

## MAKROSKOPIK ELEKTRODINAMIKANING ASOSIY TENGLAMALARI

*Ergashev Sardor Ikrom o'g'li*

*DTPI talabasi*

*Jomurodov Behruz Abrorovech*

*DTPI talabasi*

**Annotatsiya.** Ushbu ishda makroskopik elektrodinamikaning asosiy tenglamalari tadqiq qilindi va ushbu tenglamalarning ba'zi tadbiqlari ko'rib chiqildi.

**Kalit so'zlar.** Maksvell tenglamalari, Zeeman effekti, Lorents almashtirishlari dielektrik, ferromagnit, o'tkazgich.

**Abstract.** In this work, the basic equations of macroscopic electrodynamics were studied and some applications of these equations were considered.

**Key words.** Maxwell's equations, Zeeman effect, Lorentz substitutions dielectric, ferromagnet, conductor.

**Абстрактный.** В данной работе исследованы основные уравнения макроскопической электродинамики и рассмотрены некоторые приложения этих уравнений.

**Ключевые слова.** Уравнения Максвелла, эффект Зеемана, замены Лоренца диэлектрик, ферромагнетик, проводник.

Mikroskopik elektrodinamikada bo'shliqdagi elektromagnit jarayonlarini o'rganiladi. Endi shu masalani muhit uchun o'rganishni boshlaymiz. Elektrodinamikaning bunday jarayonlarni o'rganadigan qismi makroskopik elektrodinamika deyiladi. Muhitda - dielektrlarda, o'tkazgichlarda, ferromagnetiklarda va boshqa ko'pgina boshqa xossaga ega bo'lgan muhitlarda kechadigan elektromagnit jarayonlar birbiridan jiddiy farq qilib, ularning xossalriga bog'liq bo'ladi[2].

Biz bilamizki, makroskopik jihatdan, ya'ni inson miqyosida (masalan, mikrondan yuqoriga bo'lgan uzunliklar), materiallardagi elektr va magnit maydonlar uchun Maksvell

tenglamalari yaxshi ishlaydi. Ular (avval muhokama qilingan qutblanish va magnitlanish shartlarini o'z ichiga olgan holda)[1]:

$$\vec{\nabla} \times \vec{B} = 0, \vec{B} = m\vec{H} = m_0(\vec{H} + \vec{M}), \vec{\nabla} \times \vec{H} + \frac{d\vec{B}}{dt} = 0, \vec{\nabla} \times \vec{H} = \frac{r}{e_0}, \vec{\nabla} \times \vec{D} = rf,$$

$$\vec{D} = \vec{eH} = e_0\vec{H} + \vec{P}, \vec{\nabla} \times \vec{B} = m_0\vec{j} + \frac{1}{c^2} \frac{d\vec{E}}{dt}, \vec{\nabla} \times \vec{H} = \vec{j}_f + \frac{d\vec{D}}{dt}.$$

Bu erda  $f$  molekulalarda bog'lanmagan erkin zaryad va oqimlarga ishora qiladi. Mikroskopik (atom) darajada har bir zaryad alohida hisobga olinadi (yadro nuqtaviy zaryad sifatida qabul qilinganidan tashqari), shuning uchun qutblanish va magnitlanish atamalari mavjud emas (ular ko'p zaryadlarning siljishi yoki yo'nalishi bo'yicha o'rtacha qiymatlarni ifodalaydi). Biz bilamizki, bu atom darajasida tenglamalar aniq: ular kvant mexanikasi bilan birgalikda, masalan, vodorod atomining spektrini aniq tasvirlaydi. Maksvell tenglamalari vakuumda ham juda yaxshi ishlaydi: elektrostatik va magnit statik eksperimental natijalardan olingan ma'lumotlardan foydalanib, ular Maksvellning o'zi kashf etganidek, yorug'lik tezligini aniq taxmin qilishadi.

Jekson ushbu mikroskopik tenglamalarni hozir belgilangan maydonlar uchun yozadi  $\vec{b}, \vec{e}$ ,

$$\vec{\nabla} \times \vec{b} = 0, \vec{\nabla} \times \vec{e} + \frac{d\vec{b}}{dt} = 0, \vec{\nabla} \times \vec{e} = \frac{\vec{e}}{e_0}, \quad \vec{\nabla} \times \vec{b} = m_0\vec{j} + \frac{1}{c^2} \frac{d\vec{e}}{dt}.$$

Bu yerda  $\vec{e}, \vec{j}$  barcha zaryadlar va oqimlarni ifodalaydi, shuning uchun qutblanish va magnitlanishni keltirib chiqaradigan bog'langan zaryadlarni ham o'z ichiga oladi.

Birinchi ikkita tenglama ularning makroskopik ekvivalentlarini anglatishini darhol ko'rishimiz mumkin: ular zaryadlarni o'z ichiga olmaydi. Agar mikroskopik jihatdan monopollar bo'lmasa, siz makroskop shkalasida ham ularni topa olmaysiz. Ammo bu hammasi emas, hatto bu tenglamalar uchun ham: makroskopik maydonlar  $\vec{E}, \vec{B}$  biz makroskopik uskunamiz bilan o'lchaymiz millionlab atomlarni o'z ichiga olgan hajmlar bo'yicha silliq o'zgaradi, holbuki atom fizikasidan bilamizki  $\vec{e}, \vec{b}$  alohida atomlar va molekulalar ichida juda xilma-xildir. Shuning uchun, mikroskopik tenglamalardan makroskopik tenglamaga o'tish uchun biz o'rtacha hisoblashimiz kerak. Makroskopik Maksvell tenglamalari yorug'likning sinishi tahlilida yaxshi ishlashini bilamiz, lekin

rentgen nurlarini emas: rentgen nurlari mikroskopik tuzilmani aniqlaydi, yorug'lik emas. Shunday qilib, biz o'rtacha bo'lishimiz kerak  $\vec{e}$  olish uchun kamida bir million atomni o'z ichiga olgan hajmlardan ortiq  $\vec{E}$ .

Eng oddiy yondashuv - sharsimon shakl bo'yicha o'rtacha qiymatni topish, lekin sharning markazini biroz siljitishda keskin o'zgarishlarga yo'l qo'ymaslik uchun qirralarning bir necha atomlar masofasida xiralashgan bo'lishi kerak. Bu o'rtacha differensiallash bilan o'tishini tekshirish oson, shuning uchun birinchi ikkita mikroskopik tenglamani o'rtacha hisoblaganda biz mos keladigan makroskopik tenglamalarni olamiz.

Ikkinchi ikkita tenglama, bu o'rtacha ( $\langle \rangle$  bilan belgilanadi) bo'ladi

$$e_0 \vec{\nabla} \times \vec{E} = \langle \vec{e}(\vec{r}, t) \rangle, \quad \frac{1}{m_0} \vec{\nabla} \times e_0 \frac{d\vec{E}}{dt} + \langle \vec{j}(\vec{r}, t) \rangle.$$

Qattiq jismlarning makroskopik elektrodinamikasini molekulyar model nuqtai nazaridan tushunishga birinchi haqiqiy urinish kvant mexanikasidan oldin Lorents tomonidan bo'lgan edi. U atomni ancha massiv yadroga chiziqli prujina, ya'ni oddiy garmonik osilator orqali bog'langan elektron sifatida modellashtirgan. Bu elektr maydoniga (statik) chiziqli dielektrik javobni, molekula (u shunday deb atagan) dipolga aylanishini hisobga oldi. Shuningdek, u Zeeman effektini tushuntirgani uchun 1902 yil shogirdi Zeeman bilan Nobel mukofotini oladi: magnit maydon qo'llanilganda spektral chiziqlarning (osilator chastotalarini anglatadi) uchga bo'linishi. Ularning oddiy osilator modelida elektron magnit maydonga perpendikulyar aylana orbita bo'ylab yurgan yoki maydonga parallel bo'lgan to'g'ri chiziqda tebrangan (bu holda maydon harakatga ta'sir etmagan). (Qo'shimcha qilish kerakki, nisbatan qisqa vaqt o'tgach, uchta qatordan boshqasiga bo'linish misollari topildi. - *anomol Zeeman effekti* - va kvant mexanikasi bu yangi natijalarni tushuntirish uchun zarur edi.) Lorents o'z modelining elektromagnit to'lqinlar bilan o'zaro ta'sirini muhokama qilishni davom ettirdi va uning "molekulasi" qattiq jismni yaratishda asosiy birlik deb ataganida, kuzatilgan dispersiyani tushuntirish uchun turli chastotali osilatorlarni o'z ichiga olishi kerakligini tushundi. Keyinchalik muhim o'zgarishlar faqat kvant mexanikasi bilan sodir bo'ldi[3].

Deyarli bir vaqtning o'zida Drude uzoq vaqtdan beri ma'lum bo'lgan Om qonunini qo'llaniladigan elektr maydoni tomonidan boshqariladigan erkin elektronlarning pinbol

tipidagi modeli bilan tushuntirdi, elektronlar pog'onadan pastga tushayotganda atomlardan sakrab chiqadi. Asosiy natija ( $j = sE$ ) albatta, bu to'g'ri (bu uzoq vaqtdan beri ma'lum edi), lekin ma'lum vaqtdan keyin kvant mexanikasi qarashlarini butunlay o'zgartirdi: yaxshi o'tkazuvchanlikka ega o'tkazgichdagi elektronlar aslida juda kengaygan to'lqin funktsiyasi holatlarida, ularning o'rtacha erkin yugurish yo'li odatda yuzlab atom masofalarini tashkil qiladi va ular faqat panjaradagi nomukammallik yoki tebranishlar bilan og'ishgan. Tarqalish kvantni istisno qilish printsipi bilan qattiq cheklangan - tarqalish uchun mavjud bo'lgan davlatlar juda cheklangan.

Metallarda elektronlarning harakatini tushunishda katta muvaffaqiyat elektron spinining kashf etilishi bilan sodir bo'ldi: burchak momentumini kvantlash bilan birga u anomal Zeeman effektini tushuntirdi. Bundan tashqari, elektron spin elementar kvant tarmoqli nazariyasi bilan birgalikda odatda qaysi atom panjaralari o'tkazgich, qaysi izolyator va hatto qaysi yarim o'tkazgich bo'lishini aniq ko'rsatdi.

Xulosa qilib aytganda, makroskopik elektrodinamikada biz muhitdagi ya'ni katta o'lchamdagi jarayonlardagi elektr va magnit hodisalarni o'rganadi va bu jarayonlarni o'rganishda Maksvell tenglamalaridan foydalanamiz.

### **Foydalanilgan adabiyotlar**

1. <https://tigp.iams.sinica.edu.tw/old/ced06.pdf>
2. Маллин Р.Х. Классик электродинамика. II 1кисм. Классик макроэлектродинамика - Т.: У^итувчи, 1978.
3. Киселев В.В. Классическая электродинамика. Семинары по курсу "Теория поля". Протвино, 2004.