

В. Теория передачи электромагнитных волн

антенно-фидерные устройства.

лек 1

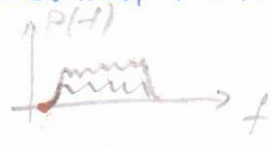
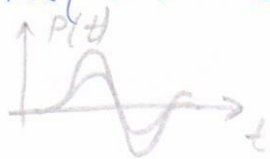
1. Передача ЭМВ — был ЭМТ-рК козден каболдатышка таралу процесі. Бул процес сБ, радиотаратуда, телевид. мобилді байланыс және радарда колданылады.

2. Характеристики:
- 1) Источник информации
 - комп, телефон — сообщ, FPGA, txt.
 - 2) Источник сигнала
 - генератор сигнала (в моб. тел. есть радиочаст. модуль — осциллятор и передатчик. Осциллятор — устройство, кот. е генер.т RF волны. Кварцевые осцилл.ры. Синтезатор частоты — испол.я для настройки частоты.
 - 3) Усилитель сигнала (мощности).

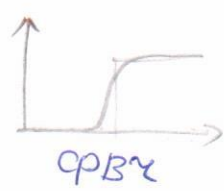
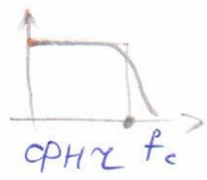


→ сигнальные, функции, векторные сигнальные, программируемые SDR (Software-defined radio)

$$D(\text{dB}) = 10 \lg \frac{P_2}{P_1}$$



- 4) Фильтрация и обработка сигналов.



$$f_c = \frac{1}{2\pi RC}$$

- 5) Модулятор. Не үшін керек?

AM, FM, Фазовые, QAM, FSK, OFDM (Wi-Fi, LTE), GMSK

- 6) Среда передачи ЭМВ.

- 7) Таратушы антенна.

Rx → Приемная антенна. → LNA (Low Noise Amplifier) → демодулятор. → фильтры. → процессоры.

Пәннің мақсаты — кеңістікте сәулеленуі мен таралуымен ЭМТ-р-қ байланысты физ. қ проц. рді түсіну және сипаттау.

ЭМТ — айналамыздық бәрі ЭМТ. GPS, ГЛОНАСС, Wi-Fi, Мобісе, УЗЧ, рентген, Жерден тыс объектілерден де ЭМТ келеді.

Ғалымдар — Эрстед — магнит стрелкасы тоғы бар өткіз. 1819
Ампер — закон өзара әрекеттес. провод. с током (1824)
Фарадей — (1831)
Максвелл — (1864)
Г. Герц — (1887)
Попов — (1897) Физ. лаб $\xleftrightarrow{250\text{ м}}$ Хим. лаб
М. Планк

Техника — XX. 20 ж р тұрақты радиовещание

Элементы — XX. 30 ж радиоланкация бастамалары.

→ ламповы радиоперед, магнетроны, клистроны (св)

XX 50 ж. полупровод. транзисторы

аналоговые и цифровые микросхемы

Техника — 1973 ж. Motorola первый моб. тел.

1979 ж 1G Японияда (аналогов. св)

1991 ж 2G Финляндия (цифр. GSM)

2001 ж 3G — пакет. перед. данных.

2009 ж 4G — мультимед. контент.

5G

Толқындық процесстер

1. Упругие 4 эм. волны.

Толқым — энергия тасымалдайтын және шекті жылы. пен таралатын ортаның нә өрістің күйінің кез-кел. өзгерісі.

→ серпимді және электром.
(акустик. іс) → серпимді орт. қ (газ, сұйық, қатты)
мех. қ деформациянан бөлшектердің тербелуі.
М, дыбыс. (ауа қысым. қ өзгерісі)



ЭМ өріс — зарядталған бөлшектерге әсер ететін, вакуумда $3 \cdot 10^8$ м/с жылд. н тарала алатын, үздіксіз тарала алатын материяның түрі.

ЭМ өрістің → жарық
→ радиотолқ.

ЭМ өр векторлық сұрық. н сипатталады, сонд. н векторлық өріс б. т.

(...)

Толқындық проц. 2 негізгі қасиеті:

1) энергия тасымалдау; 2) таралу жыл. орт. да шекті.

ең көп вакуумда
М, акуст. 0°C 331 м/с

ЭМ толқындар — элект. өріс. қ (\vec{E}) және онымен байланысқан магнит өрісі. н (\vec{B}) кеңістіктегі таралу процессі.

сызықты, бейсызық

Орта қасиеті осы толқын үшін толқын интенсив. не тәуелді болмаса

егер толқын ортаның қасиетін өзгертіетін болса, нәтижесінде толқынның өзінің де қасиеті өзгереді.

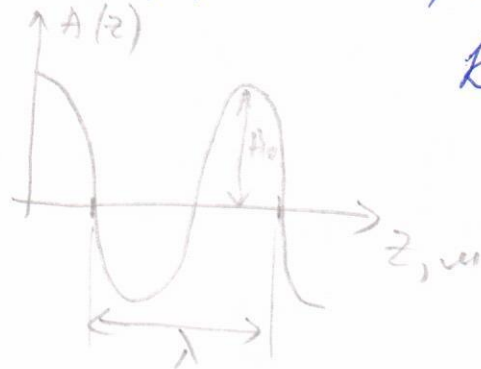
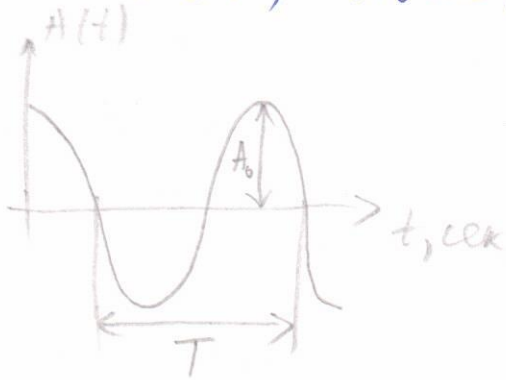
суперпозиция принципі.

② Гармоникалық толқындар.

ГТ — бұл гарм.к (синусоида, монохромат. тербеліс, бір жиілікті; тербеліс) заңдылықпен уағ. бой. өзг. толқ.

$$A(z, t) = A_0 \cos(\omega t - kz + \varphi_0), \quad \omega = 2\pi f, \quad k - \text{толқ. сам.}$$

$$k = \frac{2\pi}{\lambda}$$



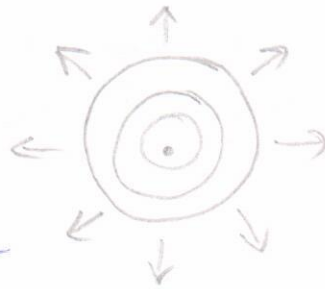
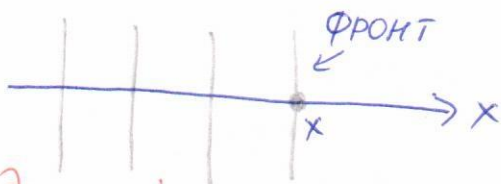
$$f = \frac{1}{T}, \quad T = \frac{2\pi}{\omega}$$

$$\lambda = vT, \quad v = \lambda f$$

Плотность потока энергии / квадрат ағым. тығыз.

Толқ. прен бірдей сразата не болатын бетт толқын фронтты д. а : жазық, цилиндрлік, сфералық.

Толқ. тарал. бағыты | фронт бетіне \perp бағ. болады.



③ теңдеулері

жазық

$$S(x, t) = A \cos \omega \left(t - \frac{x}{v} \right), \quad S = A \cos(\omega t - kx), \quad S = A \cos(\omega t - kx + \varphi_0)$$

толқ. энер. жұтылуы: $S = A e^{-\beta t} \cos(\omega t - kx + \varphi_0)$, β — өшп. коэф.

$$S = \frac{A}{r} \cos \omega \left(t - \frac{r}{v} \right), \quad S = \frac{A}{r} \cos(\omega t - kr), \quad S = \frac{A}{r} e^{-\beta t} \cos(\omega t - kr + \varphi_0)$$

3. Толқынның теңдеуі

ТТ — толқынның кеңістікте t б/ша таралуын сипаттайтын теңдеу.

Бір өлшемді (x б/ша) жағдай үшін жалп. ма сорма:

$$\frac{\partial^2 u}{\partial t^2} = c^2 \frac{\partial^2 u}{\partial x^2} \quad u(t) - \text{толқын параметрі.}$$

c — жар. жылд.

↓
т б.ша 2-туындысы

↓
коорг. б/ша 2-туынды.

3 өлшемді: (x, y, z)

$$\frac{\partial^2 u}{\partial t^2} = c^2 \left(\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial z^2} \right)$$

Тапсырма: → түрғын толқындар
→ толқын дисперсиясы.

2 - лекция

①. Векторы ЭМ поля.

ЭМ өрісті қалай, қай кезде көре аламыз?

Оны тек электр. к. заряд. р.ә әсері арқылы ғана бай. аламыз
өтетін күштер арқ. ғана байқ. з.

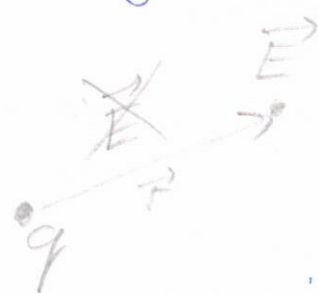
Кез-келген күш. қ. бағыты өск. шамасы б. ғ. з.

Элек. өрісі қозғалатын, қоз. майғын заряд. бөлшек.

E тарапынан әсер ет. күші:

Вакуум үшін: $\vec{F}(\vec{r}) = q \cdot \vec{E}(\vec{r})$

СИ [В/м]



Эл. өрісін матер. іс ортада сипаттау үшін

D қажет.

$$\vec{D} = \epsilon_0 \vec{E} \quad [\text{Кл/м}^2]$$

- ↳ Элек. к. индук. Векторы
- ↳ Эл. к. тұрақты / Диэлек. өтімд.
- ↳ ортаның / заттың эл. өрісін қанш. ты өлкізе алат. н.
- металл ↓, диэлек. ↑

$$\epsilon_0 = 8,84 \cdot 10^{-12} \text{ Ф/м.}$$

Маг. өрісі тек қозғал. ғын заряд.

~~[Вб/м²]~~ $\vec{F}_L = q \vec{E} + q [\vec{v} \times \vec{B}]$ — Лоренц күші
↳ [Вб/м²] [Тл]

Сонымен қатар маг. өрісін матер. іс ортада сипаттау үшін

$$\vec{H} \quad [\text{А/м}] \quad \vec{B} = \mu_0 \vec{H}, \quad \mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} \text{ Гн/м}$$

Маг. өтім. — заттың маг. өрісі әсерінен қаншалықт. онай поляризация. н көрсетеді.

металл μ_0 ↑, диэлек. ↓

1873. Максвелл. $\int \text{ектег} / \text{дифференциал} [E, H, q, I]$ басты рөлдерде

↑ - Толық тоқ заңы:

ЭМӨгі ойна жүргізілген контурлар мен тұйықталған бет арасындағы қатон. ты сипаттайды.

1. Закон Гаусса для E элек. пол:

$$\oint_S \vec{E} \cdot d\vec{A} = \frac{Q}{\epsilon_0}$$



Эл. өріс. қ адыны Тұйықталған бет арқылы өтетін.

Осы беттегі зарядтарға пропорционал.

2. Закон Гаусса для маг. поле:

$$\oint_S \vec{B} \cdot d\vec{A} = 0$$

Тұйықталған бет арқылы өтетін магнет адын = 0.

Ол табиғатта маг. өрі. тұр. н монот. жоқ екенін, ол тек зар. ток бөлісі. қ қозғал. нан туындайды.

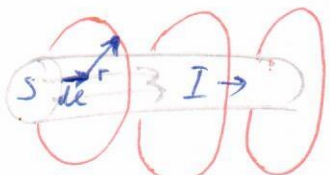
3. Закон Фарадея (Маг. өрісіне электр. өріс. қ индукция. ұн)

$$\oint_C \vec{E} \cdot d\vec{l} = - \frac{d}{dt} \int_S \vec{B} \cdot d\vec{A}$$

Маг. өрісі t өзгерсе, онда ол эл. өрісіні туындайды (индукция. ұн)

4. Зак. Ампер (маг. өріс. қ пайда болуын эл. тоқпен қоса $\frac{dE}{dt}$)

$$\oint_C \vec{B} \cdot d\vec{l} = \mu_0 \left(I + \epsilon_0 \frac{d}{dt} \int_S \vec{E} \cdot d\vec{A} \right)$$



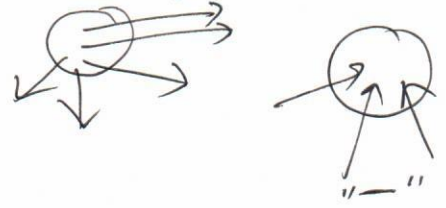
Бюо - Савар - Лаплас

$$d\vec{B} = \frac{\mu_0}{4\pi} \frac{I d\vec{l} \times \vec{r}}{r^2}$$

ЭМӨ. қасиеттерінің эл. заряд. р. қ тығыздығы, және кеңіс. қ әр (.)гі зарядтар мен тоқ. р. қ бәйіл. н

$$\text{div } \vec{E} = \frac{\rho}{\epsilon_0}$$

$\vec{\nabla} \cdot \vec{E}$ көрсеткіші. ~~не~~ "исходный поток"



$$\text{div } \vec{B} = 0$$

$$\text{rot } \vec{E} = - \frac{\partial \vec{B}}{\partial t}$$

"Бұрылу қасиетін"

$$\vec{\nabla} \times \vec{E}$$

$$\text{rot } \vec{B} = \mu_0 \vec{I} + \mu_0 \epsilon_0 \frac{\partial \vec{E}}{\partial t}$$

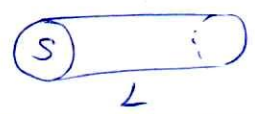
Ортаңы бөлетін жазықтықтар ^{ындағы} үшін электромаг. к өріс векторлары үшін шекаралық шарттар.

Максвелл тең. мен сипатталатын элек. к тол. р және оның әр түрлі орта арқымы өткенде, оның шекарасында ортаңың параметрлері өзінің мәнін өзгертеді. М: $\epsilon_a, \mu_a, \sigma$ - мекешікті өткізгіштік

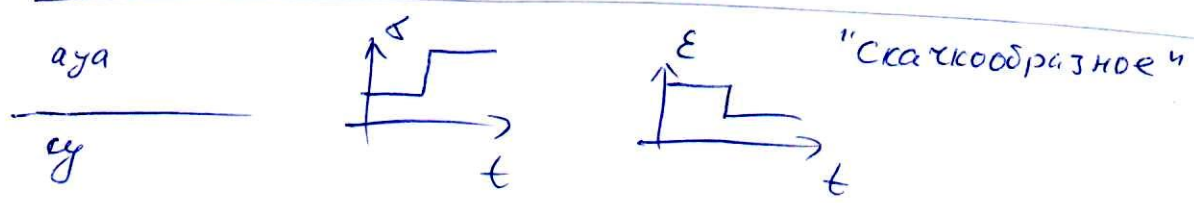
$$\vec{j} = \sigma \vec{E} \quad \sigma \text{ [Cm/m]}$$

плотность тока

σ - элек. к өткімділік



$$G = \sigma \frac{S}{L}$$



"скачкообразное"

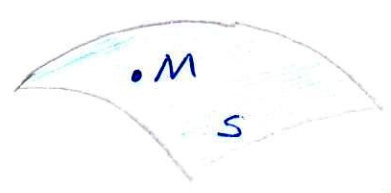
Макс. к диэр. тең. лері орта ісамет. рі үздіксіз болатын жерде ісамет. р.

Сондықтан, м. тең. лері ~~тең~~ сипет.

Сондықтан, екі орта шекарасындағы вектор. н сипаттамаларына ісаметі шарттар ісамет.

~~Ал~~ Ол шарт. р м. н \int тең. р шүйсіне t жасау.

Әртүрлі ортадағы ^{ЭМ} элек. к өрістің құраушы век. р. н мәндері арасындағы байл. ти ісаметтік қат. р шекар. ш шарттар а. ат.



Параметрлері осындай болатын

$\epsilon_a, \mu_a, \sigma_a$ \leftarrow ортамен парам. рі:

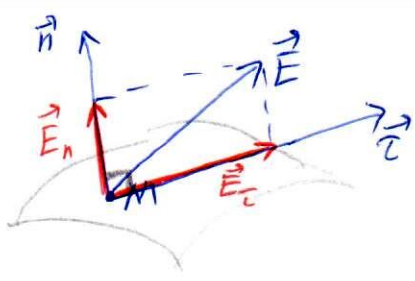
$\epsilon_c, \mu_c, \sigma_c$ \leftarrow орта арасында қандайда

бір S деген шекара, болсын.

сызықты, изотропты

Осы шек. бетінде M кес. к (.) белг. з

Ол (.) н үстіңгі жақтағы ортада өріс пар. л. рі белгілі. 2-ші орта. пар. ріні табу қажет.



\vec{E}_τ - тангенсалды / сканата қураушы р.

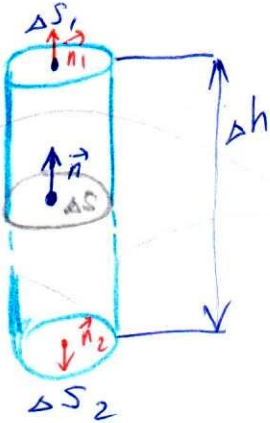
\vec{E}_n - нормаль қураушы р.

\vec{e}_τ, \vec{n} - бірлік н/к орта век. р.

$$\vec{E} = \vec{E}_\tau + \vec{E}_n = E_\tau \vec{e}_\tau + E_n \vec{n}$$

$$\vec{H} = \vec{H}_\tau + \vec{H}_n = H_\tau \vec{e}_\tau + H_n \vec{n}$$

ЭМО вектор қураушы р. н нормаль қураушы р. үшін тек. шек. шарт. р.



шек. да $M \cdot (\cdot)$ н айт. да ΔS ауд. ды белг. з

$$\oint_S \vec{E} d\vec{S} = \frac{Q}{\epsilon_0} \Rightarrow \epsilon_0 \int_S \vec{E} d\vec{S} = Q \Rightarrow$$

$$\Rightarrow \oint_{\Delta S_1 + \Delta S_2 + \Delta S_{бок}} \vec{D} d\vec{S} = \int_{\Delta V} \rho dV$$

$\Delta h \rightarrow 0$, сонда $\Delta S_{бок} \rightarrow 0$

$$\int_{\Delta S_1} \vec{D} d\vec{S}_1 + \int_{\Delta S_2} \vec{D} d\vec{S}_2 = \int_{\Delta V} \rho dV$$

$$d\vec{S}_1 = \Delta S_1 \vec{n}_1, \quad d\vec{S}_2 = \Delta S_2 \vec{n}_2$$

$$\vec{n}_1 = \vec{n}$$

$$\vec{n}_2 = -\vec{n}$$

$$\Delta S_1 = \Delta S_2 = \Delta S$$

$$\Delta V = \Delta S \cdot \Delta h$$

$$\vec{D}_1 \vec{n}_1 - \vec{D}_2 \vec{n}_2 = \rho \Delta h$$

$\Delta h \rightarrow 0$
 $\rho \Delta h \rightarrow 0$

$$\vec{D}_{n1} = \vec{D}_{n2}$$

шек. шарт.

$\rho \Delta h$

Элек. инд. л вект. н нормаль қураушыларын екі орта н шек. да қзбіксіз.

$$\vec{D} = \epsilon_a \vec{E}$$

$$\epsilon_{a1} E_{n1} = \epsilon_{a2} E_{n2} \rightarrow E_{n1} = \frac{\epsilon_{a2}}{\epsilon_{a1}} E_{n2}$$

$\int_{\Delta S_1 + \Delta S_2 + \Delta S_{\text{бок}}} \vec{B} d\vec{S} = 0, \Delta h \rightarrow 0, B_{n1} = B_{n2}$, әйтпесе \vec{B} нормаль құраушымен бір ортадан екіншісіне өткенде үздіксіз.

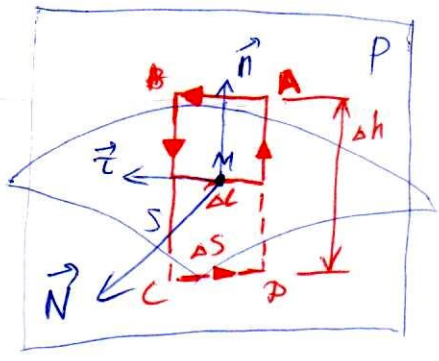
$$\vec{B} = \mu_0 \vec{H} \Rightarrow \mu_{a1} H_{n1} = \mu_{a2} H_{n2}$$

$$H_{n1} = \frac{\mu_{a2}}{\mu_{a1}} H_{n2}$$

Бұл \vec{H} нормаль құраушысы екі ортаның шекарасынан өту бағысында "разрывка" не.

ЭМО. вект. р. қ жаната құраушы. р. үшін вект. р. шарт. р.

$$\vec{N} = [\vec{n}, \vec{e}]$$



□ ABCD көлем. на Маг. тек. үйк қолданамыз.

$$\oint_{ABCD} \vec{H} d\vec{e} = \int_{\Delta S} (\vec{J} + \frac{\partial \vec{D}}{\partial t}) d\vec{S}$$

мұндағы, $d\vec{S} = \vec{N} dS = \vec{N} \Delta l \Delta h$

$$\oint_{AB} \vec{H} d\vec{e} + \oint_{BC} \vec{H} d\vec{e} + \oint_{CD} \vec{H} d\vec{e} + \oint_{DA} \vec{H} d\vec{e} = \int_{\Delta S} (\vec{J} + \frac{\partial \vec{D}}{\partial t}) \vec{N} \Delta l \Delta h$$

$\Delta h \rightarrow 0$

$$\oint_{AB} \vec{H} d\vec{e} + \oint_{CD} \vec{H} d\vec{e} \Rightarrow \left| \frac{d\vec{e} = \vec{e} \Delta l}{d\vec{e} = -\vec{e} \Delta l} \right| \Rightarrow \vec{H}_1 \vec{e} - \vec{H}_2 \vec{e} = 0$$

$$H_{\tau 1} = H_{\tau 2}$$

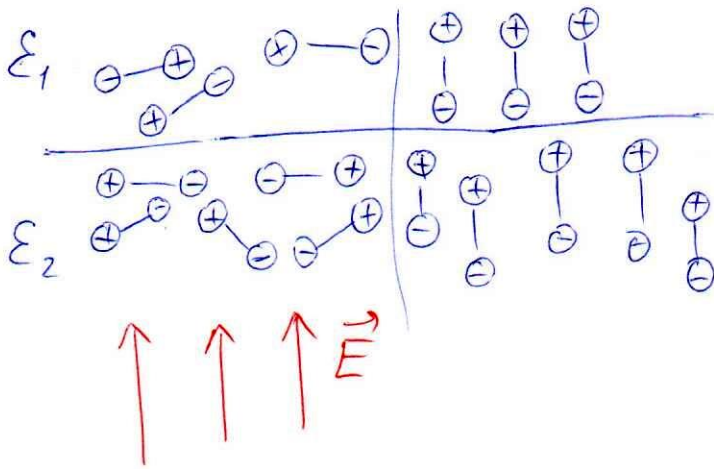
Әл осындай опер. ә \vec{E} век. ры үшін де орындасақ, $E_{\tau 1} = E_{\tau 2}$ Е жк H век. қ жан. құр. ры при переходе үздіксіз болуына береді

$\vec{D} = \epsilon_a \vec{E}$ ескерсек,

$$D_{\tau 1} = \frac{\epsilon_1}{\epsilon_2} D_{\tau 2}$$

$\vec{B} = \mu_a \vec{H}$ ескерсек,

$$B_{\tau 1} = \frac{\mu_1}{\mu_2} B_{\tau 2}$$

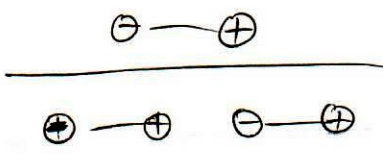


$\epsilon_1 \neq \epsilon_2$ | молекул. җ диполь. р. артырли

→ нәтижесінде \vec{E} век. җ нормаль кыраушы. р. ы тең емес.



болса, таңг. кырау. р. ы өзгөрө тең.



4 - лекция

Тікбұрышты толқынжолдағы өрістің таралуы

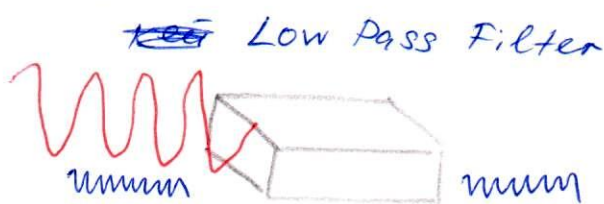
ТТ - тікбұрышты қимасы бар толқын бір түрі. Ол ЭМТ. рды белгілі бір диапазонда тарату үшін 50д, микровол, радиобайл, радлок.

Линия передачи. Коаксиалды кабель. ТЖ $\begin{cases} \rightarrow \text{ЭМ.} \\ \rightarrow \text{акустик.} \\ \rightarrow \text{оптик.} \end{cases}$



СВЧ, КВЧ.

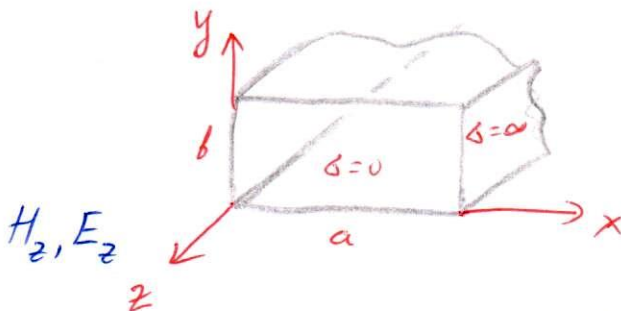
- Дөңгелек
- тіктөр.
- квадрат
- эллиптіс



размер 110x55mm, $\lambda = 15\text{cm}$

ТЖ. ғы өрісті анықтау үшін мынадай шарттар:

- стeнки $\sigma = \infty$
- ортасы диэл. $\sigma = 0, \epsilon, \mu$
- өріс - монохроматты
- өріс z өсі бағ.



H_{mn} - типті магнитті толқ: $H_z \neq 0, E_z = 0$. (бойлық компоненті)

E_{mn} - эл.к толқ.р: $E_z \neq 0, H_z = 0$

Енді эл.к және маг.к толқ.рды анық үшін Гельмгольц теңдеуін жазың.

$$\nabla^2 E_z + k^2 E_z = 0, \quad \nabla^2 H_z + k^2 H_z = 0$$

$$E_z(x, y, z) = \underline{E_{mz}}(x, y) \cdot e^{-j\beta z} \quad \text{амп, фаза.}$$

(Лаплас опер, Гельмг. түрлендіріп, шекар.к шарттар) осылардан кейін

E_{mn} толқынының келесідей компоненттары шығады:

$$E_z = E_0^{mn} \sin\left(\frac{m\pi}{a}x\right) \sin\left(\frac{n\pi}{b}y\right) e^{-j\beta^{mn}z},$$

$$E_x = -jE_0^{mn} \frac{\beta^{mn}}{(k_{\perp}^{mn})^2} \frac{m\pi}{a} \cos\left(\frac{m\pi}{a}x\right) \sin\left(\frac{n\pi}{b}y\right) e^{-j\beta^{mn}z},$$

$$E_y = -jE_0^{mn} \frac{\beta^{mn}}{(k_{\perp}^{mn})^2} \frac{n\pi}{b} \sin\left(\frac{m\pi}{a}x\right) \cos\left(\frac{n\pi}{b}y\right) e^{-j\beta^{mn}z},$$

$$H_x = -\frac{E_y}{Z_E^{mn}}, \quad H_y = \frac{E_x}{Z_E^{mn}}, \quad H_z = 0$$

β^{mn} — бойлыс толқын саны, рад/м, k_{\perp}^{mn} — көлд. толқын саны.

Z — E толқын т.ж. жы кедергісі, Ом.

H толқын келесідей комп:

$$H_z = H_0^{mn} \cos\left(\frac{m\pi}{a}x\right) \cos\left(\frac{n\pi}{b}y\right) e^{-j\beta^{mn}z}.$$

$$H_x = jH_0^{mn} \frac{\beta^{mn}}{(k_{\perp}^{mn})^2} \frac{m\pi}{a} \sin\left(\frac{m\pi}{a}x\right) \cos\left(\frac{n\pi}{b}y\right) e^{-j\beta^{mn}z}$$

$$H_y = jH_0^{mn} \frac{\beta^{mn}}{(k_{\perp}^{mn})^2} \frac{n\pi}{b} \cos\left(\frac{m\pi}{a}x\right) \sin\left(\frac{n\pi}{b}y\right) e^{-j\beta^{mn}z}$$

$$E_x = Z_H^{mn} H_y, \quad E_y = -Z_H^{mn} H_x, \quad E_z = 0.$$

~~H типті негізгі толқын.~~

Тіктөртбұр. толқынж. жы э.к. жде макс толқынж. параметр.

Криттик. қ толқ. ұзынд:

$$\lambda_{кр}^{mn} = \frac{2\pi}{k_{\perp}^{mn}} = \frac{2}{\sqrt{\left(\frac{m}{a}\right)^2 + \left(\frac{n}{b}\right)^2}}$$

m мен n — әр жұбына белгілі бір өріс, толқын типі, гармонн,
 н/к мода сәйкес келеді: E_{mn}, H_{mn}
 → число вариации вдоль x , → число вар. в y .
 (стоячих волн)

$m=0,1,2,\dots, n=0,1,2,\dots$, бірақ волнада тек келесі
 шартты қанағатт. мын толқын типі таңа тағалады:

$$\lambda < \lambda_{кр}^{mn} \quad f > f_{кр}^{mn}$$

→ кесте бар

$$\lambda = \frac{\lambda_0}{\sqrt{\epsilon\mu}} \quad \lambda_0 - \text{вакуумдағы т.у.с.}$$

→ матер. ϵ, μ .

• Волн. жыттолқын ұзындығы

$$\lambda_B = \frac{\lambda}{\sqrt{1 - \left(\frac{\lambda}{\lambda_{кр}^{mn}}\right)^2}}$$

Волн. жы толқ. фаза-ы жылд.

$$V_{\phi B} = \frac{V_{\phi}}{\sqrt{1 - \left(\frac{\lambda}{\lambda_{кр}^{mn}}\right)^2}}$$

Топт. жылд.

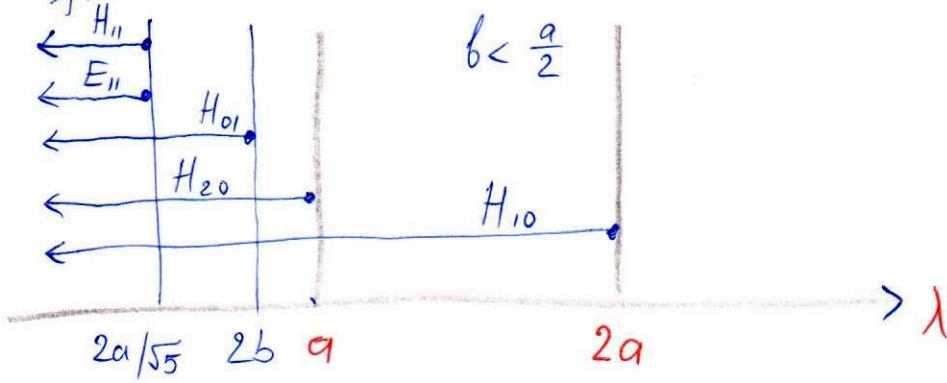
$$V_{гв} = V_{\phi} \sqrt{1 - \left(\frac{\lambda}{\lambda_{кр}^{mn}}\right)^2}$$

В. жы тол.н қуаты

$$P_{\phi} = \frac{1}{2} \int_{S_{\perp}} \text{Re} [\vec{E}_{\perp} \times \vec{H}_{\perp}] d\vec{S}_{\perp}$$

Сөну коэфф. α , $H_{n/m}$: $\alpha = \alpha_m + \alpha_d$

Тікбұр. волн. н негіз. толқ. H_{10} ($a > b$), $\lambda_{кр} = 2a$



$\lambda_{кр}$ мәндері

тек H_{10} толқ. тарал. н жиілік диапазоны.

$$f_{кр}^{H_{10}} < f < f_{кр}^{H_{20}}, \quad \frac{c}{2a\sqrt{\epsilon\mu}} < f < \frac{c}{a\sqrt{\epsilon\mu}}$$

Волнов. н біртолғымды эрелік резк. н шарты:

$$0,5\lambda < a < \lambda, \quad b < 0,5\lambda$$

н/е

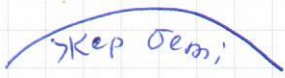
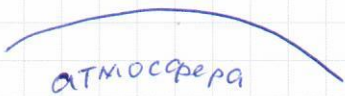
$$a \approx 0,75\lambda, \quad b < 0,5a$$

5-лекция. Шкала ЭМВ. (5.1)



Радиотолқыт

5.2. Радиотолқындардың таралу теориясы.



$\delta, \epsilon_r, \mu_r$ нәтижесінде жұтылу мен шағылу

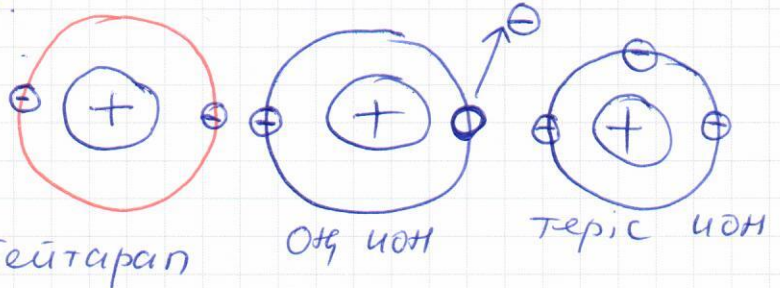
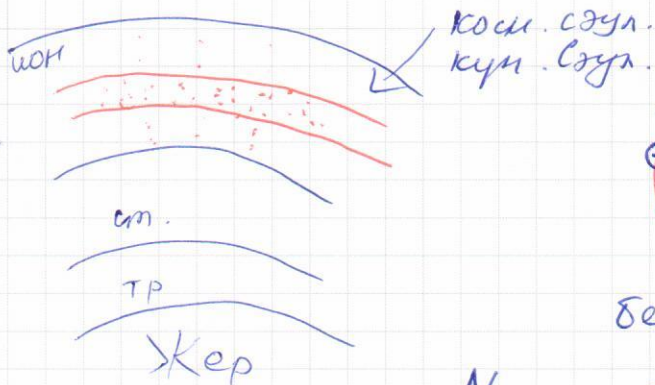
Атмосфера: тропосфера, стратосфера, ионосфера.

10-20 км, Біртекті емес, t, P , ылғалд.

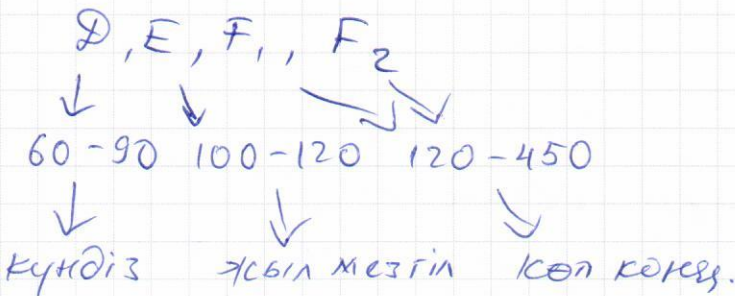
20-50 км, ауа тығ. аздау, эл.к қасиеті δ жа Біртекті

Сондық. радт.р сызықты таралады.

50 - 20.000 км.



$N_{\text{Э max}} - 300 - 400 \text{ км}$



	N_1	$N_{\text{Э1}} \neq N_{\text{Э2}} \neq N_{\text{Э3}}$ сыну.
	N_2	
	N_3	

Сыну көрсеткі. (δ, \pm)

$$\delta_{кр} = \arcsin \sqrt{1 - \delta_1 \cdot N_{\text{Э}} / f^2}$$



$\delta_2 < \delta_{кр}$ өтіп кетеді
 $\delta_1 > \delta_{кр}$ қайтады.

Формуладан қорытынды:

f кезең. жоғары болса, сыну көрсет. төмен.

УКВ ыңбай өтіп кетеді.

Декамегаметрлік

тегіс суы жүтпайды, подводной сүзгі.

Келесіміні — малая информация, сложность, дороговизна.

Километрлік толс. 2500 км-ге дейін. Жер беті
жұта алады.

Таратушы антенналардың энергетикалық параметрлері

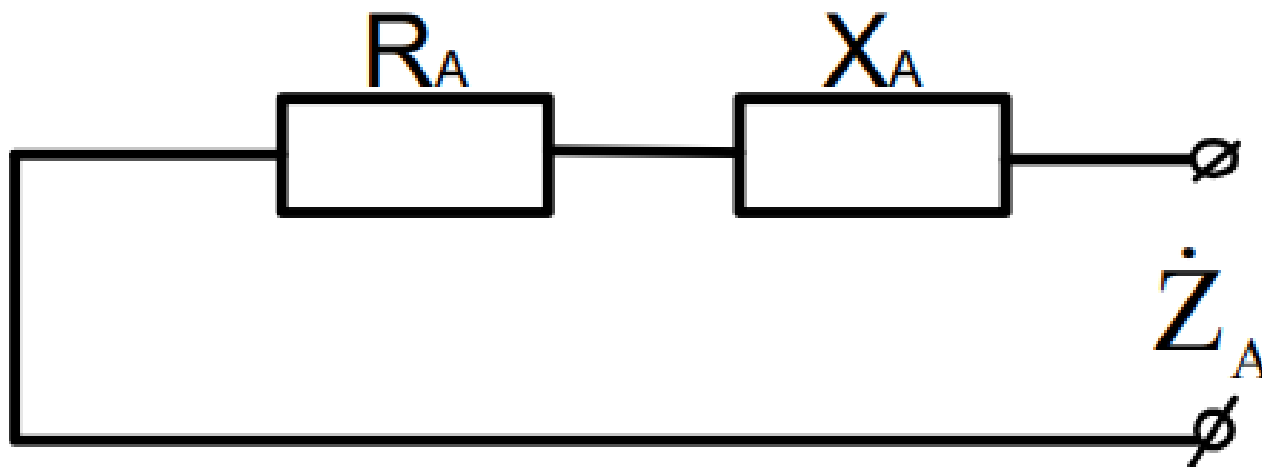
лекция-11

Энергетикалық параметрлер:

1. P_{Σ} – (электромагниттік толқын, сәуле)шығару қуаты;
2. R_{Σ} – (электромагниттік толқын, сәуле)шығару кедергісі;
3. η – ПӘК;
4. Z – Антеннаның кіріс кедергісі;
5. l – Әрекеттік ұзындық;
6. A – Апертура (Эффективная площадь раскрыва);

Тарату (сәулелену) режимінде антенна жоғары жиілікті ток генераторының жүктемесі болып табылады. Жүктеме ретінде ол белсенді, реактивті және шектеуші қуатпен, сондай-ақ кіріс кедергілерімен сипатталады. Ең жоғары сәулелену қуатын алу үшін антеннаны беру желісіне және генератордың ішкі кедергісіне сәйкестендіру керек.

Таратушы антеннаның эквивалентті сұлбасы

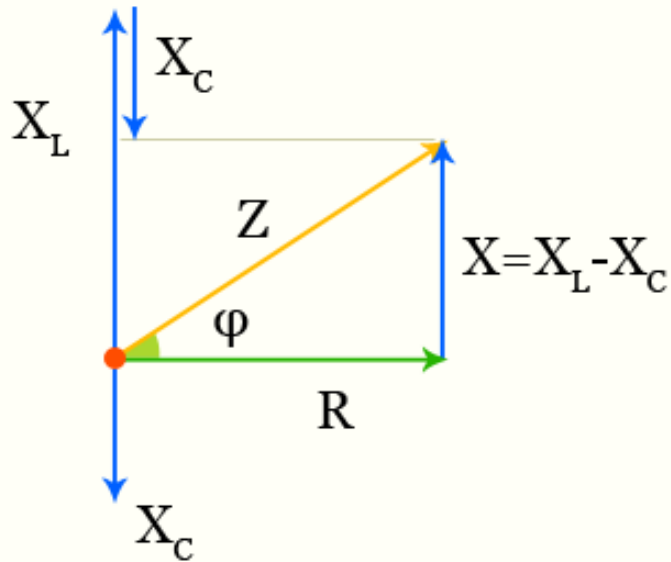


- **Антеннаның кіріс кедергісі** антенна кірісіндегі кернеу мен токтың комплексті амплитудаларының (немесе әсерлік мәндерінің) қатынасына тең комплексті шама:

$$\dot{Z}_A = \frac{\dot{U}_{A \text{ ВХ}}}{\dot{I}_{A \text{ ВХ}}} = R_A + jX_A$$

$$\dot{Z}_A = \frac{\dot{U}_{A_{BX}}}{\dot{I}_{A_{BX}}} = R_A + jX_A$$

$$R_A = R_\Sigma + R_\Pi$$



R

$i\omega L$

$1/i\omega C$

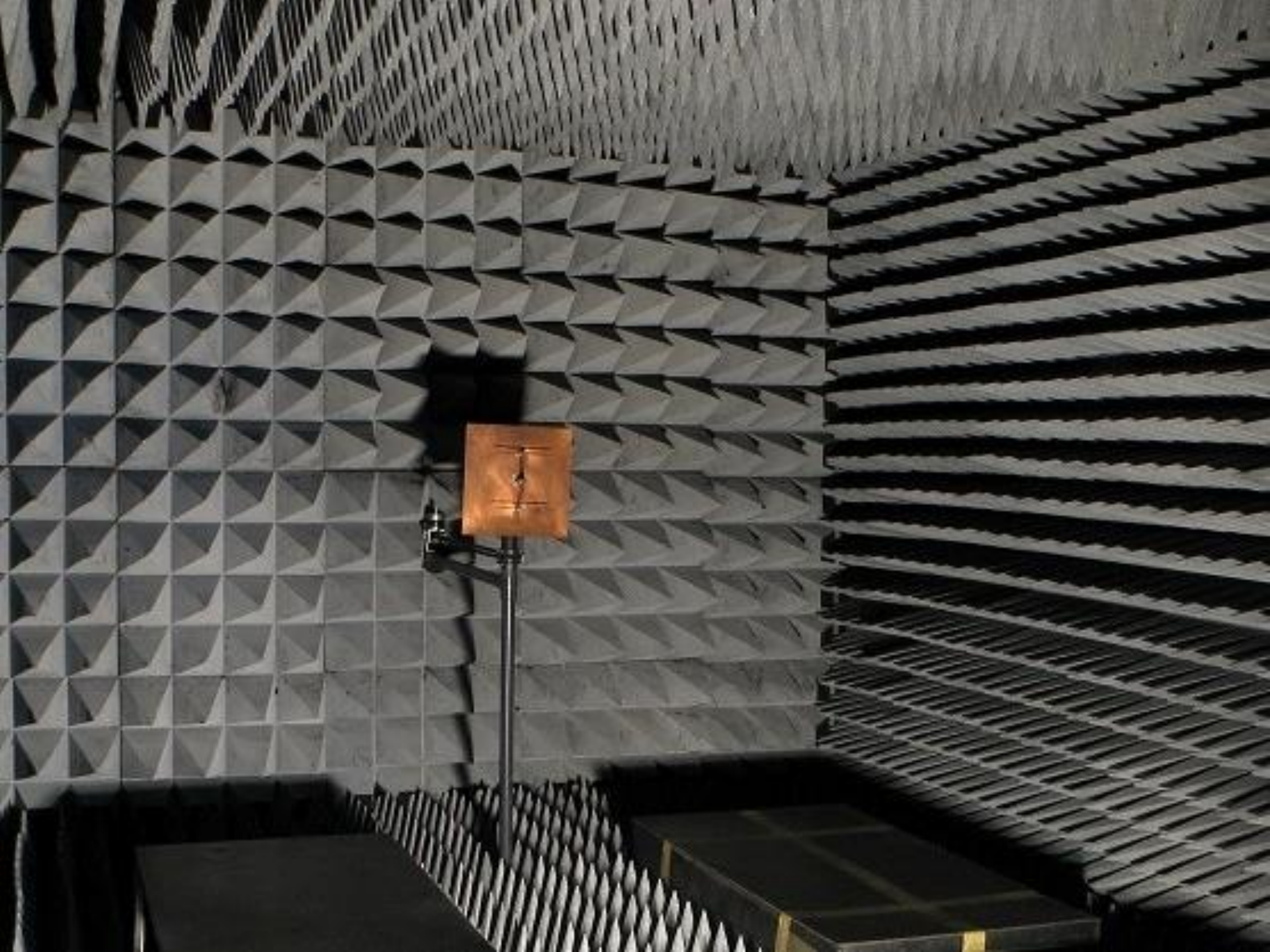
Антеннаның кіріс кедергісі параметр ретінде антенна кірісіндегі комплексті кернеу мен ток физикалық түрде анықталатын және **тікелей өлшенетін** сызықтық антенналарға ғана қатысты. Апертуралық типтегі антенналар үшін кіріс кедергісі түсінігі қабылданбайды, өйткені оларда кіріс қысқыштары жоқ. Жалпы жағдайда антеннаның кіріс кедергісіне мыналар әсер етеді: генератордың жиілігі, бөгде өткізгіштер және антеннаның жанында орналасқан басқа денелер. Сондықтан практикада антеннаның кіріс кедергісі БЭК деп аталатын арнайы камераларда, зертханаларда өлшеу құралдарының көмегімен берілген жиіліктерде анықталады.

Anechoic chamber

Эхосыз камера (БЭК) – бұл жаңғырық (эхо) пайда болмайтын арнайы бөлме. БЭК келесі түрлерге бөлінеді:

- акустикалық – абырғалардан дыбыстық толқындардың шағылысуы болмайды
- радиожииілікті – қабырғалардан радиотолқындардың шағылысуы болмайды









- РЖ камерасының ішкі бөлігі акустикалық камераға ұқсайды, дегенмен дыбыс жұтқыштардың орнына беттерді жабу үшін радио сіңіргіш материал (RAM – Radiation-absorbent material) қолданылады.
- РЖ камералары антенналардың бағытталу диаграммаларын салу, электромагниттік үйлесімділікті зерттеу және **ЭПР** диаграммаларын салу үшін қолданылады. Өлшеулер толық өлшемді объектілерде, соның ішінде ұшақтарда немесе кішірейтілген үлгілерде жүргізілуі мүмкін.

Radar cross-section (RCS)

RCS is a measure of how detectable an object is by [radar](#). A larger RCS indicates that an object is more easily detected.

An object reflects a limited amount of radar energy back to the source. The factors that influence this include:

- the material with which the target is made;
- the size of the target relative to the [wavelength](#) of the illuminating radar signal;
- the absolute size of the target;
- the [incident angle](#) (angle at which the radar beam hits a particular portion of the target, which depends upon the shape of the target and its orientation to the radar source);
- the reflected angle (angle at which the reflected beam leaves the part of the target hit; it depends upon incident angle);
- the polarization of the transmitted and the received radiation with respect to the orientation of the target.

5 COMBAT AIRCRAFT WITH LOWEST RCS VALUE



F22 RAPTOR
RCS - 0.0001 (m²)



B-2 SPIRIT
RCS - 0.0001 (m²)



F117 NIGHTHAWK
RCS - 0.001 (m²)



F35 LIGHTNING II
RCS - 0.005 (m²)



SUKHOI SU-57
RCS - 0.1 (m²)

Сәуле шығару кедергісі (Abraham–Lorentz force)

- Антеннаға берілетін генератордың қуаты радиацияға (антеннадағы және қоршаған денелердегі және қоршаған ортадағы жоғалтулар), сондай-ақ жақын аймақта реактивті өрістерді құруға жұмсалады. Сондықтан РА антеннаның сәулелену қуатын және антеннадағы жылуды жоғалту қуатын сипаттайды:

$$R_A = R_\Sigma + R_{\Pi}$$

Сәулелену кедергісі - бұл антеннаның сәулелену қуатына тең P_{Σ} қуат шығарылатын кейбір ойдан шығарылған белсенді кедергі.

$$P_{\Sigma} = \frac{I_A^2 R_{\Sigma}}{2}$$

Сәулелену кедергісі таратқыш антеннаның сәулелену қасиеттерін сипаттайды.

X_A мәні сәулеленбейтін жақын аймақтағы реактивті қуатты сипаттайды

- Антеннаның сәулелену кедергісі де, реактивтілігі де антеннаның түріне, оның конструкциясына, сондай-ақ толқын ұзындығына байланысты. Жоғалту кедергісі антенна жасалған металдың өткізгіштік қасиеттеріне, оқшаулағыштардың сапасына, сондай-ақ антеннаны қоршап тұрған денелерге және қоршаған ортаға байланысты.

Антеннаның сәуле шығару қуаты

- Антеннаның сәуле шығару қуаты деп антеннаға генератордан берілетін, антенна арқылы радиотолқындарға айналатын және алыс аймаққа жететін қуат бөлігі болып табылады.

$$P_{\Sigma} = \oint_S \Pi ds$$

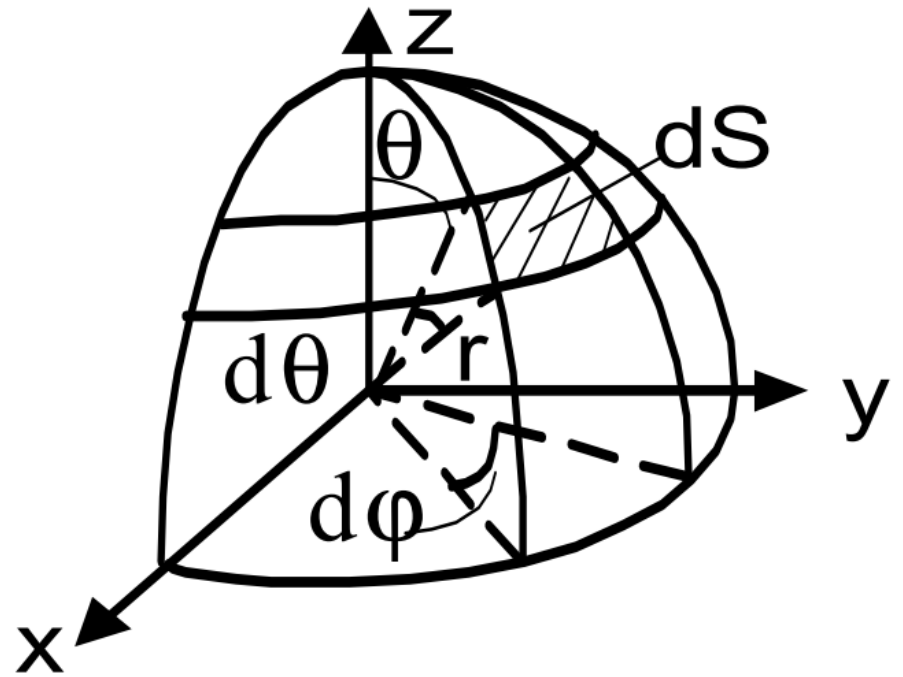
$$\Pi(\theta, \varphi) = \Pi_{\max} F^2(\theta, \varphi)$$

$$\Pi_{\max} = E_{\max}^2 / 240\pi$$

$$\Pi(\theta, \varphi) = \frac{E_{\max}^2 F^2(\theta, \varphi)}{240\pi}$$

Сфералық беттегі ds
элементінің ауданы

$$ds = r^2 \sin(\theta) d\varphi d\theta$$



$$P_{\Sigma} = \frac{r^2 E_{\max}^2}{240\pi} \int_{\theta=0}^{\pi} \int_{\varphi=0}^{2\pi} F^2(\theta, \varphi) \sin(\theta) d\varphi d\theta$$

- Сонымен, сәулелену қуатын анықтау үшін берілген r қашықтықтағы максималды сәулелену бағытында қуат және өріс кернеулігі бойынша нормаланған БД білу қажет. Антеннаның сәулелену қуаты генератордың қуатына, сәйкестендіру шарттарына, сонымен қатар антеннаның сәуле шығару қабілетіне байланысты. Бұл қабілет антеннаның түріне, дизайн ерекшеліктеріне, толқын ұзындығына қатысты антеннаның өлшемдеріне де байланысты.

Антенна, кез келген энергия түрлендіргіші сияқты, пайдалы әсер коэффициентімен (ПӘК) сипатталады.

- ПӘК – бұл сәулелену қуатының антеннаның таратқыштан қабылдаған жалпы активті қуат қатынасына тең шама:

$$\eta_A = \frac{P_\Sigma}{P_A} = \frac{P_\Sigma}{P_\Sigma + P_{\Pi}} = \frac{R_\Sigma}{R_\Sigma + R_{\Pi}} < 1$$

Бұдан шығатыны, антеннаның тиімділігін арттыру үшін жоғалтуға кедергісін төмендету және антеннаның сәулелену кедергісін арттыру қажет. Әртүрлі диапазондар мен типтегі заманауи антенналардың тиімділігі өте кең: 25-тен 95% -ға дейін.

Таратушы антеннаның эффективті ұзындығы – таратушы антеннаның максималды сәулеленуі бағытындағы алыс аймақта орналасқан нүктедегі өріс кернеулігінің амплитудасын E антенна қысқыштарындағы ең жоғары кернеумен байланыстыратын, ұзындық өлшемділігі бар коэффициент:

$$U_{A \max} = \ell_{\text{д}} E_{\max}$$

Бұл параметр тек **сызықтық типті** антенналарға қатысты және олардың электр беру желісіндегі жоғары жиілікті токтардың энергиясын сәулеленген толқынның электромагниттік өрісінің (ЭМӨ) энергиясына түрлендірудегі энергия тиімділігін сипаттайды. Таратушы антеннаның тиімді ұзындығы оның геометриялық ұзындығына және антенна бойымен $I(z)$ токтың амплитудасы мен фазасының таралу заңына байланысты.

$$\ell_{\text{д}} = \frac{1}{I_{\text{А}}} \int_{z=0}^{\ell} I(z) dz$$

Из данного выражения следует:

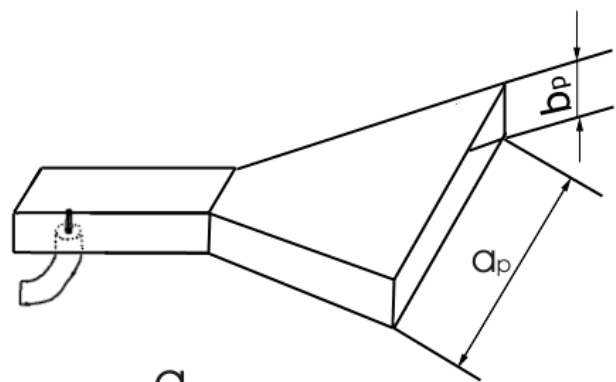
– при равномерном и синфазном законе распределения тока по антенне $I(z) = I_A = \text{const}$, действующая длина антенны совпадает с геометрической $l_d = l$;

– чем более неравномерно и несинфазно распределение тока вдоль антенны, тем меньший процент от геометрической длины антенны составляет действующая. Поэтому в общем случае действующая длина лежит в пределах от нуля до геометрической длины: $0 < l_d < l$.

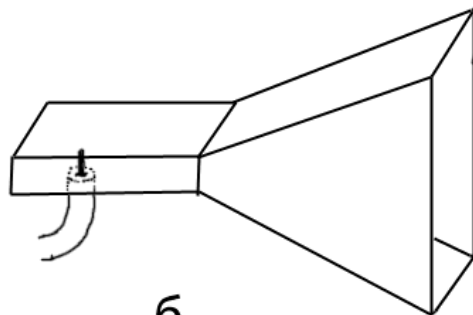
В свою очередь, закон распределения тока вдоль передающей антенны зависит от типа антенны и её конструктивного исполнения.

- **Таратушы антеннаның тиімді ауданы (апертура)** - сәулелену максимумы бағытында алыс аймақта орналасқан кеңістіктегі нүктеде таратушы антенна тудыратын қуат ағынының тығыздығын және генератордан антеннаға берілетін белсенді қуатты байланыстыратын, аудан өлшемділігі бар коэффициент:

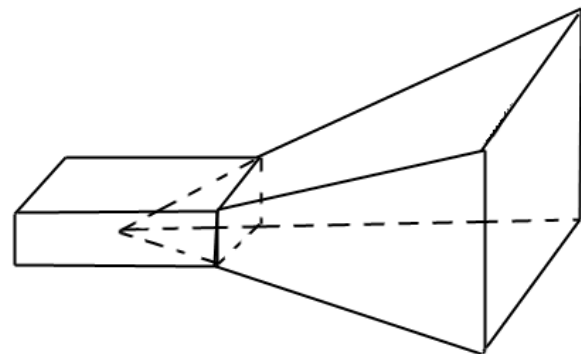
$$P_{A \max} = A_{\text{эф}} \Pi_{\max}$$



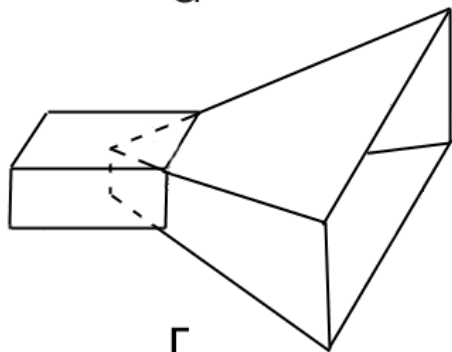
а



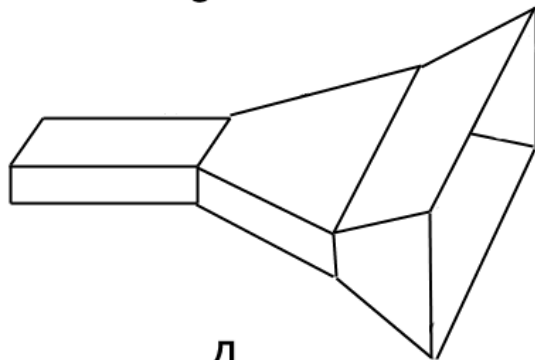
б



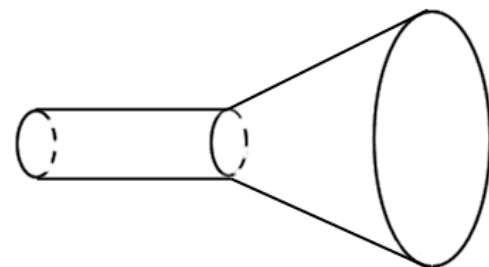
в



г



д



е

Бұл параметр тек **апертуралық типтегі** антенналарға қатысты және тарату желісіндегі жоғары жиілікті токтардың энергиясын сәулелену толқынының энергиясына түрлендірудегі олардың энергия тиімділігін сипаттайды. Таратушы антеннаның тиімді ауданы оның геометриялық ауданына және амплитудасы мен өріс фазасының антенна саңылауы бойынша таралу заңына байланысты:

$$A_{\text{эф}} = \frac{\left| \int_s \dot{E}_s(x, y) ds \right|^2}{\int_s |\dot{E}_s(x, y)|^2 ds}$$

Из данного выражения следует:

- при равномерном и синфазном законе распределения поля в раскрыве апертурной антенны $\dot{E}_S(x, y) = E_0$ эффективная площадь раскрыва совпадает с его геометрической площадью;
- чем больше неравномерность и несинфазность в распределении поля по раскрыву, тем меньший процент от геометрической площади раскрыва антенны составляет эффективная. Поэтому в общем случае эффективная площадь лежит в пределах от нуля до геометрической площади раскрыва: $0 < A_{\text{эф}} < S$.

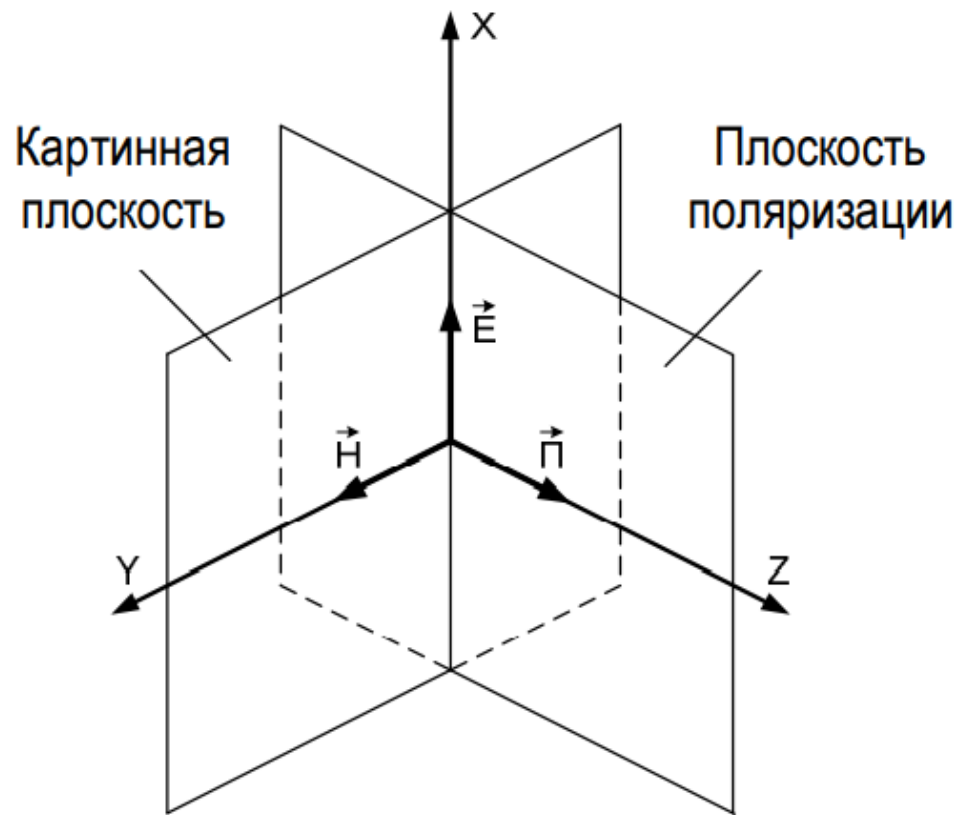
Эффективті ауданның антеннаның геометриялық ауданына қатынасына тең мән аумақты пайдалану коэффициенті деп аталады.

$$q = \frac{A_{\text{эф}}}{S} \leq 1$$

Антенна поляризациясы

- ЭМТ поляризациясы горизонт сызығына қатысты электр өрісінің кернеулігі векторының кеңістіктегі бағыты бойынша түсініледі. Өрістің магниттік компоненті әрқашан электрлік компонентке перпендикуляр жазықтықта орналасады

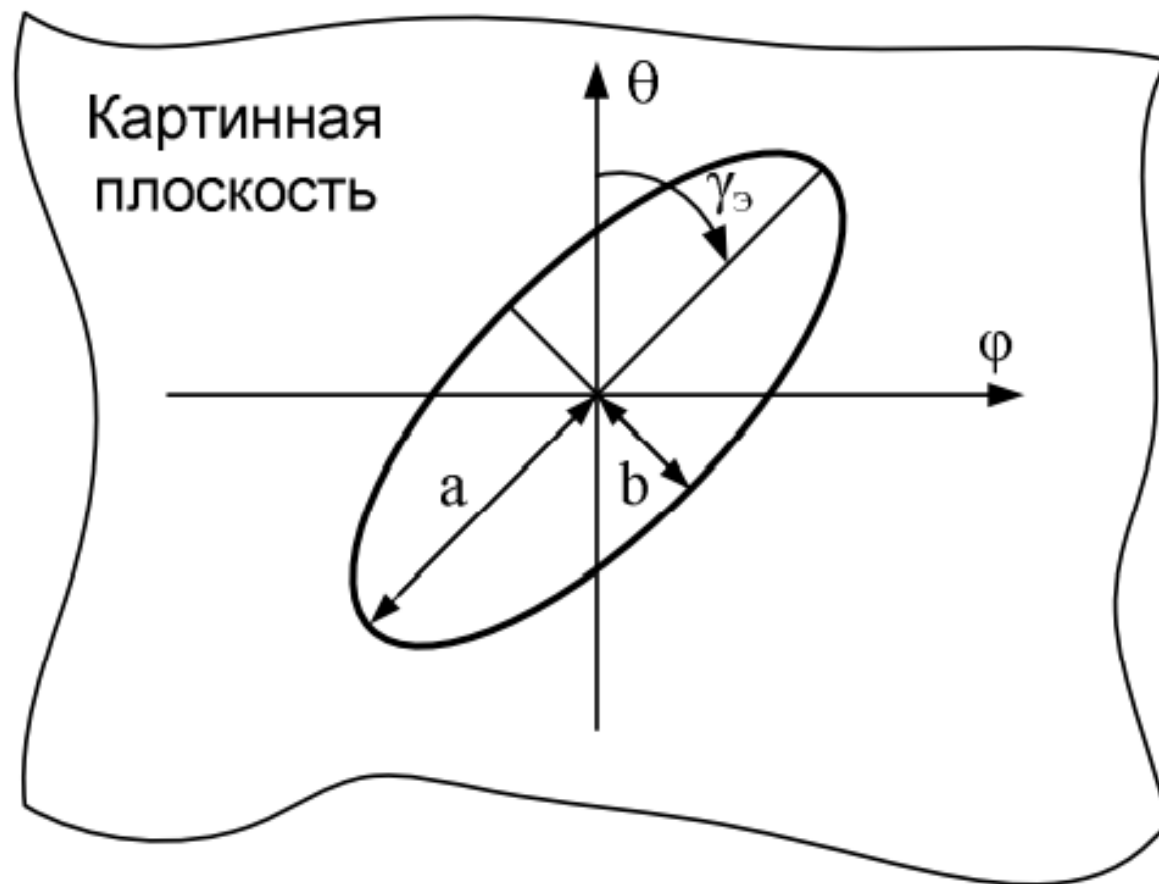
- E векторы мен толқынның таралу бағыты (P векторы) арқылы өтетін жазықтықты поляризация жазықтығы, ал E және H векторлары арқылы өтетін жазықтықты «сурет» жазықтығы деп атайды.

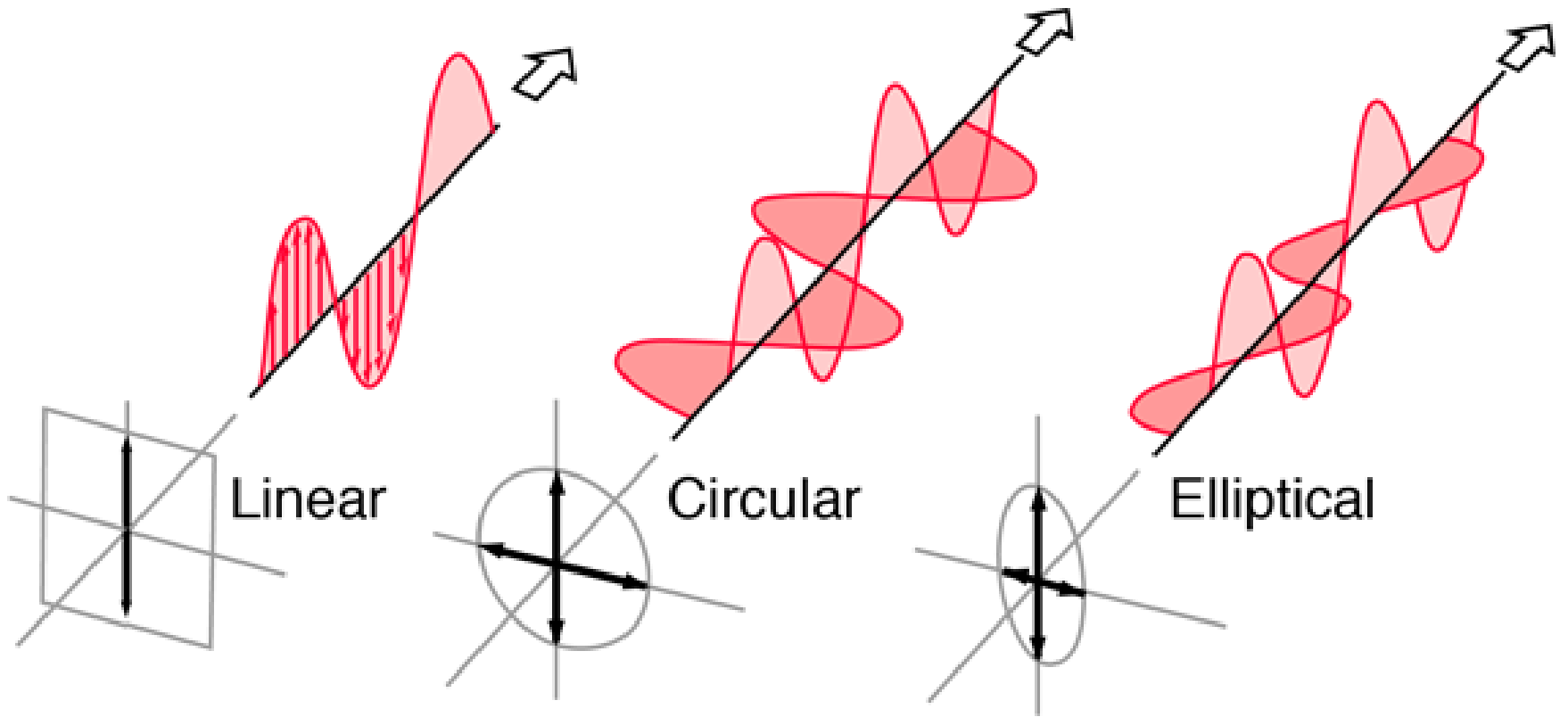


Поляризацияның келесі түрлері бар:

- – сызықтық поляризация, егер поляризация жазықтығы кеңістіктегі орнын өзгертпесе. Сызықтық поляризация тік, көлденең және көлбеу болуы мүмкін;
- – айналмалы поляризация, егер поляризация жазықтығы E векторымен бірге бұрыштық жылдамдықпен $\omega = 2\pi f$ таралу бағытында айналса

Бұл жағдайда E векторының ұшының сурет жазықтығына проекциясы ондағы эллипсті сипаттайды (төмендегі слайдтағы сурет).





direction of propagation

direction of propagation

Electric Fields

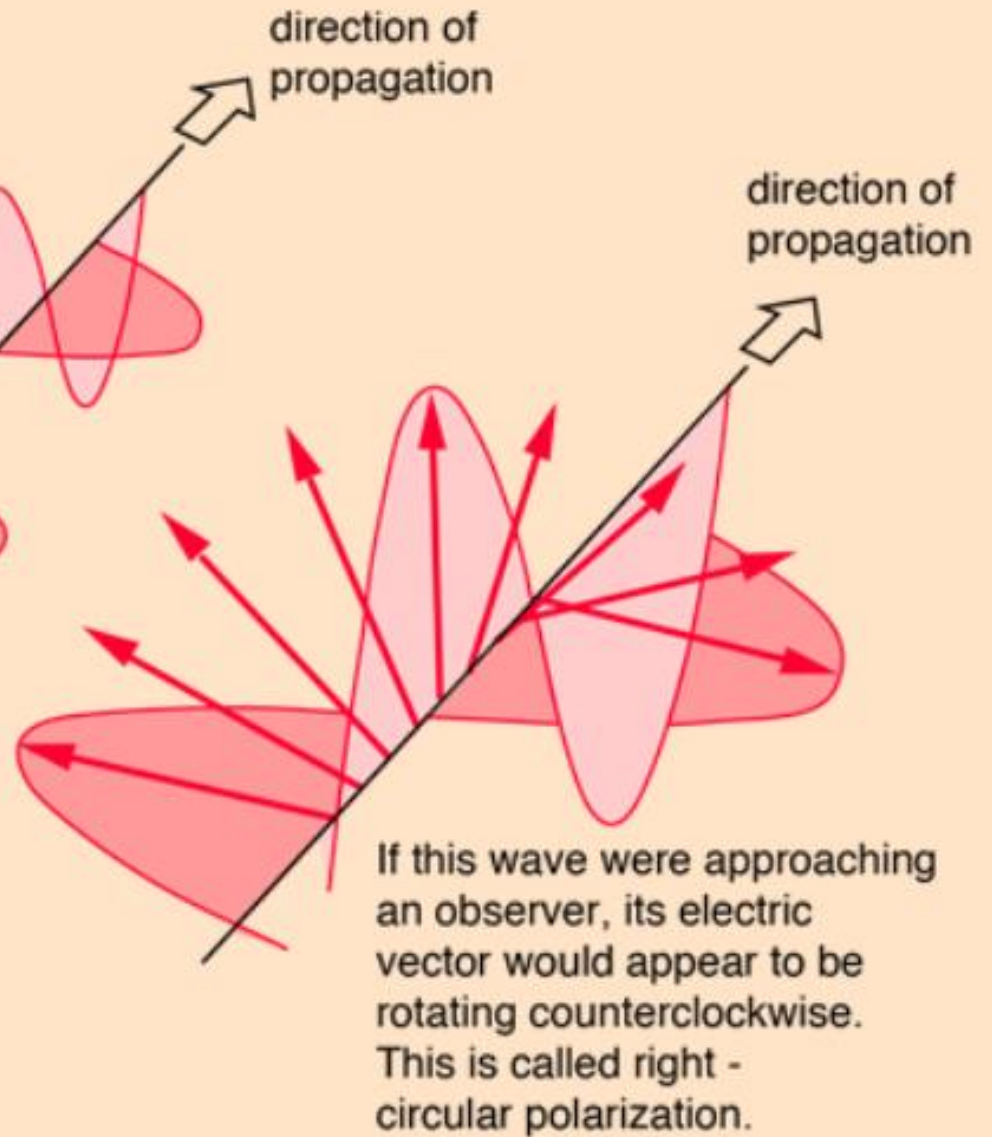
z

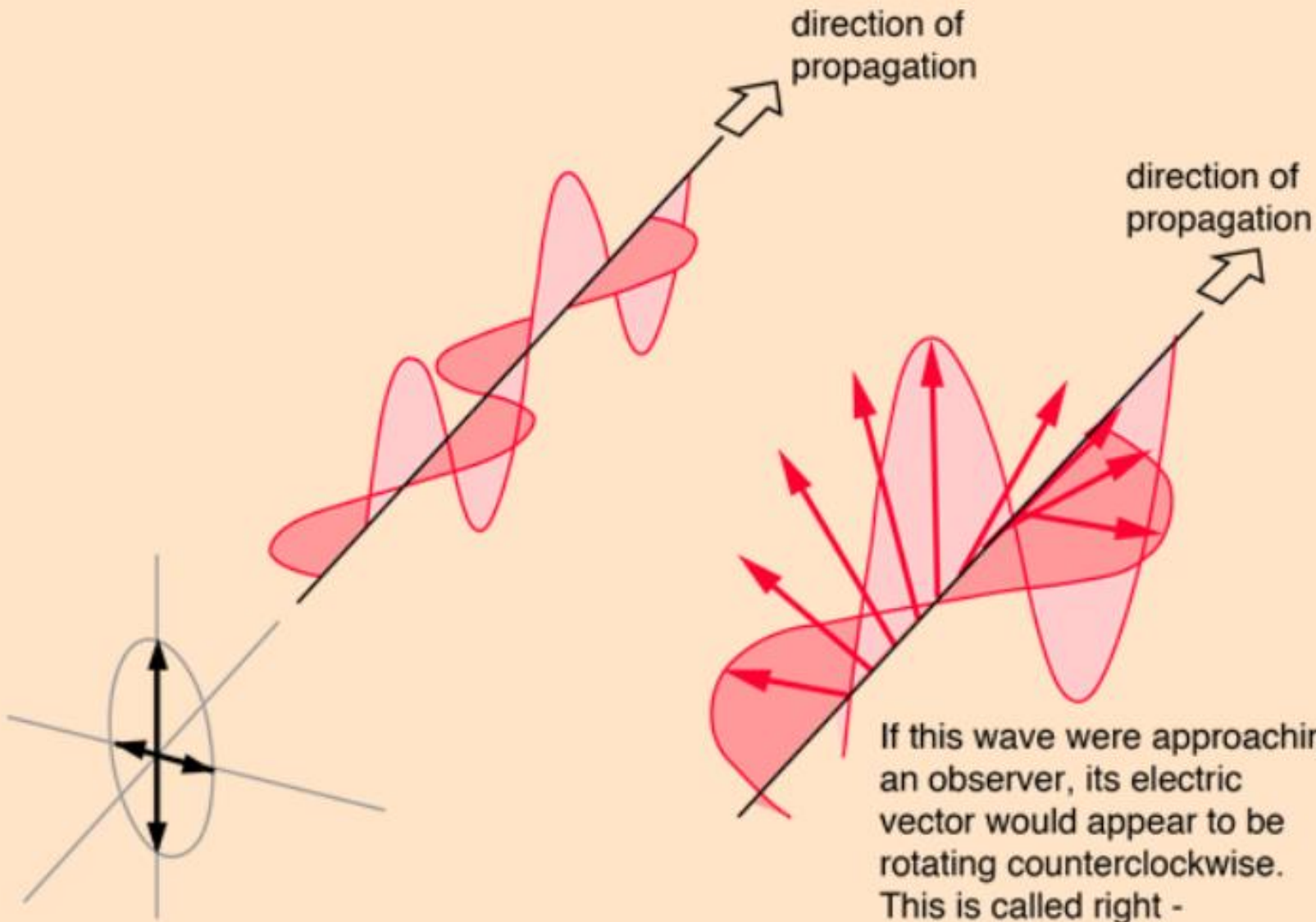
y

Note the 90° phase difference

90°

If this wave were approaching an observer, its electric vector would appear to be rotating counterclockwise. This is called right - circular polarization.



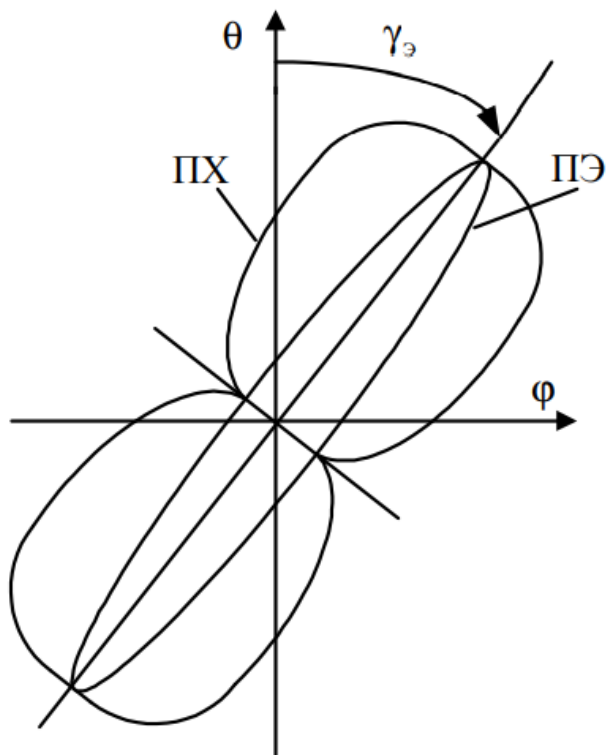


direction of propagation

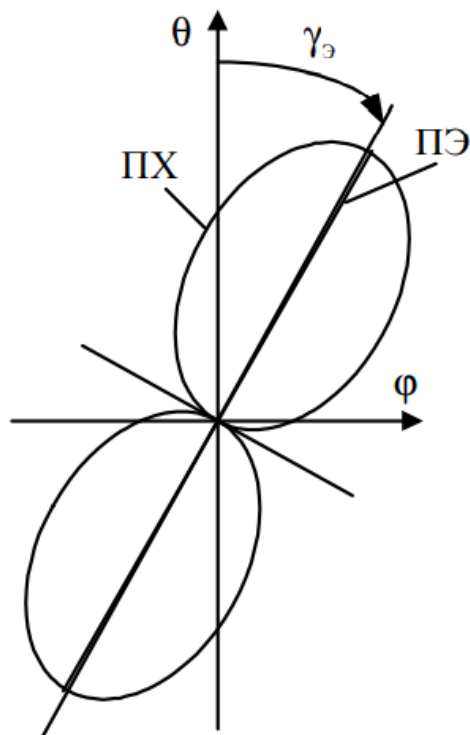
direction of propagation

If this wave were approaching an observer, its electric vector would appear to be rotating counterclockwise. This is called right - elliptic polarization.

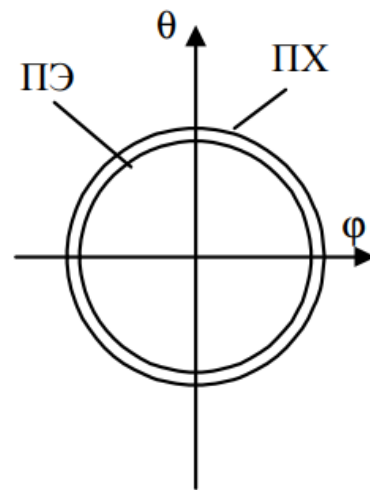
- Поляризациялық сипаттама (ПК) қарастырылып отырған таратқыш антеннаның ЭҚК қабылдайтын сызықтық поляризациясы бар қабылдау антеннасындағы ЭҚК-нің сурет жазықтығында оның айналу бұрышына тәуелділігі.



a)



б)



в)

Антеннаның жиіліктік және поляризациялық сипаттамалары. Бағытталу диаграммалары

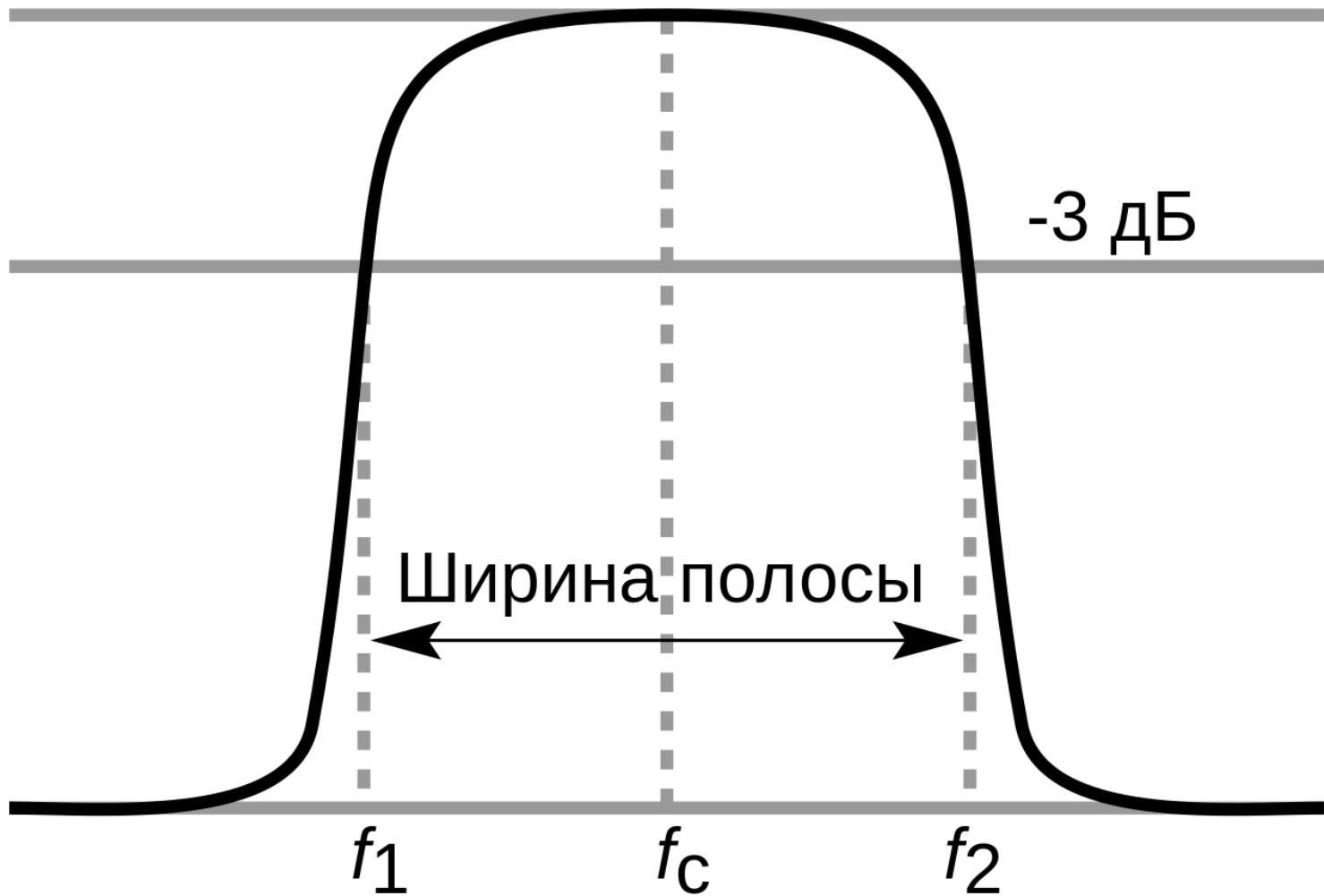
12-лекция

Антеннаның жұмыс **жиілігі диапазоны (өткізу жолағы)** – бұл антеннаның барлық параметрлері белгіленген шектен аспайтын f_{\min} -ден f_{\max} -қа дейінгі жиілік интервалы:

$$\Delta f = f_{\max} - f_{\min}$$

$$\frac{\Delta f}{f_{\text{cp}}} = \frac{f_{\max} - f_{\min}}{f_{\max} + f_{\min}} \cdot 2 \cdot 100\%, \quad \Delta f / f_{\text{cp}} < 10\%,$$

$$10\% < \Delta f / f_{\text{cp}} < 100\%, \quad \Delta f / f_{\text{cp}} > 100\%$$



Децибел, дБ

$$K_{dB} = 20 \log\left(\frac{U}{U_{ref}}\right)$$

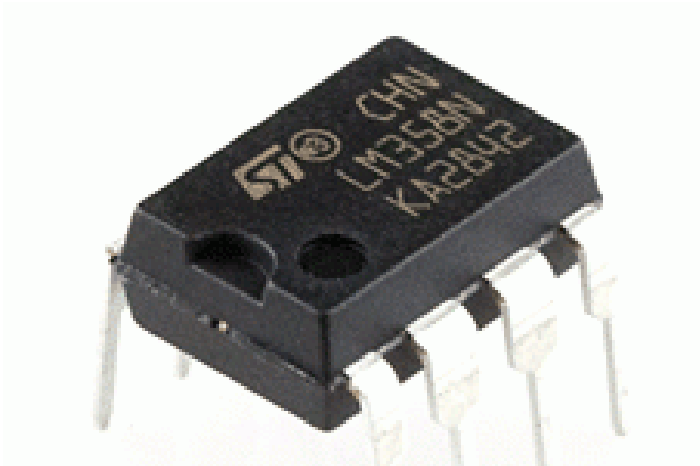
$$K_{dB} = 10 \log\left(\frac{P}{P_{ref}}\right)$$

дБ	Отношение тока или напряжения	Отношение мощности
0	1,000	1,000
-0,1	0,989	0,977
-0,2	0,977	0,955
-0,3	0,966	0,933
-0,4	0,955	0,912
-0,5	0,944	0,891
-0,6	0,933	0,871
-0,8	0,912	0,832
-1,0	0,891	0,794
-1,5	0,841	0,708
-2,0	0,794	0,631
-2,5	0,750	0,562
-3,0	0,708	0,501
-3,5	0,668	0,447
-4,0	0,631	0,398
-4,5	0,596	0,355
-5,0	0,562	0,316
-6,0	0,501	0,251

дБ	Отношение тока или напряжения	Отношение мощности
0	1,000	1,000
0,1	1,012	1,023
0,2	1,023	1,047
0,3	1,035	1,072
0,4	1,047	1,096
0,5	1,059	1,122
0,6	1,072	1,148
0,8	1,096	1,202
1,0	1,122	1,259
1,5	1,189	1,413
2,0	1,259	1,585
2,5	1,334	1,778
3,0	1,413	1,995
3,5	1,496	2,239
4,0	1,585	2,512
4,5	1,679	2,818
5,0	1,778	3,162
6,0	1,995	3,981

Құрылғының $U_{кір} = 0,5 \text{ В}$, $U_{шығ} = 2,0 \text{ В}$

$$20 \log\left(\frac{2}{0,5}\right) = 12\text{dB}$$

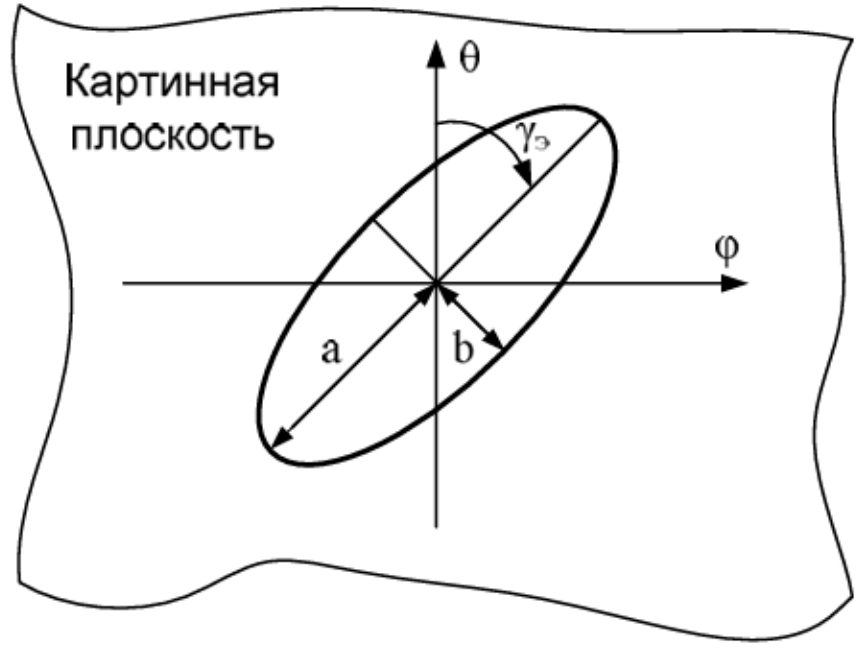
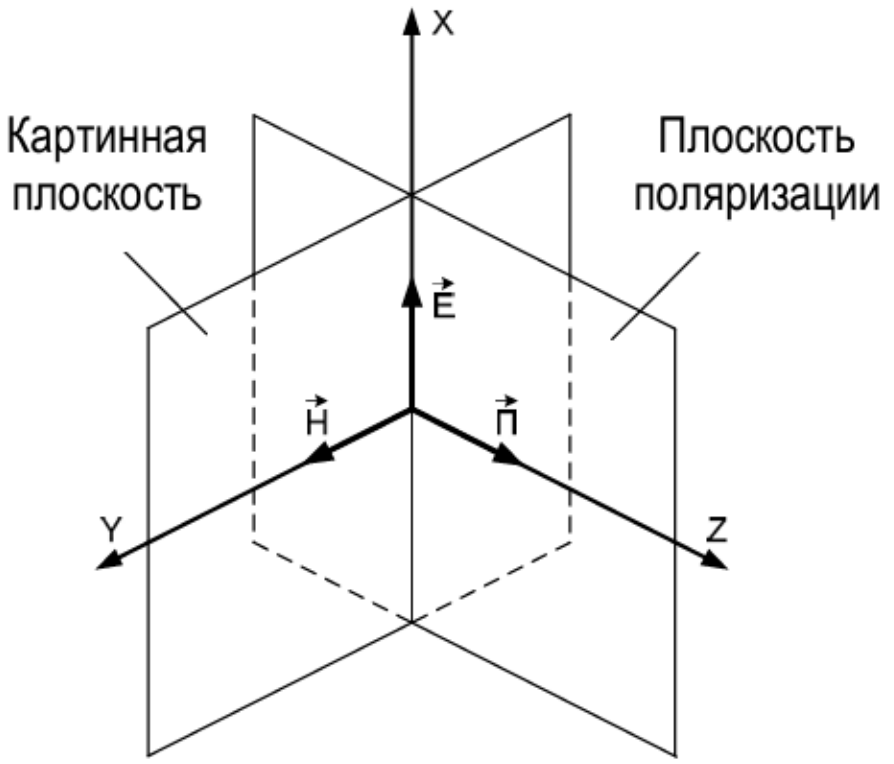


$$10^{\frac{85}{20}} = 17783$$

$$k_{lin} = 10^{\frac{k_{dB}}{20}}$$

$$k_{lin} = 10^{\frac{k_{dB}}{10}}$$

Электромагниттік толқындардың **поляризациясы** деп горизонт сызығына қатысты электр өрісі күшінің векторының кеңістіктегі бағытын айтамыз. Өрістің магниттік компоненті әрқашан электрлік құраушыға перпендикуляр жазықтықта орналасады. E векторы мен толқынның таралу бағыты (Π векторы) арқылы өтетін жазықтықты **поляризация жазықтығы**, ал E және H векторлары арқылы өтетін жазықтықты сурет жазықтығы деп атайды (сурет).



- Егер поляризация жазықтығы кеңістіктегі орнын өзгертпесе **сызықтық поляризация** д.а. Сызықтық поляризация тік, көлденең және көлбеу болуы мүмкін;
- егер поляризация жазықтығы E векторымен бірге таралу бағытының айналасында $\omega = 2\pi f$ бұрыштық жылдамдықпен айналса, яғни тербеліс периодында бір айналым жасаса, онда **айналмалы поляризация** д.а.

• Поляризация эллипсі келесі параметрлермен сипатталадырамы:

– эллипстің кіші осінің үлкеніне қатынасына тең эллипстік коэффициент, $КЭ = b / a$.

– поляризациялық эллипстің көлбеу бұрышы

– эллипстің үлкен осі мен таңдалған координаталар жүйесінің тік осі арасындағы бұрыш;

$0 < КЭ < 1$ – эллипстік

$КЭ = 0$ - сызықты

$КЭ = 1$ - айналмалы

- Кез-келген антенна кеңістіктің белгілі бір аймағында ол шығаратын ЭМТ энергиясын шоғырландыру (фокустау) қасиетіне ие. Оның бағыттық қасиеттерін сипаттау үшін арнайы сипаттамалар мен параметрлер қолданылады. Сипаттамаларға өріс күші E мен қуат ағынының тығыздығы P бойынша таратқыш антеннаның бағыттау диаграммалары (БД) кіреді, ал параметрлерге БД-ның ені, бүйірлік жапырақшалардың деңгейі, бағыттылығы (**КНД**) және күшейту коэффициенті (**Gain**) жатады.

- **Өріс кернеулігі (E) бойынша БД** – антенна шығаратын электромагниттік өріс кернеулігі амплитудасының оған бірдей қашықтықтағы кеңістіктегі бұрыштық координаталарға тәуелділігі.

$$r \gg (2L_A^2) / \lambda$$

Дальняя зона Фраунгофера

Ближняя зона Френеля

область
реактивного поля

L_0



R_1

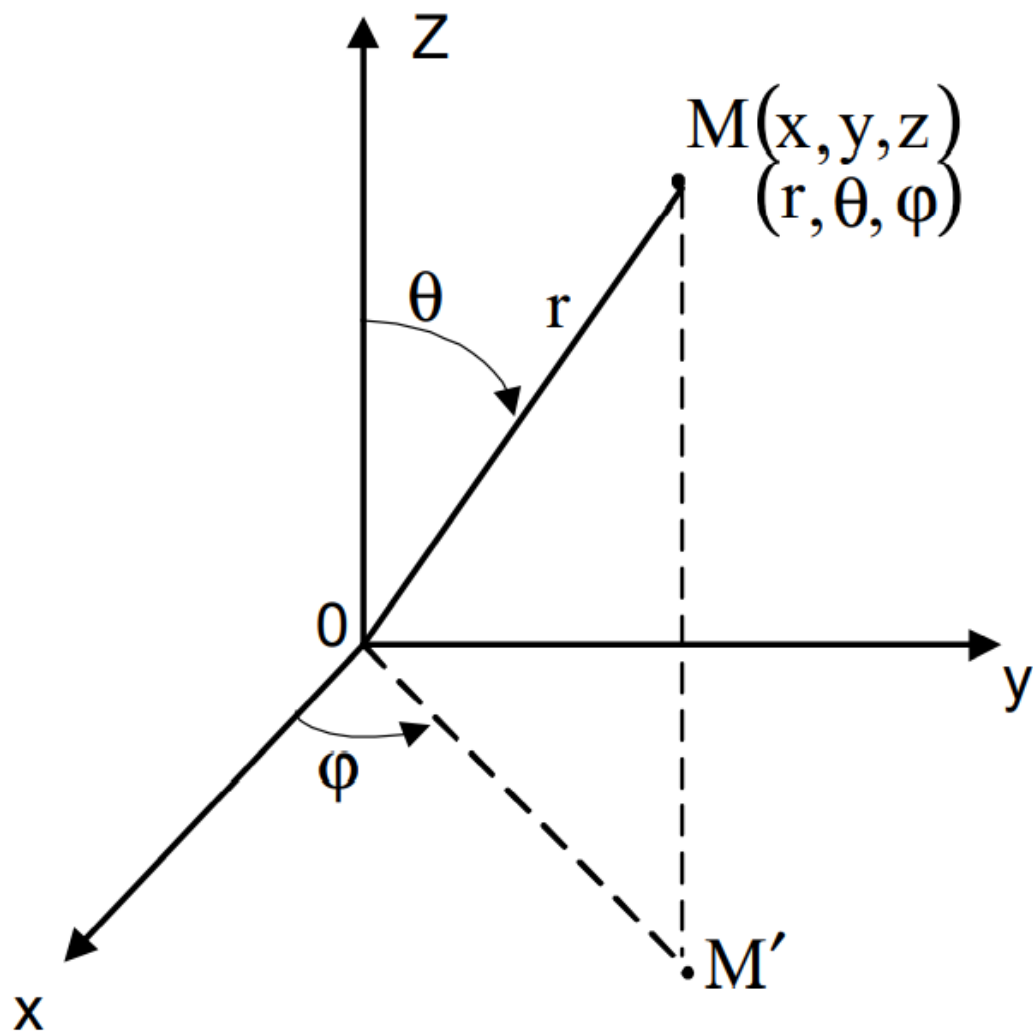
R_2

$$R_1 \leq 0,62 \sqrt{\frac{L_0^3}{\lambda}}$$

$$R_2 \leq \frac{2L_0^2}{\lambda}$$

Тәжірибеде, алыс аймақтағы электромагниттік өрісті зерттеу кезінде антенналар электромагниттік өрістің электрлік компоненті $E(\theta, \phi)$ тұрғысынан қарастырумен шектеледі, өйткені E және H мәндері өзара байланысты. Бос кеңістіктің толқындық кедергісі бойынша: $W_0 = 377 \text{ Ом}$ және $H = E / W_0$.

$$E = E(\theta, \varphi) = f^E(\theta, \varphi); \quad H = H(\theta, \varphi) = f^H(\theta, \varphi) \quad \text{при } r = \text{const.}$$



Қуат ағынының тығыздығы бойынша БД – антенна шығаратын ЭҚК қуат ағынының тығыздығының кеңістіктегі бұрыштық координаталарға тәуелділігі.

$$\Pi = \Pi(\theta, \varphi) = f^2(\theta, \varphi) \quad \text{при } r = \text{const.}$$

$$\Pi = \left| \vec{\Pi} \right| = \frac{1}{2} EH = \frac{1}{2} \frac{E^2}{W_0} = \frac{E^2}{240\pi}.$$

Қуат ағынының тығыздығы - бұл 1 м^2 аудан арқылы уақыт бірлігінде (1 с) электромагниттік энергия ағыны. Ол Умов–Пойнтинг векторының модулінің физикалық мағынасына сәйкес келеді

Өріс кернеулігі (E,H) бойынша нормаланған БД

$$F^E(\theta, \phi) = \frac{E(\theta, \phi)}{E_{max}}$$

при

$$r = const$$

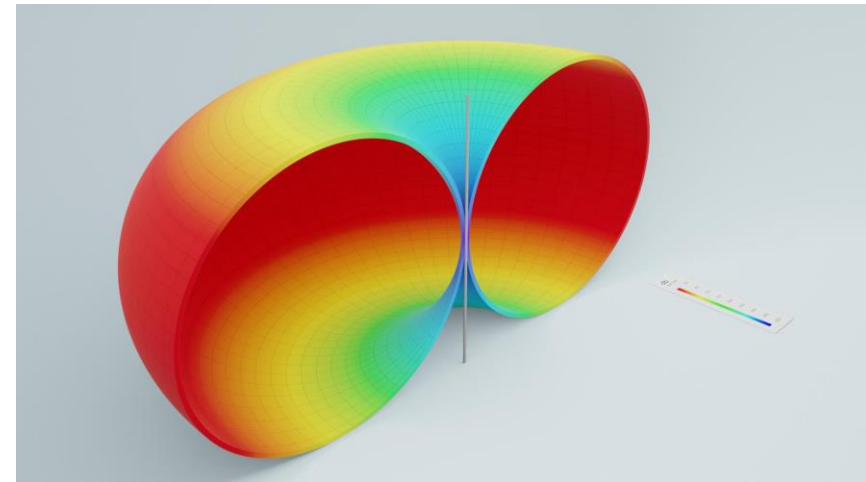
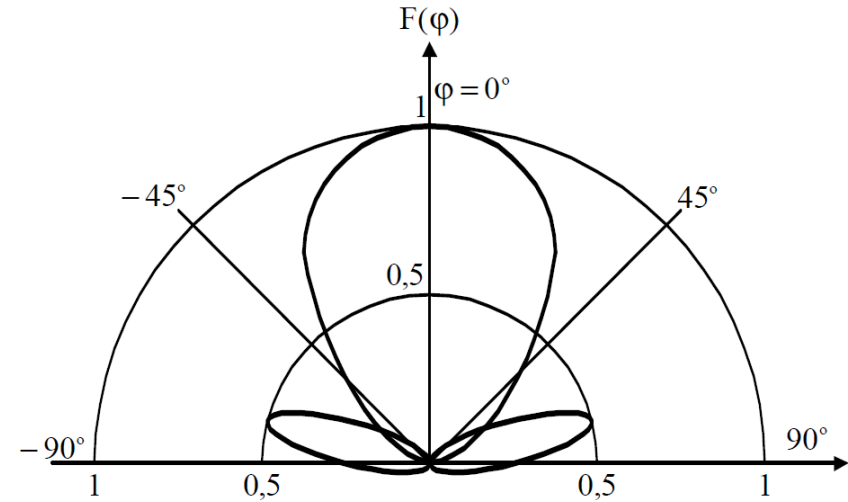
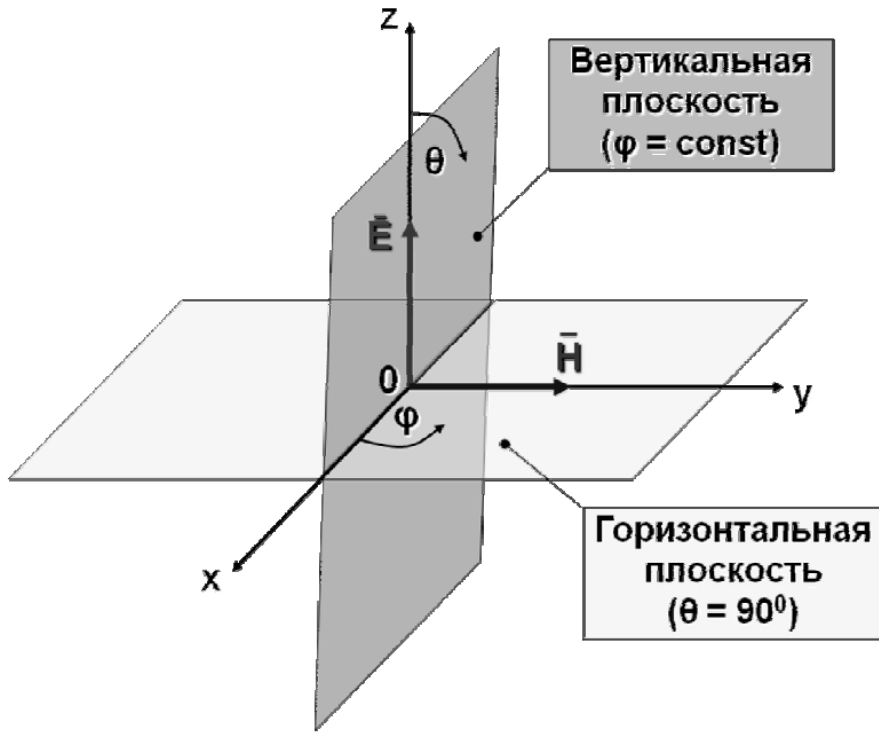
$$F^H(\theta, \phi) = \frac{H(\theta, \phi)}{H_{max}}$$

Қуат бойынша нормаланған БД

$$F^2(\theta, \varphi) = \frac{\Pi(\theta, \varphi)}{\Pi_{max}} = \frac{E^2(\theta, \varphi)}{E^2_{max}} \quad \text{при } r = const$$

$$E(\theta, \varphi) = E_{max} F^E(\theta, \varphi); H(\theta, \varphi) = H_{max} F^H(\theta, \varphi); \Pi(\theta, \varphi) = \Pi_{max} F^2(\theta, \varphi)$$

БД-ның графикалық көрінісі (19.04)



All ▾



ADVANCED SEARCH

Journals & Magazines > IEEE Antennas and Wireless Pr... > Volume: 21 Issue: 11 ?

Multibeam Antenna for Ka-Band CubeSat Connectivity Using 3-D Printed Lens and Antenna Array

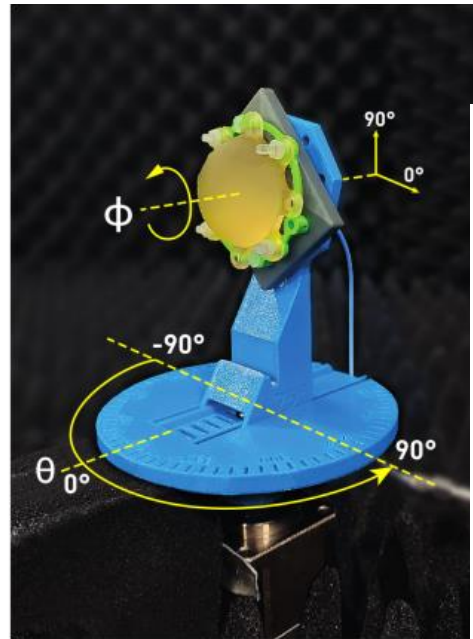
Publisher: IEEE

[Cite This](#)[PDF](#)Kamil Trzebiatowski ; Weronika Kalista ; Mateusz Rzymowski ; Łukasz Kulas ; Krzysztof Nyka [All Authors](#)

(a)



(b)



(c)

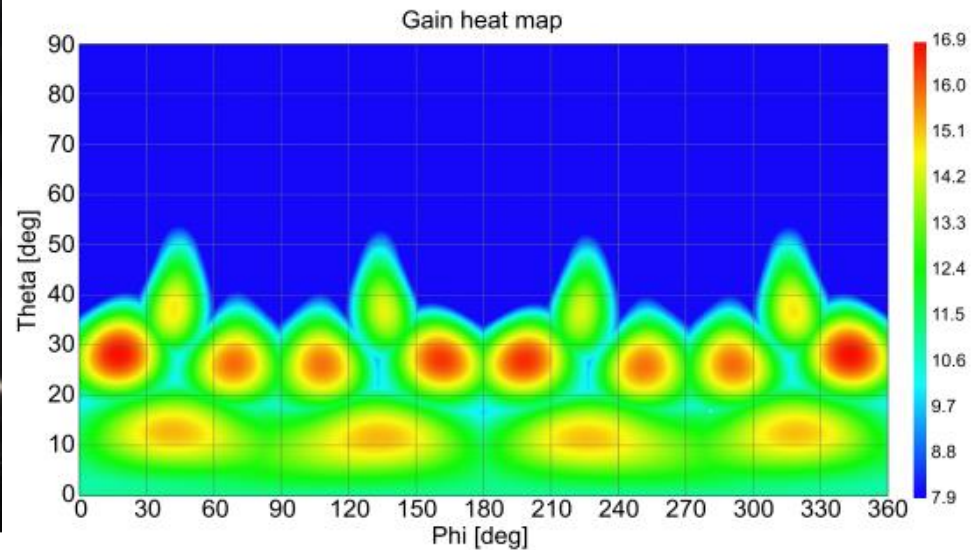


Fig. 5. Fabricated antenna. (a) Array top view. (b) Array bottom view. (c) Array with a lens mounted on a turntable in an anechoic chamber.

Combined Single-Layer K-Band Transmitarray and Beamforming S-Band Antenna Array for Satcom

Publisher: IEEE

Cite This

PDF



IEEE Open Journal of
Antennas and Propagation

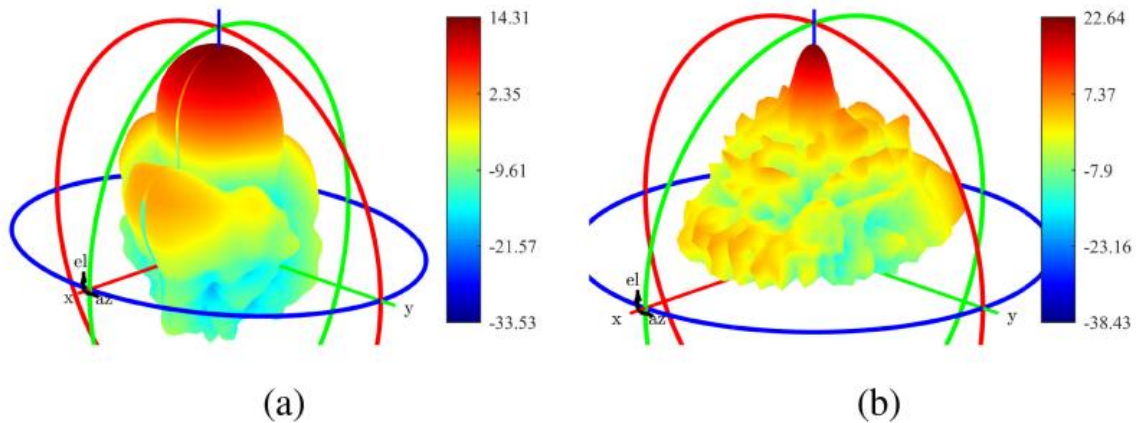


FIGURE 11. Measured radiation pattern. (a) Low-frequency mode at 4.5 GHz. (b) High-frequency mode at 25 GHz.

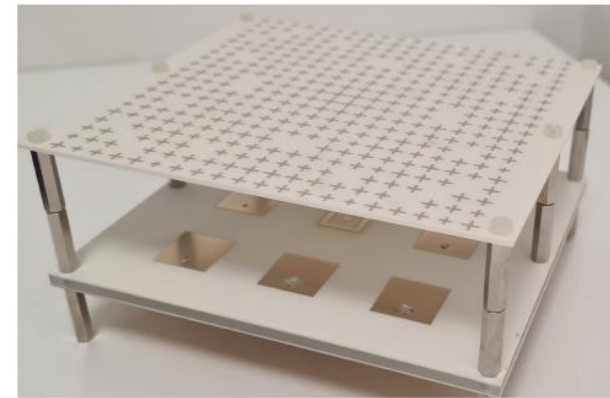


FIGURE 1. The fabricated antenna prototype.

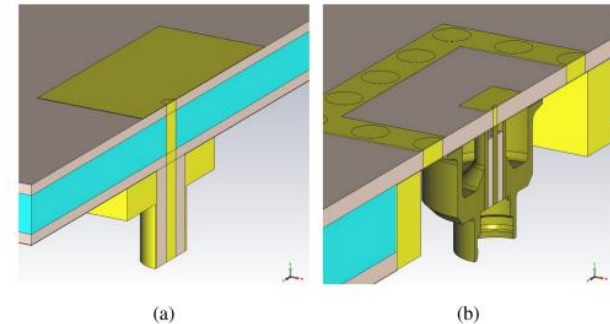
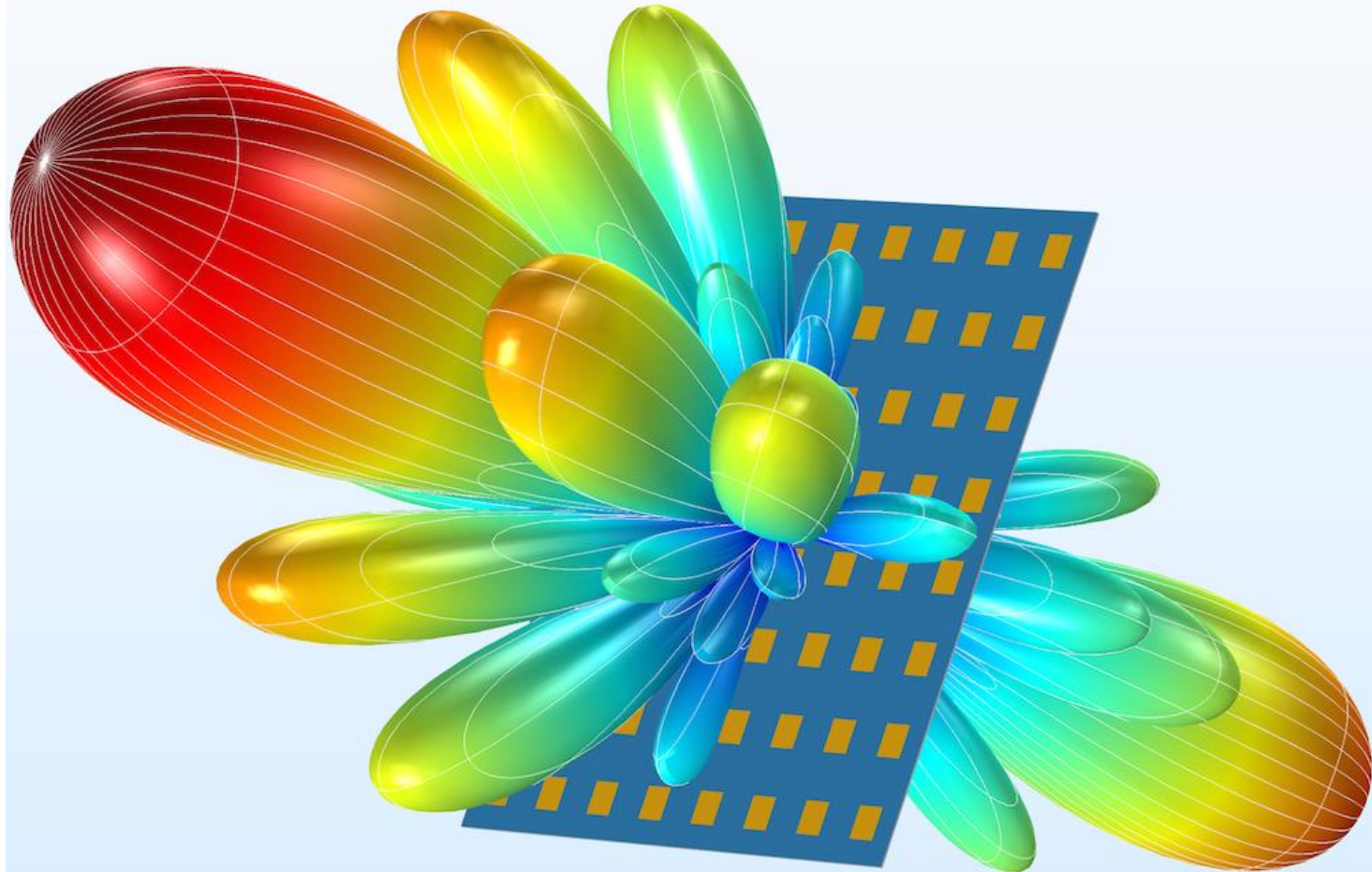


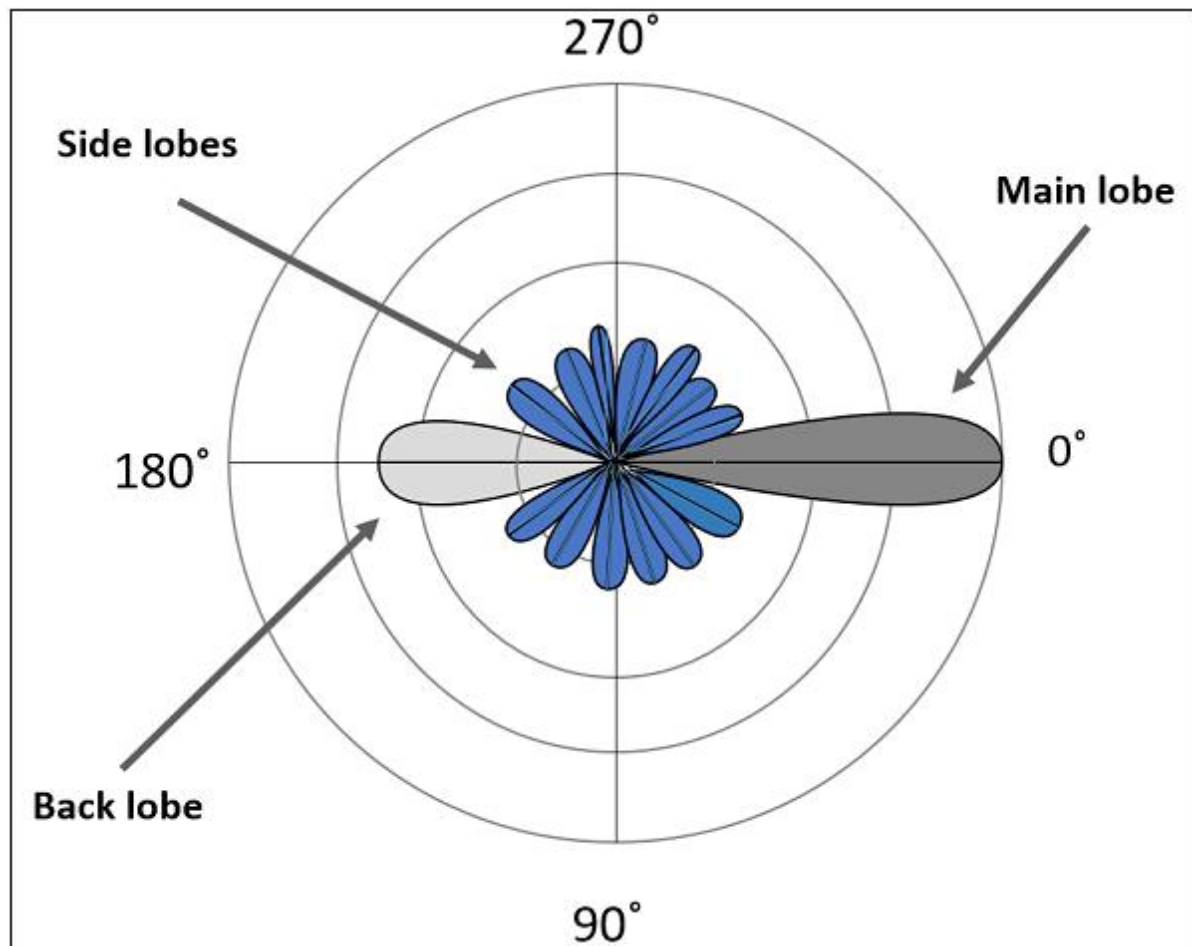
FIGURE 2. Cross-section cut of the simulation model. (a) Low-frequency feed. (b) High-frequency feed.

Компьютерлік программа көмегімен алынған 3D БД моделі

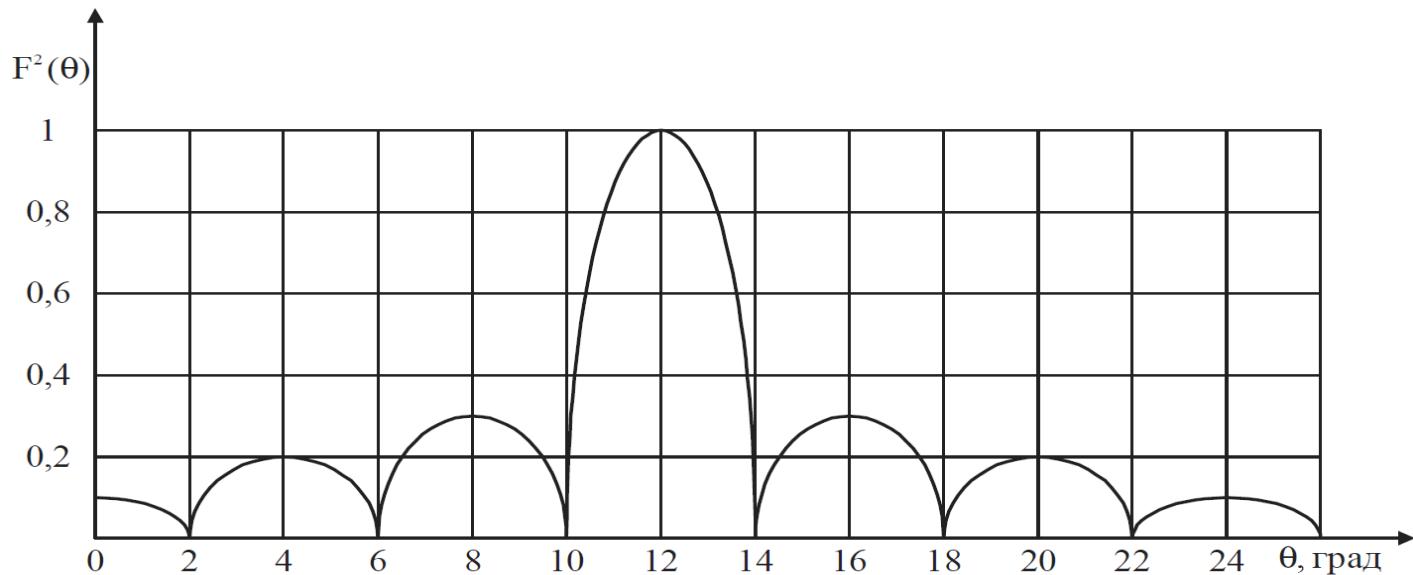


- Реал (қолданыстағы) антенналардың үлгісі көп жапырақшалы сипатқа ие. Ең үлкен жапырақшасы **негізгі** жапырақша деп аталады. Кіші - **бүйірлік**.

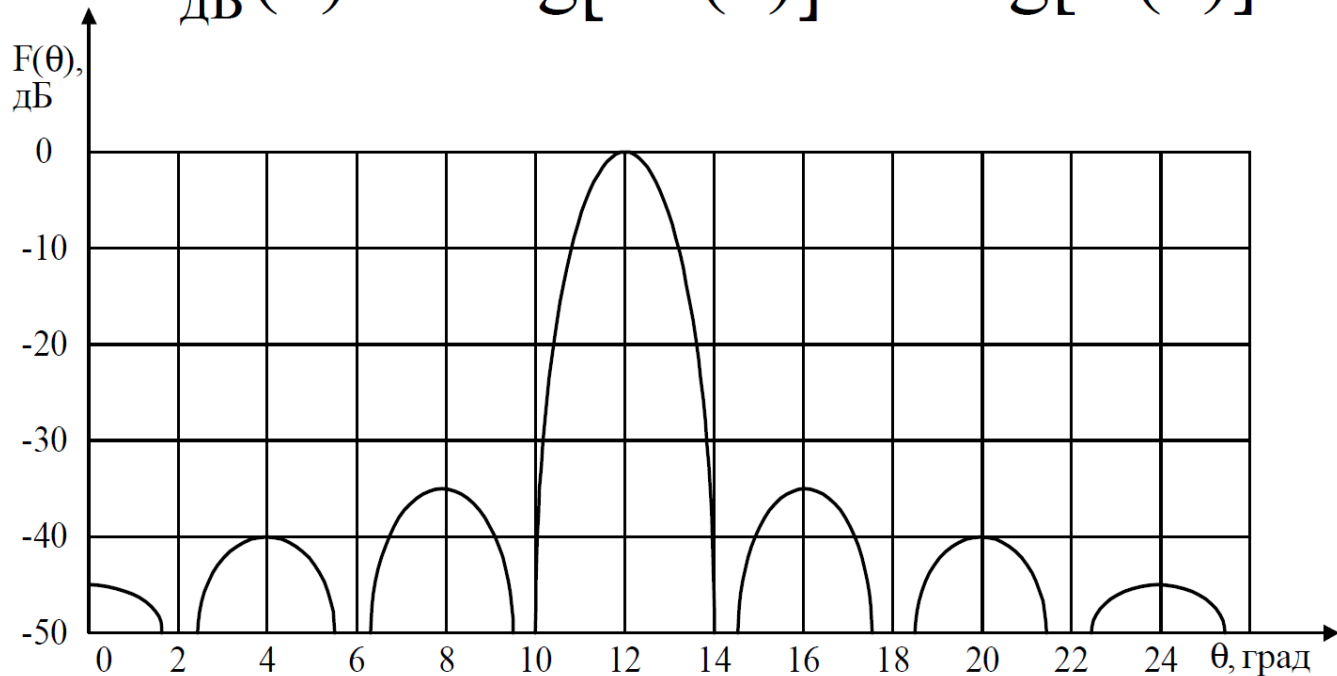
Полярлы немесе сфералы координата жүйесінде бейнеленген БД



Декарттық/тік
бұрышты
координата
жүйесінде
бейнеленген
БД



$$F_{\text{дБ}}(\theta) = 10 \lg[F^2(\theta)] = 20 \lg[F(\theta)]$$

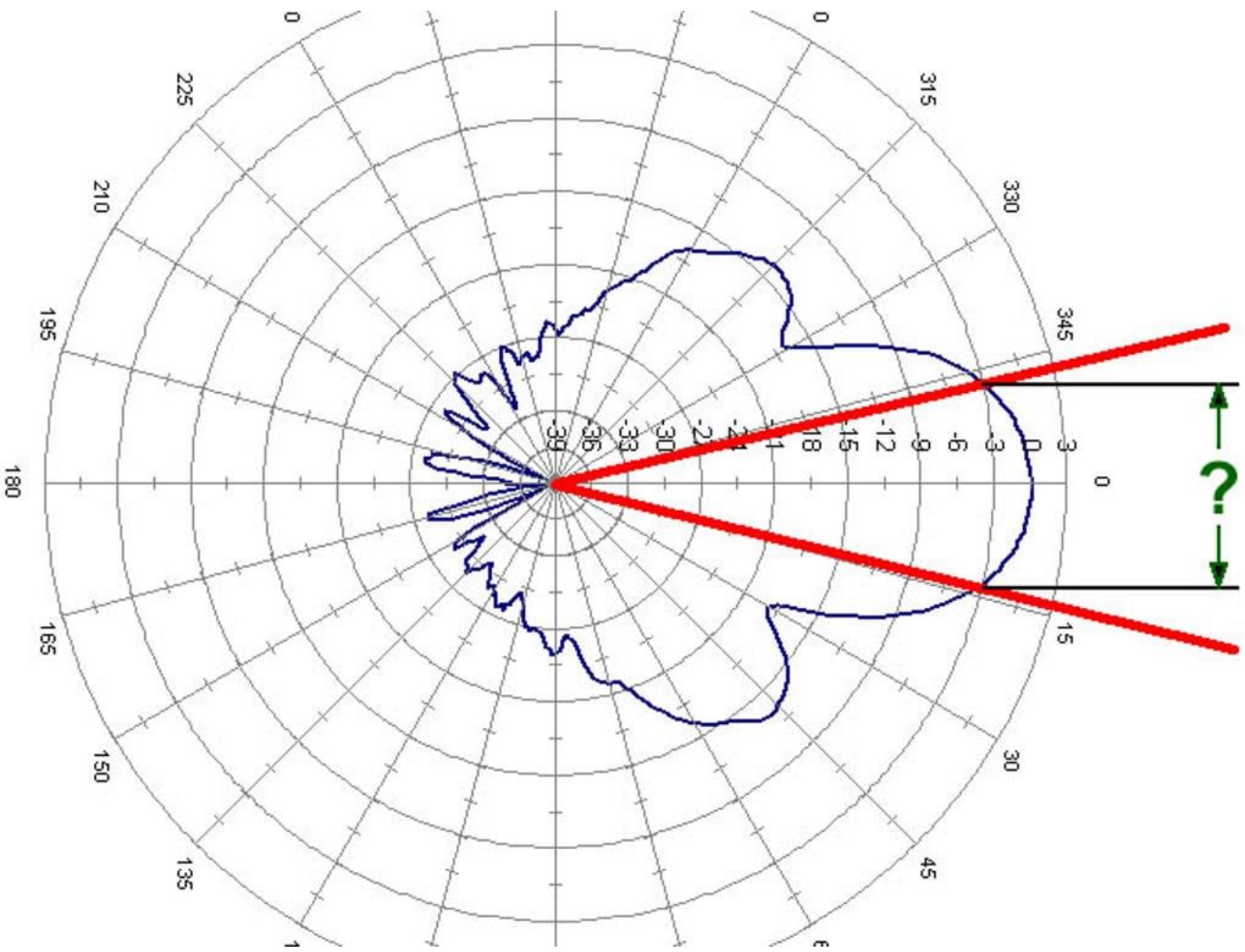


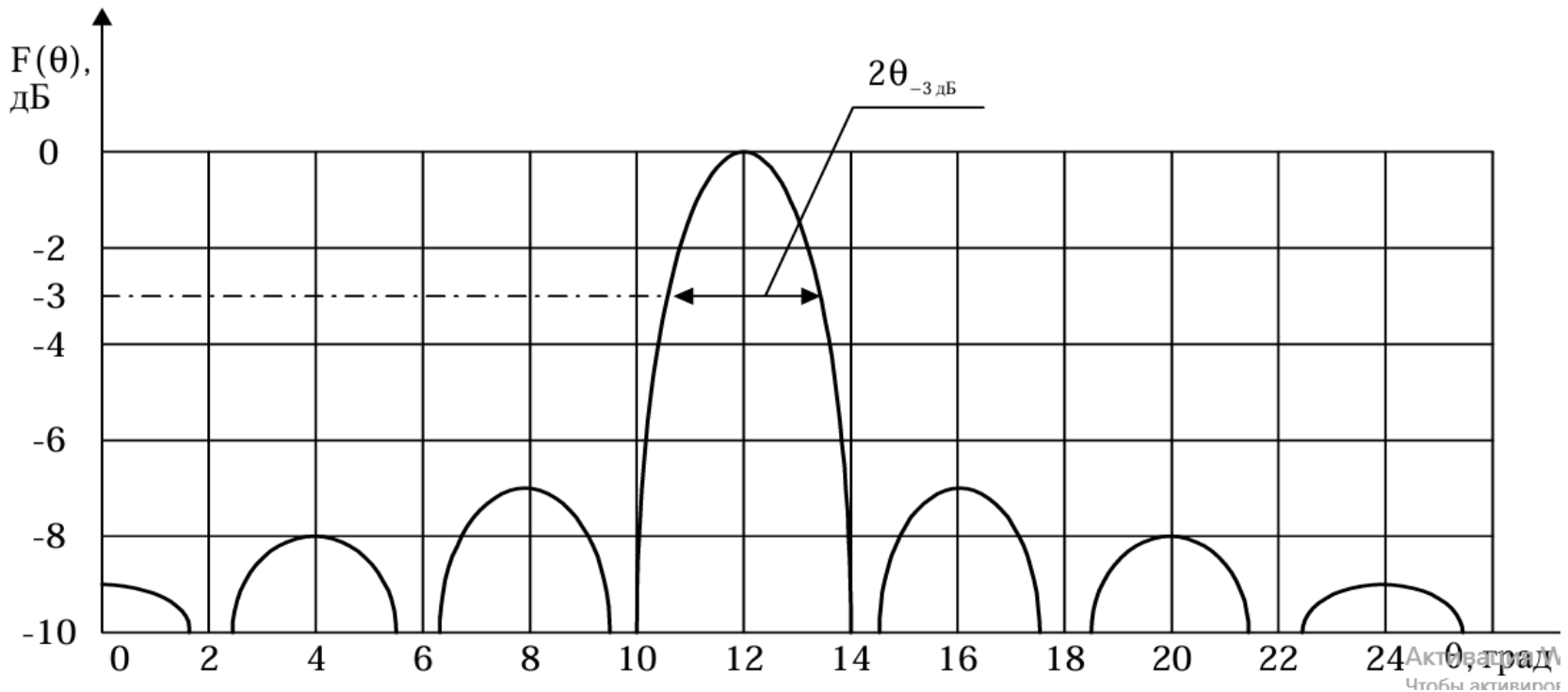
БД-ның ені

- БД (негізгі жапырақшасының) ені шығарылатын энергияның шоғырлану дәрежесін анықтайды.
- БД ені – электромагниттік өріс кернеулігінің амплитудасы максималды мәннің 0,707 (немесе қуат тығыздығы бойынша максималды мәннің 0,5 деңгейі) болатын негізгі лоб ішіндегі екі бағыт арасындағы бұрыш.

$$2\theta_{0,707}^E, 2\theta_{0,5}^H$$

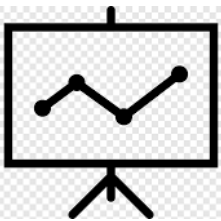
$$10\lg(0,5) = 20\lg(0,707) = -3 \text{ дБ}$$





Бүйірлік лобтың салыстырмалы деңгейі деп бірінші бүйірлік лобтың максимумы бағытында өріс күші амплитудасының негізгі лобтың максимум бағыты бойынша өріс кернеулігінің амплитудасына қатынасын айтады:

$$\eta_{\text{БЛ}} = \frac{E_{\text{max БЛ}}}{E_{\text{max ГЛ}}}$$



Әр топқа арналған жылдам тапсырма!

Angle	1	2	3	4
0	1	1	0,1	0,8
30	0,3	0,8	0,8	0,9
60	0,1	0,5	0,9	0,9
90	0,1	0,2	1	0,8
120	0,2	0,5	0,9	0,9
150	0,1	0,2	0,8	0,9
180	0	0,1	0,1	1
210	0,1	0,2	0,5	1
240	0,2	0,5	0,7	0,9
270	0,1	0,2	0,9	1
300	0,1	0,5	0,7	0,8
330	0,3	0,7	0,3	0,9
360	1	1	0,1	0,8
Beam Width				

КНД/Бағыттылық/Directivity [dBi]

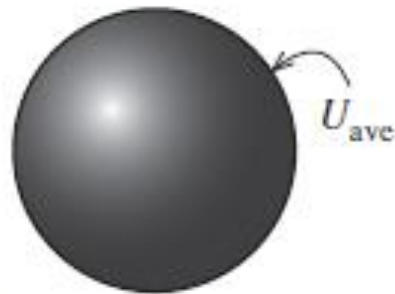
Бағыттылық – нақты (бағытталған) антеннаның қуат ағынының тығыздығының эталонды (бағытсыз) антеннаның қуат ағынының тығыздығынан қанша есе артық екенін көрсететін сан (сәулелену қуаттары бірдей болса ғана):

$$D(\theta, \varphi) = \frac{P(\theta, \varphi)}{P_{\Sigma}} \quad \text{при } P_{\Sigma} = P_{\Sigma_{\Sigma}}$$

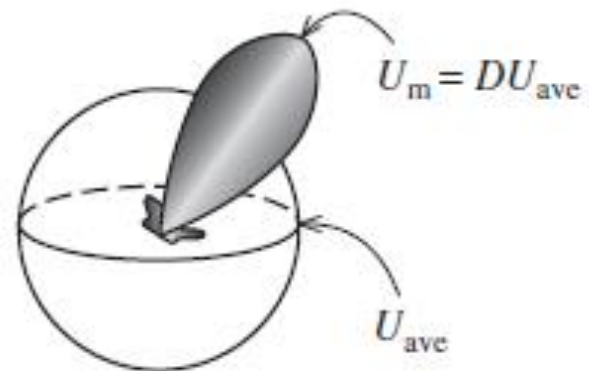
$$D(\theta, \varphi) = \frac{\Pi_{\max}}{\Pi_{\Theta}} F^2(\theta, \varphi) = D_0 F^2(\theta, \varphi)$$

D_0 – максималды тарату бағытындағы бағыттылық:

$$D_0 = \frac{4\pi}{\int_{\theta=0}^{\pi} \int_{\varphi=0}^{2\pi} F^2(\theta, \varphi) \sin(\theta) d\varphi d\theta} .$$



(a) Radiation intensity distributed isotropically.



(b) Radiation intensity from an actual antenna.

Инженерлік есептеулерде бағыттылық коэффициентін негізгі жазықтықтардағы антенна үлгісінің енімен байланыстыратын эмпирикалық формула қолданылады:

$$D_0 = \frac{(35 \dots 45) \cdot 10^3}{2\theta_{0,5}^E 2\theta_{0,5}^H}$$

КК/КУ/Gain [dBi]

- КК – нақты (бағытталған) антеннаның қуат ағынының тығыздығының эталонды (бағытсыз) антеннаның қуат ағынының тығыздығынан қанша есе артық екенін көрсететін сан (антеннаға берілетін қуаттары бірдей болса ғана):

$$D(\theta, \varphi) = \frac{\Pi(\theta, \varphi)}{\Pi_{\vartheta}} \quad \text{при } P_{\Sigma} = P_{\Sigma_{\vartheta}}$$

$$G(\theta, \varphi) = D(\theta, \varphi)\eta_A$$

Таратушы және қабылдаушы
антенналардың кеңістіктік, жиіліктік
және поляризациялық сәйкестіктері.
АНТЕННАЛЫҚ ТОРЛАР

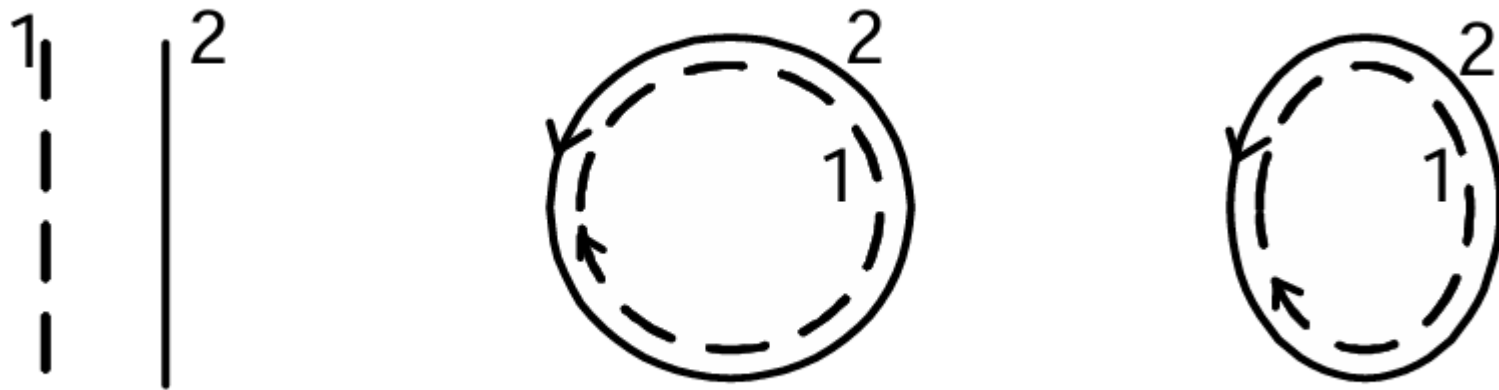
13-лекция.

PhD, аға оқытушы Карибаев Б.А.

19.04.2024

- Антенналардың өзара **кеңістіктік сәйкестігі** деп олардың радиациялық үлгілері бір-біріне бағытталған және электромагниттік толқындар энергиясының ең тиімді берілуін қамтамасыз ететін кеңістікте өзара орналасуы түсініледі.
- Антенналардың өзара **жиіліктік сәйкестігі** олардың бір жиілік диапазонында жұмыс істеу қабілетін білдіреді. Егер антенналар әртүрлі жиілік диапазонында жұмыс істесе, онда жиілік сәйкестігі қамтамасыз етілмейді.
- Антенналардың **поляризациялық сәйкестігі** олардың электромагниттік толқын өрісінің бірдей поляризациясымен жұмыс істеу қабілетін білдіреді.

polarization-matched antennas



polarization-mismatched antennas





Антенналық торлар

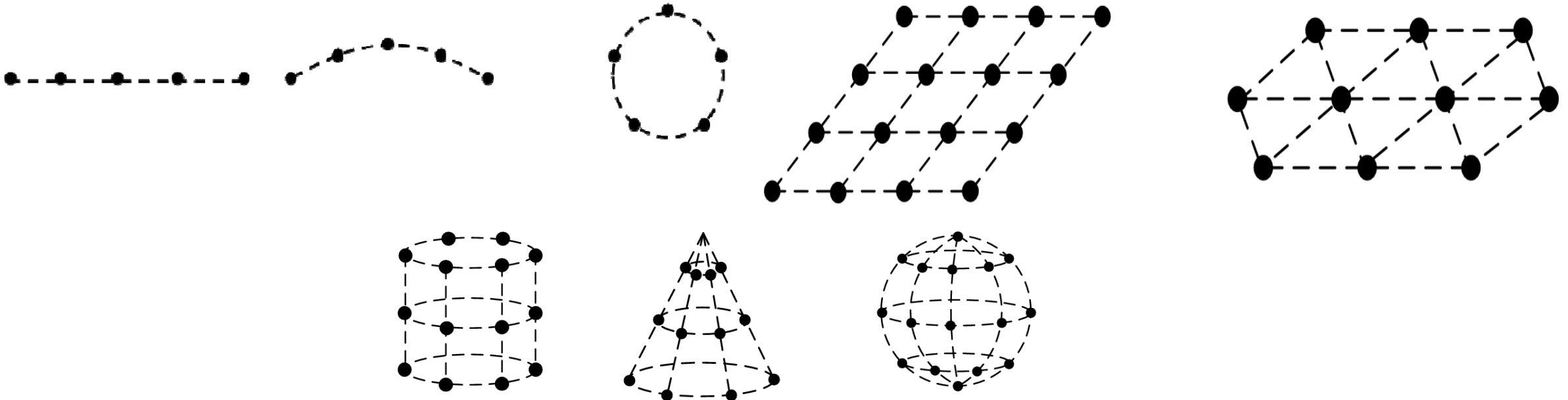
- Антенна массиві/тор (АТ) - белгілі бір ретпен орналасқан және бір немесе когерентті көздердің жиынтығымен қоздырылатын бірдей сәуле шығаратын элементтердің жиынтығы. Жалғыз антенналармен салыстырғанда, АТ тар бағытталған БД алуға мүмкіндік береді. Жеке массив элементтерінің сәулелену өрістері кеңістікте кедергі жасайды: кейбір бағыттарда алынған өріс көздерден өрістердің фазалық қосылуы есебінен күшейеді, басқаларында, керісінше, әлсірейді.

классификациясы

- **Элементтердің орналастыру әдісі бойынша:** бір өлшемді (сызықтық), екі өлшемді (жазық) және үш өлшемді (беттік).

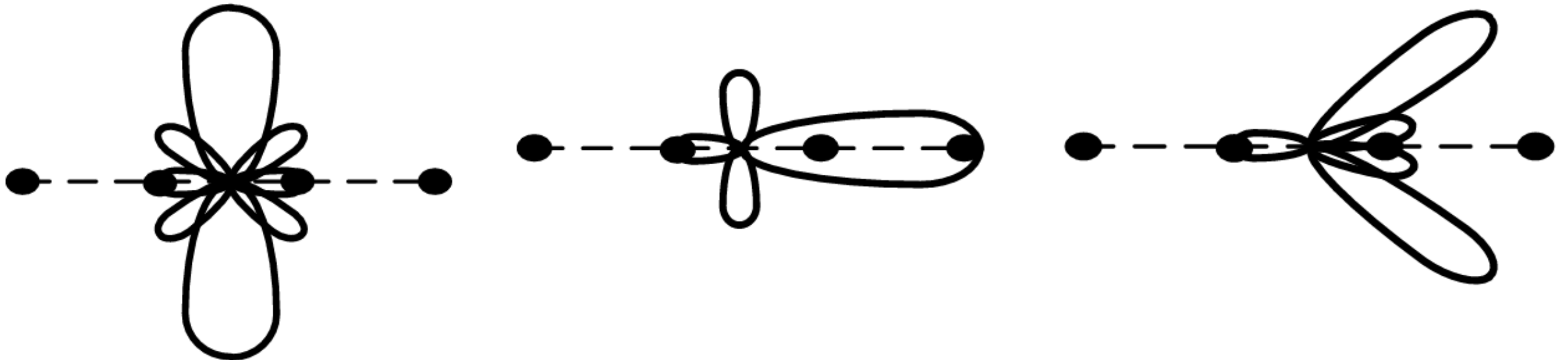
Олардың ішінде ең кең таралғандары:

- сызықтыдан – түзу сызықты, доғалық, сақина;
- жазықтықтан – тікбұрышты және үшбұрышты;
- беттіктерден – цилиндрлік, конустық, сфералық.



- Элементтер арасындағы қашықтық бойынша: бірдей қашықтықтағы және бірдей емес АТ. Егер АТ-дағы көршілес элементтер арасындағы қашықтық бүкіл тор бойымен өзгеріссіз қалса, онда мұндай торды тең қашықтықтағы деп атайды. Бірдей қашықтықта емес сызықтық торда элементтер арасындағы қашықтық белгілі бір заңға сәйкес немесе кездейсоқ түрде өзгереді.
- Эмитенттердің қозу түрі (қуат көзі) бойынша:
 - тең амплитудалы АТ (элементтердегі ток амплитудалары бірдей);
 - тең емес амплитудалы АТ (элементтеріндегі токтардың амплитудасы таңдалған заңға сәйкес өзгереді);
 - сызықтық-фазалы АТ (эмиттердегі токтардың фазалары сызықтық заңға сәйкес өзгереді);
 - синфазалы.

- Кеңістікте максималды сәулелену (қабылдау) бағыты бойынша:
 - көлденең тарататын. Олардың конструкциясының негізгі лобы элементтердің орналасу сызығына перпендикуляр бағытталған;
 - осьтік сәулелену. Үлгінің негізгі лобы эмиттер сызығының бойымен бағытталған;
 - көлбеу сәулеленудің AR (қабылдау).



АТ антенналардың басқа түрлеріне қарағанда бірқатар артықшылықтарға ие:

- әрбір АТ эмитенті шығаратын өрістің амплитудасы мен фазасын өзгерту арқылы өрнектің пішінін және негізгі лоб бағытын ыңғайлы басқару;
- жеке эмитенттердің өрістерін кеңістікте қосу есебінен АR сәулелену қуатының артуы;
- АR эмитенттерін қажетті тәртіпте орналастыра отырып, жалпы антенна жүйесінің оңтайлы дизайнын жүзеге асыру.