

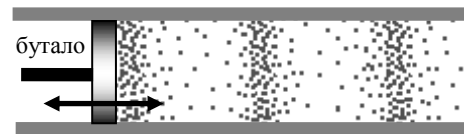
Видове вълни

1. Звукови вълни

Звуковите или акустичните вълни са механични вълни с малка амплитуда, които се разпространяват в газове, течности и твърди тела, и предизвикват звуково усещане. При човека такива са вълните с честота между 16 Hz и 20 kHz. Вълните с честота под 16 Hz се наричат **инфразвукови**, а тези с честота над 20 kHz **ултразвукови**. Човешкото ухо не регистрира инфра- и ултразвуковите вълни.

Всяко тяло, което трепти в дадена еластична среда с честота в областта на звуковите честоти, е източник на звукова вълна. Звуковата вълна не е свързана с пренасяне на вещество, а с пренасяне на енергия от точка в точка на средата. При това трептенето на частиците на средата, свързано със звуковата вълна, се налага върху хаотичното им топлинно движение.

Звуковата вълна, разпространяваща се във въздух, се състои от последователно редуващи се области на сгъстяване и разреждане на въздуха – с налягане съответно по-високо и по-ниско от средното за средата. В тези области молекулите на въздуха трептят надлъжно по-посока на разпространението на вълната, като се отместват от положението си на равновесие на разстояние не по-голямо от 1 % от дължината на вълната. На фиг. 1 е показано образуването на звукова вълна в цилиндрична тръба под действие на



Фиг. 1

трептящо в хоризонтално направление бугало. Въздухът периодично се свива и разрежда, при което налягането се изменя периодично около средното за средата. Ако бугалото се движи с честота от порядъка на звуковите честоти и десният край на тръбата е отворен, ще бъде произведен чист тонален звук. Тръбите на органа, тропета и кларинета са примери за системи от подобен тип.

Скоростта на разпространение на звуковите вълни в газове се определя с формулата

$$v = \sqrt{\frac{\gamma RT}{\mu}} = \sqrt{\frac{\gamma p}{\rho}}, \quad (1)$$

където $\gamma = c_p/c_v$ е отношението на специфичните топлемкости на газа при постоянно налягане и постоянен обем, R е универсалната газова константа, T е термодинамичната температура, μ е моларната маса на газа, а p и ρ са съответно налягането и плътността му.

За въздуха при температура $T = 290$ K (17°C), скоростта на звука е $v = 340$ m/s.

Интензитет или **сила на звука** I е енергията, която звуковата вълна пренася за единица време през единица площ, разположена перпендикулярно на посоката на разпространение на вълната. Ако за време t през площ S се пренася енергия E , интензитетът на вълната се пресмята по формулата

$$I = \frac{E}{St}. \quad (2)$$

Интензитетът на звуковата вълна се измерва във ватове на квадратен метър (W/m^2).

За всяка честота на звуковите трептения съществува **праг на чуваемост** – минимален интензитет на вълната, който предизвиква усещане за звук. Човешкото ухо е най-чувствително за честотите между 1 kHz и 4 kHz. Прагът на чуваемост в интервала $1 \div 3$ kHz е $I_0 = 10^{-12}$ W/m^2 , а между 3 kHz и 4 kHz е $I_0 = 10^{-13}$ W/m^2 . Ако интензитетът на звуковата вълна е между 1 и 10 W/m^2 , тя предизвиква болезнено усещане.

При нормално налягане на въздуха около 10^5 N/m^2 и отклонение от него само с $\Delta p \approx 10^{-5} \text{ N/m}^2$ се възбужда звукова вълна с интензитет $I = 10^{-13} \text{ W/m}^2$. Амплитудата на трептенията на молекулите на въздуха при този интензитет и честота 3,5 kHz е около 10^{-12} m – приблизително една хилядна от атомния диаметър. Това показва уникалността на човешкото ухо, което долавя тези нищожни трептения на въздуха и ги предава към мозъка за анализ.

Наборът от честоти на трептенията, присъстващи в звука, се нарича **акустичен спектър**. Ако той съдържа трептения с всевъзможни честоти в даден интервал ($\nu_1 \div \nu_2$), спектърът е **непрекъснат**. Звук с такъв акустичен спектър се нарича **шум**. Ако звукът се състои от трептения с дискретни честоти $\nu_1, \nu_2, \nu_3, \dots, \nu_n$, неговият спектър е **линеен**. Такъв звук се нарича **тонален**. Най-ниската честота в спектъра определя височината на звука. Честотите в спектъра и разпределението на енергията на звуковата вълна между тях придават **тембъра** (окраската) на звука.

Нивото на гръмкост на звука зависи от честотата и е субективна характеристика на звука, свързана с интензитета му (интензитетът на звука, от своя страна, е величина, която характеризира обективно вълновия процес). Според психофизиологичния закон на Вебер-Фехнер *нивото на гръмкост на звука расте по логаритмичен закон с нарастване на интензитета на звуковата вълна*. Чрез въвеждане на допълнителната величина **ниво на интензитета на звука L** може да се даде обективна оценка за нивото на гръмкост

$$L = \lg \frac{I}{I_0}, \quad (3)$$

където I_0 е прагът на чуваемост. Нивото на интензитетът се измерва в белове (bel) в чест на изобретателя на телефона Александър Бел. Един бел е нивото на интензитета на звук с интензитет 10 пъти по-голям от прага на чуваемост. По-често се използва десетократно по-малката единица децибел ($1 \text{ B} = 10 \text{ dB}$). Ако L се измерва в децибели (3) се записва във вида

$$L = 10 \lg \frac{I}{I_0}. \quad (4)$$

Нивото на гръмкост на звука се мери в единицата **фон**. Един фон е нивото на гръмкостта на звук с честота 1 kHz, ако нивото на неговия интензитет е 1 dB.

В децибели се измерва също и затихването на вълните по формулата

$$L = 10 \lg \frac{I_1}{I_2}, \quad (5)$$

където I_1 и I_2 са съответно интензитетите на вълната в началото и края на дистанцията, на която се измерва затихването. Ако затихването е $L = 20 \text{ dB}$ това означава, че интензитетът на вълната е намалял 100 пъти.

Ниво на интензитета на звука над 120 dB (шум на свързвов самолет на разстояние под 50 m или звуците на рок-група на разстояние под 3-4 m) предизвиква чувство за болка. Излагането на човешкото ухо на постоянен шум над 90 dB може да доведе до трайна загуба на слуха. Нормален човешки говор на дистанция 1 m има ниво на интензитета около 60 dB, а шепотът е с ниво около 30 dB.

Ултразвуковите вълни имат малка дължина поради високата им честота (над 20 kHz). Във въздуха при нормална температура дължината им е под 17 mm, което позволява да бъдат създавани мощни насочени снопове от тях. За генерирането им се използват пиезоелектрични кристали, които под действието на високочестотното електрично поле се деформират и излъчват ултразвукови вълни (обратен пиезоелектричен ефект).

Явлението магнитострикция също се използва за генериране на ултразвукови вълни. Ако феромагнетик се постави в променливо магнитно поле в него се възбуждат механични трептения, чиято амплитуда е максимална при настъпване на резонанс и се излъчват ултразвукови вълни с висока мощност.

Ултразвукът се използва за локализация на подводни обекти и определяне на дълбочината им в морета и океани (ехолот, сонар). Ултразвуковата дефектоскопия се основава на разсейването на ултразвуковите вълни от дефекти в изследваните детайли, като при това зад съответния дефект (нееднородност) се образува звукова сянка. Ултразвуковите вълни се използват за въздействие върху процесите на кристализация на разтвори, за механична обработка на твърди тела, за изучаване на физикомеханичните им свойства, например определяне на модулите на еластичност чрез измерване скоростта на ултразвук в тях. Широко приложение ултразвуковата диагностика намира и в медицината.

Източници на инфразвукови вълни са ветровете и турбулентностите в атмосферата, електрическите мъннии, движенията на земната кора, морското вълнение, различни взривове и оръдейни изстрели, и др. Честотите на инфразвуковите вълни са малки (под 16 Hz), поради което те слабо се поглъщат в средата и се разпространяват на големи разстояния. Инфразвукова вълна, породена от изригване на вулкан може да обиколи 2-3 пъти земното кълбо.

Благодарение на слабото поглъщане на инфразвуковите вълни могат да се определят местата на силни взривове, положенията на стрелящи оръдия, да се предсказва появата на цунами, да се изследват горните слоеве на атмосферата.

Инфразвуковите честоти са близки до резонансната честота на човешкото тяло (средно около 6 Hz). За гръдния кош е от 5 Hz до 8 Hz, а за главата от 20 Hz до 30 Hz. Организмът на човека реагира болезнено на инфразвукови трептения с по-голям интензитет и при честота 12 Hz изпитва пристъп на морска болест.

2. Ефект на Доплер при звука

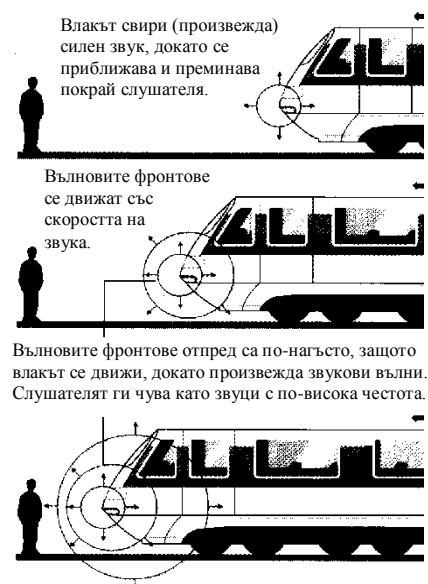
Скоростта на звуковата вълна V се определя спрямо средата, в която тя се разпространява. Когато източникът на звука и приемникът се движат спрямо средата, приемникът регистрира звуковата вълна с променена честота. Това явление е изучено от австрийския физик Християн Доплер и е известно като **ефект на Доплер**. Например височината на тона, издаван от свирката на влак е по-висок, когато влакът приближава към наблюдателя (фиг. 2), а се понижава, когато влакът се отдалечава.

Ако източникът и приемникът се движат по една и съща права със скорости съответно $V_{\text{и}}$ и $V_{\text{п}}$ и източникът излъчи звук с честота ν_0 , регистрираната от приемника честота на вълната е

$$\nu = \nu_0 \frac{V \pm V_{\text{п}}}{V \mp V_{\text{и}}}, \quad (6)$$

където V е скоростта на звуковата вълна в дадената среда.

Когато източникът и приемникът се сближават, в



Фиг. 2

уравнението се вземат горните знаци, а когато се отдалечават са валидни долните.

Ефектът на Доплер се използва в медицинската ултразвукова диагностика за определяне стесненията в кръвоносните съдове (Доплерова сонография). При отражение на вълната от червените кръвни телца, ултразвуковата вълна изменя честотата си в зависимост от тяхната скорост на движение, която е пряко свързана с ширината на кръвоносните съдове.

Ефектът намира приложение и в различните видове радари за определяне на скоростта на движещи се обекти.

3. Електромагнитни вълни

Променливото електрично поле индуцира променливо магнитно поле, което също поражда променливо електрично поле и т.н. На основание на този факт Максвел достига до извода, че крайният резултат от подобна взаимна обусловеност, е появата на **електромагнитни вълни**. Те представляват последователност от взаимно свързани електрично и магнитно полета. Електромагнитното поле може да съществува самостоятелно – без токове и заряди и изменението му има вълнов характер.

Електромагнитната вълна представлява променливо електромагнитно поле, разпространяващо се в дадена среда със скорост

$$v = \frac{c}{\sqrt{\mu\epsilon}}, \quad (7)$$

където $c = \frac{1}{\sqrt{\mu_0\epsilon_0}} = 3.10^8$ m/s е **скоростта на електромагнитните вълни във вакуум**, а ϵ и μ са съответно относителната диелектрична и относителната магнитна проницаемост на средата.

Електромагнитните вълни са **напречни** – векторите \vec{E} и \vec{H} лежат в равнини, перпендикулярни на скоростта на вълната \vec{V} в дадена точка (фиг. 3).

Векторите \vec{E} , \vec{H} и \vec{V} образуват дясна тройка и удовлетворяват уравнението на плоска електромагнитна вълна с дължина λ и честота ν , разпространяваща се по оста Ох

$$H_z(x,t) = H_0 \sin(\omega t - kx), \quad (8)$$

$$E_y(x,t) = E_0 \sin(\omega t - kx), \quad (9)$$

където $k = 2\pi/\lambda$ е **вълновото число**, а $\omega = 2\pi\nu$ е кръговата честота на вълната.

Векторите \vec{E} и \vec{H} трептят във фаза – те едновременно достигат максимална и минимална стойности. Модулите E_0 и H_0 са свързани със съотношения

$$H_0 = \sqrt{\frac{\epsilon_0\epsilon}{\mu_0\mu}} E_0. \quad (10)$$

За вакуум ($\epsilon = 1$, $\mu = 1$) е в сила равенството

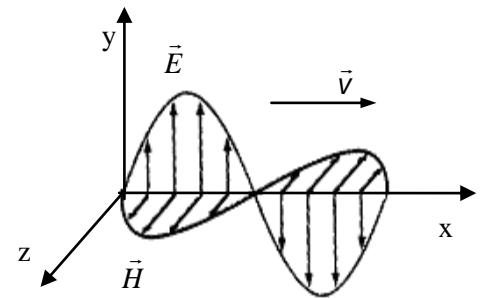
$$H_0^2 \mu_0 = E_0^2 \epsilon_0. \quad (11)$$

Електромагнитните вълни притежават енергия, която се определя от енергията на електричното и магнитното поле, и нейната **плътност** е

$$w = w_E + w_M = \frac{\epsilon_0 \vec{E}^2}{2} + \frac{\mu_0 \vec{H}^2}{2} \quad (12)$$

или

$$w = \epsilon_0 E_0^2 = \mu_0 H_0^2. \quad (13)$$



Фиг. 3

От друга страна е в сила равенството

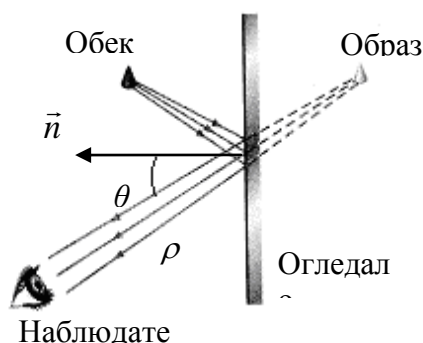
$$w\vec{V} = \vec{E} \times \vec{H}, \quad (14)$$

където векторът $\vec{P} = \vec{E} \times \vec{H}$ се нарича **вектор на Пойнтинг**. Той определя мигновената стойност на плътността на потока на енергията на електромагнитната вълна.

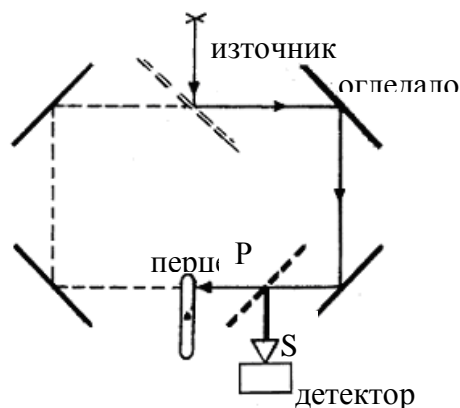
Потокът на енергията на електромагнитната вълна е

$$\Phi = \int \vec{P} \cdot d\vec{S}. \quad (15)$$

Опит на Лебедев



Фиг.4



Фиг. 5

Съществува фундаментален експеримент за доказване на налягането на светлината, осъществен от руския физик Лебедев преди повече от сто години, който е пряко потвърждение за съществуването на импулс на електромагнитните вълни. Постановката на експеримента е показана на фиг. 5. Светлинен лъч от източника се насочва към система от огледала. След няколко последователни отражения той попада върху едното крило на леко перце, окачено на тънка нишка, ориентирана перпендикулярно на чертежа. Налягането на светлината P предизвиква завъртане на перцето, което може да се измери по огледален начин. За определяне на светлинния поток S светлинният лъч се насочва чрез огледало към детектор, който измерва потока.

Опитът на Лебедев е извънредно прецизен, защото ефектът е малък (налягането на електромагнитните вълни е слабо – например налягането на слънчевата светлина върху земната повърхност е около 10^{10} пъти по-ниско от атмосферното) и може лесно да се маскира от фалшиви ефекти. Един от маскиращите ефекти в този случай е свързан с наличието на остатъчен газ във вакуумното пространство, в което е разположена експерименталната постановка. Ако перцето не е строго вертикално, а леко наклонено с горната част към лъча, потокът на газа, който я затопля и се изкачва по нея, може да породи аеродинамична сила върху нея, имитираща налягането на светлината. За да се елиминира този ефект, лъчът се спуска по левия път, за да наляга върху противоположната страна на перцето. Там наклонът е обратен и такава сила не се появява. При равни резултати от двете страни може да се счита, че този ефект не е присъствал.

Другият маскиращ ефект е т. нар. **радиационно налягане**. То е свързано с обстоятелството, че светлинният лъч загрева страната на перцето, върху която попада, молекулите на газа също се загреват, т. е. ускоряват, и упражняват по-голямо налягане, отколкото тези от другата страна. Ясно е, че това ще имитира налягането на светлината. За тази цел едната страна на перцето се прави

черна, т.е. коефициентът на отражение $\rho \approx 0$, а другата – огледална, т. е. $\rho \approx 1$. Тогава радиационното налягане се елиминира от налягането на светлината след сравнение на двата резултата. Ако е налице радиационно налягане, то ще бъде многократно по-високо за черната страна, тъй като тя абсорбира повече светлина и по-силно се загарява. Ако е налице полезният ефект – налягането на светлината – то ще има обратно поведение: ще бъде два пъти по-силен за огледалната страна, при която $\rho = 1$. Резултатите от този експеримент потвърждават наличието на налягане на светлината.

4. Импулс и налягане на електромагнитните вълни

Величината $\Delta m = w/c^2$ представлява масата на електромагнитното поле в единица обем. Тогава **импулсът на единица обем** на електромагнитното поле е

$$\vec{p} = \Delta m \cdot \vec{v} = \frac{w \vec{v}}{c^2} = \frac{\vec{E} \times \vec{H}}{c^2}, \quad (16)$$

където w е плътността на енергията на електромагнитното поле, а \vec{v} е неговата скорост на разпространение в средата. За вакуум ($v = c$) и импулсът на единица обем на електромагнитното поле се определя с равенството

$$p = w/c. \quad (17)$$

Подобна е връзката между импулса и енергията на частица с нулева маса на покой ($p = E/c$). Това е естествено понеже разпространението на електромагнитното поле съгласно квантовите представи е еквивалентно на движението на поток от фотони, които са с нулева маса на покой.

При поглъщане на електромагнитните вълни в телата те им предават определен импулс и като следствие те изпитват **налягането на електромагнитното поле**. Общият вид на формулата за налягането на електромагнитните вълни върху дадена повърхност е

$$P = w(1 + \rho) \cos^2 \theta, \quad (18)$$

където ρ е коефициентът на отражение от повърхността, а θ е ъгълът между посоката на разпространение на електромагнитната вълна и нормалата \vec{n} към нея (фиг. 4). При нормално падане и пълно поглъщане на вълната от дадена среда ($\rho = 0$) налягането $P = w$, а при 100 % отражение от повърхността ($\rho = 1$) $P = 2w$.

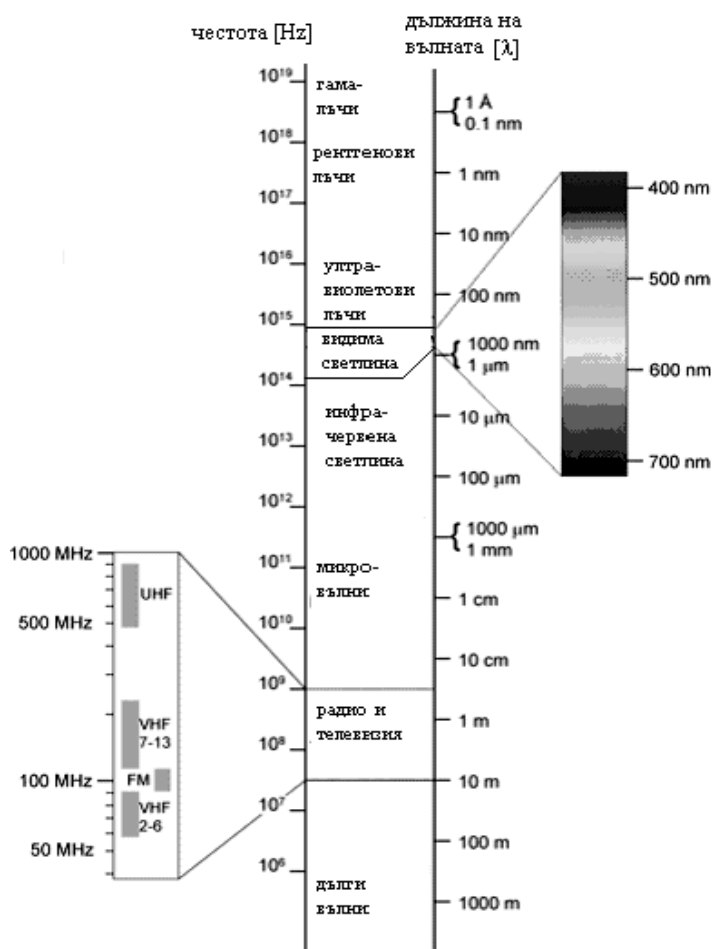
5. Електромагнитен спектър

Електромагнитният спектър представлява широк набор от електромагнитни вълни (фиг. 6) с различни честоти, които се разпространяват със скоростта на светлината. Честотата им се определя от уравнението $\nu = c/\lambda$, където c е скоростта на светлината, а λ е дължината на вълната.

Електромагнитният спектър се разделя на шест основни области:

- Радио- и TV-вълни, с дължина на вълната над 0,1 mm, които се генерират и разпространяват в честотния интервал $10^3 \div 10^{11}$ Hz. Към тази област се отнасят и микровълните, които се използват в радарните системи и микровълновите печки, чиито честоти са от 1 до 30 GHz.
- Инфрочервена област, състояща се от вълните, излъчвани от нагретите тела с дължина на вълната в диапазона части от милиметъра до 770 nm.

- Видима област, която обхваща електромагнитните вълни, предизвикващи зрително усещане у човека. Те обхващат тесен интервал от вълни с дължини от 380 nm до 770 nm.
- Ултравиолетова област - от 10 nm до 380 nm.
- Рентгеново излъчване, което възниква при взаимодействие на заредените частици с веществото или при електронни преходи във възбудените атоми. Условните граници на дължината на вълната на рентгеновото лъчение са 0,01 nm и 10 nm.
- Гама излъчване с дължина на вълната под 0,01 nm, което се излъчва от възбудените атомни ядра при радиоактивните превръщания. То притежава най-голяма енергия и най-висока проникваща способност във веществата.



Фиг. 6

Информацията, която хората първоначално са имали за Космоса, е получавана от видимия електромагнитен спектър. **Оптичната астрономия**, която използва видимата светлина, се е развила най-напред и тя дава добра картина за Вселената.

През 1931 г. Карл Янски, инженер от Bell Telephone Laboratories, поставя основите на **радиоастрономията**, която изучава радиовълните, идващи от Космоса. На нейна основа се

обогатяват значително знанията за строежа на Вселената, поради откриването на явления и обекти, които са “невидими” за оптичната астрономия.

През 1950 г. е “отворена” и друга част от електромагнитния спектър за астрономите. Сателитите, снабдени с детектори за инфрачервени, ултравиолетови, рентгенови и гама лъчи успяват да регистрират невидими екзотични обекти, като неутронните звезди и черните дупки.

6. Ефект на Доплер при електромагнитните вълни

При относително движение на източник и приемник на електромагнитни вълни се наблюдава изменение на честотата на вълната, която се регистрира в приемника. Явлението се нарича **ефект на Доплер**.

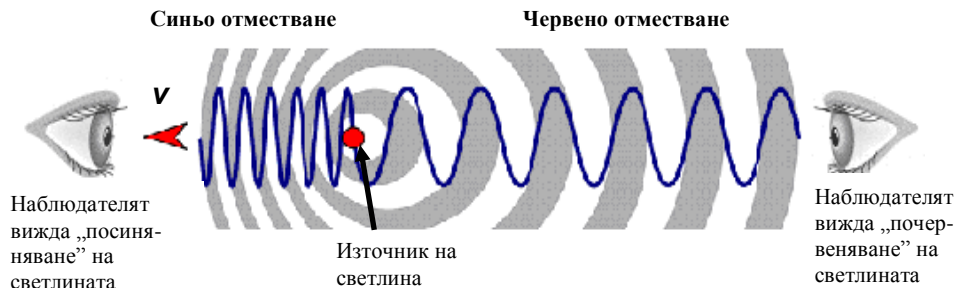
Ако източникът и приемникът се движат по една права (фиг. 7), в случай на приближаване приемникът регистрира електромагнитна вълна с честота

$$\nu = \nu_0 \sqrt{(1 + v/c)/(1 - v/c)} > \nu_0, \quad (19)$$

отместена към синята област на спектъра. При отдалечаване на източника от приемника регистрираната честота е

$$\nu = \nu_0 \sqrt{(1 - v/c)/(1 + v/c)} < \nu_0, \quad (20)$$

което съответства на отместване към червената област на спектъра.



Фиг.

Ефектът на Доплер се наблюдава и при звуковите вълни, но разликата е, че при електромагнитните вълни има значение само относителното движение на източника и приемника, докато при звуковите вълни е от значение скоростта им спрямо средата, в която се разпространяват вълните.

Ефектът на Доплер се използва за определяне скоростта на движение на звездите. По структурата на спектралните линии се съди за движението на звездите, за тяхното въртене или за сложния им строеж (двойни звезди). Например размитостта на спектралните линии е указание за въртливо движение на звездата – противоположните краища на звездата се движат в различни посоки спрямо Земята.

С помощта на ефекта на Доплер е установено т. нар. **червено отместване** в спектрите на множество галактики, което доказва тяхното отдалечаване, като при увеличаване на разстоянието до тях, се увеличава и скоростта на движението им. Зависимостта е известна като **закон на Хъбъл**

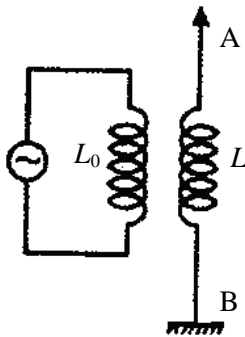
$$v = Hr, \quad (21)$$

където $H = 75 \text{ km/Мпс.s}$ е **константата на Хъбъл**, v е скоростта на галактиката, а r е разстоянието до нея, измерено в милион парсека (Мпс). Един парсек е равен на 3,26 светлинни години. **Една светлинна година** (1 ly) е разстоянието, което светлината изминава за една година ($1 \text{ ly} \approx 9,46 \cdot 10^{15} \text{ m}$).

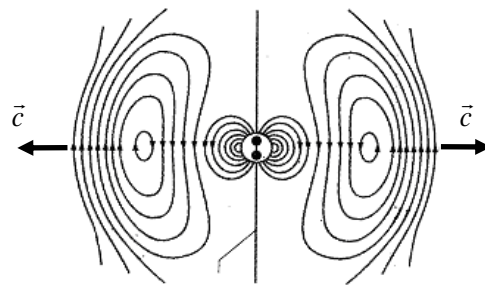
7. Генериране на електромагнитни вълни

Ако дадена антена е включена към източник на променливо напрежение (фиг. 8), тя започва да действа като **трептящ електричен дипол** и излъчва електромагнитни вълни (фиг. 9). Силовите линии на електричното поле са изобразени в равнината на чертежа, а магнитните силови линии са перпендикулярни на него. При изменение на посоката на тока, двете полета изменят посоката си, а съществуващите полета не изчезват – те се разпространяват в пространството. Тъй като посоките на нововъзникналите полета са противоположни на предходното електромагнитно поле, силовите му линии се затварят и образуват затворени контури.

Интензитетите на електричното и на магнитното поле са максимални в направление, перпендикулярно на посоката на трептене на заряда в антената, а над и под нея имат нулева стойност. Ако електродвижещото напрежение в източника се изменя по синусов закон, то и двете



Фиг. 8



ос на дипола

Фиг. 9

полета се изменят по същия закон.

Средната мощност на излъчване на електричен дипол е пропорционална на квадрата на амплитудата на диполния момент \vec{p}_m и на четвъртата степен на неговата честота ω

$$\langle P \rangle \sim p_m^2 \omega^4. \quad (22)$$

Заряд, който трепти по хармоничен закон, излъчва монохроматична електромагнитна вълна с честота, равна на честотата на трептенията му. Ако ускорението се изменя не по хармоничен закон, зарядът излъчва електромагнитни вълни с различни честоти.

Електромагнитните вълни се генерират не само при трептене на заряди, но и при ускорително движение на заредени частици. Средната мощност на излъчване в този случай е

$$\langle P \rangle \sim q^2 a^2, \quad (23)$$

където a е ускорението, а q зарядът на частицата.

ЗАДАЧИ

Задача 1. Звукова вълна с честота $\nu_0 = 3000$ Hz се излъчва от неподвижен източник в посока на тяло, което се приближава към него със скорост $3,4$ m/s. Да се определи честотата на отразената от тялото вълна.

Решение: При температура 17°C скоростта на звука във въздуха е $\nu = 340$ m/s. До движещото се тяло звуковата вълна достига с честота

$$\nu^I = \nu_0 \frac{\nu + \nu_n}{\nu} = 3000 \frac{340 + 3,4}{340} = 3030 \text{ Hz.}$$

След отражението вълната има същата честота ν^I . Този път тялото се явява източник на звуковата вълна, т.е. $\nu_n = 3,4$ m/s, а излъчвателят – приемник ($\nu_n = 0$). Звуковата вълна се връща към първоизточника с честота

$$\nu^{II} = \nu^I \frac{\nu}{\nu - \nu_n} = 3030 \frac{340}{340 - 3,4} \approx 3061 \text{ Hz.}$$

Задача 2. Плътността на потока на слънчевата енергия при границата на земната атмосфера е $P = 1350$ W/m². Да се определят а) амплитудните стойности на векторите \vec{E} и \vec{B} ; б) колко слънчеви колектора са необходими за да запазят 3 kW електрически бойлер през слънчевите дни, ако колекторите имат площ по 1 m² и техният коефициент на трансформиране на слънчевата енергия в електрична е 45 %.

Решение: а) Плътността на потока на енергията на електромагнитното поле във вакуум е

$$P = c \varepsilon_0 E_0^2 / 2 = c B_0^2 / 2 \mu_0,$$

откъдето следва

$$E_0 = \sqrt{2P / \varepsilon_0 c} = 1,01 \cdot 10^3 \text{ V/m,}$$

$$B_0 = \sqrt{2P \mu_0 / c} = 3,4 \cdot 10^{-6} \text{ T.}$$

б) При 100 % трансформиране на електромагнитната енергия в електрична са необходими $(3000 \text{ W}) / (1350 \text{ W/m}^2) = 2,22$ m² колектори, а при 45 % коефициент на трансформиране $(2,22 \text{ m}^2) / 0,45 \approx 5$ m² или пет броя слънчеви колектори.

Задача 3. Дължината на електромагнитната вълна на лазерен сноп е $\lambda = 633$ nm. Амплитудата на вектора на интензитета на електричното му поле е $E_0 = 6$ kV/m. Да се определи честотата на вълната и амплитудата на магнитното поле.

Решение: Честотата на електромагнитната вълна е

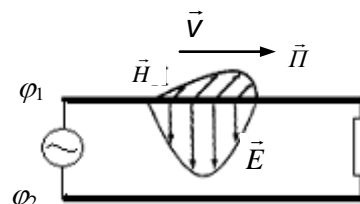
$$\nu = c / \lambda = (3 \cdot 10^8 \text{ m/s}) / (633 \cdot 10^{-9} \text{ m}) = 4,74 \cdot 10^{14} \text{ Hz.}$$

Известно е, че $P = \frac{c\varepsilon_0 E_0^2}{2} = \frac{cB_0^2}{2\mu_0}$, откъдето следва

$$B_0 = E_0 \sqrt{\varepsilon_0 \mu_0} = \frac{E_0}{c} = \frac{6000 \text{ V}}{3 \cdot 10^8 \text{ m/s}} = 2 \cdot 10^{-5} \text{ T}.$$

Задача 4. На фиг. 11 е показан елемент от двупроводна линия. Известно е, че $\varphi_2 > \varphi_1$, където φ_1 и φ_2 са потенциалите на двата проводника. Да се определи положението на източника на тока върху линията.

Решение: По линията се разпространява електромагнитна вълна с плътност на потока на енергията $\vec{P} = \vec{E} \times \vec{H}$. В случая векторът \vec{E} е насочен надолу, а векторът \vec{H} е насочен перпендикулярно към чертежа. Векторите \vec{E} , \vec{H} и на скоростта \vec{V} , образуват дясна тройка, от което следва, че векторът \vec{V} , а следователно и \vec{P} са насочени надясно на чертежа. Това означава че източникът се намира от ляво на линията, а потребителят – вдясно.



Фиг. 11

Задача 5. Минималната стойност на амплитудата на вектора на интензитета на електричното поле на електромагнитната вълна, която определя чувствителността на радиоприемник е $E_0 = 2,1 \text{ mV/m}$. На какво максимално разстояние от радиопредавател с мощност $W = 5 \text{ kW}$ може да се разположи радиоприемникът, за да приеме електромагнитните сигнали на радиопредавателя, ако те се излъчват равномерно във всички посоки на пространството?

Решение: Плътността на потока на електромагнитната енергия на разстояние r от радиопредавателя се определя от съотношението $P = W/4\pi r^2$. От друга страна $P = c\varepsilon_0 E_0^2/2$, следователно $W/4\pi r^2 = c\varepsilon_0 E_0^2/2$, откъдето

$$r = (1/E_0) \sqrt{W/2\pi c\varepsilon_0} =$$

$$\frac{1}{2,1 \cdot 10^{-3} \frac{\text{V}}{\text{m}}} \sqrt{\frac{5 \cdot 10^3 \text{ W}}{2\pi \left(3 \cdot 10^8 \frac{\text{m}}{\text{s}}\right) \left(8,85 \cdot 10^{-12} \frac{\text{F}}{\text{m}}\right)}} = 261 \text{ km}.$$

ТЕСТОВИ ВЪПРОСИ

1. Когато силата на звука се промени с 2 В (2 бела), това означава, че интензитетът на звуковата вълна се е променил:
а) 10 пъти; б) 100 пъти; в) 1000 пъти;
г) 10000 пъти; д) 100000 пъти.
2. Коя от характеристиките на звука се променя, когато се наблюдава ефектът на Доплер?
а) амплитудата; б) скоростта; в) ускорението;
г) силата; д) честотата.
3. Източник на звук се приближава със скорост v към неподвижен наблюдател, който регистрира честота на звука ν_1 . Когато източникът е неподвижен, а наблюдателят се приближава към него със скорост v , честотата на звука, която регистрира наблюдателят, е ν_2 . Кое от посочените съотношения е вярно, ако честотата на звука при неподвижни наблюдател и източник на звука е ν ?
а) $\nu_1 > \nu_2 > \nu$; б) $\nu_2 > \nu_1 > \nu$; в) $\nu_1 = \nu_2 = \nu$;
г) $\nu > \nu_1 = \nu_2$; д) $\nu_1 > \nu_2 = \nu$;
4. Съществуването на налягане на електромагнитните вълни показва, че на полето на електромагнитната вълна е присъщ определен импулс, който според теорията, се изразява чрез:
а) $p \sim m\omega$; б) $p \sim mc^2$; в) $p \sim \frac{c}{\omega}$; г) $p \sim \frac{\omega}{c}$; д) $p \sim \omega c$.
5. Дължината на електромагнитната вълна, разпространяваща се във въздух с период на трептенията $T = 0.03 \mu s$, е:
а) 100 m; б) 1 m; в) 3 m; г) 9 m; д) 90 m.