = 0$ we

$$\Delta^2 \mathbf{E} - \varepsilon\mu \frac{\partial^2 \mathbf{F}}{\partial t^2} = 0$$

(4.6)

\mathbf{H} wektor üçin hem deňleme ýokardaky ýaly getirilip çykarylýär

$$\Delta^2 \mathbf{H} - \varepsilon\mu \frac{\partial^2 \mathbf{H}}{\partial t^2} = 0$$

(4.7)

şeylelikde \mathbf{E} we \mathbf{H} wektorlar şol bir tizlik bilen ýaýraýan tolkun deňlemäni kanagatlandyrýarlar:

$$v = \frac{1}{\sqrt{\varepsilon\mu}} = \frac{c}{\sqrt{\varepsilon_r\mu_r}} \quad (4.8)$$

4.3. Tekiz monohromatik tolkunlar görnüşde çözüw

Z okuny tolkunynyň ýaýraýan ugry bilen gabat getireliň. Bu ýagdaýda meýdanyň wektorlary

$$E(z,t) = E(z)e^{i\omega t} \text{ we } H(z,t) = H(z)e^{i\omega t}$$

Onda (9.6) deňlemeden

$$\frac{\partial^2}{dt^2}(E(t)e^{i\omega t}) - \varepsilon\mu \frac{\partial^2}{dt^2}(E(t)e^{i\omega t}) = 0$$

ýa-da

$$\frac{\partial^2 E(z)}{dt^2} e^{i\omega t} - \varepsilon\mu E(z)(i\omega)^2 e^{i\omega t} = 0$$

Bu deňlemeden

$$\frac{\partial^2 E(z)}{\partial t^2} + \varepsilon\mu\omega^2 E(z) = 0 \quad k^2 = \omega^2 \varepsilon\mu \quad \text{belläp}$$

alarys:

$$\frac{\partial^2 E(z)}{\partial t^2} + k^2 E(z) = 0$$

(4.9)

Bu deňlemäniň umumy çözüwi aşakdaky görnüşe eýedir

$$E(z) = a_1 e^{-ikz} + a_2 e^{ikz}$$

(4.10)

(4.10) we (4.1) deňlemelerden

$$E(z, t) = a_1 e^{i(\omega t - kz)} + a_2 e^{i(\omega t + kz)}$$

(4.11)

(4.11) deňlemäniň sag tarapyndaky birinji goşulyjy Z okunyň položitel ugrunda ýaýraýan tolkuný ýazyp beýan edýär. Sebäbi hemişelik fazaly nokat

$$\omega t - kz = \text{hemişelik} \quad (4.12)$$

Z -iň artýan tarapyňa hereket edýär, ýagny (4.12)-de Z wagtyň geçmegi bilen artýar. (4.12) deňlemäniň sag tarapyndaky ikinji goşulyjy bolsa Z okunyň otrisatel ugrunda ýaýraýan tolkunly ýazyp beýan edýär.

(4.7) deňlemäniň çözülişi hem ýokardaky ýalydyr. Şu sebäpli Z okunyň položitel ugry boýunça ýaýraýan E we H wektorlar üçin

$$\begin{cases} E(z,t) = E_0 e^{i(\omega t - k_\omega z)} = E_0 e^{-sz} e^{i(\omega t - kz)}; \\ H = H_0 e^{i(\omega t - k_\omega z)} = H_0 e^{-sz} e^{i(\omega t - kz)}. \end{cases} \quad (4.13)$$

E_0 , H_0 , E we H wektorlaryň amplituda bahalary. (9.13) deňlemeler tekiz tolkunlaryň birhilli dielektrikde üýtgemän, ýagny sönmän ýaýrandygyny görkezýär. (4.12) deňlemeden tolkunlaryň faza tizligi

$$\frac{dz}{dt} = \frac{\omega}{k} = \frac{1}{\sqrt{\varepsilon\mu}} = \frac{c}{\sqrt{\varepsilon'\mu'}} = v, \quad (4.14)$$

$$k = \omega \sqrt{\varepsilon\mu} = \frac{\omega}{v} = \frac{2\pi}{Tv} = \frac{2\pi}{\delta}. \quad (4.15)$$

k – tolkun wektory. Ol ugry boýunça tolkunynyň ýaýraýyş ugry bilen gabat gelýär, ýagny $kz = \mathbf{k}\mathbf{r}$. şeýlelikde (4.13) deňlemeden

$$\begin{cases} E(\mathbf{r},t) = E_0 e^{i(\omega t - \mathbf{k}\mathbf{r})} \\ H(\mathbf{r},t) = H_0 e^{i(\omega t - \mathbf{k}\mathbf{r})} \end{cases} \quad (4.16)$$

Birhilli dielektrikde göwrüm zaryadlarynyň ýoklugy üçin $\text{div}\mathbf{E} = 0$. şonuň üçin (4.16), $\text{div}\mathbf{A} = \nabla\mathbf{A}$ we $\text{rot}\mathbf{A} = [\nabla\mathbf{A}]$ hasaba alyp aşakdaky aňlatmalary alarys:

$$\text{div}\mathbf{E}(\mathbf{r}t) = -E_0 i k e^{i(\omega\tau - \kappa\rho)} = -ikE(\mathbf{r}t) = 0$$

$$\text{div}\mathbf{H}(\mathbf{r}t) = -ikH(\mathbf{r}t) = 0$$

$(\mathbf{k}\mathbf{E})=0$, $(\mathbf{k}\mathbf{H})=0$ deňlemeler \mathbf{H} we \mathbf{E} wektorlarynyň tolkunynyň ýaýraýan ugruna perpendikulýar tekizliklerde ýaýraýandygyny görkezýär.
(9.16) we (9.3) deňlemeden

$$-i[\mathbf{k}\mathbf{E}] = -i\omega\mu\mathbf{H} \quad (4.5)$$

Goý \mathbf{n} tolkunynyň ýaýraýan ugrundaky birlik wektor bolsun. Onda

$$\mathbf{k} = n\mathbf{k} = \omega n \sqrt{\varepsilon\mu} \quad (4.6)$$

(4.5) we (4.6) deňlemelerden

$$\sqrt{\varepsilon}[nE] = \sqrt{\mu}H \quad (4.7)$$

Bu deňleme E we H wektorlaryň biri-birine we n wektora perpendikulýardygyňy görkezýär, ýagny $E \perp H$, $E \perp n$, $H \perp n$. Soňky deňlemede deňligiň iki tarapyndan hem ululuklaryň modulyny alsak

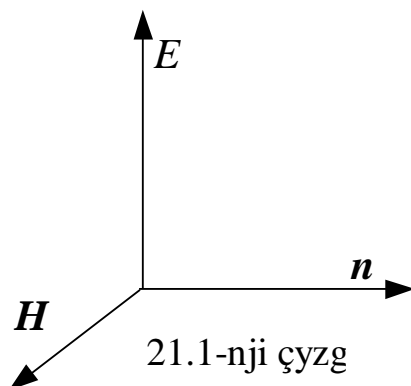
$$\sqrt{\varepsilon}|E| = \sqrt{\mu}H \quad (4.8)$$

Birhilli dielektrikdäki tekiz tolkunda E we H wektorlar şol bir fazada üýtgeýärler.

Elektromagnit tolkunynyň akymynyň dykyzlygy

$$|S| = [EH] = |E||H| = \frac{(\varepsilon E^2 + \mu H^2)}{2\sqrt{\varepsilon\mu}} = \omega v \quad (4.9)$$

şeylelikde, birhilli dielektrikde tekiz tolkun tarapyndan äkidilýän energiýanyň tizligi tolkunynyň faza tizligine deň. Tekiz tolkun birhilli dielektrikde ýaýranda onuň amplitudasy üýtgemeyär, ýagny energiýa ýitgisi bolmaýar (4.16).



4.1-nji Surat

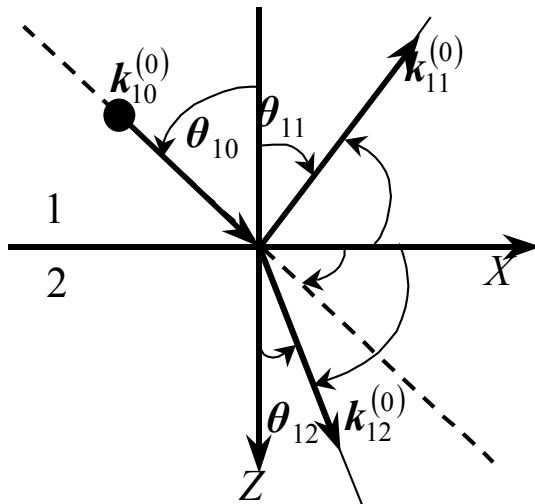
§ 5. Tekiz elektromagnit tolkunlarynyň iki dielektrigiň araçäginde döwürmegi we serpikmegi

5.1. Elektromagnit tolkunlarynyň wektorlary üçin araçäk şertler

Tekiz tolkunlaryň iki dielektrigiň araçäginde döwürmesi we serpikmesi baradaky mesele gyra şertleriň kömegi bilen çözülýär.

Goý iki sreda tekiz araçäk bilen bölünen we bu araçäge birinji sreda tarapdan elektromagnit tolkuny düşýän bolsun. Araçäkde tolkunyň bir bölegi birinji sreda serpiger, galan bölegi bolsa döwürüp ikinji sreda geçýär. şeýlelikde birinji sredada düşýän we serpigen tolkunlar bolup ikinji sredada döwürlen tolkun bardyr. Düşýän, serpigen we döwürlen tolkunlara degişli ululyklary

değişlilikde 10, 11, we 12 indeksler bilen belläliň. Onda elektrik meýdanynyň güýjenmesiniň düşýän, serpigen we döwülen tolkunlary üçin aşakdaky aňlatmalary ýazmak mümkin:



5.1-nji Surat

$$\left. \begin{aligned} E_{10}(\mathbf{r}, t) &= E_{10}^{(0)} e^{i(\omega_1 t - k_1 \mathbf{r})} \\ E_{11}(\mathbf{r}, t) &= E_{11}^{(0)} e^{i(\omega_1 t - k_1 \mathbf{r})} \\ E_{12}(\mathbf{r}, t) &= E_{12}^{(0)} e^{i(\omega_1 t - k_1 \mathbf{r})} \end{aligned} \right\} . \quad (5.1)$$

Magnit meýdanynyň güýjenmesi hem şunuň ýaly görnüşe eýedir. Elektrik meýdanynyň güýjenmesiniň tangensial düzüjileriniň üznüksizlik araçäk şertleri aşakdaky deňlemeden kesgitlenýär:

$$\mathbf{E}_{10t}^0 e^{i(\omega_1 0t - k_1 0r)} + \mathbf{E}_{11t}^0 e^{i(\omega_1 1t - kr)} = \mathbf{E}_{12t}^0 e^{i(\omega_1 2t - kr)} \quad (5.2)$$

5.2. Serpigende we döwülende ýygylgyň saklanmagy

(5.2) şerti ýönekeýlik üçin aşakdaky ýaly ýazalyň:

$$ae^{i(\omega_1 0t - k_1 0r)} + be^{i\omega_1 1t} = ce^{i\omega_1 2t} \quad (5.3)$$

bu ýerde a , b , we c wagta bagly däl. Soňky deňlemäniň iki tarapyny hem wagta göre differensirläp taparys

$$i\omega_1 a e^{i\omega_1 0t} + i\omega_1 b e^{i\omega_1 1t} = i\omega_1 c e^{i\omega_1 2t} \quad (5.4)$$

(5.3) deňlemeden $ce^{i\omega_1 2t}$ ululygyň bahasyny (10.4) deňlemede ornuna goýup aşakdaky deňlemäni alarys

$$ia(\omega_{10}-\omega_{12})e^{i\omega_{10}t}=ib(\omega_{12}-\omega_{11})e^{i\omega_{11}t} \quad (5.5)$$

Soňky deňleme t -niň hemme bahalary üçin ýerine ýetýändir. Bu aşakdaky

$$\omega_{10}=\omega_{11} \quad (5.5)$$

şert ýerine ýetende mümkindir. (5.4) $be^{i\omega_{11}t}$ aňlatmada ululygyň bahasyny (5.3) aňlatmadan ornuna goýup aşakdaky deňlemäni alarys:

$$\omega_{10}=\omega_{12} \quad (5.7)$$

şeylelikde tolkunynyň ýygylgy serpigende we döwlende üýtgemeyär:

$$\omega_{11}=\omega_{12}=\omega_{10} \quad (5.8)$$

(5.8) deňlemeden düşýän, serpigen we döwülen tolkunlaryň bir tekizlikde ýatýandygyny görkezeliň. (10.2) araçäk şertde r sredalary araçäklendiýän üstüň nokadynyň radius wektory. Eger koordinatalar başlangyjyny araçäk üstde saýlap alsak, onda r wektor bu sredalary araçäklendirýän tekizlikde ýatýar. Bu ýagdaýda (5.2) şerti aşakdaky görnüşde ýazmak mümkindir:

$$a'e^{-ik_{10}r}+b'e^{-ik_{12}r}=c^1e^{-ik_{12}r} \quad (5.9)$$

bu ýerde a' , b' , we c' \mathbf{r} wektora bagly däl. (10.9)
deňlemäniň iki tarapyna-da

$$\mathbf{r}\nabla = x\frac{\partial}{\partial x} + y\frac{\partial}{\partial y} + z\frac{\partial}{\partial z}$$

amaly ulanallyň. $\mathbf{r}\nabla e^{-ikr} = -ikre^{-ikr}$
bolýanlygyny hasaba alyp alarys

$$-ia'k_{10}e^{-ik_{10}r} - ib'k_{11}e^{-ik_{11}r} = -ic'k_{12}e^{-ik_{12}r} \quad (5.10a)$$

(5.10a) deňlemäniň sag tarapyndaky $c'e^{-ik_{12}r}$ ululygyň
ýerine (5.9) deňlemeden bahasyny goýup taparys

$$ia'(k_{10}r - k_{12}r)e^{-ik_{10}r} = ib'(k_{12}r - k_{11}r)e^{-ik_{11}r} \quad (5.10b)$$

Bu islendik araçäk tekizlikde ýatýan \mathbf{r} wektorlar üçin,
haçanda

$$k_{10}r = k_{11}r \quad (5.11)$$

şert ýerine ýetende dogrudyr. Eger (5.10a) deňlikde ululygyň deregine (5.9) deňlemeden bahasyny ornuna goýsak

$$k_{10}r = k_{12}r \quad . \quad (5.12)$$

şeylelikde,

$$k_{11}r = k_{12}r = k_{10}r \quad . \quad (5.13)$$

Bu ýerden k_{10} , k_{11} we k_{12} wektorlaryň bir tekizlikde ýatýandyklary gelip çykýar.

R wektory tolkun wektorlaryň haýsam bolsa birisine, mysal üçin k_{10} wektora perpendikulýar saýlap alalyň. Onda (10.13) şert aşakdaky görnüşe eýe bolar:

$$k_{10}r = 0 = k_{11}r = k_{12}r \quad . \quad (5.13')$$

Soňky deňleme k_{11} we k_{12} wektorlaryň r wektora perpendikulýardygyny we k_{10} wektoryň ýatýan tekizliginde ýatýandygyny aňladýar. şunlukda düşýän, serpigen we döwülen tolkunlaryň bir tekizlikde ýatýandyklary subut edildi.

5.3. Düşme, serpikme we dōwülme burçlarynyň

arasyndaky gatnaşyklar. Snelliusyň kanuny.

Koordinatalar başlangyjyny dieletrikleri araçäklendirýän üste, şöhläniň düşýän nokadynda saýlap alalyň. XZ tekizligini düşýän, serpigen we dōwülen şöhleleriň ýätýän tekizligi bilen gabat getireliň. Z oky araçäk üste perpendikulýar, x oky bolsa araçäk üstüň ugry boýunça ugrukdyrylandyr. Goý, $k_{10}^{(0)}$, $k_{11}^{(0)}$ we $k_{12}^{(0)}$ degişli şöhleleri häsiýetlendirýän birlik wektorlar. (10.13) şert başlangyjy araçäk tekizlikde bolan islendik koordinatalar ulgamy üçin dogrudyr. Koordinatalar başlangyjyny X okunyň otrisatel tarapynyň haýsam bolsa bir nokadynda saýlap alalyň. Bu ýagdaýda \mathbf{r} wektor ugry boýunça X okunyň položitel ugry bilen gabat gelýär, onda

$$\begin{aligned}k_{10}r &= k_{10}r \cos \alpha_{10}, & k_{11}r &= k_{11}r \cos \alpha_{11}, \\k_{12}r &= k_{12}r \cos \alpha_{12}.\end{aligned}$$

şu sebäpli (10.13) deňleme aşakdaky görnüşe eýe bolar

$$k_{10} \cos \alpha_{10} = k_{11} \cos \alpha_{11} = k_{12} \cos \alpha_{12}. \quad (5.14)$$

Düşýän, serpigen we dōwülen tolkunlaryň tizliklerini deňşililik diýip belläliň. Bu tizlikler k_{10} , k_{11} we k_{12}

tolkun sanlary bilen aşakdaky deňlikleriň üsti bilen baglanyşdyrýarlar:

$$k_{10} = \frac{\omega}{v_{10}}, \quad k_{11} = \frac{\omega}{v_{11}}, \quad k_{12} = \frac{\omega}{v_{12}},$$

(5.15)

bu tolkunlaryň ýygylýklary deňdir. Düşýän we serpigen tolkunlaryň bir sredada ýaýraýandyklary üçin

$$v_{10} = v_{11}, \quad k_{10} = k_{11}.$$

Onda (10.14) deňlemeden $\cos \alpha_{10} = \cos \alpha_{11}$, $\alpha_{10} = \alpha_{11}$ bu ýerden

$$\theta_{10} = \theta_{11}.$$

(5.16)

Bu düşme burçunyň serpikme burçyna deňdigini görkezýär. (10.14) deňlemeden (10.15) deňlemäni hasaba alyp alarys:

$$\left(\frac{1}{v_{10}}\right) \cos \alpha_{10} = \left(\frac{1}{v_{12}}\right) \cos \alpha_{12}$$

(5.5)

$$\cos \alpha_{10} = \sin \theta_{10} \quad \text{we} \quad \cos \alpha_{12} = \sin \theta_{12}$$

gatnaşyklary hasaba alyp (5.5) aňlatmany özgerdip bolýar:

$$\frac{\sin \theta_{11}}{\sin \theta_{12}} = \frac{v_{10}}{v_{10}} .$$

(5.6)

$$v_{10} = \frac{I}{\sqrt{\varepsilon_1 \mu_1}} \quad \text{we} \quad v_{12} = \frac{I}{\sqrt{\varepsilon_2 \mu_2}}$$

bolýandygyndan peýdalanyň soňky deňlemäni aşakdaky görnüşde ýazalyň

$$\frac{\sin \theta_{10}}{\sin \theta_{12}} = \sqrt{\frac{\varepsilon_2 \mu_2}{\varepsilon_1 \mu_1}} = n_{12}$$

(5.7)

Düşme burçunyň impulsynyň döwürme burçunyň impulsyna gatnaşygy ikinji sredanyň birinji sreda görä döwürme görekezişisine deňdir (Snelliusyň kanuny).

§ 6. Kirhgofyň integraly. Freneliň we Fraunhoferiň difraksiýasy

6.1. Kirhgofyň integraly

Elektromagnit tolkunlary ýaýranda olary belli derejede ýuwdýan we dargadýan päsgelçiliklere duçar bolýar. Ilkibaşdaky tolkunyň hereket ugrunda dargadylan tolkunlara **geçen tolkunlar**, ters ugurda dargadylan tolkunlara bolsa **serpigen tolkunlar** diýilýär. Dargadylan tolkunlary öwrenmek difraksiýa nazarýetiniň esasy meselesidir. Ol Griniň ikinji formulasyndan getirilip çykarylýar:

$$\int_V (\phi \nabla^2 \psi - \psi \nabla^2 \phi) dV = \oint_S \left(\phi \frac{\partial \psi}{\partial n} - \psi \frac{\partial \phi}{\partial n} \right) dS \quad (6.1)$$

Soňky deňleme tolkun deňlemäni kanagatlandyrýan funksiýa üçin aşakdaky gatnaşyga meňzeşdir:

$$\phi(\mathbf{r}) = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \int_V \frac{\rho(\mathbf{r}')}{R} dV + \frac{1}{4\pi} \oint_S \left[\frac{1}{R} \frac{\partial \phi}{\partial n'} - \phi \frac{\partial}{\partial n'} \left(\frac{1}{R} \right) \right] dS; \quad (6.2)$$

$\phi = \phi(\mathbf{r}, t)$ we ol $\nabla^2 \phi - \varepsilon \mu \frac{\partial^2 \phi}{\partial t^2} = -\frac{\rho}{\varepsilon}$ deňlemäni kanagatlandyryar. Ψ - funksiýa hökmünde aşakdaky şerti kanagatlandyryan Griniň $G(\mathbf{r}, t; \mathbf{r}', t')$ funksiýany alalyň:

$$\square G = -\delta(\mathbf{r} - \mathbf{r}')\delta(t - t'); \quad \square = \nabla^2 - \frac{1}{V^2} \frac{\partial^2}{\partial t^2} \quad (6.3)$$

bu ýerde \square - Dalmberiniň operatory. (6.1) deňlemäniň iki tarapyňy hem t' boýunça t_0 - dan t_1 -e çenli ($t_1 > t$) integrirläliň. Onda

$$\int_{t_0}^{t_1} \int_V \left[\phi - \delta(\mathbf{r} - \mathbf{r}')\delta(t - t') + \frac{1}{V^2} \frac{\partial^2 G}{\partial t'^2} \right] \left[-f + \frac{1}{V^2} \frac{\partial^2 \phi}{\partial t'^2} \right] dV' dt' = \int_{t_0}^{t_1} \int_V \left(\phi \frac{\partial G}{\partial t'} - G \frac{\partial \phi}{\partial t'} \right) dS dt'$$

(6.4)

Bu deňlemede deňligiň çep tarapyndaky Gf - den başga hemme goşulyjylary t' boýunça, birinji goşulyjylary bolsa dV' boýunça integrirläp bolýar. Integrirlemäni ýerine ýetirip alarys:

$$-\phi(\mathbf{r}, t) + \int_{t_0}^{t_2} \int_V G f dV' dt' + \frac{1}{V^2} \int_V \left(\phi \frac{\partial G}{\partial t'} - G \frac{\partial \phi}{\partial t'} \right)_{t_0}^{t_1} dV' = \int_{t_0}^{t_1} \int_V \left(\phi \frac{\partial G}{\partial t'} - G \frac{\partial \phi}{\partial t'} \right) ds' dt' \quad (6.5)$$

bu ýerde deňligiň sag tarapyndaky ikinji integral t' boýunça bölekleyin integrirlеме netijesinde alyndy. $T_I > t$ bolanda, $G=0$ bolýanlygyny hasaba alyp (11.5) deňlemäni aşakdaky görnüşde ýazmak mümkin

$$\phi(\mathbf{r}, t) = \iint_{t_0}^{t_1} G f dV' dt' + \frac{1}{v^2} \iint_V \left(G \frac{\partial \phi}{\partial t'} - \phi \frac{\partial G}{\partial t'} \right)_{t=0} dV' + \iint_{t_0}^{t_1} \iint_V \left(G \frac{\partial \phi}{\partial n'} - \phi \frac{\partial G}{\partial n'} \right) dS' dt' \quad (6.6)$$

Goý seredilýän göwrümiň içinde başlangyç pursatda

$$\frac{\partial \phi}{\partial t'} = 0,$$

çeşmeler ýok ($f=0$) we $\phi=0$, ýagny göwrümiň içindäki meýdan araçäkte emele gelýän tolgunmanyň hasabyna döreýär. Göwrümiň içindäki meýdan aşakdaky formuladan kesgitlenýär

$$\phi(\mathbf{r}, t) = \int_{t_0}^{t_1} dt' \int_S \left(G \frac{\partial \phi}{\partial n'} - \phi \frac{\partial G}{\partial n'} \right) dS' \quad (6.8)$$

$$G(\mathbf{r}, t; \mathbf{r}', t') = \frac{1}{4\pi} \frac{\delta(t - |\mathbf{r} - \mathbf{r}'|/v - t')}{|\mathbf{r} - \mathbf{r}'|} \quad \text{deňlemeden}$$

$$\frac{\partial}{\partial n'} = n \text{grad}'$$

aňlatmany (bu ýerde \mathbf{n} - S üste

perpendikulýar birlik wektor.) hasaba alyp taparys:

$$\text{grad}'G = \frac{\partial G}{\partial R} \text{grad}'R = -\frac{1}{4\pi} \frac{R}{R} \left[-\frac{\delta\left(\frac{t-R}{v-t'}\right)}{R^2} - \frac{\delta\left(\frac{t-R}{v-t'}\right)}{vR^2} \right]_{t'=t-\frac{R}{v}}$$

\mathbf{R} wektor \mathbf{r}' nokatdan \mathbf{r} nokada ugrukdyrylan. şu sebäpli (6.7) deňlemäni t' boýunça integrirläp Φ üçin taparys

bu ýerde $dS = \mathbf{n} dS'$. (11.9) integrala Kirhgofyň integraly diýilýär. Ol difraksiýa nazarýetiniň esasy deňlemesidir.

$$\frac{\partial \phi}{\partial n'}$$

Eger S uştda ϕ we $\frac{\partial \phi}{\partial n'}$ ululyklaryň bahalary belli bolsa, onda soňky deňleme seredilýän göwrümiň içindäki islendik nokat üçin $\Phi(\mathbf{r}, t)$ -ni kesgitlemäge mümkinçilik berýär.

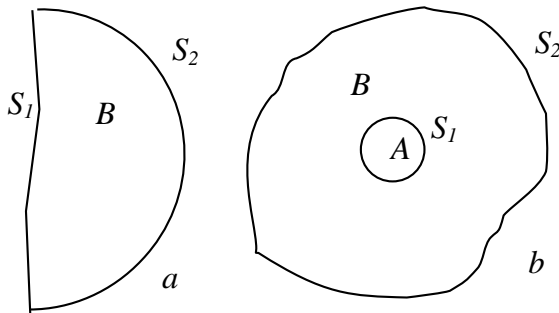
Eger meýdany häsiýetlendirýän hemme ululyklar wagta ýaly bagly bolsa, onda (6.9) deňlemeden

$$\phi(\mathbf{r}) = \frac{1}{4\pi} \int_S \frac{\exp(-kR)}{R} \left[\text{grad}' \phi - \frac{\mathbf{R}}{R^2} \phi - \frac{\mathbf{R}}{R} ik\phi \right] dS, \quad (6.10)$$

bu yerde $k = \frac{\omega}{v}$. Eger

$$\phi \sim \frac{\exp(-ikR)}{R}, \quad \frac{\partial \phi}{\partial R} \sim -\phi \left(ik + \frac{1}{R} \right). \quad (6.11)$$

bolsa, onda bu şərtlərə şəhlələnmənin şərtləri diýilýär.



6.1-nji Surat

(11.10) deňlemede S ýapyk üst seredilýän meseläniň aýratynlygyna bagly saýlanyp alynýar. Köplenç deşijekli ýa-da dargadyjy ekran bar halatdaky meseleler duş gelýär. Bu ýagdaýda S üsti iki bölekden ybarat diýip kabul etmek mümkin (11.1-nji çyzgy). Çeşmäniň bolýan ýeri A gözegçilik edilýän B ýerden S_I üst bilen gurşalan. Eger S_2 üst tükeniksizlige süýşürilse, onda (11.11) şert ýerine ýetende S_2 üst boýunça (11.10) integral nola deňdir. şu sebäpli bar integral S_I üst boýunça integrirlemä syrykdyrylýar, soňky integral bolsa deşijekler boýunça integrirlemeden ybaratdyr. şunlukda (11.10) B ýaýla üçin aşakdaky görnüşe eýe bolýar:

$$\phi(\mathbf{r}) = \frac{1}{4\pi} \int_{S_I} \frac{\exp(-ikR)}{R} \left[\frac{R}{R} \phi \left(ik + \frac{1}{R} \right) - \text{grad}' \phi \right] dS, \quad (6.12)$$

bu ýerde integralyň aşagyndaky aňlatmanyň alamaty we normalyň ugry üýtgedilen: (11.12) deňlemede S_I üstüň dS wektory B ýaýla tarap ugrukdyrylan hasap edilýär.

Integrirlenilýän üstde φ we “ φ ” n' ululyklar erkin berilip bilinmeýar, olar degişli gyra meseläni çözmek bilen tapylýar. şu sebäpli (11.12) deňlemäniň sag tarapy näbellidir. φ we “ φ ” n' ululyklar üçin aňlatmalar käbir fiziki delilleri hasaba alyp ýakynlaşan görnüşde

berilýärler. Difraksiýa nazarýetiniň meselesi adatça Kirhgofyň aşadaky ýakynlaşmalaryndan peýdalanyňp çözülýär:

- 1) ϕ we “ ϕ ” n^l ululyklar ekranynyň deşijeklerinden başga tolkun girmeyän ýerlerinde nola deňdirler;
- 2) ϕ we “ ϕ ” n^l ululyklaryň deşijeklerdäki bahalary ekranlaryň ýa-da päsgelçilikleriň ýok halatynda düşýän tolkundaky bahalaryna deňdir.

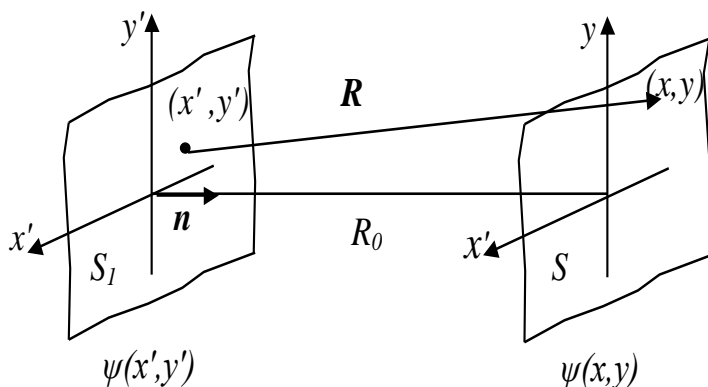
Optiki tolkun uzynlyklarda hemişe $k \ll 1/R$ diýip hasap edip bolýar. $|\text{grad}' \phi| \sim k\phi$ bolýanlygyny hasaba alyp we $1/R$ –i saklaýan goşulyjylary k –ny saklaýan goşulyjylar bilen deňeşdirilende has kiçiligi üçin taşlap (11.12) deňlemenden alarys:

$$\phi(\mathbf{r}) = \frac{1}{4\pi} \int_{S_1} \frac{\exp(-ikR)}{R} \left(\frac{\mathbf{R}}{R} \phi_{ik} - \text{grad}' \phi \right) dS \quad (6.13)$$

6.2. Freneliň we Fraungoferiň difraksiýasy

Freneliň difraksiýasy aşadaky ýagdaýda ýüze çykýar. Käbir tekiz ekran berlen. Onuň üst gatlagynda ekran arkaly geçen ýagtylygyň intensiwligi belli we $\psi(x', y')$ – funksiýa arkaly berlen (11.2-nji çyzgy). Ekranynyň tekizligine parallel we ondan R_0 aralykda bolýan S şekillendirme tekizliginde $\psi(x, y)$ funksiýany kesgitläliň.

Haçanda ekran parallel şöhleleriň dessesi bilen ýagtylandyrylýan we şekillendirme tekizligi ekranyň tekizliginden uzakda ýerleşmedik bolan ýagdaýda ýüze çykýan difraksiýa **Freneliň difraksiýasy** diýilýär. Bu ýagdaýda (11.13) formulada $\text{grad}'\varphi = n\varphi iR$ we ol aşakdaky görnüşe eýe bolýar:



6.2-nji Surat

$$\phi(x, y) = \frac{ik}{4\pi} \int_{S_1} \frac{\exp(-ikR)}{R} \psi(x', y') [\cos(\mathbf{R}, \mathbf{n}) + 1] dx' dy', \quad (6.14)$$

bu ýerde (\mathbf{R}, \mathbf{n}) – \mathbf{R} we \mathbf{n} wektorlaryň arasyndaky burç. \mathbf{R} wektor (x', y') nokatdan (x, y) nokada geçirilen wektordyr. \mathbf{n} bolsa S_1 tekizlige perpendikulýar birlik wektor. Kiçi gyşarma burçlarynda, ýagny

$$\sqrt{(x-x')^2 + (y-y')^2} \ll R_0 \quad \text{bolanda}$$

$$\cos(R, \hat{n}) \approx 1, R = \sqrt{R_0^2 + (x-x')^2 + (y-y')^2} \approx R_0 + \frac{(x-x')^2 + (y-y')^2}{2R_0}$$

(6.15)

Diýmek, (11.14) integral aşakdaky görnüşe eýe bolýar:

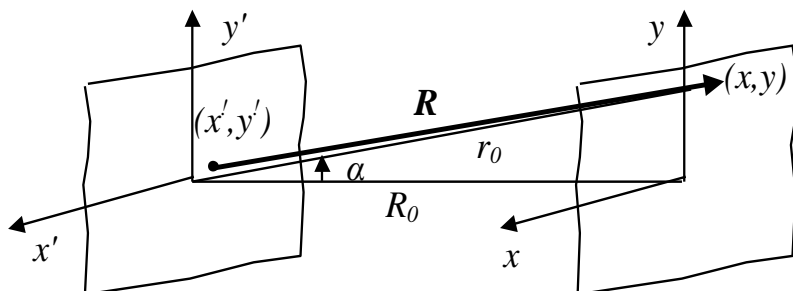
$$\phi(x, y) = \frac{ik}{2\pi} \frac{\exp(-ikR_0)}{R_0} \int_{S_1} \psi(x', y') \exp\left\{ \frac{-ik[(x-x')^2 + (y-y')^2]}{2R_0} \right\} dx' dy' \quad (6.16)$$

Soňky deňleme Freneliň difraksiýasynyň nazaryetiniň esasy deňlemesidir.

Fraunhoferiň difraksiýasynda nusganyň ölçegleri ýagtylandyryş çeşmesine we gözegçilik edilýän tekizlige çenli aralyklardan örän kiçidir. Ýagtylandyryş çeşmesi we gözegçi tükeniksizlikde hasap edilýär (6.3-nji çyzgy). Bu ýagdaýda (x, y)

nokatda meýdany hasaplamak üçin $\cos(R, \hat{n})$

az üýtgeýär diýip hasap edip bolýar we ol $\cos\alpha$ –a deň. Netijede



6.3-nji surat

$$\begin{aligned}
 R &= \sqrt{R_0^2 + (x - x')^2 + (y - y')^2} \approx \sqrt{R_0^2 + x^2 + y^2 - 2(xx' - yy')} \approx \\
 &\approx r_0 - \frac{x}{r_0} x' - \frac{y}{r_0} y', \\
 (6.5)
 \end{aligned}$$

bu ýerde $r_0 = \sqrt{R_0^2 + x^2 + y^2}$, $|x'| \ll |x|$, $|y'| \ll |y|$.
 şeýlelikde (6.14) integral aşakdaky görnüşe eýe bolýar

$$\phi(\xi, \eta) = A \int_{S_1} \psi(x', y') \exp[ik(\xi x' + \eta y')] dx' dy', \quad (6.6)$$

$$\xi = \frac{x}{r_0}, \eta = \frac{y}{r_0}, A = \frac{ik}{4\pi} (1 + \cos) \frac{\exp(-ikr_0)}{r_0}. \quad (6.7)$$

(11.6) integral Furýeniň integrally görnüşine eýedir, şu sebäpli ol difraksiýa nazarýetini matematiki taýdan amatly we ýeňil edýär.

Eger (11.2-nji çyzgy) S_I ekran iki - S_a, S_b böleklerden ybarat we $S_I = S_a + S_b$ bolsa hem-de degişlilikde B ýaýlada ekranyň S_a böleginden φ_a, S_b böleginden φ_b potensial alynýan bolsa, onda Kirhgofyň (11.12) integralyndan $S_I = S_a + S_b$ şerti hasaba alyp alarys:

$$\varphi = \varphi_a + \varphi_b. \quad (6.8)$$

Soňky aňlatma **Babineniň düzgüni** diýilýär.

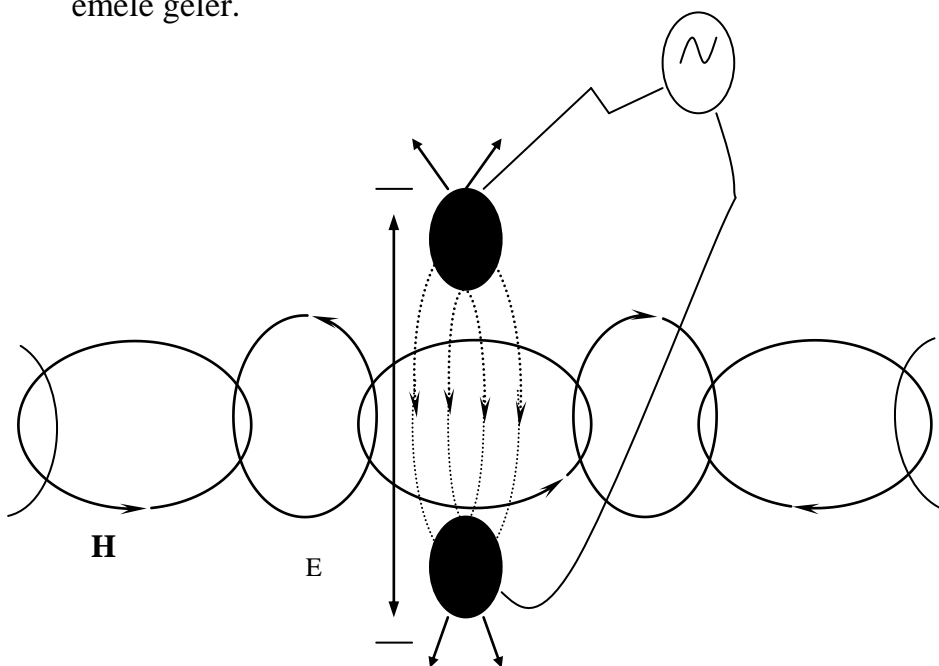
7. Radiotolkunlaryň şöhlendirilişi.

Yrgyldaýan elektrik zaryady elektromagnit tolkunynyň çişmesidir. Ýönekeý tejribä seredeliň. L aralykda ýerleşen iki sany geçiriji şar bar. Berk ýerleşmegi üçin olara elektrik dipoly diýmek bolar. şarlar ulurak bolany üçin olaryň aýra-aýrallykdaky sygymlary şarlaryň arasyndaky sygymdan has uly bolar.

7.1-nji suratdaky generator şarlara birikdirilen. Onuň naprýaženiýasy sebäpli şarlaryň arasynda üýtgeýän elektrik meýdany döreýär. Meýdanda döreýän gozganma toguny hasaba alsak, generatoryň zynjyrynyň “bitewi”

hasaplap bolar we ondaky toguň amplitudasy hemişelikdir. Beýle gurluşa **Gersiň dipoly** diýilýär.

Suratda şarlaryň zarýadly pursaty üçin elektrik meýdanynyň güýjenme çyzyklary girizilendir. Elketrik meýdany üýtgeýänligi sebäpli a we d şarlaryň arasynda üýtgeýän gozganma togy bar ýaly düşünmek bolar. Bu tok töwereginde üýtgeýän magnit meýdanyny döreder. Ol bolsa öz gezeginde üýtgeýän elektrik meýdanyny we ş.m. döreder. Netijede giňişlige m meýdany ýaýrar, m tolkunly emele geler.



**7.1–nji surat. Radiotolkunlaryň
şöhleleniş mwhanizmi**

Eger generatordan dipola $\mathcal{G} = \mathcal{G}_0 \sin \omega t$ sinusoidal naprýaženiýe berilse, emele gelen m meýdany hem ω ýygýlyk bilen üýtgär. Yrgyldynyň kesgitläň bir ýagdaýyna, meselem, maksimumyna **faza** diýilýär. m tolkunynyň fazasynyň ýaýraýyş tizligine **fazalanç tizlik** diýilýär. Onuň dielektrik üçin formulasy:

$$\mathcal{G} = \frac{1}{\sqrt{\mu E}}$$

Erkin giňişlik üçin $E = E_0 = 8,8 \cdot 10^{-12} \Phi / m$,

$\mu = \mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} \text{ Gn} / m$ we $\mathcal{G} = 3 \cdot 10^8 \text{ m} / s$.

Kesgitli fazanyň bir T periodyň dowamynda geçýän aralygyna **λ tolkun uzynlygy** diýilýär:

$$\lambda = \mathcal{G}_f T = \mathcal{G}_f / f$$

Tolkunyň fazalarynyň birmeňzeş bolan üstüne **tolkunynyň fronty** diýilýär. Dipoldan daş r aralykda ($r \ll \lambda$) tolkunynyň fronty sferiki üst emele getirýär. Beýle tolkunlara **sferiki tolkunlar** diýilýär. Çeşme toparyndan göýberilýän m tolkunyny giňişlige energiýa äkidýär. Ol Poýtingiň \vec{S} wektory bilen häsiýetlendirilýär. Bu wektoryň ugry tolkunynyň ýaýraýan ugruny görkezýär. Onuň moduly tizlik wektoryna perpendikulýar bolan birlik meýdandan geçýän tolkunynyň kuwwatyna deňdir:

$$\vec{\Pi} = [\vec{E} \times \vec{H}]$$

$\vec{\Pi}$ wektoryň modulynyň r aralyga baglylygyna seredeliň. m tolkunly ähli tarapa deň intensiwlikli ýaýraýan bolsun. Onda r aralykdaky sferiki üstüň meýdany $4\pi r^2$ bolar we $\Pi = P/4\pi r^2$ baglanyşygy alarys. P -tolkunlar ähli tarapa deň intensiwlikde ugarydylmaýar. Olar köplenç gönükdirilen bolýar. Şeýlede bolsa, $\Pi = f\left(\frac{1}{r^2}\right)$ baglanyşyk saklanýar.

8. Elementar elektrik vibratoryň radiotolkunlary şöhlelendiriji.

Gersiň dipoly antenna hökmünde ulanylmaýar. Ýöne islendik sim antennany köpsanly elementar geçiriji bölejiklerden durýan ýaly göz önüne getirmek mümkin. Ol bölejikleriň hersinde toguň amplitudasynyň hemişelik diýip hasaplamak bolar. Bu kesimlere **elementar elektrik vibratory** diýilýär. Gersiň dipolyna elementar elektrik vibratory ýaly seretmek bolar. Elementar elektrik vibratorynyň meýdanynyň güýjenmesini kesgittäliň. Vibratory sferiki koordinata sistemasynyň merkezinde ýerleşdireliň (**surat 8.1**). Onuň togy (generatorndan):

$$i = I_m \sin \omega t$$

bolsun. Matanaliziň netijesinde $r \gg L$ we $r \gg \lambda$ şert üçin dipolyň meýdanynyň formulasy:

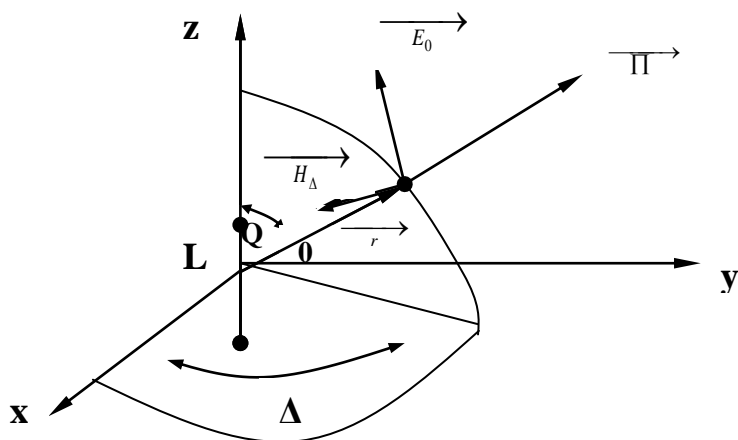
$$E_0 = \frac{60\pi I_m L}{\lambda r} \sin \theta \cos(\omega t - kr)$$

$$H_{\Delta} = E_0 / W$$

Bu ýerde: $K = \omega \sqrt{E\mu} = \omega / v_f = 2\pi / \lambda$

$$W = \sqrt{E\mu}$$

$\cos(\omega t - kr)$ köpeldiji meýdanyň tolkun görnüşinde ýaýraýandygyny görkezýär. Meýdanyň güýjenemsiniň fazasy r aralyga bagly. **K**-tolkunlanç san. Ol birlik aralykda fazanyň näçe üýtgeýändigini görkezýär. **(13.3)** formuladan tolkun λ aralygy geçende, fazanyň 2π ululyga üýtgeýändigini, tolkun birlik aralygy geçende, fazanyň $2\pi / \lambda$ ululyga üýtgeýändigini görüň. **W** –sredanyň tolkunlanç garşylygy. Erkana giňişlikde $\mu = \mu_0$ we $E = E_0$. Onda $W = \sqrt{E_0 \mu_0} = 120\pi = 377 \text{ Om}$ bolar. θ we Δ indeksler \vec{E} we \vec{H} wektorlaryň giňişlikdäki ýagdaýyny kesgitleýär. \vec{E} we \vec{H} özara perpendikulýardyr we tolkunynyň \vec{r} ýaýraýyş ugruna perpendikulýar tekizlikde ýerleşýär. E bilen r ters baglanşykda Poýtingiň wektorynyň moduly bolsa aralygyň kwadratyna ters proporsionaldyr.



Surat 8.1 Gersin dipolyynyň radiowykumary şöhlelendiriji

(13.3)-den görnüşi ýaly, L/λ gatnaşyk uly boldugyça şöhlelendirilýän meýdan (E_B) hem ulydyr. Muny dipoldaky zarýadyň yrgyldysy bilen düşündirmek bolýar. Yrgyldaýan zarýadyň meýdany giňişlikde ýagtylygyň tizligi bilen ýaýraýar. şonuň üçin elektrik meýdanynyň güýç çyzyklary zarýadyň yrgyldysynyň netijesinde deformirlenýär. Ýagny, L we ω näçe uly boldugyça, deformirlenme hem uly bolýar.

(13.3)-den görnüşi ýaly, elementar wibratoryň şöhlelendirmesi gönükdirilendir. Sebäbi E_0 bilen θ baglanyşykly. Iň uly şöhlelenme dipolyň okuna perpendikulýar ugur boýunça ($\theta = 90^\circ$) bolýar. $\theta=0$ ugurda şöhlelenme ýokdur. Çeşmäniň meýdanynyň

güýjenmesiniň $r=\text{const}$ şertde ýaýraýyş ugura baglylygyna ($E=f(\theta)$) **çeşmäniň gönükdirilenliginiň häsiýetnamasy** diýilýär. Onuň grafigine **gönükme diagrammasy** diýilýär.

Dipol garmoniki tok bilen iýmitlendirilende, orta kuwwaty kesgitläliň. Poýtingiň wektorynyň orta bahasy:

$$\prod_{op} = E_m H_m / 2$$

bolar. E_m we H_m - güýjenmeleriň amplituda bahalary. Eger gönükme bolmasa, şöhlendirmäniň kuwwaty **(8.8)**-e görä:

$$P = \frac{E_m H_m}{2} 4\pi r^2$$

aňlatma bilen kesgitlener.

Eger gönükme hasaba alynsa, matanaliz:

$$P = \frac{2}{3} \frac{E_{m_0} H_{m_0}}{2} 4\pi r^2$$

formulany berýär. Bu ýerde E_{m_0} we H_{m_0} - amplituda bahalar maksimal şöhlendirmе ugurlaryna ($\theta = 90^\circ$) degişlidir. **(8.8)**-dan alarys:

$$E_{m_0} = 60\pi I_m L / \lambda r$$

Degişli özgertmelerden alarys

$$P = 10K^2 L^2 I_m^2$$

Bu ýerden meýdanyň güýjenmesi üçin aňlatmany kesgitläliň:

$$I_m = \frac{\sqrt{P}}{\sqrt{10KL}} = \frac{\lambda \sqrt{P}}{\sqrt{40\pi L}}$$

bolýanlygy üçin (8.11)-i (8.3)-e goýup alarys:

$$E_m = \frac{\sqrt{90P}}{r} \sin \theta$$

Iň uly şöhlelenme ($\theta = 90^0$ bolanda):

$$E_{m_0} = \frac{\sqrt{90P}}{r}$$

bolar.
Erkana ýaýradýan çeşme üçin

$$H_m = \frac{E_m}{120\pi} \text{ aňlatmadan we (8.8)-den alarys:}$$

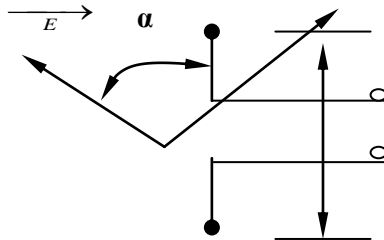
$$E_m = \frac{\sqrt{60P}}{r}$$

(13.13) we (13.14)-den görnüşi ýaly, şol bir şertdäki wibrator esasy ugur boýunça gönükdirilmedik wibratordan 1,5 esse uly güýjenme döredýär. Gönükdirilmedik wibrator bilen meňzeş gönükdirilen wibratoryň döredýän güýjenmesini almak üçin kuwwaty näçe

esse ulaltmalydygyny görkezýän sana antennanyň ***gönükdirme täsiriniň koeffisienti*** diýilýär. Ol D bilen bellenýär we gysgaça KHD bilen bellenýär. Onda:

$$E_{m_0} = \sqrt{60P} D/r$$

bolar. (13.15) formulany KHD belli bolanda, islendik antenna üçin ulanmak bola $\xrightarrow{\Pi}$



8.2-nji surat

Elementar wibratory p-tolkunlary kabul etmek üçin hem ulanmak bolar. Ol p-tolkunyň meýdanynda ýerleşdirilende, onuň uçlarynda EHG ýüze çykar (8.2

surat). EHG sebäpli dörän napryázeniýany p-kabul edijä bermek bolar. Onda dörän $\dot{YX}\Gamma$ L uzynlyga, E güýjenmä we vibrator bilen \xrightarrow{E} wektoryň arasyndaky burça baglydyr:

$$\vartheta = EL \cos \alpha$$

Kabul ediji vibratoryň gönükdirme häsiýetleri iberiwi vibratoryňka meňzeşdir. $\alpha=0$ bolanda, in uly EHG ýüze çykýar. Eger vibrator Poýtingiň wektoryna ugurdaş bolsa, wibratorda $\dot{YX}\Gamma$ ýüze çykmaýar. Bu ýagdaýda \xrightarrow{E} vibratoryň simine perpendikulýar we ondaky zaýadlary p-tolkun süýşirmeýär.

$N = N_{\max}$ belentlige çenli **(8.16)** deňlik ýerine ýetmese, tolkun fronty ýere tarap öwrülmez we älem giňişligine gider. Bu şeýle düşündirilýär, ýagny tolkun ýokarky a çägi kiçi elektron konsentrasiýaly (N) oblasta düşýär. Başgaça aýdylanda, n-in uly bahaly we V_f fazalanç tizligiň kiçi bahaly oblastyna düşýär.

Eger p-tolkun ionosferanyň araçäğine perpendikulýar ($\varphi_0=0$) düşse, onda serpikme:

$$\rho > 0$$

şert ýerine ýetende bolýar.

Görnüş i ýaly, p-tolkun ionosfera wertikal düşende, ol ionlaşan gazyň dielektrik syzdyryjylygynyň nola öwrülýän oblastyndan serpikýär. Bu oblastda elektron

togy gozganma togy bilen doly kompensirlenýär, jemleýji toguň dykzlygy nola deň bolýar we p-tolkunyň ýaýramagy mümkin bolmaýar. P-tolkun bu oblasta ýetip, tolkunýň uzyn liniýanyň kesilen ujuna ýetip serpigişine meňzeş serpiýär.

Eger wertikal düşende, serpiýan radiotolkunyň f_0 ýygylgy belli bolsa, onda burç bilen düşende serpijek p-tolkunyň ýygylgyny hasaplap bolýar. **(8.16)** formuladan

$N_{ser} = f_0^2 / 80,8$. Bu aňlatmany **(8.15)** –e goýup alarys:

$$\sin \varphi_0 = \sqrt{1 - f_0^2 / f^2} \quad \text{ýa-da}$$

$$\sin^2 \varphi_0 = 1 - f_0^2 / f^2$$

Bu ýerden:

$$f_0^2 / f^2 = 1 - \sin^2 \varphi_0 = \cos^2 \varphi_0 \quad \text{we} \quad f = \frac{f_0}{\cos \varphi_0}$$

ýa-da $f = f_0 \sec \varphi_0$

(8.17) formula *sekans kanuny* diýilýär.

9. Radiotolkunlar we radiosignallar barada esasy düşünjeler.

Kesgitleme: 3 kGr – 3 000 GGr aralygyndaky ýygylyk diapazonyny eýeleýän açyk giňişlikde ýa-da emeli çäklendirilmedik ugrukdyryjylaryň giňişliginde ýaýraýan erkin elektromagnit tolkunlaryna **radiotolkunlar** diýilýär.

Radiotolkunlar dürli ýygylyk diapazonyna bölünýär, bu diapazonlara bölüniş düzgünleri halkara radioaragatnaşyk guramasy tarapyndan kesgitlenen ýörite düzgünler boýunça amala aşyrylýar.

Radiotolkunlar ýygylyk diapazonyna baglanşykda ýaýraýyş we şöhlelenme hem-de kabul edilşi we beýleki häsiýetnamalary boýunça tapawutlanýarlar. Mysal üçin, örän uzyn (megametr) we uzyn radiotolkunlar, şöhlelenmesi kyn tolkunlar olaryň amplitudasy şöhlelenme çeşmesinden bolan aralygyň 4 derejesine ýa-da kwadratyna ters proporsional azalýarlar.

Ultragysga tolkunlar (30 MGr ýokary) radiotolkunlar aňsat şöhlelenýärler we olar diňe göni çyzyk boýunça ýaýraýarlar. şol sebäpli ultragysga tolkunlary ulanýan radioaragatnaşyk, radio ses eşitdiriş we telegörkeziş ulgamlary uly bolmadyk kuwwatly iberijileri ulanyp bilerler. Emma radioaragatnaşyk diňe göni gözyetimiň çäklerinde bolup geçýär. Mysal üçin, ultragysga tolkunlar, radiostansiýalar (FM), telewideniýe (TV) merkezler, radiotelefonlar we öýjükli telefonlar görkezilip biliner.

Radiotolkunlar ýgylyk diapazonyna baglanşykda ýeriň atmosferasynda dürli häsiýetler bilen ýaýraýarlar. Troposferada (0 - 8,10 km) esasy uzyn, orta we gysga tolkunlar gowy ýaýraýarlar.

Habar diýilip haýsydyr bir fiziki obýektiň ýagdaýynyň üýtgemesi baradaky informasiýa diýilýär.

Habar bilen informasiýa düşüňjeleri bir tarapdan deň (ekwiwalent) düşüňjelerdir, emma giň manysynda alsak informasiýa düşüňjeleri habara seredeniňde köp zatlary öz içine alýar.

Habary köplenç ýagdaýda adamyň duýuş oganlaryň reaksiýalary bilen baglanşdyrýarlar.

Radiosignallar diýilip 30 Gr – 3 000 GGr arasyndaky ýgylyk diapazonyny eýeleýän we özünde informasiýany saklaýan radiotolkunlara diýilýär.

Informasiýa bolup telefon habarlary, faks we telegraf habarlary, ses eşitdiriş we telegörkeziş signallary, radiolokasiýa we radionowigasiýa signallary we şuna meňzeşler.

Ýokary ýgylykly garmoniki yrgyldynyň:

$$u = A_0 \cos(\omega_0 t + \varphi_0)$$

esasy üç sany parametri bardyr:

- a) amplitudasy A_0
- b) ýgylygy ω_0
- ç) başlangyç fazasy φ_0

Eger şu yrgyldynyň haýsydyr bir parametrini radioaragatnaşyk kanalynda iberilen habara laýyklykda ýitgetsek, modulirlenen ýokary ýyglykly elektrik yrdyldylaryny alarys. Haýsy parametri modulýasiýa etsek, şoňa görä amplitudasy boýunça, ýyglygy boýunça we başlangyç fazasy boýunça, modulirlenen signallary tapawutlandyrýarlar.

Amplituda modulýasiýasynda signaly şeýle ýazmak mümkindir:

$$u = A(t) \cos(\omega_0 t + \varphi_0)$$

Ýokary ýyglykly ω_0 signala *alyp gidiji gysgaça (äkidiji) signal* diýilýär.

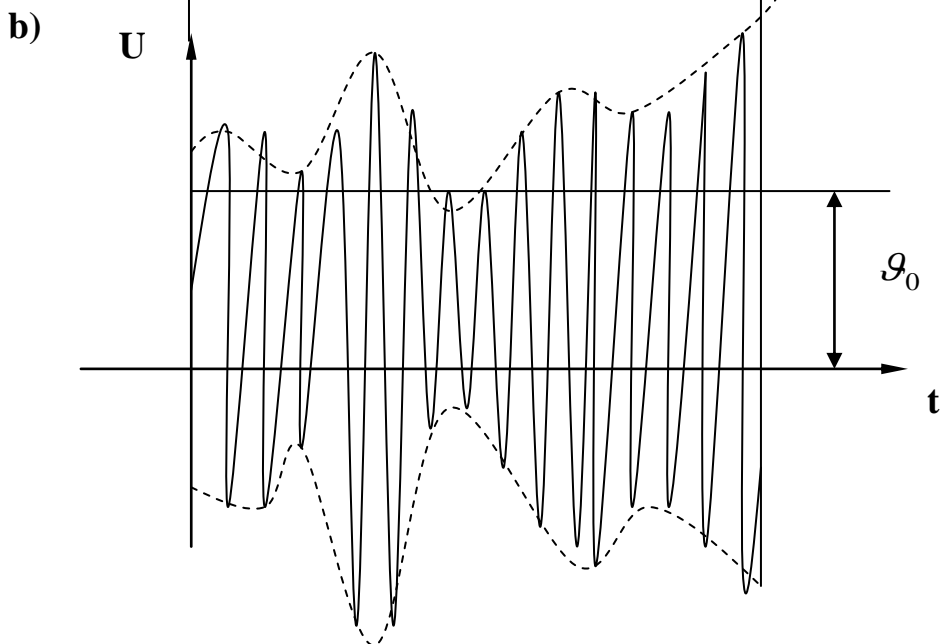
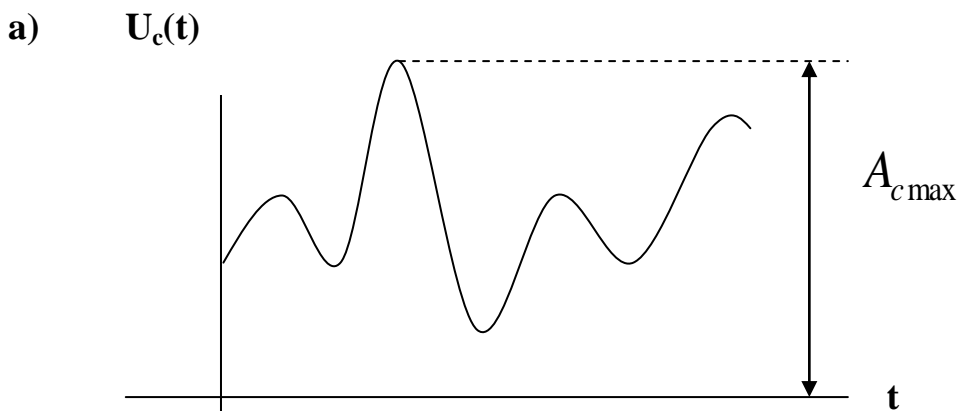
Amplitudanyň wagta görä üýtgemegini görkezýän funksiýa amplitudasy boýunça modulirlenen signalyň *aýlanyp geçirijisi* diýilýär.

$$A(t) = A_0 \left[1 + M_A \frac{u_c(t)}{\mathcal{G}_{c \max}} \right]$$

M_A – modulýasiýa koeffisienti

$U_c(t)$ – iberilýän informasion signalyň ýitgeýlin kanuny

$A_{c \max}$ - informasion signalyň absolýut ululygynyň maksimal bahasy

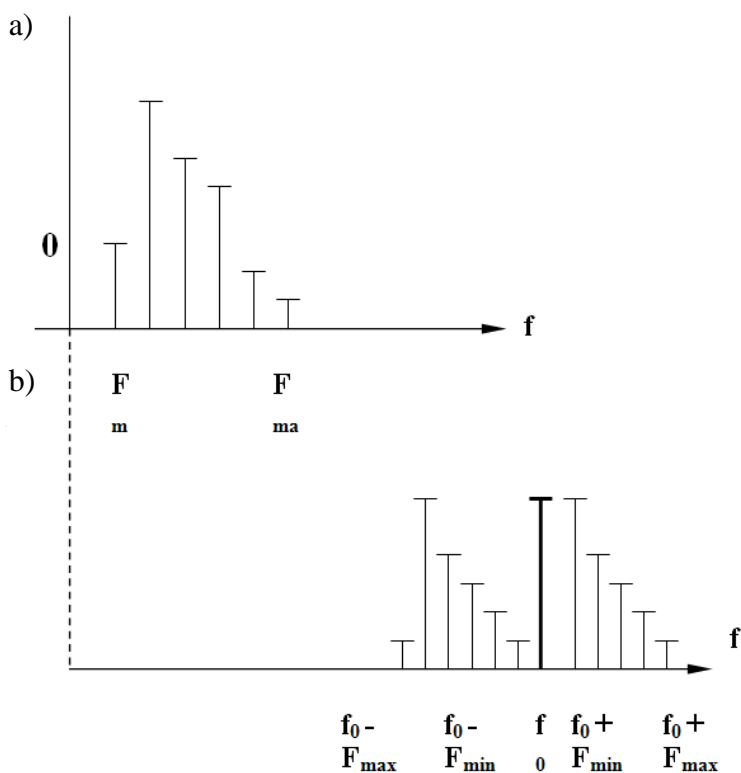


Surat 9.1. Amplitudasy boýunça modulirlenen signallar.

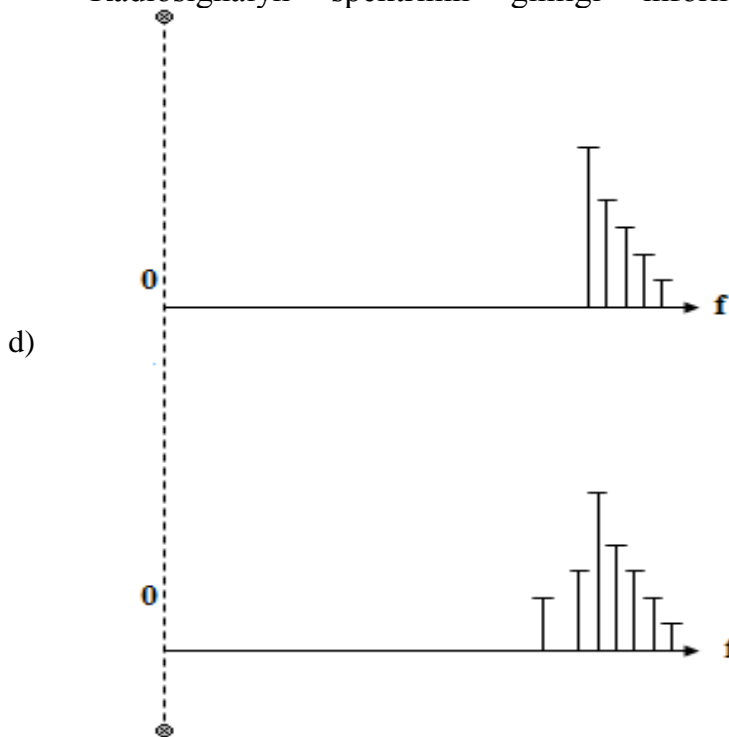
a) informsiion signal

b) modulirlenen äkidiii signal

Radiosignalyny spektri äkidijiniň ýygylgygyndan we iki sany gapdal zolakdan durýar. Her gapdal zolagyň spektri informasion signalyny spektrine degişlidir, ýöne ýygylgy oky boýunça ýokary süýşirilendir.



ç) Radiosignalýň spektriniň giňligi informasion



**Surat 9.2. Amplitudasy boýunça
modulirlenen radiosignalýň spektri:**

- a) informasion signalýň spektri
- b) amplitudasy modulirlenen
radiosignalýň spektri
- ç) bir gapdal zolakly radiosignalýň
spektri
- d) bir gapdal zolakly, äkidijisi
bölekleyin radiosignalýň spektri

si

gnalyň maksimal ýygylgynyň iki esse bahasyna deňdir:

$$(f_0 + F_{\max}) - (f_0 - F_{\max}) = 2F_{\max}$$

Iberilýän signal baradaky doly informaciýa her gapdal zolakda saklanýardyr. Iberijiniň kuwwaty gapdal zolaklary we äkidijini şöhlendirmäge sarp edilýär. Äkidijide hiç hili informaciýa saklanmasa-da, doly kuwwatyň ýaryndan köprägi şoňa harçlanýar. Iberijiniň kuwwatyny effektiv ulanmak we radiosignalyň zolagynyň giňligini azaltmak maksatlary bir zolakly modulýasiýaly signalyň ulanylmagyna getirdi. Köplenç ýagdaýda äkidiji bölekleyin azaldylan bir zolakly radiosignal ulanylýar.

Ýygylýk modulýasiýaly radiosignallary şeýle ýazmak bolar:

$$u(t) = \mathcal{G}_0 \cos[\omega_0 t + \Delta\omega_m \int_0^t u'_c(\tau) d\tau + \varphi_0]$$

$\Delta\omega_0$ – burç ýygylýgyň ortaça bahadan maksimal gyşarmasy (dewiasiýasy)

φ_0 – signalyň başlangyç fazasy

Radiosignalyň mgnowen ýygylýgy:

$$\omega(t) = \omega_0 + \Delta\omega_m U'_c(t) = \omega_0 + \Delta\omega_m \frac{u_c(t)}{|U_{c \max}|}$$

ω_0 – signalyň orta burç ýygylygy

$\omega_0 = 2\pi f_0$, ($U_{c \max}$) – iberilýän informasion signalyň maksimal bahasy

Garmoniki signal bilen ýygylyk modulýasiýasy bolanda,

$$u_c = \mathcal{G}_{m0} \cos \Omega t \text{ - radiosignal}$$

$$u = \mathcal{G}_{m0} \cos \left[\omega_0 t + \frac{\Delta \omega_{\max}}{\Omega} sm \cdot \Omega \cdot t + \varphi_0 \right]$$

$\Delta \omega_m / \Omega$ - *ýygylyk modulýasiýasynyň indeksi* diýilýär.

$\dot{Y}M$ – signallar ulanylanda, iberijiniň kuwwaty üýtgemeýär, diňe äkidijiniň ýygylygy üýtgeýär.

$\dot{Y}M$ – signallaryň spektri gaty giň, teoretiki tarapdan tükeniksizdir. Eger $\Delta \omega_m / \Omega = m_{\dot{Y}M} \gg 1$ bolsa giňzolakly radiosignallar döreýär we olaryň spektral giňligini P_0 takmynan şeýle hasaplamaly bolar:

$$P_{\dot{Y}M} \approx (2m_{\dot{Y}M} + 1)F_{\max}$$

F_{\max} – informasion signalyň spektrindäki maksimal ýygylyk

$$UGT - \text{radioeşitdirişde } P_{\dot{Y}M} \approx 150kGs$$

Signallar fazasy boýunça modulirlenende, olaryň doly fazasy:

$$\phi(t) = \omega_0 t + \Delta\varphi_m u_c(t) / U_{c \max}$$

kanun boýunça üýtgeýär. Sinusoidal signal bilen faza modulirlenende:

$$\phi(t) = \omega_0 t + \Delta\varphi_m \cos\Omega t$$

$u(t) = \mathcal{G}_{m0} \cos[\omega_0 t + \Delta\varphi_M U_c(t) / \mathcal{G}_{c \max}]$ -
çylşyrymly modulýasiýa

$u(t) = \mathcal{G}_{m0} \cos[\omega_0 t + \Delta\varphi_M \cos\Omega t]$ - sinusoidal
modulýasiýa

ΦM – signallaryň mgnowen ýygylygy

$$\omega(t) = \omega_0 + \Delta\varphi_M \frac{\partial U_c}{\partial t} / \mathcal{G}_{c \max}$$

$\dot{\Upsilon} M$ we ΦM – radiosignallar päsgelçilikleriň täsirine gaty durnuklydyrlar.

10. Radiotolkunlaryň ýygylyk diapazonlary.

Kabul edilýän signallar maglumatlary geçirmek ýa-da jisimleriň ýerleşmegine we özara hereketiniň

häsiýetnamalaryny ölçemek üçin hyzmat edýärler. şu işde signallaryň iki görnüşlerini hem kabul edijileriniň taslamasyna seredilýär. Bu signallar:

- 1) üznüksiz üýtgeýän (modulirlenen) amplitudaly (AM), ýygyllykly (ÝM) ýa-da fazaly (FM) yrgyllymlar;
- 2) amplitudasy (AT), ýygyllygy (ÝT) ýa-da faza ara tapawudy (FTT) böküp üýtgeýän yrgyllymlar;
- 3) amplitudasy, ýygyllygy ýa-da fazasy üýtgeýän yrgyldymalar:

üýtgemeler amplituda modulýasiýaly (AIM).

şirota (ŞIM), wagtlaýyn (WIM) ýa-da delta modulýasiýaly (DM) wideoimpulslar bilen, şeýle hem kodly wideoimpuls toparlar (KIM) bilen baglanyşyklydyr.

Tablisa 10.1.

| Tolkunlar | Tolkunlaryň zolaklaryň atlary | Ýygyllyklar |
|------------|-------------------------------|--------------|
| 100-10 km | meriametr | 3-30 kGs |
| 10-1 km | kilometr (uzyn UT) | 30-300 kGs |
| 1000-100 m | gektometr (orta OT) | 300-3000 kGs |
| 100-10 m | dekametr (gysga GT) | 3-30 MGs |
| 10-1 m | metr | 30-300 MGs |
| 100-10 sm | desimetr | 300-3000 MGs |
| 10-1 sm | santimetr | 3-30 GGs |
| 10-1mm | millimetr | 30-300 GGs |
| 1-0,1 mm | desimillimetr | 300-3000 GGs |

Kabul edilýän signallar maglumatlary bir ýa-da birnäçe çeşmeden geçirip biler.

RHKK (radio boýunça Halkara konsultatiw komitetiniň) hödürnamasy esasynda radioýygylyk toplumy zolaklara bölünýär (Tablisa 4.1).

Bu işde 30 kGs-300 GGs ýygylyk zolakda (10 km-den 1 mm-e çenli tolkunlarda) işleýän has giňden ulanylýan kabul edijileriň taslamasynyň meseleleri seredilýär.

11. Radiotolkunlaryň Ýeriň atmosferasynda ýaýraýyş aÝratynlyklary.

11.1. Ýeriň atmosferasynyň düzimi barada umumy maglumatlar.

Radiotolkunlar ýygylýk diapazonyna baglanşykda ýaýraýyş we şöhlenenme hem-de kabul edilşi we beýleki häsiýetnamalary boýunça tapawutlanýarlar. Mysal üçin, örän uzyn (megametr) we uzyn radiotolkunlar, şöhlenenmesi kyn tolkunlar olaryň amplitudasy şöhlenenme çeşmesinden bolan aralygyň 4 derejesine ýada kwadratyna ters proporsional azalýarlar.

Ultragysga tolkunlar (30 MGr ýokary) radiotolkunlar aňsat şöhlenenýärler we olar diňe göni çyzyk boýunça ýaýraýarlar. şol sebäpli ultragysga tolkunlary ulanýan radioaragatnaşyk, radio ses eşitdiriş we telegörkeziş ulgamlary uly bolmadyk kuwwatly iberijileri ulanyp bilerler. Emma radioaragatnaşyk diňe göni gözyetimiň çäklerinde bolup geçýär. Mysal üçin, ultragysga tolkunlar, radiostansiýalar (FM), telewideniýe (TV) merkezler, radiotelefonlar we öýjüklü telefonlar görkezilip biliner.

Radiotolkunlar ýygylýk diapazonyna baglanşykda ýeriň atmosferasynda dürli häsiýetler bilen ýaýraýarlar. Troposferada (0 - 8,10 km) esasy uzyn, orta we gysga tolkunlar gowy ýaýraýarlar.

Ionosferada (60-1000 km) aralykda ultragysga tolkunlar we millimetr tolkunlar gowy ýaýraýarlar.

Radio ses eşitdiriş ulgamlarynda esasy uzyn, orta we gysga hem-de ultragysga tolkunlaryň uzyn tolkunly bölegi ulanylýar – (68 – 105 MGr).

Ýeriň atmosferasy truposferadan, stratosferadan we ionosferadan durýar. Bu gatlaklaryň arasynda ýiti araçäk ýokdur. Tranportlara ýeriň üstünden 1-12 km aralygy eýeleýär we ýeriň relesine baglanşykda transportyň beýikligi üýtgäp durýar. Deňizleriň üstünde 8 km golaý, beýik daglaň üstünde 12 km aralykda üýtgeýär.

Troposferada erkin elektronlar we ionlar ýok diýip bolar, käbir sebäpler boýunça, mysal üçin, ýyldyrym, wulkan atylanda, zarýadlanan bölekler peýda bolup biler, emma olar çalt wagtyň içinde öz arasynda rekombinasiýa bolup ýityärler.

Transportda temperatura takmynan her 900 m-dan 10^0 aşak düşýär.

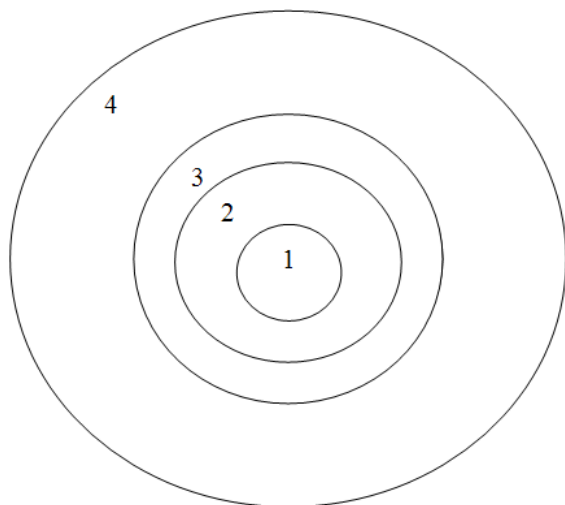
Stratosferada – 12-40 km aralykdaky gatlakda, erkin elektronlaryň we ionlaryň käbir mukdary peýda bolup bolýar. Takmynan 1 kub. sm zarýadlanan.

Ionosfera diýip, öz arasynda takmynan deň mukdarly “+” we “-” zarýadlanan ionlaň durýan we 40-1000 km aralykdaky gatlagy eýeleýän ionlaşan sreda aýdylýar. Ionosferada erkin elektronyň konsentrasiýasy $10^{-7} - 10^{16}$ bölejik bölünen sm^3 aralykda üýtgeýär. Ionlarda howanyň dykzlygy gaty azdyr – $10^7 - 1^3$ km.

Ionosfera esasan günden galýan ýokary energiýaly zarýadlanan bölejikleriň we gamma rentgen şöhleleriň energiýa hasabyna emele gelýär. şeýle garyma **gün şemaly** hem diýilýär. şeýle şemal ýer bilen gün aralygynda takmynan 48 sagatda geçýär (150 000 000).

Ionosfera pasyllara sutkanyň gije-gündiziň wagtyna geografik guşaklyklara ýeriň üstüniň relesine we beýleki köp prosesslara baglanşykda üýtgäp durýar.

Ionosfera ýerki sagat 1 gije (iň ýuwaş) ýagdaýa geçýär. şeýle wagtda radiotolkunyň ionosferada ýaýraýşy gowlaşýar we günüň dowamynda ýaýraýş prosessi üýtgäp durýar. Ýeriň magnit meýdanynyň, polýuslarynyň ýerleşýändigi sebäpli gün şemaly ýere has golaýlaşýar. 8-12 km orta we uzyn tolkunlar esasan transformatora ýaýraýarlar, şonuň üçin şeýle radiotolkunlara **üst tolkunlar** hem diýilýär. Gysga tolkunlar 3-30 MGs. Ionosferadan ultra gysga tolkunlar serpikýärler. 30 MGs ýokary ionosferadan geçýärler we göni ýaýraýarlar. Radio ses eşitdiriş ulgamlarynda uzyn, orta, gysga we ultra gysga tolkunlar ulanylýar.



Surat 11.1. Ýeriň atmosferasynyň düzim bölekleri.

1-Ýer şary, 2- troposfera, 3-stratosfera, 4-ionesfera.

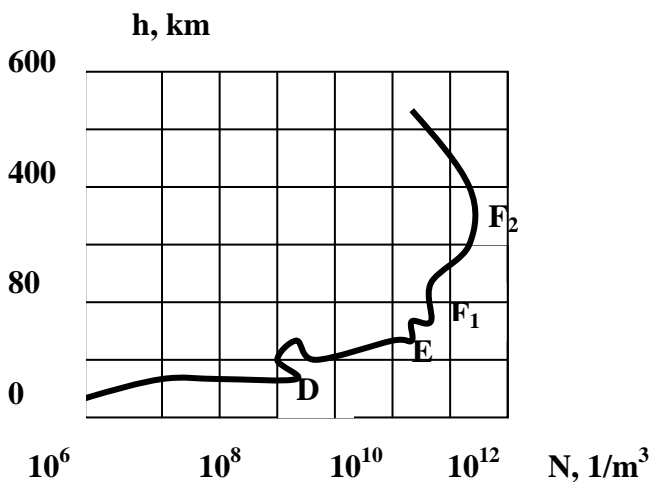
11.2. Radiotolkunlaryň Ýeriň ionosferasynda ýaýraýyş aýratynlyklary

Elektronyň N konsentrasiýasy belentlige baglylykda ionosfera stansiýalary tarapyndan öwrenilýär. Ionosfera stansiýasynda wertikal ugur boýunça radioimpulslar göýberilýär we olaryň serpilip gaýdyp gelýän τ wagty ölçelýär. Ýagtylygyň tizligi C impulsyň tizligi ýaly alynyp η_q belentlik hasaplanýar:

$$h_g = c\tau / 2$$

Bu belentlige *serpikmäniň täsirli belentligi* diýilýär. Bu belentlik serpikmäniň hakyky bahasyndan ulydyr. Sebäbi impuls C tizlik bilen ýaýramaýar. Ol $\mathcal{G}_{top} < C$ tizlik bilen ýaýraýar. Täsirli belentligiň ýygylýga baglylygyna ionosferanyň *belentlik-ýygylýk häsiýetnamasy* diýilýär. Ionosfera wertikal düşende, serpikýän p-tolkunlaryň iň ýokary ýygylýgyna *kritiki ýygylýk* diýilýär. Tejribeleriň görkezilişi ýaly, ionosferada radio-tolkunlaryň serpikýän birnäçe gatlagy bardyr. Diýmek, şonçada elektronlaryň konstruksiýasynyň maksimumy bardyr.

Tomus, gündizine ionosferada iň köp gatlak emele gelýär. Ol döwür üçin $N=f(h)$ bagalnyşyk **11.2. suratda** görkezilendir.



11.2. surat

Orta geografiki giňişlik üçin ionosfera gatlaklarynyň esasy maglumatlary **11.1 tablisada** görkezilendir. Ionosfera gatlaklarynyň aýratynlyklaryna seredeliň:

Tablisa 11.1

| Gatlak | $h_g, \text{ km}$ | $N, 1/\text{m}^3$ | $\nu, 1/\text{c}$ | $f_0, \text{ mGs}$ |
|----------------|-------------------|-------------------------------------|-------------------|--------------------|
| D | 60-80 | $10^8 - 10^9$ | 10^7 | 0,1 - 0,7 |
| E | 18 | $5 \cdot 10^9 - 2 \cdot 10^{11}$ | 10^5 | 0,6 - 4,0 |
| F ₁ | 80-230 | $2 \cdot 10^{11} - 4 \cdot 10^{11}$ | 10^4 | 4,0 - 6,0 |
| F ₂ | 28-400 | $2 \cdot 10^{11} - 2 \cdot 10^{12}$ | $10^3 - 10^4$ | 4,0 - 13,0 |

D gatlak gazyň dykzlygyny ýokary we erkin zarýadlaryň rekombinasiýasynyň tiz geçýän oblastynda emele gelýär. şonuň üçin bu gatlak diňe gündizine bolýar. Gün ýaşan soň tiz aýrylýar. Tomusyna kritiki temperatura gysyňkydan ulydyr. Bu gatlak meriametrlik, kilometrlik we bölekleýin gektometrlik tolkunlary serpikdirýär. Bulardan gysga tolkunlar gatlakdan biraz ýuwdulma bilen geçýärler.

E gatlak sutkanyň dowamynda bardyr. Elektronlaryň konsentrasiýasy gündizine gijekiden has köpdür. Ol günň gorizontdan belentligine baglydyr. E gatlak gündiz, aýratynda tomusyna dekametrlik tolkunly serpikdirmäge ukyplydyr. Gijesine dekametrlik tolkunlar bu gatlakdan serpikmeýär. Gektometrlik we ondan uzyn tolkunlar bu gatlakdan sutkanyň we ýylyň islendik mahaly serpikýärler.

Gysyna E gatlakdan ýokarda maksimal elektron konsentrasiýaly diňe F gatlak bardyr. Onuň konsentrasiýasy ertirine minimum, öýlän maksimum baha eýe bolýar. Tomsuna bu gatlak F_1 we F_2 iki gatлага dargaýar. F_2 gatlakda elektronlaryň konsentrasiýasynyň ýitiş F-ň gysda ýiteýşinden güýçlidir. Ionosferanyň gatlaklaryň kritiki ýygylgyň ýylyň dowamynda ýitgeýli grafikler görnüşinde gurulýar. F gatlagyň aýratynlygy onuň häsiýetleriniň geografiki giňişlige bagly ýitgisidir (giňişlik effekti). F gatlak dekametrlik, käte bolsa metrlik tolkunlary serpikdirýär.

Ionosferanyň ýagdaýynyň üýtgemesi günň aktiwligine-de baglydyr. Günň korpuskulýar we ultramelewşe şöhleleri 11 ýyllyk period bilen üýtgeýär. Günň aktiwligi günň üstündäki tegmilleriň sany bilen

kesgitlenýär. Günüň aktiw ýylynda tegmilleriň sany köpeliýär. Ol ýylda F gatlak üçin kritiki ýyglyk 2-3 esse köpeliýär.

Tertipli gatlaklardan başga-da ionosferanyň E we F gatlaklarynda tertipsiz, sporadiki diýilýän ýuka gatlaklar ýüze çykyp bilýär. Olar metrlik tolkunlary serpikdirip bilýär.

Ionosferada gazlaryň hereketi netijesinde birhilli däl oblastlar ýüze çykyp bilýär. Olaryň uzynlygy yüzlerçe metr bolup ýüzlerçe m/s tizlik bilen hereket edip bilýär.

80-18 km töweregi belentlikde meteorlaryň ýanmagy sebäpli elektron konsentrasiýasy ýokary bolan uly oblastlar ýüze çykyp bilýär. Bu oblastlaryň “ömrü” sekundyň ýitgilerinden bir minuda çenli bolýar. Agzalan oblastlar metrlik tolkunlary serpikdirip bilýär we radioaragatnaşykda ulanylýar.

Ionosferada sporadiki ionlaşmadan başga-da tertipsiz hadysalar ýüze çykyp durýar. Kuwawtly gün korpuskullarynyň täsiri bilen ionosfera tupany ýüze çykyp bilýär. Ýeriň magnit meýdanynyň güýç çyzyklarynyň daşynda spiral boýunça aýlanmak bilen olar F gatlagyň gurluşyny üýtgedýärler, ionosferanyň aşaky gatlaklaryna aralaşýarlar. Zaryadly bölejikleriň ýeriň atmosferasyna aralaşmagy ýeriň magnit meýdanyny üýtgeşmeler döredýär. Oňa **magnit tupany** diýilýär. Bu hadysalar p-tolkunlaryň ýuwundumasyny köpeldýär.

Ionosfera birahatlygynyň ýene bir görnüşi, ol hem bolsa günden rentgen şöhleleriniň ýalpyldy görünüşde aralaşmagydyr. Bu ýalpyldylar D we E gatlaklaryň ionlaşmasyny güýçlendirýär, dekametrlik tolkunyny

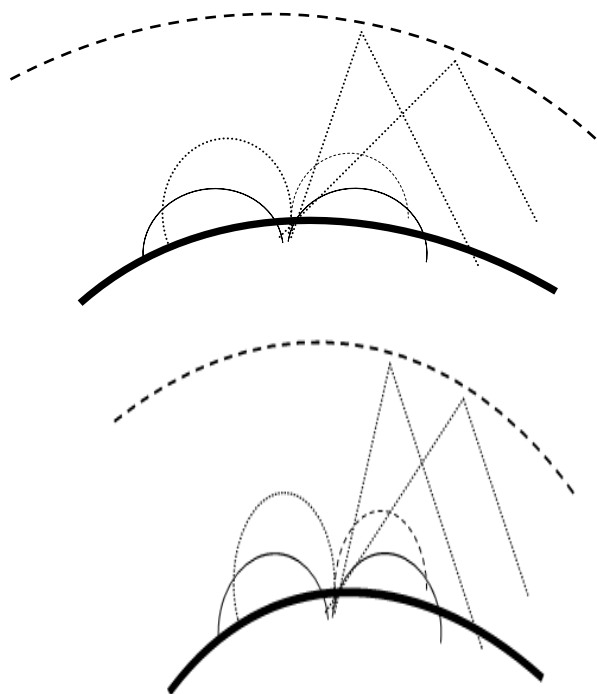
ýuwdumasy birden artýar. Ol ýeriň ýagty tarapynda bolýar we bir minutdan 1-2 sagada çenli dowam edýär.

Jemläp aýdylanda, ionosferanyň häsiýetnamalary günüň aktiwligine, pasyllara we gije-gündizdäki wagta bagly bolýar. Olary ionosferik stansiýalarynyň gözegçilikleri, günüň aktiwliginiň üýtgeýşine gözegçilikleriň netijesinde öňünden anyklap bolýar.

11.3. Orta, uzyn, aşu uzyn radiotolkunlaryň ýaýraýyş aýratynlyklary we ulanylýan ýerleri.

Gektometrlik we ondan uzyn tolkunlaryň ionosferadan serpikmegi üçin elektronlaryň gowşagrak konsentrasiýasy sterlikdir. Gektometrlik tolkunlar E gatlakdan serpikýärler. Olar D gatlakda örän güýçli ýuwdylýarlar. Kuwwatyň iberijileri ulanylmada hem gündizine meýdanyň derejesi päsgelçiligiňkiden ýokary bolmaýar. Orta ionosfera tolkunynyň diňe güýje tutmak mümkin. Bu diapazon üçin ýerleýin tolkun, gysga tolkun bilen düşündirilende has uzaga ýaýraýar. şonuň üçin iberijiniň kuwwaty 100 kWt töweregi bolanda we antennanyň beýikligi 100-80 m bolanda orta tolkunlar bilen 300-400 km aralyklara radio alyp eşitdiriş gurnap bolýar. Gije ionosfera tolkunlary döreyär. Olar ýerleýin tolkunlar bilen goşuluşyp interferensiýa döredýär we öçme (sönme) ýüze çykýar. Onuň dowamlylygy birnäçe minuta ýetýär. Öçmäniň (sönmäniň) öňüni almak üçin ýörite antifeding iberiji antennalar ulanylýar (feding-öçme

manysyny aňladýar). Antifeding antenna elementar wibratorlarda tapawutlykda wertikal tekizlikde ýere has golaý DN-y bardyr (**16.3. surat**).



11.3.surat-Gektometrlik tolkunlaryň ionasferada ýaýraýysy

--- elementar wibrator
— antifeding antenna

Şonuň üçin ionosfera tolkunyny has daş aralyklarda ýüze çykýar. Hyzmat edilýän zolakda ölçme ýüze çykmaýar. Gije D gatlak ýok bolar we gektometrlik tolkunyny has uzak aralyklardan tutmak bolýar. Ol aralyklarda ölçmäniň ýüze çykmagyna mümkinçilik bardyr.

Orta tolkunlaryň ýaýramagynyň aýratynlygy ionosfera ýüze çykýan çyzyklanç däl effektdir. Dielektrik syzdyryjylygynyň (E'_u) we udel geçirijiligiň (σ_u) ionosferada ýaýraýan tolkunynyň amplitudasyna baglylygy ionosferanyň çyzyklanç dældigini ýüze çykarýar. Düşündirilişi: E'_u we σ_u elektronlaryň agyr bölejikler bilen çakyşmalarynyň ýygylgyna (ν) baglydyr;

ν ýygylk elektronynyň ýygylgyna baglydyr; elektronlaryň tizligi iki düzüjiden durýar - ýygylk hereketiniň tizligi we radiotolkunyň täsiri netijesinde

alynan $\mathcal{G}_{\partial l}$ tizlik;

$\mathcal{G}_{\partial l}$ tizlik radiotolkunyň ýygylgyna baglydyr.

Orta we ondan uzyn tolkunlarda, iberijiniň kuwwaty 100 kWt töweregi bolanda $\mathcal{G}_{\partial l}$ ýygylk tizligi bilen deňşdirerli bolýar. Netijede ν ýygylk köpeliýär we radiotolkunyň ýuwdylmasy köp bolýar.

Radiotolkunlaryň çatryklaýyn modulýasiýasy sebäpli ýüze çykýan çyzyklanç däl effekt hem hasaba alynmalydyr. Ionosferanyň bir oblastyndan MA-ly iki stansiýada gelyän tolkun serpikýän bolsa, uly kuwwatly meýdan ionosferanyň ýuwuduşyny üýtgedýär. Bu

üýtgeме MA-nyň tagtynda bolýar we amplituda (E_m) gönümel bagly bolýar. Netijede ikinji tolkunyny amplitudasy hem şol taktda üýtgeýär. Goşmaça modulýasiýa döreýär. Radiostansiýanyň ýerleşişini we kuwwatyny saýlap almak bilen çatryklaýyn modulýasiýa azaldylýar.

Gektometrlik (orta) tolkunlar ýerleşen tolkun ulanmak bilen golaý aralyklaryň radioaragatnaşygy üçin ulanylýar.

Kilometrlik (uzyn) we meriametrlik (aşa uzyn) tolkunlar ionosferanyň aşaky gatlagyndan (gündiz D gatlakdan, gije E gatlakdan) serpiýärler. Olar ionosfera çün aralaşmaýar. Bu radiotolkunlaryň ionosferadaky ýitgisi ujypsyzdyr. Uzyn we aşu uzyn ýerleşen tolkunlaryň hem ýitgisi köp däl. şol sebäpli bu tolkunlar ýer bilen ionosferanyň arasyndaky emele gelýän sferiki wolnowodda ýaýraýarlar. Bu wolnowod üçin tolkunyny kritiki uzynlygy 100 km töweregidir. Uzyn we aşu uzyn tolkunlaryň ýygylýk diapazonynyň darlygy sebäpli bularda informasiýanyň uly bolmadyk akymyna iberlik bolýar (telegraf). Kilometrlik we meriametrlik tolkunlar deňiz suwuna has çün aralaşýar. şonuň üçin olar suwasty gämiler bilen aragatnaşykda ulanylýar. Radiotolkun eşitdiriş üçin uzynlygy 2 km çenli tolkunlar ulanylýar. Olaryň ýaýraýşy bolsa gektometrlik tolkunyny ýaýraýşyndan kän tapawutlanmaýar.

Gektometrik tolkunyny meýdany ýörite grafik boýunça hasaplanýar. Ionosfera tolkunynyň meýdanynyň güýjenmesini, takmynan **16.3 suratdaky** grafikler bilen hasaplap bolýar. Grafiklerde güýjenmäniň kwazitiksimal bahalary getirilendir. Meýdanyň orta bahasy kwazimaksimanyň 0,35 bölegi töweregidir. Grafikler PD

köpeltmek hasylyň 1kWt bahasy üçin gurulandy. PD-iň beýleki bahalary üçin grafikden tapylan ululygy \sqrt{PD} ululyga köpeltmeli.

Kilometrlik we meriametrlik tolkun uzynlyklar üçin 800 km çenli aralyklarda agzalan grafikleri ulanmak bolar. 800 km-den daş aralyklar üçin (6 000 km çenli) aşaky formula oňat netijeler berýär.

$$E_q = \frac{300\sqrt{P}}{r} \sqrt{\frac{\theta}{\sin \theta}} e^{-ar}$$

Bu ýerde: $a = 0,0014 / \lambda^{0,6}$

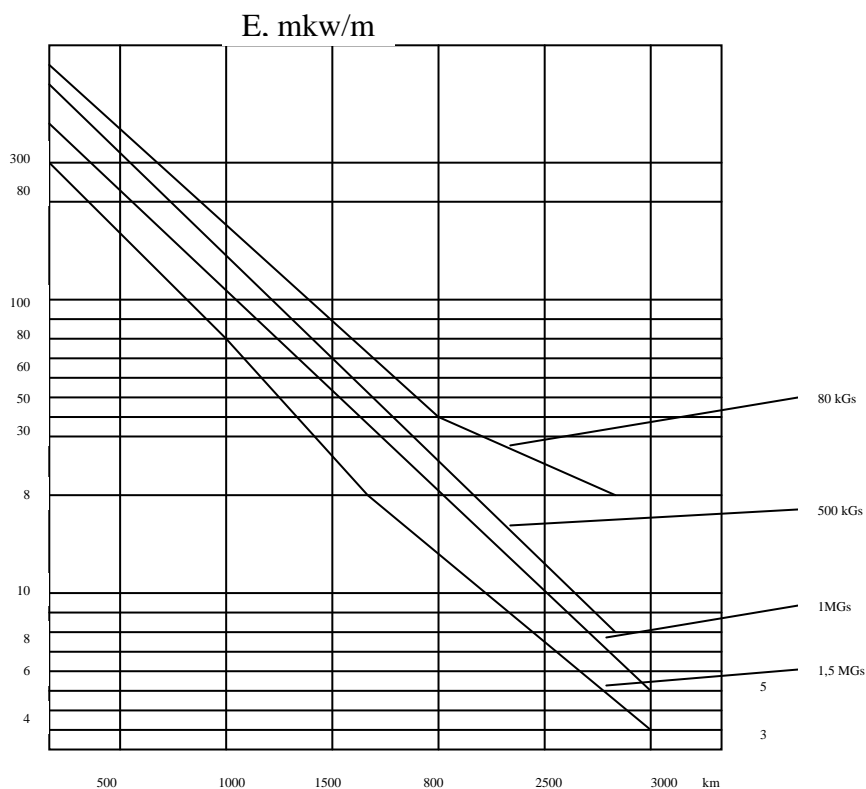
E_q - meýdanyň güýjenmesiniň täsirli bahasy, MKB/m;

P-şöhlelendirilýän kuwwat, (kWt);

r-trassanyň uzynlygy, km;

λ -tolkun uzynlygy, km

θ - merkezi burç.



Surat 11.3 Gektometrlik radiotolkunlaryň meýdanynyň
güýjenmesiniň hasaplama grafigi

11.4. Gysga radio tolkunlaryň ýaýraýşynyň aýratynlygy we ulanylýan ýerleri.

Dekametrlik diapazonyň üst tolkunlary onlarça kWt kuwwatly iberiji ulanylanda, yüzlerçe kilometre ýaýrap bilýär. Gysga tolkunlar esasan ionosfera tolkunyny görnüşinde ýaýraýar. P-tolkun F_2 gatlakdan serpigende, bir böküşde 3500-4000 km aralyga yetip bilýär (aralygyň ölçegi ýeriň üsti boýunça). E ýa-da E_2 gatlaklardan serpigende, böküşiniň maksimal aralygy 800 km çenli bolýar. Gysga tolkun üçin ionosferanyň geçirijiligi kiçidir. Ýygylýk şowly saýlanyp alnanda, ol has hem kiçidir. şonuň üçin tolkun ionosferada kän yuwdylmaýar. Gysga tolkun ionosferadan we ýerden köp sanly sekipikmeleriniň netijesinde ýeriň islendik nokadyna çenli ýaýrap bilýär. Gysga tolkunlar uzak aralyklara radio alyp eşitdiriş gurnamak üçin we deňiz gämileri samolyotlar bilen aragatnaşyk saklamak üçin ulanylýar. Gysga tolkunlarda giň zolakly radiokanallary hem gurnamak bolýar.

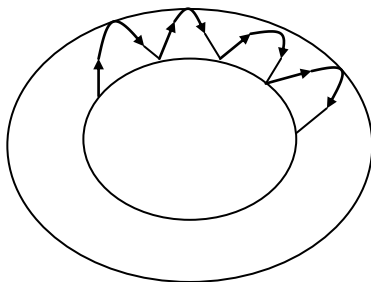
Gysga tolkunlar ulanylanda, “dymýan zolak” diýilýäniň ýüze çykyp bilýändigini hasaba almalydyr. P-tolkunyň ionosferadan serpikmegi üçin aşakdaky şertlere ýetmeli:

$$\sin \varphi_0 = \sqrt{1 - 80,8 \frac{N_{cep}}{f^2}}$$

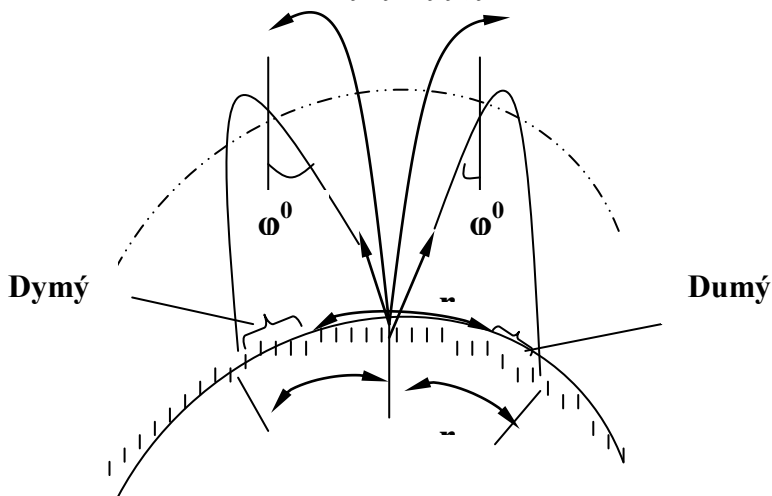
$N_{cep} < N_{max}$. Bu ýerde deňligiň sag tarapy

ionizirlenen gazyň döwürleme görkezijisidir.

Serpikmäniň mümkin bolan iň kiçi düşme burçuna (φ_{KP}) **kritiki burç** diýilýär. Iberiji bilen kabul edijiniň arasy golaý bolanda, düşme burç φ_{KP} -den kiçi bolup tolkun dünýä giňişligine gidýär (**11.4. surat**).



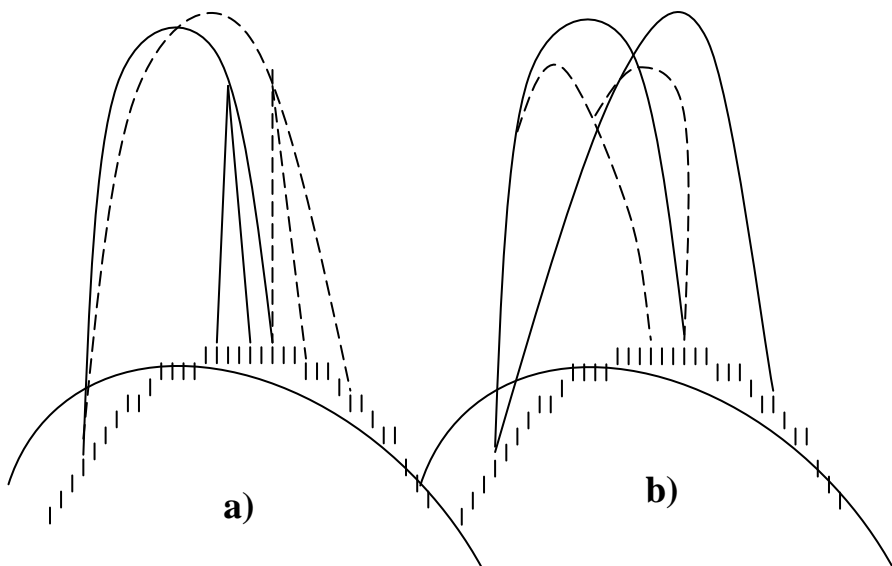
Surat 11.4 Gysga tolkunlaryň uzak aralyklara ýaýraýyşy

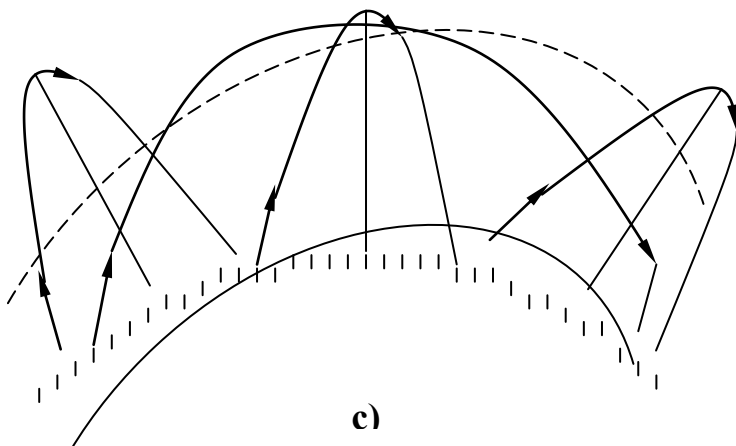


Surat 11.5 Gysga radiotolkunlaryň dymma zonalarynyň emele gelişi

Ýeriň üstünde dymýan zolak emele gelýär. Onuň çäginde berilen ýygýlykly tolkun bolmaýar. Bu zolagyň içki çäginä üst tolkunlaryň ýaýrap bilýän aralygy kesgitleýär (Surat 16.5). Daşky çägi $\varphi_0 = \varphi_{0 \text{ KP}}$ şertden kesgitlenýär. Beýleki şertler deň bolup, diňe ýygýlyk ösende dymýan zolagyň içki çägi gysgalýar. $\varphi_{0 \text{ KP}}$ ösýär we daşky çäk daşlanýar, ýagny r_2 ulalýar. Käbir $f = f_{\text{KP}}$ ýygýlykda $\varphi_0 = 0$ bolanda hem p-tolkun ionosferadan serpikýär. Dymýan zolak bolmaýar.

Dekametrlik tolkunda kabul nokadyna birnäçe tolkunlaryň goşulan şöhlesi gelýär. Kritiki düşme burçda ($\varphi_{0 \text{ KP}}$) kabul nokadyna ionosferadan zerkal serpigen şöhle we ionosferanyň birhilli däl uçastoklaryndan serpigen tolkunlar gelýär **(16.6 a surat)**. Kabul nokadyna adaty we adaty däl şöhleler hem gelip bilýärler **(16.6 b surat)**. $\varphi_0 \gg \varphi_{0 \text{ KP}}$ bolanda, kabul nokadyna dürli sanly böküşleri geçen şöhleler gelip bilýär **(16.6 b surat)**.





Surat 11.6 Gysga tolkunlaryň köpşöhleli ýaýraýyş.

Şeýlelikde, kabul nokadyna $\varphi_0 > \varphi_{0KP}$ ýörite şöhleleriň sany köpeliýär. Köpşöhlelik interferensiya netijesinde şöhläniň öçmegine getirýär. Gysga tolkunlar üçin onuň dowamlylygy 1 sekunt töweregi bolýar. Bu ýagdaý signalyň ýoýulmagyna getirýär. Amplituda modulýasiýasy netijesinde äkidiji ырgyldynyň derejesi peselmekde ýoýulma has güýçli bolýar. Ýoýulmany azaltmak üçin äkidiji gowşadylan birpolosaly modulýasiya ulanylýar.

Mundan başga-da ionosferada radiotolkunyň polýarlaşmasynyň üýtgemesi netijesinde polýarizasiya ölçemesi ýüze çykýar.

Onuň ortaça dowamlylygy 1 sekunt töweregi bolýar. Bu ölçemäni düzetmek üçin güýçlendirmäni awtomatiki sazlaýjylar (GAS ARU) ulanylýar. Bu ýoýulmany ýok etmek üçin antennany uzaltmak ululygy

antenna 10λ aralyga uzaldylýar. Mundan başga-da wertikal we gorizonta polýarlaşmaly antennalary ulanmak usuly hem ulanylýar.

Gysga radioimpulslar iberilende, köpşöhlelik radioňyň (ÝXO) ýüze çykmagyna getirýär. Radionyň uzak ýola geçip gelen impuls bilen gysgarak ýola geçip gelen impulsyň arasyndaky wagt tapawudy signalyň dowamlylygyndan köp bolanda ýüze çykar. Bu interferensiýanyň we ölçemäniň netijesi dälidir. Gaýtalanýan radionyň gaýtalanyp duranda radioliniýanyň işleýşini bozýar. Telegrafda “ýalan” signalyň ýüze çykmagyna getirýär. Muny ýok etmek üçin ionosfera düşme burçy kritikä golaý ($\varphi_0 \approx \varphi_{0KP}$) edilip alynýar. şeýle bolanda, diňe serpigene şöhle kabul nokadyna gelýär. Gysga tolkunlarda ýer şarynyň üsti bilen baglanyşlykly ýaň ýüze çykýar. Ýer şarynyň daşyndan aýlanyp gelen tolkun (0,137 sekunda) ýaň döredýär.

12. Ultragysga radiotolkunlaryň ýaýraýyş aýratynlyklary we ulanylýan ýerleri.

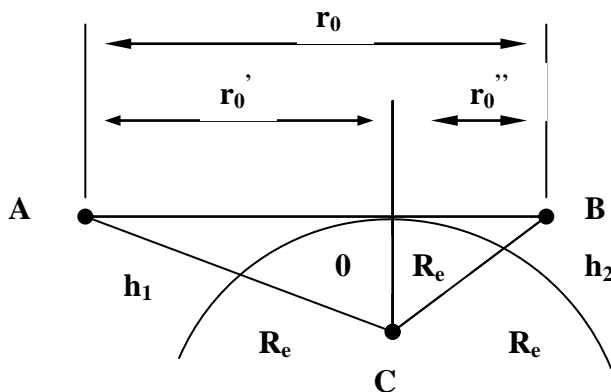
12.1 Ultragysga radiotolkunlaryň ýaýraýyş aýratynlyklary .

10 metrden gysga uzynlykly p-tolkunlara ***ultragysga tolkunlar (UGT)*** diýilýär. Bu tolkunlara örän giň ýygylýk diapazony degişlidir. Diňe santimetrlik tolkunynyň ýygylýk diapazonynyň giňligi 11000 MGs-dir. Bu bolsa dekametrlik tolkunynyň diapazonyndan münň esseden hem köp giňdir. şonuň üçin UKB-da informasiýa akymyny

ibermegiň mümkinçiligi uzyn tolkunlaryňkydan has ulydyr. Telealypeşitdirişi we ýygylyk modulýasiýaly (ÝM) ýokary hilli radioalypeşitdirişi diňe UGT-de amala aşyrmak mümkin.

Ýerleýin UGT tolkunyny bilen diňe gönümel görünýän uzaklyklarda aragatnaşygy üpjün etmek mümkindir. Bu çägiň daşynda, tebigy şertlerde UGT diňe ionosferada we troposferada pytramanyň hasabyna durnukly ýaýrap bilýär. Ýöne beýle ýaýrama üçin kuwwatly iberijiler we çylşyrymly antenna gurluşlary gerek bolýar.

Gönümel görünme aralygyny uzaltmak üçin antennany beýik başnyalarda ýerleşdirmeli. Uzak aralyklara UGT diapazonynda ibermek üçin ýerüsti radiorels liniýalary we ýeriň emeli hemralarynda ýerleşdirilen retranslýatorlar ulanylýar.



Surat 12.1 Ultragyssa tolkunlaryň göniçyzykly ýaýraýyşy

Ýeriň üstünden h_1 we h_2 belentlikli antennalaryň arasyndaky gönümel görünme aralygyň araçäk bahasyny kesgitläliň **(17.1-surat)**.

Haçanda antennalary birikdirýän göni çyzyk ýere degip geçende, aňryçäk görünme aralygy emele gelýär. AOC üçburçlykdan:

$$r'_0 = \sqrt{(R_e + h_1)^2 - R_e^2} = \sqrt{2R_e h_1 + h_1^2} \quad (12.1)$$

bolar. $h_1 \ll R_e$ bolany üçin $r'_0 \approx \sqrt{2R_e h_1}$ bolar. R_e – ýeriň radiusy. şuna meňzeşlikde OCB üçburçlykdan

$$r_0 \approx \sqrt{2R_e} (\sqrt{h_1} + \sqrt{h_2}) \quad \text{bolar.} \quad (12.2)$$

$R_e = 6370$ km bahany-e goýup alarys:

$$r_0 = 3,57(\sqrt{h_1} + \sqrt{h_2}) \quad (12.3)$$

h_1 we h_2 – metrlerde.

Gönümel görünmäniň çägindeki aragatnaşykda meýdanyň güýjenmesiniň hasabyna seredeliň. Eger iberiji we kabul ediji antennalaryň arasy $r \ll r_0$ (3 ýa-da ondan köp esse) bolsa, ýeriň güberçekligini hasaba alman:

$$E_m = \frac{\sqrt{60PD}}{r} 2 \left| \sin\left(\frac{2\pi}{\lambda} \frac{h_1 h_2}{r}\right) \right| \quad (12.4)$$

formuladan peýdalanmak bolýar. Uly r aralyklarda, ýagny:

$$\sin\left(\frac{2\pi}{\lambda} \frac{h_1 h_2}{r}\right) \approx \frac{2\pi}{\lambda} \frac{h_1 h_2}{r}$$

şert ýerine ýetende bu formula ýönekeýleşýär. P kwatlarda, r km-de, h_1 we h_2 metrlerde aňladylanda,

$$E_q = \frac{2,18\sqrt{PD}h_1 h_2}{r^2 \lambda} \quad (12.5)$$

bolar. E_g – meýdanyň güýjenmesiniň täsirli (effektiw) bahasy (mB/m). (3.4) formula $(2\pi/\lambda)(h_1 h_2 / r) \leq \frac{\pi}{9}$ ýa-da $r \geq 18h_1 h_2 / \lambda$ şert üçin dogrydyr.

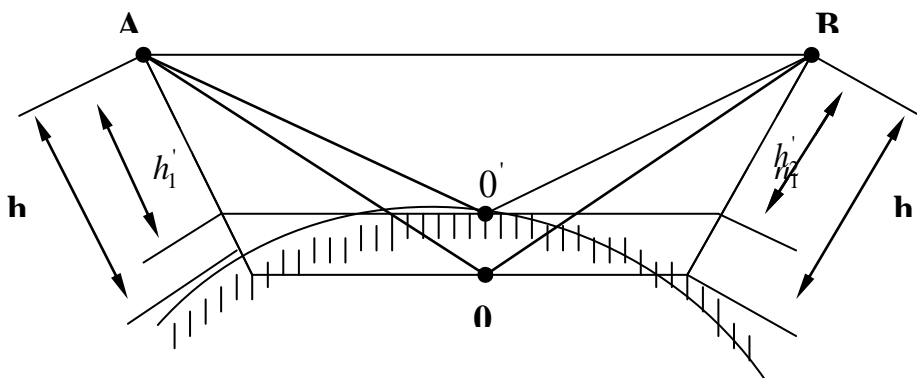
Iberiji we kabul ediji antennalaryň uzakrak aralyklarynda belent boldugyça meýdanyň güýjenmesi hem ulydyr. Sebäbi kabul edilýän nokatdaky gönümel we serpilen tolkunlaryň arasynda döreýän $\Phi = 180^\circ$ faza süýşmesini kompensirleýän faza süýşmesi ulalýar. Netijede iki tolkunynyň arasyndaky ψ faza süşmesi kiçelýär.

Gönümel görünmäniň çäginde meýdanyň güýjenmesine seredeliň. **12.2. suratda** antennalaryň h_1 we h_2 belentlikleri R_e bilen deňeşdirilende, uly göwrümde görkezilendir. Hakykatda h_1 we h_2 parallele golaýdyr. Suratda AOB ýer tekiz hasaplananda, serpigen şöhläniň

ýoly. AO'B ýer güberçek hasaplandy. Göni we serpigen şohleleriň ýollarynyň tapawudy $\Delta r = h_1 h_2 / r$ bilen hasaplanýar. Ýeriň güberçekligi hasaba alnanda, formula ýasama (getirme) h_1' we h_2' belentlikler girizilýär. Bularyň başlanýan nokady ýeriň üstüne galtaşmadan alynýar. Bu şertde ýollaryň tapawudyny **(12.3.)** formula bilen hasaplap bolýar. $h_1' \cdot h_2'$ ýörite grafikden alynýar. E_q üçin **ýokardaky** formulany ulanmak bolar.

(12.5.) formula ýeriň tekiz üsti üçindir. Hakykatda ýeriň üstüniň tekiz dälligi üçin desimetrlik we santimetrlik tolkunlarda serpihme zerkal bolmaýar. Tolkunyň dargamasy bolýar. Muňa ýeriň üstündäki agaçlaryň hem täsiri bardyr. Ýerden serpigen şöhläniň güýjenmesi kiçi bolýar. Serpihme koeffisienti $R < 1$. **(12.5.)** bilen alnan netijeler hakykatdan kiçi bolýar. şeýle-de bolsa, bu hasaplar ulanylýar. Sebäbi radioliniýalar proyektirlenende, durnuklylyk zapasyny döredýär.

Gönümel görünmeden (çäginde) golaý ($r \geq 0,8r_0$) we daş aralyklar üçin **(17.5.)** we **(17.5.)** formulalary ulanyp bolmaýar. Bu ýagdaýda diffraksiýa teoriýany ulanmaly. UGT-nyň E-i diffraksiýaly ýaýrama üçin [1]-e getirilýär.



Surat 12.2 Ultragysga tolkunlaryň köpşöhleli ýaýraýyşy

UGT has beýikli-pesli ýerde ýaýranda (**12.3 surat**) kabul edilýän nokatdaky meýdanyň güýjenmesini gönümel we serpigen tolkunlaryň jemi ýaly hasaplap bolmaýar. Ýerde ýiti uçluly belentlikler bar bolsa, olar serpikme döretmän hem bilýärler. Beýle hasaplar üçin **yş aralygy** diýilen düşünje girizilýär. Yş aralygy trassanyň profiliniň in belent nokady bilen iberiji we kabul ediji antenalaryň merkezlerini birikdirýän liniýanyň arasyndaky uzaklyk bilen kesgitlenýär.

Kabul ediji antennanyň ýanynda meýdany döretmek üçin gatnaşýan freneliň zolaklarynyň sany H yş aralygyna baglydyr. Serpikmede bolsa gönümel we serpigen tolkunlaryň arasyndaky faza süýşmesi H yş aralygyna baglydyr.

AB we AOB liniýalaryň arasynda $\lambda/6$ tapawut döredýän yşa (H_0) **etalon yş** diýilýär. Bu ýagdaýda AOB

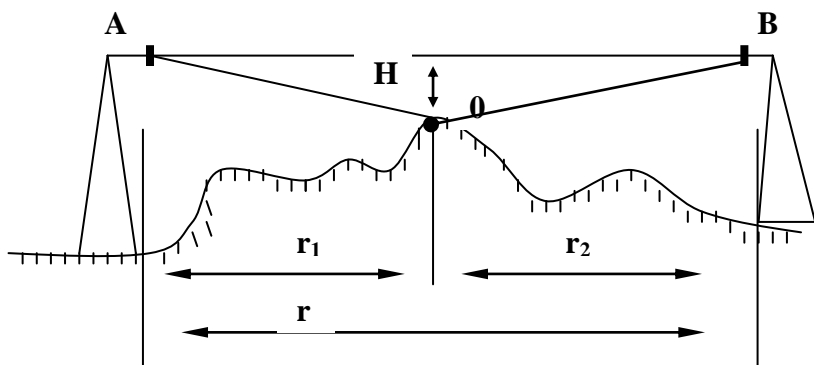
liniýa boýunça ýaýraýan serpigen tolkun bolanda, onuň göni tolkuna görä fazasynyň süýşmesi 60^0 bolar we $R=1$

$$E_m = \frac{\sqrt{60PD}}{r} F \quad (4.8.) \text{ bolanda, } \Phi = 180^0 \text{ bolanda,}$$

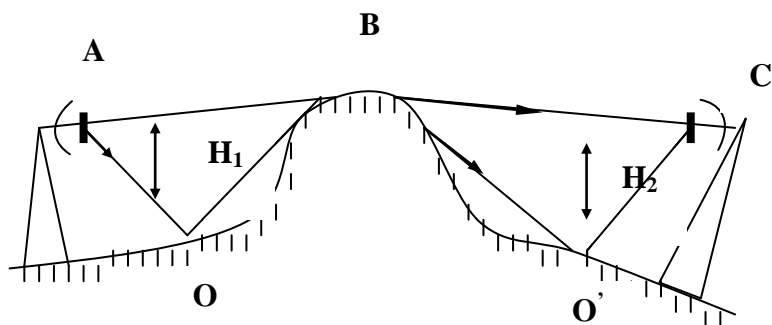
formuladaky $F=1$ bolar. Etalon yş aralygy:

$$H_0 = \sqrt{\lambda r_1 r_2 / (3r)}$$

formula bilen hasaplanýar. r , r_1 , we r_2 aralyklar **12.3. suratda** görkezilendir. Yş noldan kiçi bolanda, trassa **ýapyk** diýilýär. Ýapyk trassada kabul ediş nokadyndaky meýdan diňe diffraksiýanyň hasabyna döredilýär. $0 < H < H_0$ bolanda, trassa ýarym-açyk ýa-da ýarym-ýapyk diýilýär. $H > H_0$ bolanda, trassa açykdyr.



Surat 12.3 Ultragysga tolkunlaryň beýikli-pesli ýerde ýaýraýyşy



**12.5.-nji surat Uzyn ýapyk
trassada UGT-laryň ýaýraýyşy**

Uzyn ýapyk trassalarda käwagt kabul edilýän nokatdaky meýdanyň güýçlenmesi ýüze çykýar (**17.5. surat**). Bu ýagdaýda päsgelçiligiň depesi M tolkunynyň täze çeşmesi bolup hyzmat edýär. Ikinji tolkunly açyk AO oblastda ýaýraýan tolkunlar oýandyrýar. BC uçastokda täzeden şöhlelendirilen tolkun açyk trassa boýunça ýaýraýar. H_1 we H_2 ýslaryň käbir bahalarynda kabul edilýän nokadyň meýdany AC liniýa açyk bolanda ýaýrajak tolkunynyň meýdanyndan uly bolýar. Päsgelçiligiň p-tolkuny güýçlendirmegi daglyk raýonlarynda radioliniýalar gurulanda ulanylýar.

UGT şäherde ýaýranda, binalardan, elektrik liniýalaryndan we şuna meňzeş serpikme bolýar. Eger iberiji we kabul ediji antennalar örtükleriň belentliginde bolsa, E (**12.4.**) we (**12.5.**) formulalar bilen hasaplanýar. Belentlikler örtükleri ortalyk derejesinden hasaplanýar. şäherde ýapyk trassalar üçin we jaýyň içinde E tejribede kesgitlenýär.

UGT-nyň ýaýramagyna troposferanyň täsirine seredeliň. Howanyň döwürleme koeffisienti takmynan bire deňdir: $n = 1,0003$. Howanyň döwüjilik häsiýeti döwürlämäniň indeksi bilen häsiýetlendirilýär:

$$N = (n - 1) \cdot 10^6 \quad (12.6)$$

Bu indeks basyş we çyglylyk köpelende köpeliýär, temperatura ýokarlananda peseliýär. Howanyň parametrleri belentlige we metrologiki şertlere baglydyr. N-iň belentlige baglylygyna *döwürleme indeksiniň gradiýenti* diýilýär:

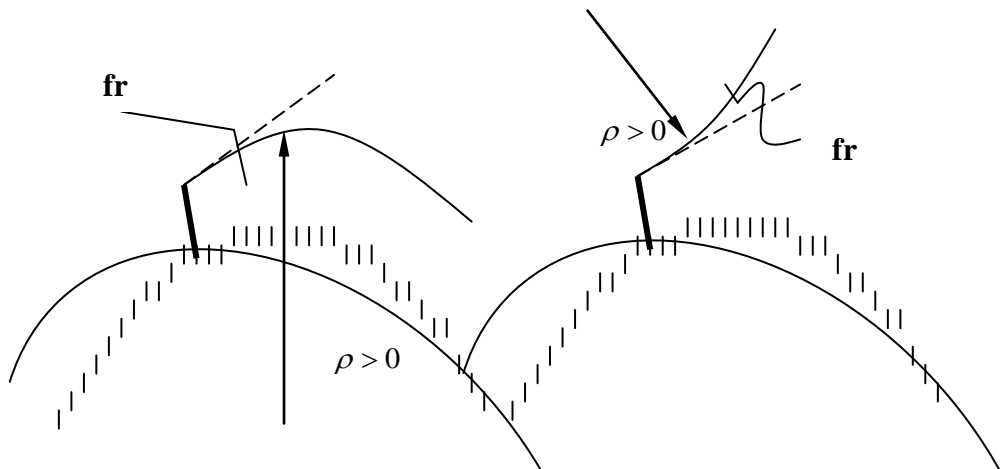
$$g = \frac{dN}{dh} \quad (12.7)$$

Troposferanyň ýagdaýy “Halkara atmosfera standarty” bilen häsiýetlendirilýär. Ol aşakdaky atmosfera şertlerine gabat gelýär: deňiz derejesindäki ýeriň üstünde basyş 1013 mbar peseliýär, temperatura 15°C , otnositel çyglylyk 60%. Standart atmosferada belentligiň her 100 m artmasyna basyş 12 mbar peseliýär, temperatura 55°C peseliýär, çyglylyk hemişelik galýar diýip hasaplanýar. Standart atmosferada $g = -4,3 \cdot 10^{-2} \text{ 1/m}^2$. Döwürleme koeffisientiniň belentlige baglylygy troposferada p-tolkunyň traýektoriyasynyň eremegine getirýär. Bu egrilme şöhläniň egrilik radiusy bilen häsiýetlendirilýär:

$$\rho = -\frac{1}{dn/dh} = -\frac{10^6}{dn/dh} = -\frac{10^6}{g} \quad (12.8)$$

Egrilik radiusy položitel bolanda, $g < 1$ **(17.6. a surat)**. Bu ýagdaýda tolkunynyň faza tizligi belentlik

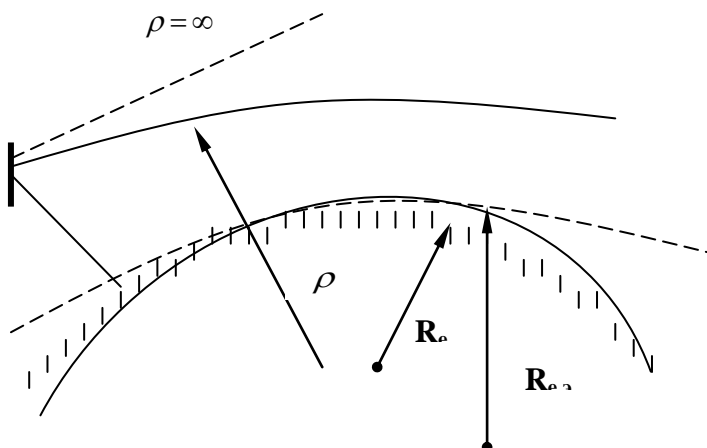
ulaldygyça ösýär. Tolkunyň frontynyň ýokarky araçağı aşakydan tiz ýaýraýar we şöhle ýere tarap egrelýär. Bu položitel refraksiýadyr. $g > 0$ bolanda otrisetel refraksiýa bolýar (17.6 b surat). Troposfera refraksiýasy gönümel görünme aralygyny üýtgedýär.



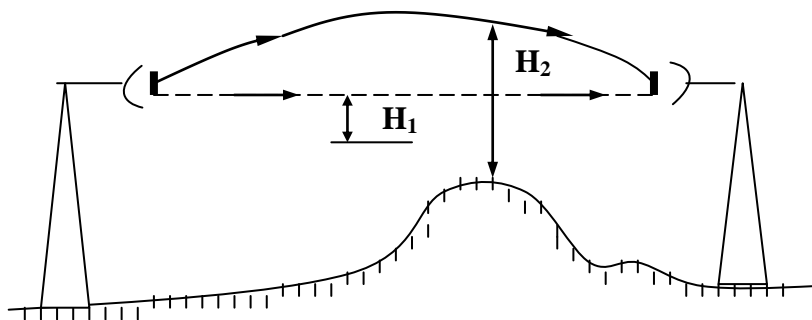
a) b)
12.6. surat Ultragysga tolkunlaryň refraksiýasy

Gönümel görünmäniň çäginde troposfera refraksiýasy kabul edilýän nokatdaky meýdanyň güýjenmesine täsir edýär. Sebäbi gönümel we serpigen şöhleleriň traýektoriyalaryň egremegi olaryň meýdanlarynyň arasyndan faza süýşmesini üýtgedýär. Traýektoriýanyň egrelmesi H yşy hem üýtgedýär (10.7. surat). Položitel refraksiýanyň netijesinde ýapyk trassa açyk bolup bilýär,

açyk bolsa ýapyga öwrülip bilýär. Refraksiýanyň täsirini hasaba almak üçin ýeriň ekwiwalent radiusy $R_{r.e.}$ diýen düşünje girizilýär.



Surat 12.7 Ultragysga tolkunlaryň troposfera egrelmesi



Surat 12.8 Ultragysga tolkunlaryň daglyk-baýyrylyk trassada egrilmesi

Bu ýagdaýda radiotolkunyň egrilen traýektoríasyny hyýaly göneltmeli. Güýjenme hasaplananda, radioşöhläniň we ýeriň üstüniň otnositel egriligi saklanar ýaly edip ýeriň radiusyny üýtgetmeli **(12.7. surat)**. Ýeriň ekwiwalent radiusy:

$$\frac{1}{\rho} - \frac{1}{R_e} = \frac{1}{\infty} - \frac{1}{R_{e,\vartheta}} \quad (17.9)$$

deňlemeden tapylýar. $\frac{1}{\rho} - \frac{1}{R_e}$ - otnositel egrilik; $\frac{1}{\infty}$ - göneldilen traýektoríanyň egriligi.

(12.9.) deňlikden $R_{e,\vartheta} = R_e / (1 - R_e / \rho)$ bolýar. Soňky aňlatmany **(12.8.)**-a goýup alarys:

$$R_{e,\vartheta} = \frac{R_e}{1 + R_e g \cdot 10^{-6}} \quad (12.10)$$

R_e -i $R_{e,\vartheta}$ bilen çalyşyp, **(3.1)** formula bilen refraksiýa hasaba alynandaky gönümel görünmäniň çäk aralygy hasaplanýar. Kadaly atmosferada, ýagny standart refraksiýada $g = -4,3 \cdot 10^{-2} 1/m$, $R_{e,\vartheta} = 8500 km$ we gönümel görünmäniň çägi:

$$r_0 = 4,52(\sqrt{h_1} + \sqrt{h_2}) \quad (12.11)$$

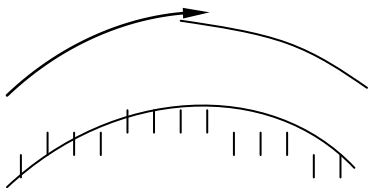
bolar. Ölçeg birlikler: $R_{e,\vartheta}$ we r_0 – kilometrlerde, h_1 we h_2 – metrlerde.

Refraksiýany hasaba alyp, trassanyň profilini gurmak üçin we $h_1' h_2'$ köpeltmek hasylyny toplamak üçin ýeriň ekwiwalent $R_{e,\vartheta}$ radiusy ulanylýar. Refraksiýanyň derejesi metrologiki şrtlere baglydyr. şonuň üçin UGT-da kabul edilýän nokadyň meýdanynyň güýjenmesi wagtyň geçmegi bilen üýtgäp durýar. Bu üýtgemä diňme diýilýär.

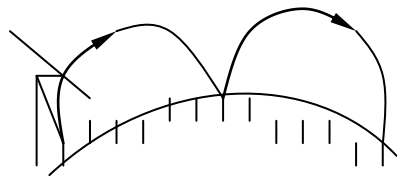
Uzynlygy 4 sm-den gysga tolkunlaryň troposferada energiýasynyň ýuwdulmasy bolýar. Ony hasaba almak üçin ýörite grafiklerden peýdalanylýar.

12.2.UGT-nyň aşu uzak aralyklara ýaýraýşy.

Položitel refraksiýada traýektoriýanyň radiusy $\rho = R_e$ bolýar we kritiki refraksiýa ýüze çykýar (**12.7 a surat**). $\rho < R_e$ bolanda, aşarefraksiýa ýüze çykýar (**12.7 b surat**). Bu ýagdaýlarda tolkun gönümel görünme çäginde has daş aralyga ýaýrap bilýär. $g < -0,1127$ 1/m bolanda, aşarefraksiýa ýüze çykýar. Munda döwürleme indeksi N belentlige bagly tiz peselmeli. Howanyň temperaturasy belentlige bagly ýokarlananda, şeýle ýagdaý ýüze çykýar (adaty howanyň temperaturasy belentlige bagly peselýär). Bu şerte *temperatura inwersiýasy* diýilýär. Troposferanyň aşarefraksiýa ýüze çykýan oblastyna *atmosfera wolnowody* diýilýär.



a)



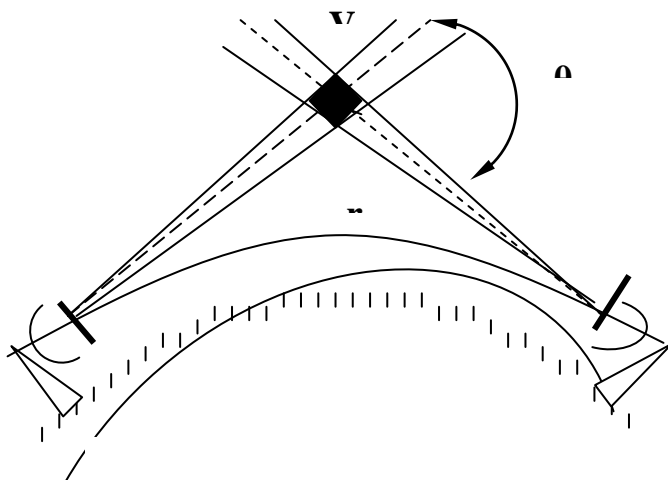
b)

12.7-nji surat Radiotolkunlaryň refraksiýasynyň görnüşleri

Troposfera wolnowody köplenç deňiz gyrasyndaky raýonlarda ýüze çykýar. Oňa gury ýeriň üstündäki temperatura bilen suwuň üstündäki temperaturanyň tapawudyň uly bolmagyny döredýär. şemal ýyly howany süýşirip, sowuk howanyň üstüne eltýär we temperatura inwersiýasy döreýär. Hemişe ýüze çykmaýanlygy üçin troposfera wolnowody radioliniýalar gurmak üçin ulanylmaýar. Radioliniýalarda ýyglyklar paýlananda, özara päsgelçilik döremezligi üçin troposfera wolnowodynyň ýüze çykýandygyny hasaba almaly.

UGT-nyň aşa ýokary aralyga ýaýramagynyň ýene bir mehanizmi troposfera pyramasydyr. Gurşap alan sredanyňkyda basyşy, çyglylygy we temperaturasy tapawutlanly oblastlar pyramany döredýän troposfera birhilli dälligiň in köp emele gelýän belentligidir. Bu düregeý oblastlaryň dielektrik syzdyryjylygy sredanyňkydan tapawutlydyr. Bu tapawut 8%-den köp dälidir. şonuň üçin düşýän şöhläniň esasy bölegi bu oblastlardan geçýär. Ýöne p-tolkunyň energiýasynyň bir bölegi dürli taraplara pytraýar. Bu oblastlaryň aýdyň araçägi ýoklugy üçin zerkal serpilme bolmaýar. Kabul ediji antenna tarap täzedan gönükdirilen meýdan V

göwrümde ýerleşen düregeý oblast tarapyndan döredilýär. V göwrüm bolsa iberiji we kabul ediji antennalaryň gönükme diagrammalary bilen çäklenendir. Tejribeleriň görkezişi ýaly, meýdanyň θ burçy uly boldugyça, kabul ediji antenna tarap gönükdirilýän meýdan kiçelýär.



Surat 12.8 Ultragysga radiotolkunlaryň troposfera serpikmesi

V göwrümdäki aýry-aýry birhilli däl uçastoklardan pytran köp sanly tolkunlar goşulma netijesinde (interferensiýa) kabul ediş nokadyndaky meýdan döreyär. Interferensiýadaky tolkunlary faza süýşmesi haotiki üýtgäp durýar. Netijede jemleýji meýdanyň güýjenemesi tötänleýin kanun boýunça üýtgeýär. Meýdanyň beýle üýtgemesine ***interferension diňme*** diýilýär. Interferensiýadaky tolkunlaryň faza süýşmeleri ýygylga baglydyr. Ýygylgyň giň diapzonynda dürli spektrler üçin faza süýşmeleri dürlidir: şol bir pursatda birnäçe düzüjiler

maksimal derejede, beýlekiler minimal derejede bolýar. Muňa *selektiw diňme* diýilýär. Selektiw diňme giňzolakly signallary, meselem, telewizion signallary ihermäge mümkinçilik bermeýär.

Radioaragatnaşyk troposfera pytramasy boýunça amala aşyrylanda, adaty 800-1000 MGs ýygylýar.

Troposfera pytramasy netijesinde meýdanyň örän gowşayanlygy sebäpli örän kuwwatly, birnäçe onlarça kilowatt kuwwatly p-iberijiler ulanylýar. UGT-nyň gönümel görünýän p-rele liniýalarynda p-iberijiniň kuwwaty adaty 10 Wt-dan geçmeýär. Troposfera pytramasy ulanylanda, stansiýalaryň arasy 300-600 km bolýar.

Troposfera pytramaly liniýalar az adamly raýonlar üçin ulanylýar. Beýle etmek bilen köp sany refraksiýa stansiýalaryny ýerleşdirmek we kabel geçirmek işi çalşylýar.

12.3. Ultra gysga radiotolkunlaryň kosmiki aragatnaşyk liniýalarynda ýaýraýşy.

Häzirki döwürde retranslyatorlary derek ýeriň emeli hemralary (geljekde hemralar) ulanylýan uzyn UGT liniýalary köp ulanylýar. 30-40 mün km belentlikde “ýerleşen” hemralar ýeriň $\frac{1}{3}$ -e retranslyasiýany üpjün edip bilýär. Ýer-hemra we hemra-ýer radioliniýalarynda uzynlygy 3m-den kiçi bolan, ionosferadan hem serpikýän

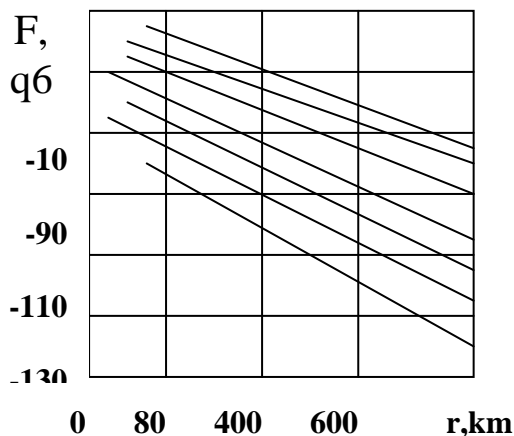
p-tolkunlar ulanylýar. Tolkun uzynlyk saýlanyp alynanda, troposferadan serpikme hem hasaba alynmalydyr.

Halkara ylalaşyk boýunça hemra liniýalarynyň desimetrlik, santimetrlik we millimetrlik diapazonlary paýlanylýar. Häzirki döwürde Ýer-hemra trassasy üçin 6 we 8 GGs-leriň töweregi, hemra-ýer üçin 0,7-4 we 7 GGs-leriň töweregi gowy özleşdirilendir.

Kosmiki radioliniýanyň soňunda p-liniýanyň kuwwaty (17.12.) formula bilen kesgitlenýär. Ondaky F gowşama koeffisienti p-tolkunyň troposferadaky gowşamagy bilen kesgitlenilýär:

$$P_{\phi} = \frac{P_{\Sigma} D_1 S_{\phi}}{4\pi r^2} F_{op}^2 \quad (12.12)$$

P_{Σ} - iberiji antennanyň şöhlendiren kuwwaty, D_1 - iberiji antennanyň gönükdiriji täsiriniň koeffisienti; r – iberiji we kabul ediji antenalaryň arasyndaky uzaklyk; S_{ϕ} - kabul ediji antennanyň meýdany, F_{op} - troposfera üçin ortaça gowşama koeffisienti.



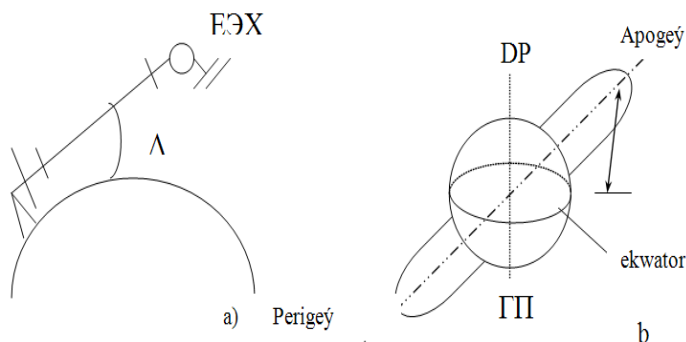
Surat 12.9 Radiotolkunlaryň troposferada ortaça sönme koffisiýentiniň aralyga baglanyşygy

Gyş pasyly üçin $F_{op} = f(\lambda, r)$ **12.9. suratda** görkezilendir. 6 GGs-den ýokary ýyglylyklar üçin ygaldaky ýuwdulmany hem hasaba almaly bolýar. Kosmiki liniýalarda ionosferadaky ýuwdulma hasaba alynmaýar. Troposfera gazlaryndaky ýuwdulma hasaba alynýar. Suw buglarynda, howanyň kislorodynda ýuwdulma traýektorıyanyň belentleşme Δ burçuna bagly bolýar. Δ burçuň kiçelmegi bilen p-tolkunyň ýuwdylmasy artýar. Sebäbi troposfera boýunça geçilmeli ýol uzalýar. Belentleşme burçy 12-den kiçi bolanda, hemra p-liniýalarynda gönümel tolkunynyň we ýer üstünden serpigi tolkunynyň interferensiýasy netijesinde tolkunynyň diňmesi ýüze çykýar. Bu diňmäniň çuňlugy 10-15 dB-e ýetýär. Ulurak belentleşme burçlarynda 0,5-1 dB we oňa troposfera **düregeýliklerindäki interferensiýa** diýilýär.

Hemra aragatnaşygynda ýeriň magnit meýdanynyň täsiri bilen p-tolkunlaryň polýarlanyşy üýtgeýär. Bu täsir 10 GGs-den pes ýyglylyklarda bildirilýär. Kabul ediji antennadaky EHG tolkunynyň polýarlaşmasynyň görnüşine bagly bolýar. Polýarlaşmanyň üýtgemegi kabul edilýän signalyň derejesiniň üýtgän durşagyna getirýär: polýarizasion diňmeler ýüze çykýar. Olary ýok etmek üçin tegelek polýarlaşma ulanylýar. Ol ionosferada ýeriň magnit meýdanynyň täsiri bilen üýtgemeyär.

Hemra-retranslyatorlar ýa belent elliptik (**17.3.2. surat**) ýa-da geostasionar tegelek orbitalar boýunça herekete getirilýär. Elliptik orbitanyň bir fokusynda ýeriň merkezi ýerleşýär. Bu orbitalaryň häsiýetnamalary:

ýapgytlyk (eňňitlik)-orbitanyň tekizligi bilen ekwatoryň tekizliginiň arasyndaky α burç, apogeýiň beýikligi ýeriň üstünden maksimal daşlaşma, perigeýiň beýikligi ýeriň üstünde minimal golaýlaşma, mysal üçin: “Molniýa” görnüşli hemrany görkezijileri: $\alpha=63,4^0$, apogeýiň beýikligi 40 müň km we perigeýiň beýikligi 1200 km. Hemranyň aýlanma periody 12 sagat. Periodynyň köp wagty demirgazyk ýarym tarda bolýar we 8 sagadyň dowamynda SNG-iň territoriýasynda retranslýasiýany üpjün edýär.

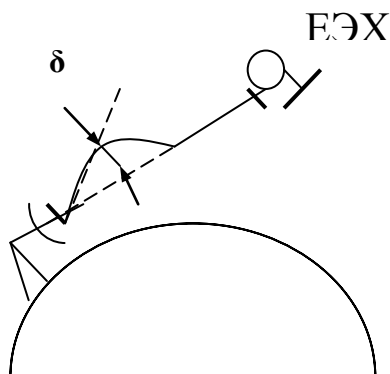


12.10.surat Hemra retranslýatorynyň orbitalary

Elliptik orbitaly hemralar ulanylanda, seansyň ähli dowamynda ýerdäki antennalaryň gönükdirme diagrammalaryň (DH) ugruny hemra tarap gönüler ýaly üýtgedip durmaly bolar. Stasionar tegelek orbitalar ekwatoryň tekizliginde, 35 000 km belentlikde ýerleşýär. Ondaky hemranyň aýlanma periody 24 sagat. Ýeriň burç

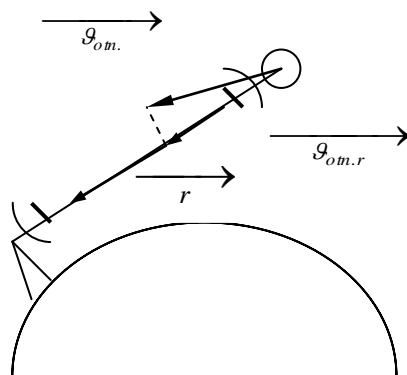
tizligi bilen aýlanýan bu hemralar ýeriň üstüne otnositel hereketsiz bolýar. Polýar oblastlarda stasionar hemralaryň kiçi belentleşme burçy bilen görünýänligi üçin aragatnaşyk ýaramazlaşýar. Hemra güňüň we aýyň dartmasynyň we ýeriň sferiki dälliginiň täsiri bilen geostasionar orbitadaky hemranyň orbitasy haýallyk bilen üýtgeýär. Eger hemradaky dwigateller bilen bu üýtgemeler düzedilip durulsa, ýerde hereketsiz antennalary ulanmak bolar. Eger orbita düzedilmese, ýerdäki antennalaryň gönükdirme diagrammalarynyň ugryny üýtgedip durmaly bolýar ýa-da ýeriň üstünde giň antennalary ulanmaly bolýar.

Ýerdäki antennalar hemra gönükdirilende radiotolkunyň ionosferada we troposferada traýektoriyasynyň egreljendigi hasaba alynmaly. 1 GGs ýygylykdan ýokarda ionosferanyň traýektoriya täsiri az bolýar we hasaba alynmaýar. Troposfera refraksiýasy ýygylyga bagly dälendir we radiotolkunyň ýaýrama ugryny göni liniýadan δ refraksiya burçuna δ (**17.3.3. surat**). Bu δ burç adaty 0,15⁰-dan uly bolmaýar.



a)

Surat 12.11 Troposfera refraksiýasy



Surat 12.13 Kosmiki aragatnaşyk linýalarynda doppleriň effekti

Stansionar orbitadaky hemra bilen retranslýasiýa edilende, Doppleriň effektini hasaba almaly bolýar. Haçanda iberiji antenna kabul ediji antenna otnositel hereket edende, (ýa-da tersine) bu effekt ýüze çykýar. Hereket sebäpli kabul edilýän tolkunynyň ýygylgy üýtgeýär. Kabul ediji antenna iberijiden daşlaşýan bolsa, kabul edilýän signalyň ýygylgy peselýär. Ýygylgyň üýtgemesi:

$$\Delta f_g \approx f_0 \frac{g_{om.r}}{C}$$

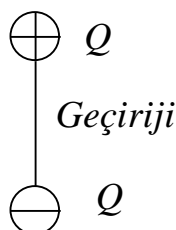
formula bilen kesgitlenýär. f_0 - iberijiniň şöhlelendirýän ýygylgy, $g_{om.r}$ - iberiji we kabul ediji antennalaryň özara otnositel tizliginiň wektorynyň \vec{r}

radius-wektora proyeksiýasy (17.34. surat). Kosmiki aragatnaşygyň aýratynlygy: aralygyň daşlygy zerarly geostasionar retranslýasiýada signal 0,3 sekunda gijä galyp gelýär. Ol aragatnaşygyň telefon kanalyňy gurnamaga päsgelçilik bermeyär.

§ 13. Çyzykly ossilýatoryň şöhlenenmesi

13.1. Gersiň wibratory

Geçiriji bilen birikdirilen iki sany metal şaryň toplumyna Gersiň wibratory diýilýär. Eger bu şarlar ululuklary boýunça deň we garşylykly alamatly zaryadlar bilen zaryadlandyrylsa we zaryadlandyryjy çeşme aýrylsa, onda şarlaryň gezekli-gezegine dürli atly zaryadlanma yrgyldyly hadysasy bolup geçýär. Zaryadlanan şarlary birikdirýän geçirijiniň garşylygy has kiçi bolany üçin bu yrgyldy köp wagtlaý dowam edýär. Şarlaryň aralaryndaky uzaklykdan has uzak aralyklarda Gersiň wibratorynyň elektromagnit meýdanyny momenti (p) wagta görä üýtgeýän dipolyň meýdany ýaly kabul etmek bolýar.

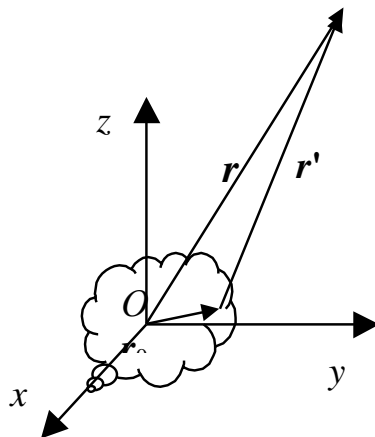


13.1-nji surat

13.2. Momenti wagta görä üýtgeýän dipolyň skalýar potensialy

Koordinatalar başlangyjyny dipolyň golaýynda ýerleşdireliň. Goý potensialy hasaplanylýan nokadyň radius wektory \mathbf{r} we integrirlenýän nokatdan potensialy kesgitlenilýän nokada çenli aralyk \mathbf{r}' bolsun. (5.29) deňlemäniň esasynda

$$\varphi(\mathbf{r}, t) = \frac{1}{4\pi\epsilon} \int_V \frac{\rho\left(\mathbf{r}_0, t - \frac{r'}{v}\right)}{r'} dV, \quad (13.1)$$



13.2-nij Surat

bu ýerde $dV = dx_0 + dy_0 + dz_0$. Dipoldan uzak aralyklarda potensialy kesgitläliň. Bu ýagdaýda $r_0/r \ll 1$ ýa-da $r_0 \ll r$. Çyzgydan görnüşi ýaly $\mathbf{r}' = \mathbf{r} - \mathbf{r}_0$.

$$r' = \sqrt{r^2 - 2rr_0 + r_0^2} = r \sqrt{1 - 2\frac{rr_0}{r^2} + \frac{r_0^2}{r^2}}$$

aňlatmany r/r_0 hatara dargadalyň. Belli bolşy ýaly

$$(1+x)^{1/2} = 1 + \frac{1}{2}x - \frac{1}{8}x^2 + \dots (-1)^{n-1} \frac{(2n-3)!!}{(2n)!!} x^n,$$

onda $x = -2rr_0/r^2 + r_0^2/r^2$ diýip belläp alarys

$$\sqrt{1 - 2\frac{rr_0}{r^2} + \frac{r_0^2}{r^2}} = 1 + \frac{1}{2} \left(-2\frac{rr_0}{r^2} + \frac{r_0^2}{r^2} \right) - \frac{1}{8} \left(-2\frac{rr_0}{r^2} + \frac{r_0^2}{r^2} \right)^2 + \dots =$$

$$= 1 - \frac{rr_0}{r^2} + \frac{1}{2} \frac{r_0^2}{r^2} \approx 1 - \frac{rr_0}{r^2},$$

$$\text{sebäbi } \frac{1}{2} \frac{r_0^2}{r^2} \rightarrow 0. \quad \text{Şeýlelikde}$$

$$r' = r \left(1 - \frac{r r_0}{r^2} \right) = r - \frac{r r_0}{r} + \dots \quad (13.2)$$

(6.2)-nji deňlemeden peýdalanyň (6.1) deňlemedäki integralyň aşagyňdaky aňlatmany r nokatda Teýloryň hataryna dargadylan

$$\frac{\rho\left(r_0, t - \frac{r'}{c}\right)}{r'} = \frac{\rho\left(r_0, t - \frac{r}{c}\right)}{r} - \frac{r r_0}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left\{ \frac{\rho\left(r_0, t - \frac{r}{c}\right)}{r} \right\} + \dots = \frac{\rho}{r} - \frac{r}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left(\frac{r_0 \rho}{r} \right) + \dots$$

(13.3)

(13.3) we (13.1) deňlemelerden

$$\varphi = \frac{1}{4\pi\epsilon_0 r} \int_v \rho dV - \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{r}{r} \frac{\partial}{\partial r} \frac{1}{r} \int_v r_0 \rho dV \quad (13.4)$$

Ulgamyň (sistemanyň) neýtrallygy sebäpli we

$$\int_v \mathbf{r}_0 \rho \left(\mathbf{r}_0, t - \frac{r}{c} \right) dV = \mathbf{P} \left(t - \frac{r}{c} \right) \quad (13.5)$$

şeylelikde

$$\varphi(\mathbf{r}, t) = -\frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{\mathbf{r}}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left(\frac{p \left(t - \frac{r}{c} \right)}{r} \right)$$

(13.6)

Diwergensiýanyň sferik koordinatlar ulgamynda ýazylyşyndan peýdalanyň soňky deňlemäni aşadaky görnüşde ýazmak mümkin

$$\operatorname{div} \mathbf{F} = \frac{1}{r^2} \frac{\partial}{\partial r} (r^2 F_r) + \frac{1}{r \sin \vartheta} \frac{\partial}{\partial \vartheta} (\sin \vartheta \cdot F_\vartheta) + \frac{1}{r \sin \vartheta} \frac{\partial F_\varphi}{\partial \varphi}$$

(13.7)

$$\varphi(\mathbf{r}, t) = -\frac{1}{4\pi\epsilon_0} \operatorname{div} \left(\frac{\mathbf{P}\left(t - \frac{r}{c}\right)}{r} \right) \quad (13.8)$$

13.3. Momenti wagta görä üýtgeýän dipolyň wektor potensialy

(5.28) deňlemäniň esasynda wektor potensial

$$\mathbf{A}(\mathbf{r}, t) = \frac{\mu}{4\pi} \int_v \frac{\mathbf{j}\left(\mathbf{r}_0, t - \frac{r}{c}\right)}{r'} dV$$

Integralyň aşagyndaky funksiýany hatara dargadalyň, ýagny

$$\frac{j\left(r_0, t - \frac{r'}{c}\right)}{r'} = \frac{j\left(r_0, t - \frac{r}{c}\right)}{r} - \frac{rr_0}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left\{ \frac{j\left(r_0, t - \frac{r}{c}\right)}{r} \right\} + \dots, \text{ onda}$$

$$A(\mathbf{r}, t) = \frac{\mu_0}{4\pi r} \int_V j\left(r_0, t - \frac{r}{c}\right) dV - \frac{\mu_0}{4\pi} \int_V \frac{rr_0}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left(\frac{j}{r} \right) dV + \dots$$

(13.9)

(13.9) deňlemäniň sag tarapyndaky birinji integral elektrik akymynyň ýapyk däldigi sebäpli nola deň dälär we potensialyň esasy bölegini emele getirýär. Potensialyň bu bölegini hasaplamak üçin (6.5) deňlemäni wagta görä differensirläliň:

$$\frac{\partial p\left(t - \frac{r}{c}\right)}{\partial t} = \int_V r_0 \frac{\partial \rho\left(r_0, t - \frac{r}{c}\right)}{\partial t} dV$$

(13.10)

Üznüksizlik deňlemesinden ($\frac{\partial \rho}{\partial y} = -div \mathbf{j}$) peýdalanyp

alarys, ýagny

$$\frac{\partial \rho \left(t - \frac{r}{c} \right)}{\partial t} = \int_V \mathbf{r}_0 div \mathbf{j} dV, \quad div \mathbf{j} = \frac{\partial j_x}{\partial x_0} + \frac{\partial j_y}{\partial x_0} + \frac{\partial j_z}{\partial x_0}.$$

(13.11)

Soňky deňlemäniň iki tarapyny hem käbir hemişelik erkin \mathbf{a} wektora köpeldeliň:

$$\mathbf{a} \frac{\partial \rho \left(t - \frac{r}{c} \right)}{\partial t} = \int_V \mathbf{a} \mathbf{r}_0 div \mathbf{j} dV.$$

(13.12)

$div(\varphi \mathbf{A}) = \varphi div \mathbf{A} + \mathbf{A} grad \varphi$ deňlemäniň esasynda

$$\mathbf{a} \mathbf{r}_0 div \mathbf{j} = div \{ \mathbf{j}(\mathbf{a} \mathbf{r}_0) \} - \mathbf{j} grad(\mathbf{a} \mathbf{r}_0) = div \{ \mathbf{j}(\mathbf{a} \mathbf{r}_0) \} - \mathbf{a} \mathbf{j},$$

(13.13)

sebäbi $grad(\mathbf{a} \mathbf{r}_0) = a_x \mathbf{i} + a_y \mathbf{j} + a_z \mathbf{k} = \mathbf{a}$ we $\mathbf{r}_0 = (x - x_0) \mathbf{i} + (y - y_0) \mathbf{j} + (z - z_0) \mathbf{k}$.

şeylelikde (13.12) we (13.13) deňlemelerden

$$a \frac{\partial p \left(t - \frac{r}{c} \right)}{\partial t} = - \int_V \operatorname{div} \{ \mathbf{j}(\mathbf{ar}_0) \} dV + a \int_V \mathbf{j} dV$$

(13.14)

$\int_V \operatorname{div} \{ \mathbf{j}(\mathbf{ar}_0) \} dV = \oint_S \mathbf{j}(\mathbf{ar}_0) dS = 0$
 bu integral hemme elektrik akymylary V göwrümde ýygynan bolup, göwrümi çäklendirýän S üstde elektrik akymynyň dykzlygy $j=0$ bolany üçin nola deňdir. (13.14) deňlemeden

$$a \frac{\partial P}{\partial t} = +a \int_V \mathbf{j} dV$$

(13.15)

Soňky deňlemeden \mathbf{a} wektoryň islendik hemişelik wektor bolany üçin

$$\frac{\partial P\left(t - \frac{r}{c}\right)}{\partial t} = \int_V j\left(r_0, t - \frac{r}{c}\right) dV$$

(13.16)

şeylelikde (6.9) we (6.16) deňlemelerden

$$A(\mathbf{r}, t) = \frac{\mu_0}{4\pi} \frac{\partial}{\partial t} \left[\frac{P\left(t - \frac{r}{c}\right)}{r} \right]$$

(13.5)

(6.5) we (6.8) deňlemelerden görnüşi ýaly islendik neýtral ulgamyň wektor we skalýar potensiallary, ulgamdan uzak aralyklarda bu ulgamyň elektrik momenti bilen kesgitlenýär. Momenti wagta görä üýtgeýän dipola ossilýätor ýada wibrator diýilýär. şeylelikde, neýtral zarýadlar ulgamynyň uzak aralyklardaky meýdany momenti bu ulgamyň momentine deň bolan ossillýatoryň meýdany bilen gabat gelýär.

13.4. Çyzykly ossillýatoryň elektrik we magnit meýdany

Momenti aşakdaky kanun boýunça üýtgeýän dipola çyzykly ossillýator ýada wibrator diýilýär:

$$\mathbf{p}(t) = \mathbf{p}_0 f(t) \quad (6.6)$$

bu ýerde \mathbf{p}_0 – hemişelik wektor; $f(t)$ – periodik funksiýa.

Hasaplamalary aňsatlaşdyrmak üçin aşakdaky wektor girizilýär:

$$\mathbf{\Pi}(t, r) = \frac{\mathbf{p}_0 f\left(t - \frac{r}{c}\right)}{r} = \mathbf{p}_0 \Phi(t, r) \quad (6.7)$$

$\Pi(t, r)$ – Gersin wektory, ýa-da polýarlanma potensialy diýilýär. Bu wektor aşakdaky deňlemäni kanagatlandyrýar

$$\nabla^2 \Pi - \frac{1}{c^2} \frac{\partial^2 \Pi}{\partial t^2} = 0$$

(13.8)

Belli bolşy ýaly $\mathbf{B} = \text{rot} \mathbf{A}$ we $\mathbf{E} = -\text{grad} \varphi - \partial \mathbf{A} / \partial t$, onda (6.5)

we (6.8) deňlemeleri hasaba alyp alarys

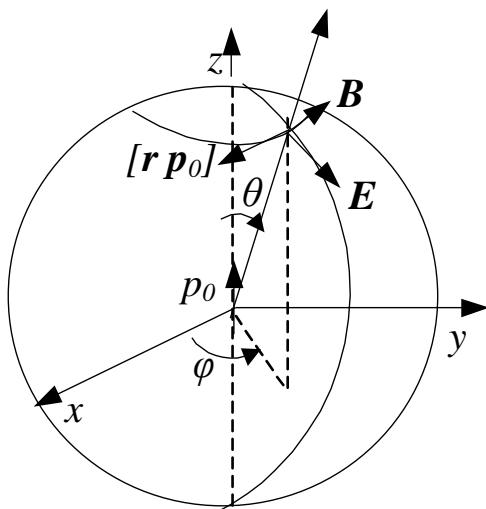
$$\mathbf{B} = \text{rot} \mathbf{A} = \frac{\mu_0}{4\pi} \text{rot} \frac{\partial \Pi}{\partial t} = \frac{\mu_0}{4\pi} \frac{\partial}{\partial t} \text{rot} \Pi$$

$$\begin{aligned}
E &= -\text{grad}\varphi - \frac{\partial A}{\partial t} = \\
&= \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \text{graddiv}\mathbf{\Pi} - \frac{\mu_0}{4\pi} \frac{\partial^2 \mathbf{\Pi}}{\partial t^2} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \left(\text{graddiv}\mathbf{\Pi} - \mu_0\epsilon_0 \frac{\partial^2 \mathbf{\Pi}}{\partial t^2} \right) = \\
&= \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \left(\text{graddiv}\mathbf{\Pi} - \frac{1}{c^2} \right) \frac{\partial \mathbf{\Pi}}{\partial t^2}.
\end{aligned}$$

(13.9)

(13.8) deñlemeden $\frac{1}{c^2} \frac{\partial^2 \mathbf{\Pi}}{\partial t^2} = \nabla^2 \mathbf{\Pi}$ we

$$\text{rotrot}\mathbf{\Pi} = \text{graddiv}\mathbf{\Pi} - \nabla^2 \mathbf{\Pi}, \text{ onda}$$



13.3-nji surat

$$E = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \left(\text{grad div} \Pi - \nabla^2 \Pi \right) = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \text{rot rot} \Pi$$

(13.10)

(13.7) deňlemeden $\text{rot} \Pi = \text{rot} p_0 \Phi$

$$= \Phi \text{rot} p_0 + [\text{grad} \Phi, p_0] =$$

$= \Phi \cdot 0 + [\text{grad} \Phi, p_0]$, p_0 – hemişelik wektor bolany üçin

$\text{rot} p_0 = 0$. Şeýlelikde

$$\text{rot}\mathbf{\Pi}=[\text{grad}\Phi,\mathbf{p}_0]=(1/r)\partial\Phi/\partial r[\mathbf{r}\mathbf{p}_0].$$

Ossilýatory sferik koordinatalar ulgamynyň merkezinde ýerleşdireliň. $[\mathbf{r}\mathbf{p}_0]$ wektor φ burçuň kemelýän tarapyna ugrukdyrylandyr. şu sebäpli $[\mathbf{r}\mathbf{p}_0]$ wektoryň düzüjileri r , θ we φ koordinatalaryň artýan taraplarynda:

$$[\mathbf{r}\mathbf{p}_0]_r=[\mathbf{r}\mathbf{p}_0]_\theta=0, \quad [\mathbf{r}\mathbf{p}_0]_\varphi=-rp_0\sin\theta.$$

Degişlilikde $\text{rot}_r\mathbf{\Pi}=\text{rot}_\theta\mathbf{\Pi}=0$ we

$$\text{rot}\mathbf{\Pi}=\text{rot}_\varphi\mathbf{\Pi}=(1/r)\partial\Phi/\partial r(-rp_0\sin\theta)=$$

$$=-r\sin\theta\partial(\Phi p_0)/\partial r=-\sin\theta\partial\mathbf{\Pi}/\partial r.$$

şeylelikde (6.9) deňlemäniň esasynda

$$B_r=B_\theta, \quad B_\varphi=(\mu_0/4\pi)(\partial/\partial t)\text{rot}_\varphi\mathbf{\Pi}=- (\mu_0/4\pi)\sin\theta(\partial^2\mathbf{\Pi}/\partial t\partial r).$$

(6.23)

Elektrik meýdanynyň güýjenmesiniň sferik koordinatalar ulgamynda düzüjileri:

$$\begin{aligned}
 E_r &= \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{1}{r \sin\theta} \frac{\partial}{\partial\theta} (\sin\theta \operatorname{rot}_\varphi \Pi) = -\frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{1}{r \sin\theta} \frac{\partial}{\partial\theta} \left(\sin\theta \cdot \sin\theta \frac{\partial \Pi}{\partial r} \right) = \\
 &= -\frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{1}{r \sin\theta} \frac{\partial}{\partial\theta} (\sin^2 \theta) \frac{\partial \Pi}{\partial r} = -\frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{1}{r \sin\theta} 2\sin\theta \cdot \cos\theta \frac{\partial \Pi}{\partial r} = \\
 &= -\frac{1}{2\pi\epsilon_0} \frac{\cos\theta}{r} \frac{\partial \Pi}{\partial r}, \\
 (13.24)
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 E_\theta &= -\frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} (r \operatorname{rot}_\varphi \Pi) = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left(r \sin\theta \frac{\partial \Pi}{\partial r} \right) = \\
 &= \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{1}{r} \sin\theta \frac{\partial}{\partial r} \left(r \frac{\partial \Pi}{\partial r} \right)
 \end{aligned}$$

$$E_\varphi = 0.$$

(6.23) we (6.24) deňlemelerden görnüşi ýaly ossilýatoryň elektrik we magnit meýdanlary özara perpendikulýardyr. Elektrik meýdanynyň güýç çyzyklary meridional tekizliklerde ýatýarlar. Magnit meýdanynyň güýç çyzyklary bolsa sferik koordinatalar ulgamynyň parallelleri bilen gabat gelýärler. (6.23) we

(6.24) deñlemeler dipol momentiň wagta görä islendik kanun boýunça üýtgäninde dogrudylar.

Eger dipol momenti

$$\mathbf{p} = \mathbf{p}_0 \exp(i\omega t) \quad (13.25)$$

garmoniki kanun boýunça üýtgeýän bolsa, onda Gersiň wektory aşakdaky görnüşde ýazylýar

$$\mathbf{\Pi} = \mathbf{p}_0 \exp[i\omega(t-r/c)/r]. \quad (13.26)$$

(6.26) we (6.23) deñlemelerden degişli differensirlemeleri ýerine ýetirip alarys:

$$\begin{aligned}
B_{\varphi} &= -\frac{\mu_0}{4\pi} \sin\theta \frac{\partial^2}{\partial t \partial r} \left(p_0 \frac{\exp i\omega(t-r/c)}{r} \right) = \\
&= -\frac{\mu_0}{4\pi} \sin\theta p_0 \frac{\partial}{\partial t} \left(\frac{r \exp i\omega(t-r/c) \cdot (i\omega/c) - \exp i\omega(t-r/c)}{r^2} \right) = \\
&= -\frac{\mu_0}{4\pi} \sin\theta p_0 \frac{\partial}{\partial t} \exp i\omega(t-r/c) \left(\frac{-i\omega r/c - 1}{r^2} \right) = \\
&= \frac{\mu_0}{4\pi} \sin\theta p_0 \exp i\omega(t-r/c) i\omega \left(\frac{i\omega r/c + 1}{r^2} \right) = \\
&= \frac{\mu_0}{4\pi} \sin\theta p_0 \exp i\omega(t-r/c) \frac{i\omega}{r} \left(\frac{i\omega r}{cr} + \frac{1}{r} \right) = \\
&= \frac{\mu_0}{4\pi} \sin\theta \Pi i\omega \left(\frac{i\omega}{c} + \frac{1}{r} \right) = \frac{\mu_0}{4\pi} i\omega \left(\frac{i\omega}{c} + \frac{1}{r} \right) \sin\theta \Pi.
\end{aligned}$$

(13.11)

(13.26) we (13.24) deñlemelerden

$$\begin{aligned}
E_r &= -\frac{1}{2\pi\epsilon_0} \frac{\cos\theta}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left(p_0 \frac{\exp i\omega(t-r/c)}{r} \right) = \\
&= -\frac{1}{2\pi\epsilon_0} \frac{\cos\theta}{r} p_0 \frac{r \exp i\omega(t-r/c) (-i\omega/c) - \exp i\omega(t-r/c)}{r^2} = \\
&= \frac{1}{2\pi\epsilon_0} \cos\theta p_0 \frac{\exp i\omega(t-r/c)}{r} \frac{r \frac{i\omega}{c} + 1}{r^2} = \frac{1}{2\pi\epsilon_0} \left(\frac{i\omega}{rc} + \frac{1}{r^2} \right) \Pi \cos\theta; \\
&\quad (13.28)
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
E_\theta &= \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{\sin\theta}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left(r \frac{\partial}{\partial r} p_0 \frac{\exp i\omega(t-r/c)}{r} \right) = \\
&= \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{\sin\theta}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left(p_0 \frac{\exp i\omega(t-r/c) \cdot (-i\omega/c) - \exp i\omega(t-r/c)}{r^2} \right) = \\
&= \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{\sin\theta}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left(p_0 \exp i\omega(t-r/c) \frac{-i\omega/c - 1}{r} \right) = \\
&= \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{\sin\theta}{r} p_0 \exp i\omega(t-r/c) \left((-i\omega/c) \frac{-i\omega/c - 1}{r} + \frac{r(-i\omega/c) - (-i\omega/c - 1)}{r^2} \right) = \\
&= \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \sin\theta p_0 \frac{\exp i\omega(t-r/c)}{r} \left(\frac{-\frac{\omega^2}{c^2}r + \frac{i\omega}{c}}{r} + \frac{-\frac{i\omega}{c}r + \frac{i\omega}{c}r + 1}{r^2} \right) = \\
&= \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \sin\theta p_0 \left(-\frac{\omega^2}{c^2}r + \frac{i\omega}{cr} + \frac{1}{r^2} \right) = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \left(\frac{1}{r^2} + \frac{i\omega}{cr} - \frac{\omega^2}{c^2} \right) p_0 \sin\theta
\end{aligned}
\tag{13.29}$$

$\lambda = CT = 2\pi \frac{c}{\omega}$

Ossilýatora golaýda, ýagny ω tolkun uzynlykdan kiçi aralyklarada meýdan statiki dipolyň elektrik meýdany E we elektrik akymynyň magnit meýdany H bilen gabat gelyär.

Ossillýatordan uzak aralyklara, ýagny $r \gg \lambda$ aralyklara tolkun zonasy diýilýär. Goý

$$\frac{1}{r} \ll \frac{\omega}{c} = \frac{2\pi}{cT} = \frac{2\pi}{\lambda} \quad r \gg \frac{\lambda}{2\pi} \quad \text{ýa-da} \quad (13.30)$$

(13.11), (13.28) we (13.29) deňlemelerde $1/r$ we $1/r^2$ saklaýan goşulyjylary taşlap alarys

$$B_\varphi = -\frac{\mu_0 \varepsilon_0}{4\pi \varepsilon_0} \frac{\omega^2}{c} \frac{c}{c} \Pi \sin \theta, B_r = B_\theta = 0, \quad (13.31)$$

$$E_\theta = -\frac{1}{4\pi \varepsilon_0} \frac{\omega^2}{c^2} \Pi \sin \theta, E_r = E_\varphi = 0$$

$$\Pi = p_0 \frac{\cos \omega \left(t - \frac{r}{c} \right)}{r} \quad (13.32)$$

Goý, onda ossillýatoryň şöhlelenmesiniň elektromagnit meýdany

$$E_{\theta} = cB_{\varphi} = -\frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{\omega^2}{c^2} \frac{\sin\theta}{r} p_0 \cos\omega\left(t - \frac{r}{c}\right),$$

$$E_r = E_{\varphi} = 0, B_r = B_{\vartheta} = 0, c^2 = \frac{1}{\mu_0\epsilon_0}.$$

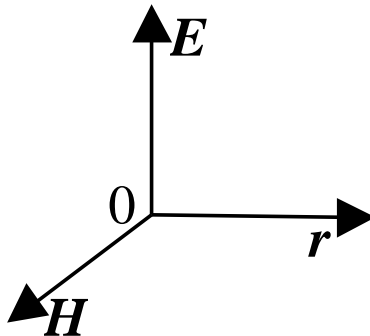
(13.33)

(13.33) deñlemeden

$$E_{\vartheta} = \frac{1}{\sqrt{\epsilon_0} \cdot \sqrt{\mu_0}} B_{\varphi} = \frac{1}{\sqrt{\epsilon_0} \sqrt{\mu_0}} \mu_0 H_{\varphi}$$

$$\sqrt{\epsilon_0} \cdot E_{\vartheta} = \sqrt{\mu_0} H_{\varphi}$$

(13.34)



13.4-nji Surat

(13.33) deňleme \mathbf{B} we \mathbf{E} wektorlar biri-birlerine we \mathbf{r} wektora perpendikulýardyklaryny we \mathbf{r} ugurda ýaýraýandygyny görkezýär. Bu tolkuna sferik tolkun diýilýär we onuň faza tizligi ýagtylygynyň tizligine deňdir. şeýlelikde ossillýator sferik elektromagnit tolkunyny şöhlendirýär we ossillýatordan uzak aralyklarda tolkunynyň kiçi meýdançalary (uçastoklary) tekiz tolkunlardyr. Ossillýatoryň energiýasynyň sferanyň üsti boýunça akymy

$$\begin{aligned}
 P &= \int_S [\mathbf{E}\mathbf{H}] ds = \int_S E_\theta H_\varphi ds = \frac{1}{16\pi^2 \varepsilon_0} \frac{\omega^4 P_0^2}{c^3} \cos^2 \omega(t - \frac{r}{c}) \int_0^\pi \sin^3 \theta d\theta \int_0^{2\pi} d\varphi = \\
 &= \frac{1}{6\pi \varepsilon_0} \frac{\omega^4 P_0^2}{c^3} \cos^2 \omega(t - \frac{r}{c}).
 \end{aligned} \tag{18.35}$$

(13.35)

Bu sferanyň üsti boýunça energiýanyň akymynyň kuwwatydyr, ýagny energiýanyň wagt birligine gatnaşygydyr. Ossilýatoryň bir perioddaky şöhlelenmesiniň ortaça kuwwatynyň dykyzlygy

$$\langle P \rangle = \frac{1}{T} \int_0^T p dt = \frac{1}{12\pi\epsilon_0} \frac{\omega^4 p_0^2}{c^3} .$$

(13.36)

Soňky deňlemeden görnüşi ýaly, yrgyldy ýygylgynyň artmagy ýa-da tolkun uzynlygynyň kemelmegi ossilýatoryň şöhlelenme kuwwatynyň artmagyna getirýär.

§ 14. Elektrik akymy bar ramkanyň wektor potensialy we şöhlelenmesi

14.1. Eelektrik akymy bar ramkanyň wektor potensialy

Ramkada elektrik akymy ýapyk bolany üçin $\text{div} \mathbf{j} = 0$.

Üznüksizlik deňlemesinden, ýagny $\text{div} \mathbf{j} + \frac{\partial \rho}{\partial t} = 0$ deňlemeden görnüşi ýaly $\rho = \text{hemişelik}$. şu sebäpli wagta görä hemişelik we

üýtgeýän meýdan öwrenilende taşlanylýar. Wektor potensial bu ýagdaýda aşakdaky deňlemäniň üsti bilen kesgitlenýär:

$$A(\mathbf{r}, t) = + \frac{\mu_0}{4\pi} \int_V \frac{\mathbf{j}\left(\mathbf{r}_0, t - \frac{r}{c}\right)}{r'} dV$$

(14.1)

Integralyň aşagyndaky funksiýany hatara dargadyp alarys

$$A(\mathbf{r}, t) = \frac{\mu_0}{4\pi} \int_V \mathbf{j}\left(\mathbf{r}_0, t - \frac{r}{c}\right) dV - \frac{\mu_0}{4\pi} \int_V \frac{r r_0}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left(\frac{\mathbf{j}}{r} \right) dV + \dots$$

(14.2)

Üstünden elektrik akymy akýan ramkada elektrik akymynyň ýapyk bolany üçin soňky deňlemäniň sag tarapyndaky birinji goşulyjy nola deňdir we

$$A(\mathbf{r}, t) = -\frac{\mu_0}{4\pi} \int_v \frac{\mathbf{r} \mathbf{r}_0}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left(\frac{\mathbf{j}}{r} \right) dV$$

(14.3)

$$\frac{\partial}{\partial r} \left(\frac{j \left(r_0, t - \frac{r}{c} \right)}{r} \right) = -\frac{j \left(r_0, t - \frac{r}{c} \right)}{r^2} + \frac{1}{r} \left(-\frac{1}{c} \right) \frac{\partial}{\partial t} \left(j \left(r_0, t - \frac{r}{c} \right) \right)$$

(14.4)

aňlatmany hasaba alyp (7.3) deňlemäni aşakdaky ýaly ýazalyň:

$$A(\mathbf{r}, t) = \frac{\mu_0}{4\pi} \int_v \frac{\mathbf{r} \mathbf{r}_0}{r^3} j \left(r_0, t - \frac{r}{c} \right) dV + \frac{\mu_0}{4\pi} \int_v \frac{\mathbf{r} \mathbf{r}_0}{cr^2} \frac{\partial}{\partial t} \left(j \left(r_0, t - \frac{r}{c} \right) \right) dV$$

(14.5) ýa-da

$$A(r, t) = \frac{\mu_0}{4\pi} \int_v \frac{rr_0}{r^3} j\left(r_0, t - \frac{r}{c}\right) dV + \frac{\mu_0 r}{4\pi c} \frac{\partial}{\partial t} \int_v \frac{rr_0}{r^3} j\left(r_0, t - \frac{r}{c}\right) dV \quad (14.6)$$

$$\int_v \frac{rr_0}{r^3} j\left(r_0, t - \frac{r}{c}\right) dV = \frac{\left[p_m\left(t - \frac{r}{c}\right), r\right]}{r^3},$$

Bilişiniz ýaly

onda

$$A(r, t) = \frac{\mu_0}{4\pi} \frac{\left[p_m\left(t - \frac{r}{c}\right), r\right]}{r^3} + \frac{\mu_0}{4\pi c r^2} \frac{\partial}{\partial t} \left[p_m\left(t - \frac{r}{c}\right), r\right]$$

(14.7)

Haçanda ulgamyň elektrik momentiniň şöhlelenmesi ýok bolsa, onda magnit momentiniň meýdany şöhlelenmä esasy goşandy goşýar, ýagny şöhlelenme magnit momentiniň hasabyna bolup geçýär. Eger elektrik momenti noldan tapawutly şöhlelenme berýän bolsa, onda ol esasy şöhlelenmäni döredýär we magnit momentiniň hasabyna döreýän şöhlelenme ujynsyzdyr, we ony hasaba almasaň hem bolýar.

Aşakdaky deňlemeleriň deňlişdirmesinden, ýagny

$$\mathbf{p}_m = \int_V [\mathbf{r}_0 \mathbf{j}] dV = \int_V [\mathbf{r}_0 \rho \mathbf{v}] dV = \int_V [\rho \mathbf{r}_0 \mathbf{v}] dV$$

$$\mathbf{p} = \mathbf{r}_0 \int_V \rho dV = \int_V \rho \mathbf{r}_0 dV,$$

$$\mathbf{p}_m = v \mathbf{p} \quad (14.8)$$

bu ýerde v - zarýadlaryň hereket tizligi. Dipolyň we üstünden elektrik akymy akýan ramkanyň wektor potensiallaryny deňeşdireliň:

$$\begin{cases} A_d \approx \frac{\mu_0}{4\pi} \frac{1}{r} \frac{\partial p}{\partial t} \\ A_m \approx \frac{\mu_0}{4\pi} \frac{1}{rc} \frac{\partial \mathbf{p}_m}{\partial t} = \frac{\mu_0}{4\pi} \frac{v}{rc} \frac{\partial \mathbf{p}}{\partial t} \end{cases}$$

$$(14.9)$$

$$A_m = \frac{v}{c} A_d \Rightarrow v A_d = c A_m, \quad (14.10)$$

eger $v=c$ bolsa $A_d=A_m$.

Adaty ýagdaýlarda (7.10) deňlemäniň ýerine ýetmegi üçin A_d hemişe A_m -den örän uly bolmaly ($A_d \gg A_m$), sebäbi

$v \ll c$. Üýtgeýän meýdan öwrenilýändigini üçin $E \sim \frac{\partial A}{\partial t}$ we $v \ll c$ bolanda $E_m \ll E_d$. Magnit momentiniň şöhlelenmesini dipol momentiniň şöhlelenmesi bilen deňeşdirilende hasaba alynmasa hem bolýar.

14.2. Elektrik akymy bar ramkanyň şöhlelenmesi

Elektrik akymy akýan ramkada dipol momentiniň ýoklugy sebäpli $\varphi=0$ we meýdan diňe wektor potensiala baglydyr:

$$\begin{cases} \mathbf{E} = -\frac{\partial \mathbf{A}}{\partial t} \\ \mathbf{B} = \text{rot} \mathbf{A}. \end{cases} \quad (14.11)$$

Bu ýagdaýda wektor potensial (14.7) deňlemiden kesgitlenýär

$$\mathbf{A} = \frac{\mu_0}{4\pi} \frac{\left[\mathbf{p}_m \left(t - \frac{r}{c} \right) \mathbf{r} \right]}{r^3} + \frac{\mu_0}{4\pi} \frac{1}{r^2 c} \frac{\partial \left[\mathbf{p}_m \left(t - \frac{r}{c} \right) \right]}{\partial t}.$$

(14.12)

(14.11) we (14.12) deňlemelerden tolkun zonada ($r \gg \lambda$) birinji goşulyjy (uzaklyga baglylykda $1/r^2$ ýaly kemelýär) ikinji goşulyjy (uzaklyga baglylykda $1/r$ ýaly kemelýär) bilen deňeşdirilende has kiçi bolany üçin

$$E = -\frac{\mu_0}{4\pi} \frac{1}{r^2 c} \frac{\partial \left[\mathbf{p}_m \left(t - \frac{r}{c} \right) \mathbf{r} \right]}{\partial t^2}$$

(14.13)

Eger elektrik akymy bar ramkanyň magnit momenti

$$\mathbf{p}_m(t) = \mathbf{p}_{m0} \cos \omega t$$

(14.14)

kanun boýunça üýtgeýän bolsa, hem-de (7.7) deňlemede birinji goşulyjyny taşlap alarys

$$A = -\frac{\mu_0}{4\pi} \frac{\omega}{c} \frac{\sin \omega \left(t - \frac{r}{c} \right)}{r^2} [\mathbf{p}_{m0} \mathbf{r}] ,$$

$$[\mathbf{p}_{m0} \mathbf{r}] = p_{m0} r \sin \theta . \quad (14.15)$$

Sferik koordinatalar ulgamynda A wektor potensialyň düzüjileri:

$$A_r = A_\theta = 0_{\text{we}}$$

$$A_\varphi = -\frac{\mu_0}{4\pi} \frac{\omega}{c} p_{m0} \sin \theta \frac{\sin \omega \left(t - \frac{r}{c} \right)}{r} .$$

$\mathbf{B} = \text{rot} \mathbf{A}$ sferik koordinatalardaky düzüjileri:

$$B_r = 0, B_\varphi = 0_{\text{we}}$$

$$B_{\theta 2} - \frac{1}{r^2} \frac{\partial}{\partial r} (r A_{\varphi}) = -\frac{\mu_0}{4\pi} \frac{\omega^2}{c^2} p_{m0} \sin \theta \frac{\cos \omega \left(t - \frac{r}{c} \right)}{r}$$

(14.16)

Elektrik meýdanynyň güýjenmesiniň sferik koordinatalardaky düzüjileri:

$$E_r = E_{\theta} = 0,$$

$$E_{\varphi} = \frac{\mu_0}{4\pi} \frac{\omega^2}{c} p_{m0} \cos \omega \left(t - \frac{r}{c} \right).$$

(14.5)

(14.16) we (14.5) deňlemeleriň deňeşdirmesinden

$$E_{\varphi} = -c B_{\theta} = \frac{\mu_0}{4\pi} \frac{\omega^2}{c} \frac{\sin \theta}{r} p_{m0} \cos \omega (t - r/c)$$

(14.6)

Soňky deňlemäni (6.33) deňleme (ossilýatoryn tolkun zonadaky şöhlenenmesiniň elektromagnit meýdany) bilen deňeşdirip alarys

$$p_{m0} = c p_0.$$

(14.7)

şeylelikde dipolyň we elektrik akymy bar ramkanyň elektromagnit meýdanynyň wektorlary aşakdaky gatnaşykdadylar:

$$\begin{aligned} E_{\varphi}(\text{elektrik akymy bar ramkanyňky}) &= -cB_{\theta}(\text{dipolyňky}), \\ cB_{\theta}(\text{elektrik akymy bar ramkanyňky}) &= E_{\varphi}(\text{dipolyňky}). \end{aligned} \quad (14.20)$$

Üstünden elektrik akymy akýan ramkanyň şöhlendirýän energiýasynyň akymynyň kuwwaty

$$P = \frac{1}{6\pi\epsilon_0} \frac{\omega^4 p_{m0}^2}{c^5} \cos^2 \omega(t - \frac{r}{c}). \quad (14.9)$$

Ossilýatoryň bir perioddaky şöhlelenmesiniň ortaça kuwwatynyň dykzlygy

$$\langle P \rangle = \frac{1}{12\pi\epsilon_0} \frac{\omega^4 p_{m0}^2}{c^5}. \quad (14.10)$$

15. Radioaragatnaşyk ulgamlarynda ulanylýan antennalaryň görnüşleri, parametrleri we häsiýetnamalary.

15.1. Antennalaryň parametrleri we häsiýetnamalary.

Radioliniýa boýunça iberilýän ähli signallar radioiberiji ýa-da radiokabul ediji antenna bölýärler, olary radiotolkun görnüşinde iberiji antenna şöhlelendirýär. Antennanyň girişine elektrik signaly iberilýär hem-de çykyşda tolkun görnüşinde ýaýraýar. Antenna-fider gurluşlary radioaragatnaşyk liniýalaryň esasy elementleriň biridir. Olaryň nädogry saýlanyp alynmagy we nädogry ulanylmagy radioaragatnaşyk liniýalarynyň işiniň bozulmagyna getirýär. Radioiberijini we kabul edijini näçe kämilleşdirsek hem antenna-fider gurluşlary nädogry işlese, netijede radioaragatnaşyk ulgamlarynyň işiniň hili pes bolýar. Ýöriteleşdirilen radioaragatnaşyk liniýalarynda ugrukdyrylan häsiýete antennalar ulanylýar. Signallar iberilende, şeýle antennalar radiotolkunlary belli bir ugurda şöhlelendirýärler, antennanyň ugrukdyrma häsiýetleri uly bolsa, az kuwwatly radioiberijini ulanmak mümkindir. Ugrukdyrylan kabul ediji antennalar radioliniýanyň signal-galmagal gatnaşygyny gowulaşdyrýar. Netijede kabul edijiniň girişindäki signal-galmagal gatnaşygy ulalýar we radioaragatnaşyk liniýasynyň hili ýokary galýar. Radioaragatnaşyk liniýalarynyň ynamly işlemegi radioiberiji we kabul ediji gurluşlaryň hem-de antennalaryň parametrlerinden başga-da radiotolkunlaryň ýaýraýyş ugrynyň saýlanyp alynmagyna hem uly derejede baglydyr. Häzirki zaman radioaragatnaşyk ulgamlarynda ýokary hilli we çylşyrymly kabul ediji we iberiji antennalaryň dürli

görnüşleri ulanylýar. Häzirki zaman radioaragatnaşyk radionawigasiýa, radiolokasiýa we beýleki radioulgamlarda parabola görnüşli wibratorly dielektrik antennalary bilen bir hatarda sinfaz antenna gözenekleri giňden ulanylýarlar. Şeýle antennalar dekametr tolkunlaryň diapazonyndan başlap uzyn millimetrlik tolkun diapazonlarynda dürli maksatlar üçin ulanylýarlar. Sinfaz antenna gözenekleriň şöhlendiriji elementleri köplenç ýarymtolkunly uzynlykly wibrator görnüşinde ýerine ýetirilýärler we şöhlendiriji elementler elektromagnit meýdanynyň tekiz faza frontyny emele getireni üçin öz arasynda esasy magistral liniýa faza süýşirijileriň kömegi bilen dürli usullar boýunça birikdirilýärler. Sinfaz antenna gözenekleri aýratyn hem ýer üsti we kosmiki hereketli radioaragatnaşyk ulgamlarynda ulanmak üçin örän amatlydyrlar. Şeýle antennalar ugrukdyrma diagrammasyny elektron usul bilen dolandyryp bolýanlygy sebäpli we şöhlendiriji elementler mikrozolakly integral tilsimatlarynyň esasynda ýerine ýetirilip bolýanlygy sebäpli hereketli aragatnaşyk ulgamlary üçin örän amatlydyrlar.

Radiotolkunlary şöhlelendirmek we kabul etmek üçin niýetlenen gurluşlara **antennalar** diýilýär. Şol bir antenna iberiji we kabul ediji antenna bolup hyzmat edip biler. Meselem: DPJL-da şol bir antenna bir wagtda, bir ugurda işleýän, ýöne ýyglyklar dürli bolan birnäçe iberiji we kabul ediji dakylýar. Dürli ýyglyklar üçin degişli filtrlar ulanylýar. Niýetleniş boýunça antennalaryň bölünişi: **iberiji, kabulediji we iberiji-kabulediji** antennalar.

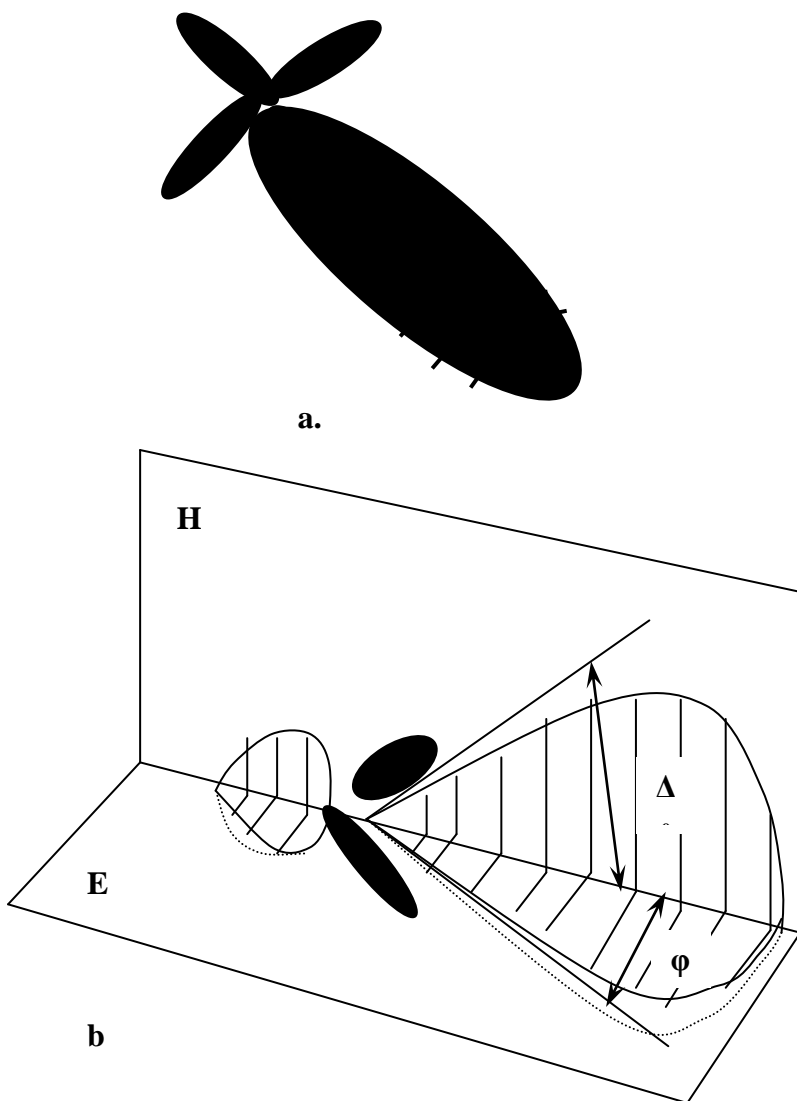
Ähli taraplara deň şöhlenendirýän, ýitgisiz hyýaly antenna **izotrop A** diýilýär.

Real antenalar giňişligiň dürli taraplaryna deň şöhlendirmeyär. E termik daş, ýöne deň aralyklara antenanyň şöhlenendirýän meýdanynyň güýjenmesiniň giňişlikdäki gözegçilik burçlaryna baglanyşygyna (Δ we φ) **gönükdirilenmek häsiýetnamasy** diýilýär.

Bu häsiýetnamanyň $F(\Delta, \varphi)$ **gönükdirilenlik diagrammasy** diýilýär. Giňişlikdäki DH göwrümiň üstüdir we birnäçe maksimuma eýe bolup bilýär (**surat 5.1**).

Çyzyklanç polýarlaşan tolkun göýberýän antenalary gönükdirilenlik diagrammasy özara perpendikulýar \xrightarrow{E} we \xrightarrow{H} wektorlaryň tekizliklerinde ýatýan we DH-yň maksimumyndan geçýän iki kesim ýaly görkezilýär (**5.1 b surat**). Stansionar antenalar üçin DH wertikal we gorizonta tekizliklerde görkezilýär. Gönükdirilenlik diagrammasy normirlenen görnüşinde ýa-da göniburçly koordinata sistemalarynda şekillendirilýär (**5.1 surat**).

Normirlenen DH-y şekillendirmek üçin moduly boýunça $F_H(\varphi) = F(\varphi)/F(\varphi_{\max})$ ýa-da $F_H(\Delta) = F(\Delta)/F(\Delta)_{\max}$ baglanyşyklar gurulýar. Funksiýanyň alamatlarynyň üýtgemegi, ýagny meýdanyň fazasynyň üýtgemegi, ýagny meýdanyň fazasynyň π - burça üýtgemegi şekil gurulanda hasaba anylmaýar. Ýokary gönükdirilenlik häsiýetli antenalar üçin DH logoritmik masştabda gurulýar, ýagny $F(\varphi) = 20 \lg [F(\varphi)/F(\varphi)_{\max}]$ gurulýar. Çyzyklanç polýarlaşan tolkun göýberýän antenalary gönükdirilenlik diagrammasy özara perpendikulýar \xrightarrow{E} we \xrightarrow{H} wektorlaryň tekizliklerinde ýatýan we DH-yň maksimumyndan geçýän iki kesim ýaly görkezilýär (**5.1 b surat**).

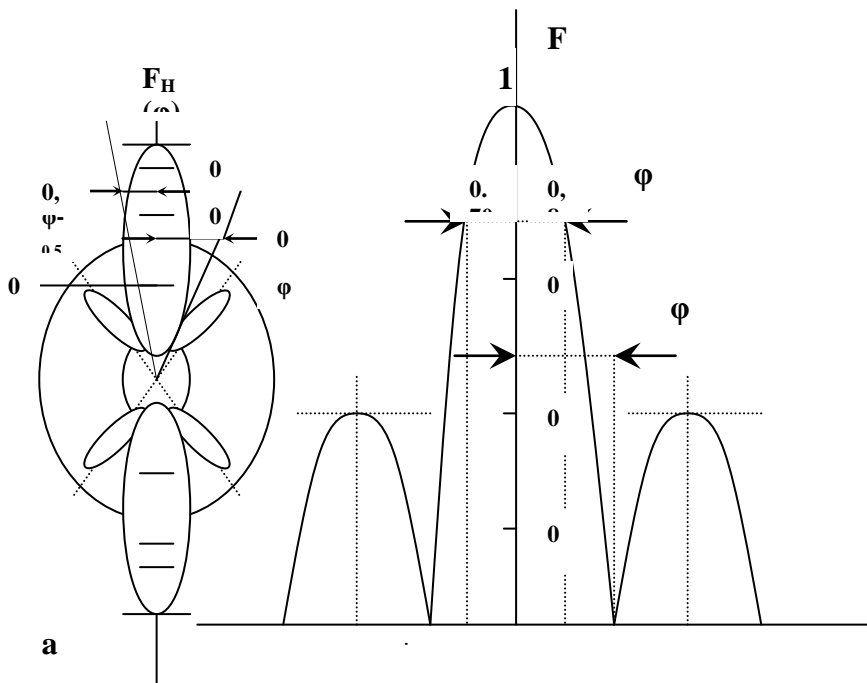


Surat 15.1. Antennanyň gönükdirme diagrammasy.

Stansionar antennalar üçin DH wertikal we gorizontalkeliklerde görkezilýär.

Gönükdirilenlik diagrammasy normirlenen görnüşinde ýa-da göniburçly koordinata sistemalarynda şekillendirilýär (surat 5.1).

Normirlenen DH-y şekillendirmek üçin moduly boýunça $F_H(\varphi) = F(\varphi)/F(\varphi_{\max})$ ýa-da $F_H(\Delta) = F(\Delta)/F(\Delta)_{\max}$ baglanyşyklar gurulýar. Funksiýanyň alamatlarynyň üýtgemegi, ýagny meýdanyň fazasynyň üýtgemegi, ýagny meýdanyň fazasynyň π -burça üýtgemegi şekil gurulanda hasaba anylmaýar. Ýokary gönükdirilenlik häsiýetli antenalar üçin DH logorifmik masştabda gurulýar, ýagny $F(\varphi) = 20 \lg [F(\varphi)/F(\varphi)_{\max}]$ gurulýar.



Surat 15.2. Antennanyň normallaşdyrylan gönükdirme

Iki sany minimal şöhlenendirýän goňşy ugurlaryň arasynda ýerleşýän DH-ıň bölegine **antennanyň DH-yň ýapragy** diýilýär. Çäginde antennanyň maksimal şöhlenendirmesi bolan ýapraga **baş ýaprak** diýilýär. Baş ýapraga görä ugry 180^0 töweregi tapawutly bolan ýapraga **yzky ýaprak** diýilýär. Baş we yzky ýapraklardan başgalaryna **gapdal ýapraklar** diýilýär. Araçäklerinde güýjenmäniň kesgitli ululyga üýtgeýän ýaprakdaky iki uguryň arasyndaky burça **ýapragyň giňligi** diýilýär **5.1 suratda** DH-yň ýapragynyň giňligi görkezilen. Giňlikler nolynjy (0-nul) şöhlelendiriji ugur üçin $2\varphi_0$ we kuwwatyň akymynyň maksimal dykzlygynyň 0,5 derejesi üçin kesgitlenen. Bu dykzlygyň derejesi bolsa meýdanyň güýjenmesiniň $\sqrt{0,5} = 0,707$ derejesine degişlidir.

Gönükdirme täsiriniň koeffisienti:

$$D = E_0^2 / E_{op}^2$$

aňlatma bilen kesgitlenýär. E_0 - kesgitli ugur (adatça baş ugur) boýunça meýdanyň güýjemesi; E_{op} - ähli ugur boýunça meýdanyň güýjenmeleriniň orta bahasy.

KHD-ıň başgaça kesgitlenilişi:

$$D = \prod_0 / \prod = E_0^2 r^2 / 30 P_\Sigma$$

Bu ýerde $\prod_0 = E_0 H_0 = E_0^2 / 120\pi$ - baş

ugurda akymyň dykzlygy. $\prod = P_\Sigma / 4\pi r^2$ - gönükdirilmedik antennanyň akymynyň dykzlygy (şol bir kuwwatda); r-antennadan E_0 -yň kesgitlenýän nokadyna

çenli aralyk (baş ugur boýunça); $4\pi r^2$ - gönükdirilmedik antennanyň şöhlenendirme kuwwatyny deňölçegli ýaýraýan sferasynyň üsti.

Gönükdirilmedik antennanyň güýjenmesini gönükdirilen antenna bilen (baş ugurda) döretmek üçin şöhlenendirmäniň koeffisientini näçe esse kiçeldilmelidigini görkezýän san KHD-a deňdir.

Kabul antenna ЭМ meýdanynda ýerleşmek bilen energiýanyň bir bölegini ýuwýar we fideriň üsti bilen kabul edijä geçirýär. Kabul ediji antenna üçin ýük bolup hyzmat edýär. Kabul antennanyň effektiw meýdany ylalaşylan ýükde biljek effektiw meýdandyr. Antennanyň effektiw meýdanynyň $S_{эф}$ tolkun uzynlygy we KHD bilen baglanyşygy:

$$S_{эф} = D\lambda^2 / 4\pi$$

Effektiw meýdanyň ýene-de bir aňlatmasy:

$$S_{эф} = S\nu$$

S-antennanyň açylma fiziki meýdany; ν - açylma meýdanynyň peýdalanylyş koeffisienti.

Antenna açylanda meýdan sinfaz we amplitudalar deň bolsa, $\nu=1$. Antennanyň açylmasynda faza ýa-da amplituda deň bolmasa, $\nu<1$.

Iberiji antennanyň täsir ediş uzynlygy L_g - şol bir tolkun real antennanyň döredýän meýdan güýjenmesi ýaly güýjenmäni baş ugurda döredýän togy deňölçegli paýlanan şöhlelendiriji uzynlygydyr.

Kabul antennanyň täsir ediş uzynlygy - baş ugurdan gelyän radiotolkunlaryň antennada döredýän

EHG-niň (\mathfrak{A}_a) kabul nokadyndaky meýdanyň güýjenmesine gatnaşygy $L_g = \mathfrak{A}_a / E$.

Antennada döredilýän EHG:

$$\mathfrak{A}_a = EL_g$$

Antenna berlen P_a kuwwatynyň bir bölegi P_Σ şöhlendirilýär, beýleki bölegi P_Π peýdasyz ýitirilýär. Ol geçirijileri we izometorlary gyzdymaga, ýerde we beýlekilerde ýitýär.

Antennadaky ýitgi: $P_\Pi = I^2 R_\Pi$, R_Π - ýitgi bilen baglanyşykly ekwiwalent garşylyk. Şöhlendirme kuwwaty: $P_\Sigma = I^2 R_\Sigma$.

Antennanyň şöhlendirme garşylygy:

$$P_\Sigma = P_\Sigma / I_{\mathfrak{A}\phi}^2$$

Real antennalaryň ugry boýunça tok üýtgeýär. Şonuň üçin şöhlendirme garşylygy antennanyň girişindäki I_a toga ýa-da dessedäki toga görä almaly.

Antennanyň şöhlendiriji kuwwaty peýdaly kuwwatdyr. Şonuň üçin şöhlendirmäniň garşylygy hem antennanyň peýdaly aktiw garşylygydyr. Ýitgi garşyklygy peýdasyzdyr we ol näçe az boldugyça gowdyr. Şöhlelenmäniň garşylygynyň antennanyň uzynlygyna, formasyna baglylygy we iş tolkun uzynlygyna baglylygy çylşyrymlydyr.

Antennanyň gönükdirilenlik häsiýetini we onuň ýitgisini hasaba alýan parametr güýçlendiriş koeffisientidir (GK).

Antennanyň güýçlendiriş koeffisienti (GK)-antennalara deň kuwwat eltilen şertlerdäki antennanyň kuwwatynyň baş ugurdaky akymynyň dykyzlygynyň

etalon antennanyň baş ugurda döredýän akymyna bolan gatnaşygyna deňdir. Akymlyary güýjenmeleriniň kwadratlyary bilen çalşyrsak:

$$G = E_0^2 / E_{03}^2$$

bolar.

Etalon antennanyň ПТК-ni $\gamma=1$ kabul edip we (2.37) hasaba alyp:

$$G = DE_{op}^2 / D_9 E_{9,op}^2 = D\eta_a / D_9 \eta_9 = D_9 \eta_9 / D_9$$

aňlatmanym ýazmak bolar.

Gektometrlik we ondan uzyn tolkunlar üçin etalon antenna hökmünde tolkun uzynlygyndan gysga simmetrik däl wibrator kabul edilyär. Ol ideal geçiriji ýeriň üstünde ýerleşdirilýär. Bu wibrator üçin $D_9 = 3$.

Dekametrlik tolkun diapazony üçin ekrana giňişlikde ýerleşen ýarymtolkunlyk simmetrik wibrator etalon antenna bolup hyzmat edýär. Onuň üçin $D_9 = 1,64$. Onda:

$$G = D\eta_a / 1,64$$

AÝÝ diapazonda $D_9 = 1$ bolan gönükdirilmedik şöhlelendiriji etalon antennadyr. Onda:

$$G = D\eta_a$$

Güýçlendirme koeffisienti iberiji antennalaryň esasy parametrleriniň biri bolup durýar. Şol bir güýjenmäni döretmek üçin etalon antenna bilen düşündirilende gönükdirilen antenna näçe az kuwwaty bermelidigini görkezýän ululyk güýçlendirme koeffisientine deňdir. GK we GTK-leri desibellerde hem aňladylyar:

$$G' = 10 \lg G ;$$

$$D' = 10 \lg D$$

Antennanyň (wibratoryň) şeýle-de liniýanyň tolkunlaň garşylygy V_{nec} akaba (düşýän) tolkunynyň I_{nec} toguna gatnaşygyna deňdir. Aňladylyşy $W_t = \sqrt{L_1 / C_1}$; Bu ýerde L_1 we C_1 degişlilikde liniýanyň ýa-da antennanyň bir litrine düşýän induktiwlilik (Gn/m) we sygym (F/m). Antennanyň işläp bilýän in pes f_{min} we beýik f_{max} ýygýlyklarynyň (tolkun uzynlyklarynyň) arasyndaky oblasta **antennanyň diapazony** diýilýär.

Antennanyň diapazony bellenen çäkten tiz çykýan beýleki parametrlar bilen hem kesgitlenýär. Antennanyň görnüşine baglylykda giriş garşylygy, güýçlendirme koeffisienti we başga diapazona kesgitlemek üçin ulanylýar.

Antennanyň diapazony orta ýygýlyga görä kesgitlenýär:

$$\Delta f / f_{op} = 2(f_{max} - f_{min}) / (f_{max} + f_{min})$$

Diapazonyň ýapylyşy f_{max} / f_{min} gatnaşyk bilen kesgitlenýär.

$$\Delta f / f_{op} < 0,1$$

$$\dots = 1,2 - 1,5$$

$$\dots = 1,6 - 5,0$$

$$\dots = 5$$

antenna dar zolakly

... giň zolakly

... giň diapazonly

**... ýygýlyga
baglanyşyksyz**

Dar zolakly (meselem, gektometrlik tolkun) antennany reaktiw elementleriň kömegi bilen üýtgedip bolýar. Bu ýagdaý üçin $f_{\max}-f_{\min}$ ýygylýk oblastyna **göýberiş zolagy** diýilýär. Orta ýygylýklar üçin bu aralyga **iş ýygylýklarynyň diapazony** diýilýär.

Antennanyň giriş garşylygy (Z_a) -antennanyň girelgesindäki napryäženiýanyň toga bolan gatnaşygydyr. Bu garşylyk $Z_a = R_a + 1 X_a$ kompleks ululykdyr we ℓ/λ antennanyň otnositel uzynlygyna baglydyr.

Antennanyň IITK-y (η_a) - şöhlendirilýän P_Σ kuwwatynyň antenna berlen P_a kuwwata gatnaşygy.

$$\eta_a = P_\Sigma / P_a = I_{a,\varphi}^2 R_\Sigma / I_{a,\varphi}^2 (R_\Sigma + R_{II}) \quad \text{ýa-da}$$

$$\eta_a = R_\Sigma / (R_\Sigma + R_{II}).$$

Antennanyň faza merkezi ýa-da şöhlendiriji ulgamyň faza merkezi-şeyle bir nokat, ýagny bu nokada sferiki tolkunynyň birlik şöhlendirijisi birikdirilende, onuň meýdanynyň faza boýunça paýlanyşy seredilýän antenna ekwiwalent bolmalydyr.

Radiosignallaryň energiýasyny antenna eltmek üçin ýa-da antennadan kabul edijä eltmek üçin ulanylýan elektrik zynjyryna we kömekçi gurluşlara **fider** diýilýär.

Çylşyrymly antennalar birinji we ikinji diýilýän şöhlendirijilerden ybarat bolup bilýär. Fider bilen baglanyşykly antennanyň şöhlendiriji elementine **birinji** diýilýär. Fider bilen baglanyşyksyz birinji şöhlendirijiniň ЭМ meýdany bilen oýandyrylýan antennanyň elementine **ikinji** diýilýär.

Ikinji şöhlendirijiler antennanyň GTK-i ulaltmak üçin ulanylýar. Olar birinji şöhlendirijä görä DH-yň baş ýapragy tapanynda ýa-da onuň gapma-garşylykly

tarapynda ýerleşdirilýär. Olaryň baş ýaprak tarapynda ýerleşdirilýänine **direktor** diýilýär. Oňa garşylykly tarapda ýerleşenine **reflektor** diýilýär.

Wibratorlar simmetrik we simmetrik däl wibratorlara bölünýär. Golaý uçlaryna fider birikdirilen simmetrik geçirijiler sistemasyna **simmetrik vibrator** diýilýär. Geçiriji tekizligiň üstünde ýerleşen, bir uýy fidere birikdirilen, beýleki uýy bolsa geçiriji tekizlige (ýere) birikdirilen geçirijiler sistemasyna **simmetrik däl vibrator** diýilýär.

15.2 Ykjam aragatnaşyk ulgamlarynyň antennalarynyň görnüşleri.

Häzirki wagtda ykjam (mobil) aragatnaşyk ulgamlarynda dürli görnüşli antenalar ulanylýarlar. Şeýle ulgamlaryň amatly işini üpjün etmek üçin antennany dogry saýlap almak wajypdyr. Ykjam ulgamlar üçin antennalaryň görnüşlerine syn bereliň:

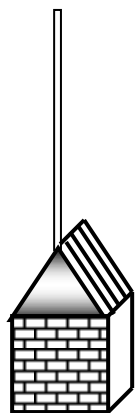
1) Hereketli obýektleriň antennalary.

Hereketli obýektler üçin ulag serişdesiniň kryşanyň ortasynda ýerleşdirilen wertikal polýarizasiýaly antenalar amatlydyr. Antennany kryşanyň merkezinden gyrasyna süýşürsek, onuň giriş garşylygy üýtgemeyär diýen ýaly, emma antennanyň gönükdirme diagrammasy ýoýulýar. Antennany kuzowyň aýnasynda ýerleşdirsek, onuň elektrik häsiýetnamalary boýunça utulyş emele gelýär. Şeýle ýagdaýda antennanyň gönükdirme diagrammasynda käbir ugurlarda çuňlugy $10\div 15$ dB bolan çukurlar peýda bolýar, bu bolsa kabul edilýän signalyň kuwwatynyň $10\div 30$ esse azalmagyna getirýär. Antennalaryň şöhlelendiriji elementleriniň kuzowyň kölegesine

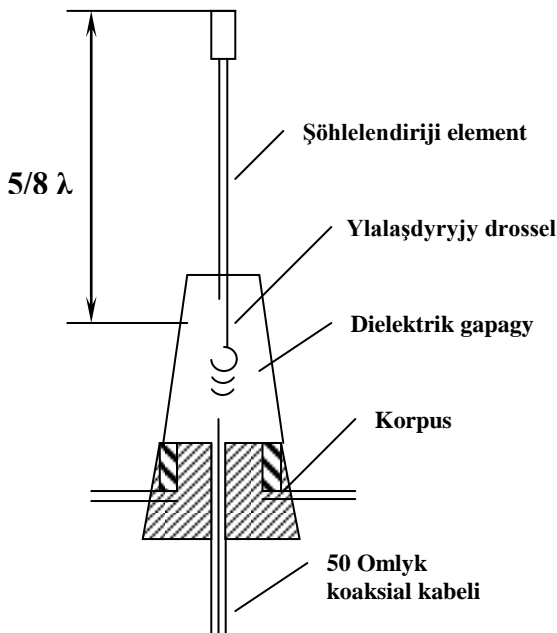
düşýänligi sebäpli köplenç kuzowynň öň we yzky aýnalarynyň ýanynda 2 sany antenna oturdýarlar.

Hereketli obýektlerde çäryk tolkun uzynlykly, ştyr görnüşli antennalar ulanylýarlar. Käbir ýagdaýlarda bolsa uzynlygy $5/8$ bolan uzaldylan antennalar ulanylýarlar.

15.3-nji suratda gorizontal tekizlikde ugrukdyrylmadyk ýönekeý ştyr görnüşli antenna görkezilendir, bu antenna poslamaýan polatdan ýasalandyr we $806\div 896$ MGs-lik ýygylýk zolagynda işlemek üçin niýetlenendir, onuň durýan tolkun koeffisiýenti (KSW) 1,5 deň. Ştyr görnüşli antennanyň uzynlygyny gysgaltmak mümkindir. Şeýle maksat üçin düýbünde uzalgyjy induktiwlik ýerleşdirilýär, şeýle induktiwlik gysga ştyryň reaktiw sygymynyň öwezini dolýar (kompensirleýär), netijede şeýle antenna çäryk tolkun uzynlykly rezonans antenna öwrülýär. Uzaldylan ştyr görnüşli antennanyň konstruksiýasy **15.4-nji suratda** görkezilendir. Antennanyň esasynda oturdylan drossel ylalaşdyryjy element bolup hyzmat edýär. Uzaldylan ştyryň güýçlendirme koeffisiýenti uludyr. Şeýle tennalary oturtmak üçin metalliki üst gerekdir we olaryň esasy kemçiligi dar zolaklylygydyr.



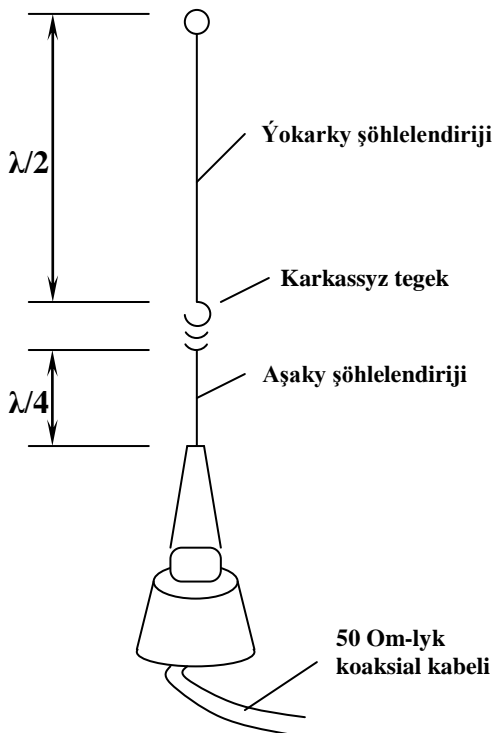
Surat 15.3.
Ýönekeý ştyr görnüşli
antenna.



Surat 15.4. Uzaldylan ştyr
görnüşli antennanyň
konstruksiýasy.

Antennanyň esasynda oturdylan drossel ylalaşdyryjy element bolup hyzmat edýär. Uzaldylan ştyryň güýçlendirme koeffisiýenti uludyr. Şeýle antenalary oturtmak üçin metalliki üst gerekdir we olaryň esasy kemçiligi dar zolaklylygydyr.

Kollinear awtomobil antenasy aşaky we ýokarky şöhlelendirijilerden, karkassyz tegekden durýar, antennany şu tegek öz arasynda birikdirýär, öz gezeginde tegek ganak bilen ýapylyp biliner. Şeýle kollinear antennanyň (**surat 5.5**) güýçlendirme koeffisiýenti ýarymtolkunly simmetriki wibratoryňkydan 2 esse uludyr.

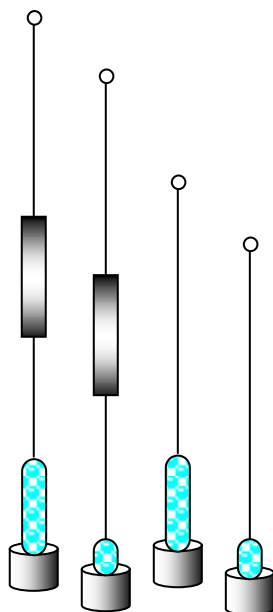


Surat 15.5. Awtomobiller üçin kollinear antenalary. ygyny

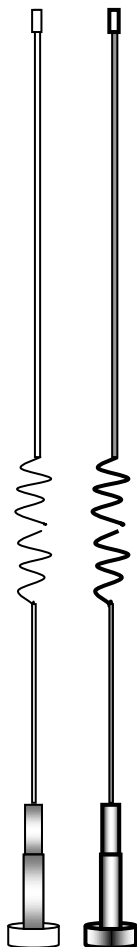
$\lambda/4$ -den $5/8 \lambda$ çenli aralykda saýlap alýarlar. Kollinear antenalaryň 406÷512 MGs-lik we 806÷896 MGs-lik diapazonlara niýetlenen görnüşleri **5.6-nji suratda** we **5.7-nji suratda** görkezilendir.

Antennalar saýlanylyp alynanda maýyşgak antenalara aýlanýan amortizatorly antenalara artykmaçlyk berilýär.

Awtomobil antenalarynyň üç hili berkidiliş usuly bardyr giriizilýän, magnit we sygym usullary.



Surat 15.6. Öýjüklü aragatnaşyk ulgamlary üçin awtomobillerde ulanylýan kollinear antennasy.

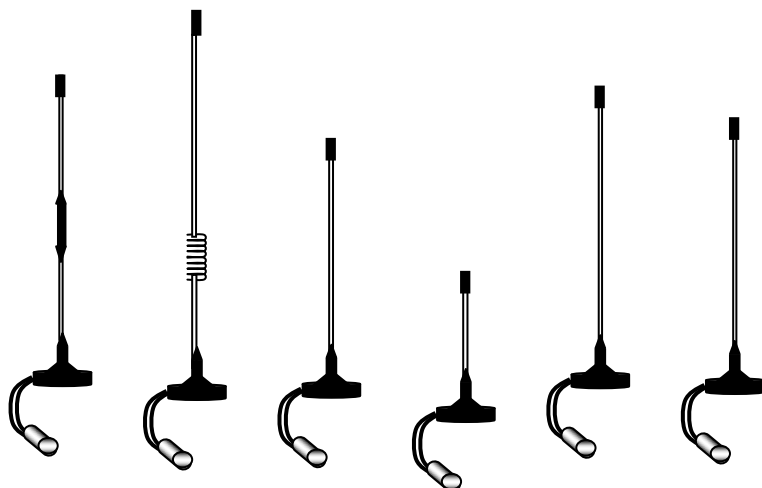


Surat 15.7. Öýjükli aragatnaşyk ulgamlarynyň awtomobillerde ulanylýan 806÷896 MGs-lik ýygylk diapazonlar üçin antennalary.

Birinji usul iň ynamly, emma kuzowyň bitewiligini bozýar. Iň köp ýaýraýan usul magnit usulydyr (**surat 15.8**).

Şeýle usulda kryşany deşmek gerek dälär we antennanyň oturdylýan ýeri ýeňil üýtgedilip biliner.

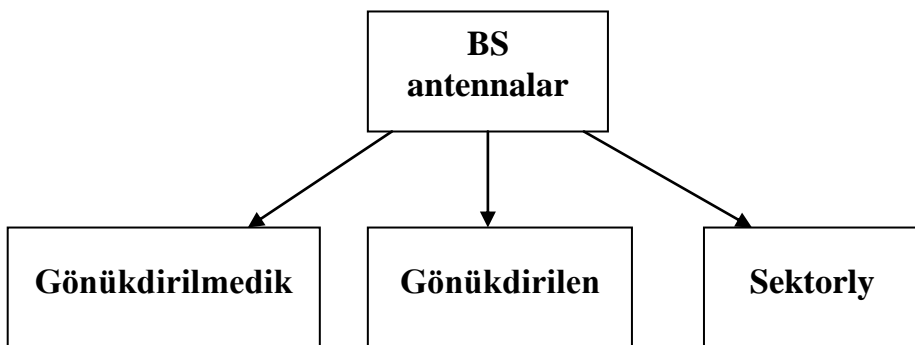
Sygym berkidiş usulynda antennany kuzowyň aýnasyna berkidiýärler we signal sygym aragatnaşygyň üsti bilen kabul edilýär. Emma şeýle usul gaty gowy däl (surat 5.9).



Surat 15.8. Magnit usul bilen berkidilýän öýjükli aragatnaşyk ulgamlarynyň awtomobil antennalary.

Ykjam aragatnaşyk ulgamlarynyň baza stansiýalarynyň antennalary.

Baza stansiýalarynyň antennalary ugrukdyrma häsiýetleri boýunça dürli klasslara bölünýärler.



Surat 15.9. Ykjam aragatnaşyk ulgamlarynyň baza stansiýalarynyň klasslara bölünişi.

Gönükdirilmedik antennalar şeýle görnüşlere bölünýärler:

- a) bikoniki antennalar;
- b) diskokonusly antennalar;
- c) utgaşdyrylan giňzolakly antennalar.

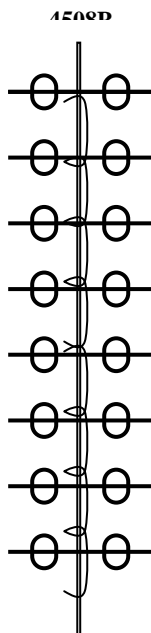
Gönükdirilen antennalar şeýle görnüşlere bölünýärler:

- a) çyzykly fazalaşdyrylan antenna gözenekleri;
- b) rombiki antennalar;
- c) V-görnüşli antennalar;
- d) tolkun kanaly görnüşli antennalar;
- e) logoperiodiki antennalar.

Sektorly antennalar şeýle görnüşlere bölünýärler:

- a) parallel wibratorlaryň gözeneklerinden düzülýän antennalar;
- b) halkaly wibratorlar.

Baza stansiýalarynyň gönükdirilen antenalaryň ýeriň üstüne gysylan gönükdirme diagrammalary bardyr. Şeýle antenalara çyzykly fazalaşdyrylan antenna gözenekleri deňşlidir (**surat 15.10**).



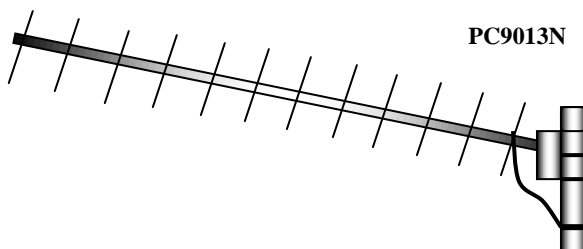
Surat 15.10. Öýjükli aragatnaşyk ulgamlarynyň baza stansiýalarynda ulanylýan çyzykly fazalaşdyrylan gözenekli antennalar.

Çyzykly fazalaşdyrylan antenna gözenekli antennalar.

Şöhlelendiriji elementleriň sany 8-10 baryp ýetýär we antenanyň güýçlendirme koeffisiýenti $6 \div 10$ dB.

Wertikal simmetrik wibratorlar metalliki stoýka berkidilýärler, bu stoýka antennanyň gönükdirme diagrammasyna gorizontel tekizlikde täsir edýär. GD-syny uzynlygy $\lambda/2$ kiçiräk bolan uzaldylan metalliki elementleriň kömegi bilen gowulaşdyrýarlar. Bu elementler daýanç stoýkasynyň iki gapdalynda simmetriki ýerleşdirýärler. 27÷40 MGs-lik diapazonda rombiki antennalary ulanylýarlar. Şeýle antennalaryň GD-synyň giňligi $+5^0$ bolanda, olaryň güýçlendirme koeffisiýenti 10÷12 dB çenli baryp ýetýär. Şeýle antennalaryň esasy kemçiligi olaryň uly razmerleridir. Konstruksiýasy boýunça in ýönekeý antennalar V-görnüşli antennalardyr.

Öýjükli aragatnaşyk ulgamlarynda “tolkun kanaly” görnüşli antennalar giňden ulanylýarlar (**surat 15.11**).



Surat 15.11. “Tolkun kanaly” görnüşli antenna.

Şeýle antennalaryň güýçlendirme koeffisiýenti olaryň umumy uzynlygyna baglydyr we $l=\lambda$ bolanda 9 dB çenli baryp ýetýär. $l=2\lambda$ bolanda 14 dB çenli baryp ýetýär. Tolkun kanaly görnüşli antennalar öýjükli telefon ulgamlary üçin stasionar antenna görnüşinde giňden ulanylýarlar. Şeýle antennalaryň şäherden daşdaky obýektlerde we daçalarda ulanylmagy aragatnaşygyň

uzaklygyny we hilini ýokarlandyrýar. Şeýle antenalar öýjükli aragatnaşygyň ýapyk zonasyny giňeltmäge mümkinçilik berýärler. Öýjükli aragatnaşyk logoperiodiki antenalar hem ulanylyp bilinerler.

Logoperiodiki antenna.

Şeýle antenalaryň esasy artykmaçlygy giň ýygylýk diapazony we ýokary güýçlendirme koeffisiýenti we daşky görnüşi boýunça olar “tolkun kanaly” görnüşli antenalara golaýdyrlar. Giňzolakly antenalaryň ýene-de bir görnüşi diskokonusly antenalardyr. Şeýle antenalar diskden konusdan we diskden durýarlar (**surat 5.13**).

Şeýle antenalar koaksial kabeliň üsti bilen iýmitleňýärler. Amatly ölçegleri şeýledir.

$$2\psi_0 = 60^\circ \quad l = 0,3d$$

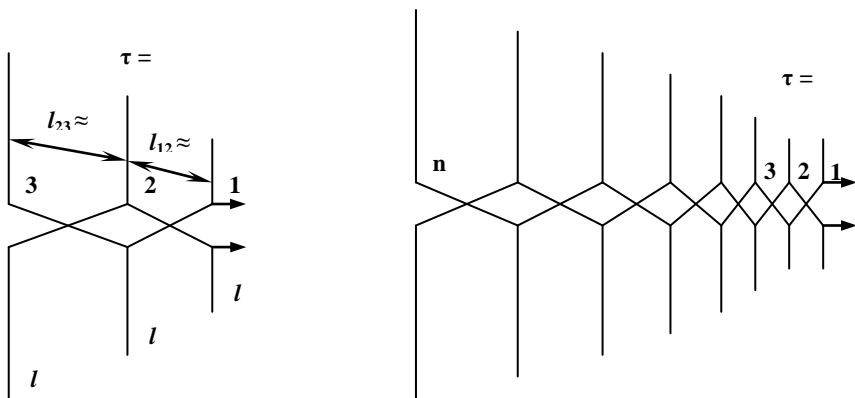
$$a_1 = \sin\psi_0 + d/z \quad a_2 = 0,7a_1$$

Antennanyň gorizonta tekizlikdäki GD-sy tegelekdir. Wertikal tekizlikde bolsa ýygylýk diapazonyna görä üýtgeýär.

Diapazony ýanyş koeffisiýenti 3÷4. Ýygylýgy ulalmagy bilen güýçlendirme koeffisiýenti ulalýar we 3÷4 dB çenli baryp ýetýär.

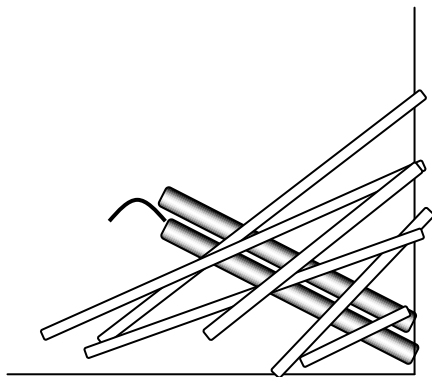
Maksimal şöhlelenme oky bolsa ýere gysylýar. Giňzolakly antenalar iki sany ýygylýk diapazonyny utgaşdyrmak zerurlygy dörände, giňden ulanylýarlar. Mysal üçin, 160 MGs-lik we 470 MGs-lik diapazonlary. Şeýle antenada bikoniki diskokonusly we logoperiodiki antenalar öz düzüminde bölüji-ylalaşdyryjy gurluşlary

we sazlaýjy elementleri saklaýarlar. Emma şeýle antenna sazlamak kyn we olar gymmat durýarlar.



a

b



Surat 15.13.(a) Logoperiodiki antenna.

Göterilýän radiotelefonlar üçin antennalar.

Öýjükli aragatnaşyk ulgamlarynda göterilýän telefon trubkalarynyň – ykjam stansiýalaryň ölçeglerini has kiçeltmek maksady bilen kiçiölçegli antennalar işlenilip düzüldi. Şeýle antennalara mysal edip spiral görnüşli, wibratorly we pesprofilli antennalary görkezmek bolar.

Silindriki spirally antennalar.

Şeýle antennalar portatiw radiotelefonlar üçin ulanylýar. Parametrleri amatly saýlanylyp alynsa, şeýle antennalar örän effektiv ulanylyp bilinerler. Portatiw radiotelefonlar üçin ugrukdyrylmadyk şöhlelenme režimi amatlydyr. Şeýle režim spiralyň diametric kabul edilýän radiosignallaryň tolkun uzynlygyndan has kiçi bolanda amala aşyrylyp biliner. Şeýle ýagdaýda antenna sarymyň tekizliginde hemme tarapa deňölçegli şöhlendirýär. Spiralyň okynyň ugrunda bolsa şöhlelenme diagrammasy sekizlik görnüşe eýedir. Şeýle antennalaryň iň kämil modelleri iki ýygylyk diapazonynda işlemäge mümkinçilik berýärler.

Öýjükli telefon ulgamlarynyň abonentlerine tehniki mümkinçilikler bolanda stasionar ýa-da awtomobil antennalaryny ulanmak maslahat berilýär. Şeýle ýagdaýda aragatnaşygyň uzaklygy ulalýar we elektromagnit şöhlelenmäniň zyýanly täsiri azalýar. Öýjükli aragatnaşyk ulgamlarynda ýokarda görkezilen antenalardan başgada ýoriteleşdirelen hem antenalar ulanylýarlar olara mysal edip: baza stansiýalaryň antennalaryny, we döwür çyzykly antennalary görkezmek bolar (surat 4.36 b we 4.36 c).

Öýjükli aragatnaşyk ulgamlarynyň antenalarynyň gönüktirme diagramasy surat 4.36d görkezilýär.

15.3. PARABOLA GÖRNÜŞLI ANTENNALAR.

Parabola görnüşli antenalarda ýörite formaly gowy serpidirýän üstiň kömegi bilen tekiz-parallel tolkunlar şu üstden käbir aralykdan durlan nokada-fokusa ýygnaýarlar. Köplenç aýnaly antenalarda giň gönükdirmе diagrammasy olar gönükdirmе diagrammasyna özgerdilýärler. Güýçli serpidiriji effekti almak üçin aýnanyň ölçegleri tolkun uzynlygyndan has uly bolmaly. Aýnaly antenalarda sferiki ýa-da silindriki tolkunlaryň tekiz faza frontly ýa-da ýörite görnüşli faza frontly tolkunlara öwrülmegi amala aşyrylýar.

Serpidiriji üst – aýna niýetleniş maksady boýunça öz üstüne düşýän tekiz tolkunlary doly serpidirmelidir. Şol sebäpli aýnanyň üstüni örän gowy tok geçirýän materialdan ýasalmalydyr. Galyňlygy skin-gatlagyň galyňlygyndan $2\div 3$ esse uly bolan tutuş metalliki üstler radiotolkunlary gowy serpidirýärler.

Tutuş serpidirijiler metal listler ýa-da dielektrik üste berkidilýän metall folgalary görnüşinde amala aşyrylýar.

Antenalaryň agramyny we şemalyň döredýän ýüküni azaltmak üçin olar deşikli listler ýa-da metalliki torlar görnüşinde ýerine ýetirilip bilinerler.

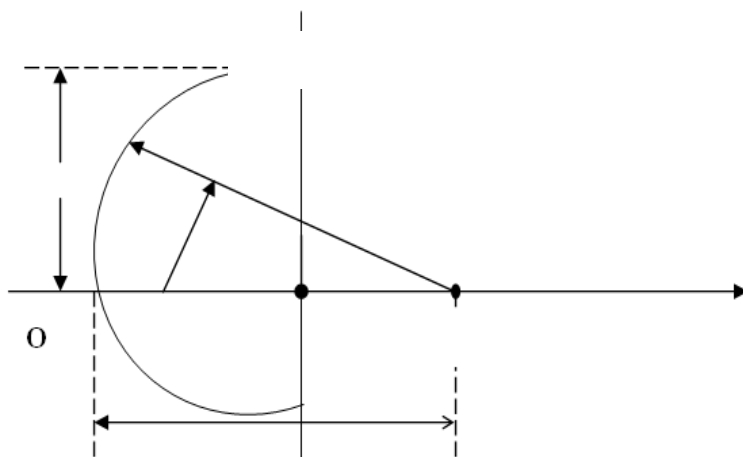
Tutuş däl serpidirijiniň hili geçirme koeffisienti $K_{\text{geç}}$ bilen häsiýetlendirilýär:

$$K_{\text{geç}} = P_{\text{geç}} / P_{\text{düş}}$$

Bu ýerde $P_{\text{geç}}$ -antennanyň deşiklerinden geçýän elektromagnit tolkunlarynyň kuwwaty; $P_{\text{düş}}$ – antenna

düşýän tolkunlaryň kuwwaty. Serpikdiriji gowy diýilip hasaplanýar, haçanda $K_{\text{geç}} \leq 0,1$ bolsa. Deşilen üstler üçin şeýle şert ýerine ýetýär, eger $d < 0,2 \lambda$ bolsa, gözenekli torlar üçin $a < 0,1 \lambda$ bolsa, bu ýerde d – deşigiň diametri, a – gözenegiň bir gözüniň çyzykly ölçegi.

Şöhlelendirijiler öz gezeginde gowşak gönükdirilen antenنالardyr. Parabola görnüşli antenنالaryň üsti polýar koordinatalarda $\rho = 2f(1 + \cos \Phi)$ formula bilen kesgitlenilýär. Bu ýerde $\rho = 2f$ parabolanyň parametri; ρ, Φ - polýar koordinatalar.



Surat 15.14

Göniburçly koordinatalarda paraboliki antenನanyň deňlemesi şeýle ýazylýar:

$$X^2 = 2pZ = 4f \cdot Z$$

Parabolanyň optiki okuň daşynda aýlananda, aýlanma parabolidi emele gelýär. Şeýle antenنالار üçin

şöhlelendiriji görnüşinde nokatlaýyn şöhlelendiriji ulanylmalydyr. Eger parabolany käbir göni çyzygyň ugry boýunça parallel süýşirsek, paraboliki silindr olary şeýle antennalar üçin çyzykly şöhlelendiriji ulanylmalydyr. Parabola görnüşli antennalar konstruksiýasy boýunça iki aýnaly we köp aýnaly antenalara bölünýärler. Olardan iň köp ulanylýany iki aýnaly antenalarydyr. Şeýle antenalaryň esasy kemçiligi uly antennanyň açylyş meýdany belli bir böleginiň kiçi aýna tarapyndan garaňkydylmalydyr. Bu bolsa öz gezeginde antennanyň peýdaly täsir koeffisientiniň kiçelmegine getirýär.

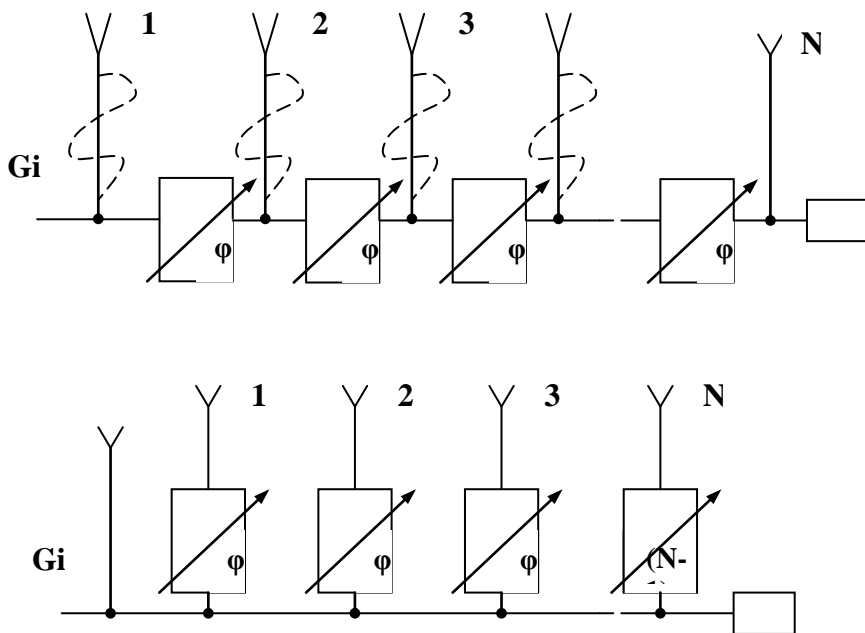
15.4. Sinfaz antenna Gözenekleri.

Häzirki zaman radioaragatnaşyk ulgamlaryny sinfaz antenna gözenekleri giňden ulanylýarlar. Sinfaz antenna gözeneklerinde aýratyn şöhlelendiriji elementler köplenç ýarymtolkunly wibrator görnüşinde ýerine ýetirilýärler. Öz gezeginde antennanyň elementleri faza süýşirijileriň kömegi bilen şöhlelenme prosessi birmeňzeş fazada bolup geçer ýaly görnüşde birikdirilýärler. Sinfaz antenna gözeneklerine gönükdirme diagrammasyny dolandyrmak prosessi elektromehaniki ýa-da elektrik usuly bilen amala aşyrylyp biliner.

1-nji usulda antennanyň elementlerini saklaýan tekizlik elektrodwigatelleriň kömegi bilen giňişlikde gerekli ugra ugrukdyrylýar. Emma şeýle usul haýallygy bilen we köp energiýany sarp edýänligi bilen tapawutlanýar, şol sebäpli elektromehaniki usul geometrik ölçegleri uly bolmadyk kiçi antennalar üçin ulanylyp biliner. Uly ölçegli häzirki zaman sinfaz antenna gözeneklerine diagrammany dolandyrmak üçin elektrik

usuly ulanylýar. Şeýle antennalarda hereketli bölekleri ýokdyr we antennanyň diagrammasynyň dolandyrmagy elektron faza süýşiriji gurluşlaryň üsti bilen amala aşyrylýar. Antennanyň açylyş meýdanynnda elektromagnit meýdanynyň fazasynyň paýlanylyşy dolandyrylýan antenna gözenekleri fazalaşdyrylan antenna gözenekleri diýilip ady aldylar. Faza süýşirijiler aýratyn elementleriň iýmitleniş liniýasyna birikdirilse we antennanyň umumy faza paýlanşy şeýle faza süýşirijileriň kömegi bilen amala aşyrylýan bolsa, şeýle görnüşli antenna gözenekleri fazasy boýunça skanirlenýän-ugrukdyrylýan antenna gözenekleri diýilip atlandyrylýar. Eger fazalaşdyrylan antenna gözenekleri aýratyn elementleriň döredýän elektromagnit meýdanynyň faza fronty diskret üýtgedilýän bolsa, şeýle fazalaşdyrylan antenna gözeneklerine utgaşdyrylýan skanerli gözenekler diýilýär. Eger fazalaşdyrylan antenna gözenekleriniň elektromagnit meýdanynyň faza fronty iş ýygylgynyň üýtgedilmegi bilen amala aşyrylýan bolsa, şeýle gözeneklere ýygylgy skanirlenýän gözenekleri diýilýär. Häzirki zaman antenna gözeneklerinde faza fronty iberilýän signallaryň işlenip geçilmegi bilen üýtgedilýän ulgamlar hem giňden ulanylýar. Antenna gözenekleri aktiw we passiw gözeneklere hem bölýärler. Aktiw fazalaşdyrylan antenna gözeneklerinde her element aýratyn fazalaşdyrylan generatordan ýa-da kuwwat güýçlendirijisinden oýandyryýar we antenna gözenegi kabul ediş we iberiş rejimleriň utgaşdyryjysy bilen hem üpjün edilýär hem-de signallaryň ýygylk boýunça üýtgedilmegi we ilkinji güýçlendirijisi hem şu ýerde amala aşyrylýar. Şeýle özüne şöhlelendiriji elementi ilkinji güýçlendirijiniň ýygylk özgerdijini we kabul edişi-iberişi utgaşdyryjyny birikdirýän elemente aktiw

fazalaşdyrylan antenna gözenekleriniň iberiji-kabul ediji moduly diýilýär. Modul köplenç ölçegleri boýunça $0,6 \lambda$ uly bolmaly däl. Şeýle modullar köplenç mikrozolakly geçiriş liniýalaryň esasynda integral shemalaryň tilsimaty boýunça ýerine ýetirilýär, şöhlelendiriji element hem mikrozolakly tilsimat boýunça ýerine ýetirilýär. Antenna gözenekleri iýmitlendiriş usuly boýunça yzygider we parallel gözeneklere bölünýärler. Yzygider iýmitlendirilýän çyzykly ekwidistant gözenekde islendik elementde ýokary ýygylýkly signalyň kuwwaty esasy traktadan şahalandyrylýar we traktlaryň arasynda faza süýşirijiler birmeňzeş fazanyň bolmagyny üpjün edýär. In soňky element ylalaşykly nagruzka birikdirilýär.



Surat 15.15. Yzygider iýmitlendirilýän

Yzygider shema ykjamlygy bilen tapawutlanýar. Faza üýtgedijileriň hemmesi şol bir kanun boýunça dolandyrylýar. Şol sebäpli antennanyň diagrammasyny belli bir burça gyşartmak üçin goňşy elementleriň arasyndaky faza süýşmesi meňzeş bolmalydyr. Netijede antenna gözenegini dolandyrmak ýönekeýleşýär, emma yzygider shema praktikada birnäçe kemçilikleri görkezýär.

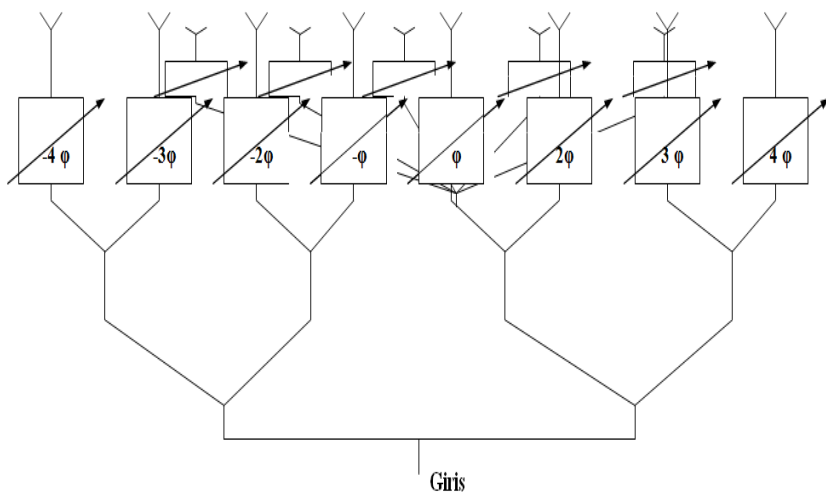
Birinjiden gözenegiň soňuna faza ýalňyşlyklaryny toplanmagy we ulalmagy, ýitgileriň bolsa artmagy bolup geçýär. Şol sebäpli faza üýtgedijiler örän az ýitgili we öz arasynda absolýut meňzeş bolmalydyr. Ikinjiden girişe golaý faza üýtgedijiden signalyň hemme kuwwaty geçýär we şu faza üýtgedijiniň ýokary elektrik berkligi talap edilýär. Üçünjiden umumy girişden her elemente çenli signalyň geçýän ýoly üýtgeýär, şol sebäpli iş ýygylgynyň gyrasynda antennanyň fazirowkasy bozulýar.

Şu görkezilen kemçilikler üçin dürli goşmaça düzediji elementler girizilip biliner, emma beýle ýagdaýda antenna gözeneginiň dolandyrylmagynyň ýönekeýligi ýitýär. Şol sebäpli häzirki zaman antenna gözeneklerine köplenç parallel shema ulanylýar. Bu shema şeýle artykmaçlyklara eýedir. Birinjiden az kuwwatly faza üýtgedijileri ulanmak mümkindir, sebäbi her faza üýtgedijiniň üsti bilen $1/N$ bölegi geçýär. Ikinjiden dolandyryjy gurluşlardaky ýitgiler diňe bir faza üýtgedijidäki ýitgiler bilen çäklendirilýär, şol sebäpli faza üýtgedijileriň ýitgileri 1,0-1,5 dB bolup biler. Yzygider shemalaryň ýene-de bir artykmaçlygy olarda faza ýalňyşlaryň toplanmaýandygydyr we aýratyn kanallaryň uzynlygynyň deňleşdirmek mümkinçiliginiň bardygydyr.

Yzygider parallel shemanyň esasy kemçiligi onuň dolandyryş shemanyň çylşyrymlygydyr, emma bu kemçilik häzirkä zaman ýokary ýygylýan ýarymgeçirijili elementleriň kömegi bilen üstünlikli ýeňilip geçilýär.

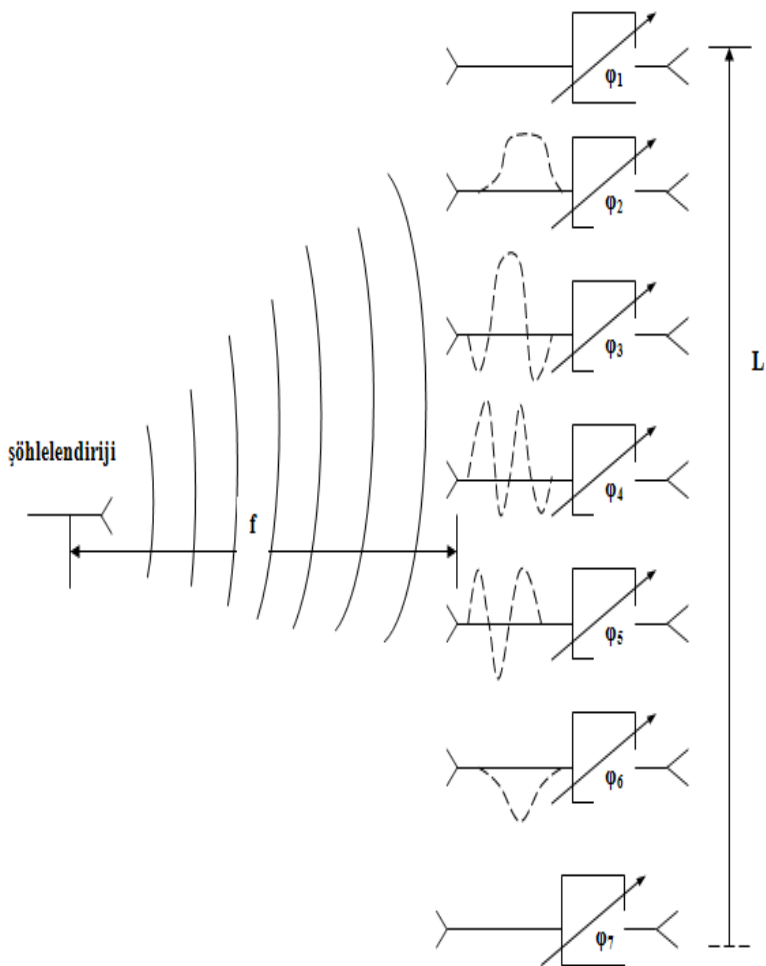
Iki ölçegli skanirleýji antenna gözenekleri döredilende, yzygider we parallel iýmitlendiriş shemasynyň sintezi giňden ulanylýar. Oňa mysal edip fazalaşdyrylan antenna gözeneginiň şöhlendiriş elementleriň ikilik – gatlyk shemasyny görkezmek

bolar.



Surat 15.17. Ikilik-gatlyk iýmitlendirilýän fazalaşdyrylan antenna gözeneginiň shemasy.

Santimetrlik tolkun diapazonlarynyň antenna gözeneklerini iýmitlendirmek üçin giňişlik iýmitlendiriş usuly (optiki usul) hem ulanylýar. Bu usulda antenna gözenegiň elementlerine ýokary ýygýlykly signalyň kuwwaty umumy şöhlelendiriji tarapyna iberilýär we ýokary ýygýlykly kuwwat radiosignallary görnüşinde antenna gözeneginiň elementleri tarapyndan kabul edilýär. Kabul edilen kuwwat faza süýşirijileri ulgamynyň üstiünden geçip fazalaşdyrylýar we gerekli ugra başga bir şöhlelendiriji elementleriň gözenegi tarapyndan şöhlelendirilýär.



Şurat 15.18. Optiki iýmitlendiriş geçiriş ulgamynyňfazalaşdyrylan antenna gözeneginiň

15.5. Hereketli hemra radioaragatnaşygyň ulgamlary üçin antennalar.

Radioaragatnaşyk signallaryny we teleradiogepeleşik programmalaryny ýokary hil bilen kabul etmek meselesini çözmek üçin ýöriteleşdirilen ulgamlar işlenilip düzüldi.

Şeýle obýektlere mysal edip, derýa we deňiz gämilerini, şäherara we halkara ýolagçy awtobuslary, howa gämilerini we beýlekileri görkezmek bolar.

Geçen asyryň 90-njy ýyllarynda Rossiýa Federasiýasynda Girooptika kompaniýasy tarapyndan MAP-60 görnüşli ulgam göýberildi.

Bu ulgam gigostabilizatoryň esasynda işleýär.

Ýygylýk diapazony 10950 MGs

Standart PAL/SECAM

Ofset antennanyň diametri 60 sm

Massasy 100 g

Sarp edýän kuwwaty 300 Wt

NSAB kompaniýasy “Sirius” aragatnaşyk hemrasy bilen işleýän deňiz gämileri üçin ýöriteleşdirilen enjam göýberdi.

$f=12245$ MGs. Bu enjam diňe şwed programma däl-de, NTV+, ORT, NTV-Mir programmalary kabul etmäge mümkinçilik berýär.

Ykjam hemra telegörkeziş ulgamlaryň tehniki parametrlerini öwrülme tizligi.

| | |
|-------------------|------------------|
| Trak Vision Gb Sw | 45 $\frac{0}{s}$ |
| Az/Trac System RF | 50 $\frac{0}{s}$ |
| Trak Vision s3 RF | 45 $\frac{0}{s}$ |
| Trak Vision 43 RF | 40 $\frac{0}{s}$ |

| | | |
|-------------------------|------------------|---|
| Orbi Scan MARX (Horwat) | 10 $\frac{0}{s}$ | 4 |
| Seatel 2494 (USA) | 12 $\frac{0}{s}$ | 6 |
| Seatel 6003E (USA) | 25 $\frac{0}{s}$ | 4 |
| Seatel 1898 (USA) | 40 $\frac{0}{s}$ | 6 |
| Delta | | |
| Harigan 4300 s | 50 $\frac{0}{s}$ | 4 |
| Delta | | |
| Harigan 6000 s | 50 $\frac{0}{s}$ | 6 |
| Delta | | |
| Harigan 9000 s | 30 $\frac{0}{s}$ | 6 |

Häzirki zaman hereketli radioaragatnaşyk ulgamlarynda parabola görnüşli antenنالardan başga-da sinfaz antenna gözenekleri giňden ulanylýarlar. Parabola görnüşli antenنالار hereketli abonentlerde radiosignallary kabul etmek we ibermek üçin amatly dälidirler. Olara uly ýelkenlilik mahsusdyr, üstesine-de şeýle antenنالار elektrik usuly bilen dolandyrmak üçin amatly dälidirler

16.Edebiyat.

1. 1А.С.Немировский. Радиорелейные и спутниковые системы передачи. Учебник для вузов. Москва, Радио и связь, 1986 г.
2. 2Н.И.Калашников. Системы радиосвязи. Учебник для вузов. Москва, Радио и связь, 1988 г.
3. 3Л.Г.Мордухович, А.П.Степанов. Системы радиосвязи. Курсовое проектирование. Москва, Радио и связь, 1987 г.
4. 4Г.И.Катунин, В.И.Мямчев и другие. Телекоммуникационные системы и сети. Москва, Горячая линия – Телеком, 2004 г.
5. 5В.П.Чернышев, Д.И. Шейман. Распространение радиоволн и антенно-фидерные устройства. Москва, Радио и связь 1989 г.
6. 6А.С. Немировский, А.Г. Рыжков. Системы связи и радиорелейные линии. Москва, Радио и связь, 1996 г.
7. Н.Н.Буга. Радиоприемные устройства. М. Радио и связь, 1986
8. Радиопередающие устройства. Учебник для вузов связи под ред. В.В. Шахгильдяна. М.: Радио и связь, 1994 г.

9. 9.Н.А.Сурков. Станционные оборудования радиовещания и радиосвязи. Москва, Радио и связь, 1990 г.
- 10.Ипатов В.П., Орлов В.К. и др. Системы мобильной связи. Москва-Горячая линия-Телеком, 2003 г.
- 11.Г.Тяпичев. Спутники и цифровая радиосвязь.. Москва-2004 г.
- 12.Д.М.Сазонов. Антенны и устройства СВЧ. Москва: Высшая школа, 1988 г.
13. Г
ромаков Ю.А. Стандарты и системы подвижной радиосвязи. Москва: Эко-Трендз, 1998

MAZMUNY

| | |
|--|----|
| 1. GIRIŞ. TÄZE GALKYNYŞ WE BEÝIK ÖZGERTMELER ZAMANASYNDA TÜRKMENISTANDA RADIOARAGATNAŞYGYŇ ÖSÜŞI..... | 4 |
| §2. Wakumda elekrtomagnit meýdanynyň esasy deňlemeleri..... | 8 |
| Makswelliň deňlemeleri..... | 8 |
| 2.1. Doly elektrik akymynyň kanuny | 8 |
| 2.2. Elektromagnit induksiýa kanunynyň differensial görnüşi | 11 |
| 2.3. Makswelliň deňlemeleri..... | 15 |
| 2.3.1 Makswelliň deňlemeleriniň differensial görnüşi | 15 |
| 2.3.2. Makswelliň deňlemeleriniň integral görnüşi | 16 |
| 2.4. Elektromagnit meýdany üçin energiýanyň saklanmak kanuny | 19 |
| § 3. Makswelliň deňlemeleri üçin araçäk şertler | 22 |
| 3.1. Hemişelik elektromagnit meýdanynyň deňlemeleri | 22 |
| § 4. Dielektriklerde elektromagnit tolkunlarynyň ýaýramagy..... | 23 |
| 4.1. Tekiz monohromatik tolkunlar | 23 |
| 4.2. Elektromagnit meýdanynyň güýjenmesi üçin deňleme | 24 |
| 4.3. Tekiz monohromatik tolkunlar görnüşde çözüw | 26 |
| § 5. Tekiz elektromagnit tolkunlarynyň iki dielektrigiň araçäginde döwürmegi we serpikmegi | 31 |

| | |
|---|-----------|
| 5.1. Elektromagnit tolkunlarynyň wektorlary üçin araçäk şertler | 31 |
| 5.2. Serpigende we döwülende ýygylgyň saklanmagy | 33 |
| 5.3. Düşme, serpikme we döwülme burçlarynyň arasyndaky gatnaşyklar. | 37 |
| § 6. Kirhgofyň integraly. Freneliň we Fraungoferiň difraksiýasy | 40 |
| 6.1. Kirhgofyň integraly | 40 |
| 6.2. Freneliň we Fraungoferiň difraksiýasy | 46 |
| 7. Radiotolkunlaryň şöhlendirilişi. | 50 |
| 8. Elementar elektrik wibratoryň radiotolkunlary şöhlendirilişi. | 53 |
| 9. Radiotolkunlar we radiosignallar barada esasy düşünjeler. | 61 |
| 10. Radiotolkunlaryň ýygylgyk diapazonlary. | 69 |
| 11. Radiotolkunlaryň Ýeriň atmosferasynda ýaýraýyş aýratynlyklary. | 72 |
| 11.1. Ýeriň atmosferasynyň düzimi barada umumy maglumatlar. | 72 |
| 11.2. Radiotolkunlaryň Ýeriň ionosferasynda ýaýraýyş aýratynlyklary | 75 |
| 11.3. Orta, uzyn, aşu uzyn radiotolkunlaryň ýaýraýyş aýratynlyklary we ulanylýan ýerleri. | 79 |
| 11.4. Gysga radio tolkunlaryň ýaýraýşynyň aýratynlygy we ulanylýan ýerleri. | 85 |

| | |
|--|-----|
| 12. Ultragysga radiotolkunlaryň ýaýraýyş aýratynlyklary we ulanylýan ýerleri. | 89 |
| 12.1 Ultragysga radiotolkunlaryň ýaýraýyş aýratynlyklary | 89 |
| 12.2. UGT-nyň aşa uzak aralyklara ýaýraýşy. | 101 |
| 12.3. Ultra gysga radiotolkunlaryň kosmiki aragatnaşyk liniýalarynda ýaýraýşy. | 104 |
| § 13. Çyzykly ossilýatoryň şöhlelenmesi | 110 |
| 13.1. Gersiň wibratory | 110 |
| 13.2. Momenti wagta görä üýtgeýän dipolyň skalýar potensialy | 111 |
| 13.3. Momenti wagta görä üýtgeýän dipolyň wektor potensialy | 115 |
| 13.4. Çyzykly ossillýatoryň elektrik we magnit meýdany | 120 |
| § 14. Elektrik akymy bar ramkanyň wektor potensialy we şöhlelenmesi | 133 |
| 14.1. Eelektrik akymy bar ramkanyň wektor potensialy | 133 |
| Aşakdaky deňlemeleriň deňlişdirmesinden, ýagny | 137 |
| 14.2. Elektrik akymy bar ramkanyň şöhlelenmesi | 138 |
| 15. Radioaragatnaşyk ulgamlarynda ulanylýan antennalaryň görnüşleri, parametrleri we häsiýetnamalary. | 143 |
| 15.1. Antennalaryň parametrleri we häsiýetnamalary. | 143 |
| 15.2. Ykjam aragatnaşyk ulgamlarynyň antennalarynyň görnüşleri. | 154 |

| | |
|---|-----|
| 15.3. PARABOLA GÖRNÜŞLİ ANTENNALAR. | 167 |
| 15.4. Sinfaz antenna GÖzenekleri. | 169 |
| 15.5. Hereketli hemra radioaragatnaşygyň ulgamlary üçin antennalar. | 176 |
| 16.Edebiýat. | 178 |