

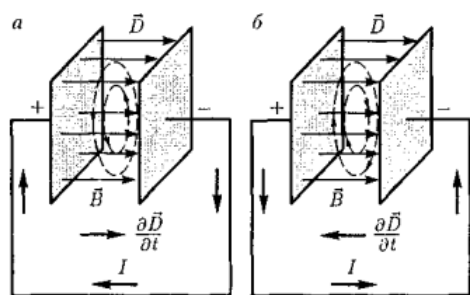
2-8-МАВЗУ: МАКСВЕЛЛ ТЕНГЛАМАЛАРИ. ЭЛЕКТРОМАГНИТ ТЎЛҚИНЛАР.

Режа:

1. Силжиш токи.
2. Максвелл тенгламаларининг интеграл ва дифференциал кўриниши.
3. Электромагнит тўлқинларнинг тарқалиш тезлиги.
4. Электромагнит тўлқин тенгламаси.
5. Энергия зичлиги. Умов – Пойтинг вектори.

1863 йилда Максвелл ягона электромагнит майдон назариясини ишлаб чиқди, бу назарияга мувофиқ, ўзгарувчан электр майдони, ўзгарувчан магнит майдонини, ўзгарувчан магнит майдони эса, ўзгарувчан электр майдонини вужудга келтиради. Бу иккала ўзгарувчан майдонлар уюрмали характерига эга, яъни вужудга келтираётган майдоннинг куч чизиқлари, вужудга келаётган майдоннинг куч чизиқлари билан концентрик ўраб олинган. Магнит майдон индукцияси чизиқларининг йўналиши шу майдоннинг вужудга келишига сабабчи бўлаётган электр майдон индукция векторининг вақт давомида ўзгаришини характерловчи $\frac{d\vec{D}}{dt}$ векторнинг йўналиши билан ўнг винт қоидаси асосида боғланган.

Электр майдоннинг ўзгариши ва бу ўзгариш туфайли вужудга келаётган магнит майдон орасидаги микдорий боғланишни топиш учун Максвелл силжиш токи деб аталадиган тушунчани киритади. Силжиш токи билан яқинроқ танишиш мақсадида ясси конденсаторли занжирдан ўзгарувчан ток оққандаги жараёнларни текширайлик. У ҳолда ўтказгич орқали ўтказувчанлик



токи ўтади, лекин пластинкалар оралиғидаги диэлектрикдан ўтмайди. У ҳолда ўзгарувчан токнинг занжир бўйлаб оқиши конденсаторнинг зарядланишлари ва разрядланишларидан иборат бўлади. Максвелл ташқи занжирда оқувчи ўтказувчанлик токи конденсатор ичида алоҳида ток - силжиш токи билан туташади деган ўзғоясини илгари сурди, силжиш токи электр майдон индукция векторининг ўзгариш тезлиги $\frac{d\vec{D}}{dt}$ га

пропорционал ва ташқи занжирдаги ўтказувчанлик токига

тенг бўлади.

Занжирдан ўтаётган токнинг оний қиймати I бўлсин, конденсатор қопламаларидаги заряднинг сирт зичлигини $\sigma = \frac{q}{S}$ деб олайлик. У ҳолда конденсатор пластинкаси ичидаги ўтказувчанлик токи зичлигининг қиймати

$$j_{\text{yntk}} = \frac{I}{S} = \frac{1}{S} \frac{dq}{dt} = \frac{d}{dt} \left(\frac{q}{S} \right) = \frac{d\sigma}{dt} \quad \text{ёки} \quad j_{\text{yntk}} = \frac{d\sigma}{dt} \quad (8.1)$$

бўлади.

Иккинчи томонидан шу моментдаги пластинкалар оралиғидаги электр майдон кучланганлигининг қиймати

$$E = \frac{\sigma}{\epsilon_0 \epsilon} \quad \text{га тенг эди. Майдоннинг электр индукцияси эса}$$

$$D = \epsilon_0 \epsilon E = \epsilon_0 \epsilon \frac{\sigma}{\epsilon_0 \epsilon} = \sigma \quad (8.2)$$

га тенг. Вақт ўтиши билан пластинкалардаги заряднинг сирт зичлиги ўзгаради. Бу эса пластинкалар оралиғидаги электр майдон индукцияси қийматининг ўзгаришига сабабчи бўлади, яъни:

$$\frac{dD}{dt} = \frac{d\sigma}{dt} \quad (8.3)$$

Ҳамма вақт $\frac{d\vec{D}}{dt}$ нинг йўналиш ўтказувчанлик токининг йўналиши билан бир хил бўлади.

$\frac{d\vec{D}}{dt}$ катталиқ Максвелл гипотезасига асосан, силжиш токининг зичлигидир, яъни:

$$\vec{j}_{\text{силж}} = \frac{d\vec{D}}{dt} \quad (8.4)$$

Максвелл назариясининг асосини тўртта тенглама ташкил этади.

1. Қўзғалмас заряд q атрофидаги фазода электр майдон ҳосил қилади. Бу майдон потенциал майдондир. Бу майдон кучланганлик вектори E_q нинг ихтиёрий берк контур бўйича циркуляцияси нолга тенг:

$$\oint_l E_q dl = 0 \quad (8.5)$$

Уярмавий электр майдон кучланганлиги E_B нинг чизиклари доимо берк. Шунинг учун, E_B - векторининг ихтиёрий берк контур бўйича циркуляцияси нолдан фарқли

$$\oint_l E_B dl = - \int_S \left(\frac{\partial B}{\partial t} \right)_n dS \quad (8.6)$$

Натижавий майдон кучланганлиги E_q ва E_B майдон кучланганликларнинг йиғиндисидан иборат бўлиши керак, яъни

$$E = E_q + E_B \quad (8.7)$$

(8.5), (8.6), (8.7) тенгламалардан
$$\oint_l E dl = - \int_S \left(\frac{\partial B}{\partial t} \right)_n dS \quad (8.8)$$

Бу Максвеллнинг биринчи тенгласидир.

2. Магнит майдон ҳаракатдаги зарядлар атрофидагина эмас, балки фазонинг вақт давомида ўзгариб турувчи электр майдон мавжуд бўлган барча соҳаларида ҳам вужудга келади. Ўзгарувчан электр майдон индукцияси векторининг ўзгариш тезлигини характерловчи $\frac{d\vec{D}}{dt}$ катталиқни силжиш токининг зичлиги $j_{\text{силж}}$ деб юритилиши билан юқорида танишдик. Агар занжирдаги тўлиқ ток зичлигини j_T деб белгиласак

$$j_T = j_{\text{умк}} + j_{\text{силж}} = j_{\text{умк}} + \frac{\partial D}{\partial t} \quad (8.9)$$

ҳосил бўлади. (8.9) дан фойлансак, магнит майдон кучланганлик векторининг ихтиёрий берк контур бўйича циркуляцияси учун қуйидагини ёзамиз:

$$\oint_l H dl = - \int_S \left(j_{\text{умк}} + \frac{\partial D}{\partial t} \right)_n dS \quad (8.10)$$

Бу ифода Максвеллнинг иккинчи тенгласи деб аталади. У магнит майдон кучланганлик вектори H нинг ихтиёрий берк контур бўйича циркуляцияси, у макроскопик ва силжиш тоқларининг алгебраик йиғиндисига тенглигини кўрсатади.

3. Электр индукция вектори D нинг ихтиёрий берк сирт орқали оқими шу сирт ичидаги барча эркин зарядларнинг алгебраик йиғиндисига тенг:

$$\oint D_n dS = \int_V \rho dV \quad (8.11) - \text{Максвеллнинг учинчи тенгласи}$$

бундаги ρ - берк сирт ичида жойлашган зарядларнинг ҳажмий зичлиги.

4. Магнит майдон қандай усул билан ҳосил қилинмасин магнит индукция чизиклари доимо берк бўлади, шунинг учун умумий ҳолда:

$$\oint B_n dS = 0 \quad (8.12) - \text{Максвеллнинг тўртинчи тенгласи}$$

Юқоридаги тўртта тенглама интеграл кўринишдаги Максвелл тенгламаларидир. Максвелл тенгламаларининг дифференциал кўриниши:

$$\text{rot} \vec{E} = - \frac{\partial \vec{B}}{\partial t} \quad (8.13) \quad \text{rot} \vec{H} = \vec{j}_{\text{умк}} + \frac{\partial \vec{D}}{\partial t} \quad (8.14)$$

$$\text{div} \vec{D} = \rho \quad (8.15) \quad \text{div} \vec{B} = 0 \quad (8.16)$$

Ясси қутбланган тўлқин учун E_x майдонни қарасак $E_y=0$, бу ҳолда:

$$\epsilon \frac{d E_x}{d t} = - \frac{d H_y}{d z} \quad (8.17)$$

$$-\mu \frac{dH_y}{dt} = \frac{dE_x}{dz} \quad (8.18)$$

$$\frac{d^2}{dz dt} = \frac{d^2}{dt dz} \quad \text{ни хисобга олсак, } H_y \text{ учун тенгламани:}$$

$$\frac{d^2 H_y}{dz^2} = \mu\epsilon \frac{d^2 H_y}{dt^2} \quad (8.19) - \text{Электромагнит тўлқин тенгламаси}$$

Шундай қилиб, иккала майдон E_x ва H_y бир хил тенгламага бўйсинади ва Z ўқи бўйича $v^2 = 1/\mu\epsilon$ тезлик билан тарқалади. Вакуумда бу тезлик ёруғлик тезлигига тенг, яъни $c^2 = 1/\mu_0\epsilon_0$. Бу тенгламаларнинг ечими қуйидагича бўлади:

$E_x = E_0 \sin(2\pi/\lambda)$, $H_y = H_0 \sin(2\pi/\lambda)$ (8.20) бу ерда E_0 ва H_0 - E ва H майдонларнинг амплитудаси.

Тўлқиннинг тарқалиш йўналиши ҳамма вақт $\vec{E}^* \vec{H}$ векторининг йўналиши билан мос келади. Бу ҳолда $\vec{E}^* \vec{H}$ вектори $E_x H_y$ катталиқка эга бўлади ва Z ўқи бўйича йўналган. $\vec{E}^* \vec{H}$ вектор кўпайтмага Пойтинг вектори дейилади ва у энергия оқимини зичлигини ифодалайди.

Электростатик ва магнитостатик майдон энергия зичликлари $\epsilon_0 \epsilon E^2/2$ ва $\mu_0 \mu H^2/2$ га тенг эди. Электромагнит майдонида электр ва магнит майдонларининг энергия зичликлари ҳам ҳар бир нуқтада ўзгаради ва у қуйидагига тенг:

$$W = W_\epsilon + W_\mu = \frac{\epsilon_0 \epsilon E^2}{2} + \frac{\mu_0 \mu H^2}{2} \quad (8.21)$$

Энергия зичлигини эквивалент формада қуйидагича ёзиш мумкин:

$$W = \frac{\epsilon_0 \epsilon E^2}{2} + \frac{\mu_0 \mu H^2}{2} = \epsilon_0 \epsilon E^2 = \mu_0 \mu H^2 = \sqrt{\epsilon_0 \mu_0 \epsilon \mu} E H \quad (8.22)$$



Электромагнит тўлқин тарқалишида электр ва магнит майдонлари фазода тарқалади, шу билан бирга энергия ҳам тарқалади. Энергиянинг тарқалишини характерлаш учун энергия оқим зичлиги вектори деган катталиқ киритилади, у Умов-Пойтинг вектори дейилади:

$$S = [EH] \quad (8.23)$$

S вектор электромагнит тўлқинни тарқалиш йўналиши белгилайди.

НАЗОРАТ САВОЛЛАРИ

1. Товуш ЭМ тўлқинми? Агар йўқ бўлса, у қандай тўлқин?
2. Идеал вакуумда ЭМ тўлқинлар бемалол ҳаракатлана олишадими? Товуш тўлқинларичи?
3. Лампа ёқилганда, ёруғлик дарҳол тарқаладими? Тушунтиринг.
4. Инсон кўзи илғай оладиган тўлқин узунлигидан радио ва телевизор сигналлари тўлқин узунлиги қисқами ёки узун?
5. Мобил телефонлар ЭМ тўлқинлари орқали ишлашини тушунтиринг.

АДАБИЁТЛАР

1. Douglas C. Giancoli, Physics: Principles with Applications, Prentice Hall; 6 th edition January 17, 2014, USA
2. Султанов Н.А. “Физика курси” Т. “Фан ва технология” 2007 йил
3. Детлаф А.А., Яворский Б.М., Курс физики. Учебник -М.: “Академия”, 2007
4. Трофимова Т.И. Курс физики. Учебник. -М.: «Академия», 2007
5. google.com