

Магнитно поле на движещ се заряд. Действие на магнитно поле върху движещ се електричен заряд. Сила на Лоренц

Магнитно поле на движещ се заряд

В 1 въпрос, където дефинирахме магнитно поле, казахме, че магнитното поле се създава от движещи се заряди. Експерименталният закон на Био – Савар – Лаплас (3 въпрос) определя магнитната индукция на полето около проводник, по който тече електричен ток т.е. това е полето, което се създава от всички движещи се заряди в проводника. Като използваме този закон, можем да определим и магнитната индукция на полето, което създава един движещ се заряд. Ако токовият елемент \vec{dl} от проводника създава поле с индукция \vec{dB} в някаква точка от пространството, всеки отделен заряд q , който се намира в този елемент \vec{dl} трябва да създава поле, с индукция (следствие от принципа на суперпозицията, 4 въпрос, Физика 1):

$$\vec{B}_q = \frac{d\vec{B}}{dN},$$

където dN е броят на токовите носители (движещите се заряди), които се съдържат в елемента \vec{dl} . Нека да преобразуваме закона на Био – Савар – Лаплас така, че да изразим магнитната индукция на елемента \vec{dl} чрез зарядите, а не чрез големината на тока. Тъй като големината на тока I е скалярна положителна величина, можем да я внесем във векторното произведение:

$$(1) \vec{dB} = \frac{\mu_0 \mu}{4\pi} \frac{I \vec{dl} \times \vec{r}}{r^3} = \frac{\mu_0 \mu}{4\pi} \frac{(I \vec{dl}) \times \vec{r}}{r^3}.$$

Нека да разгледаме произведението $I \vec{dl}$. Когато извеждахме закона на Ом (29 и 30 въпроси, Физика 1), получихме за големината на тока $I = nqvS$, където n е концентрацията на токовите носители, q и v – съответно големината на заряда и средната скорост на насочено движение на носителите, а S е сечението на проводника. Оттук получаваме:

$$(2) I \vec{dl} = nqvS \vec{dl} = nqS \vec{v} dl = qndV \vec{v} = q \vec{v} dN,$$

тъй като обемът на елемента \vec{dl} е $dV = S dl$, а концентрацията на токовите носители – $n = dN/dV$. Като заместим (2) в (1) за магнитната индукция, създадена от елемента \vec{dl} ще получим:

$$\vec{dB} = \frac{\mu_0 \mu}{4\pi} \frac{(q \vec{v} dN) \times \vec{r}}{r^3} = dN \frac{\mu_0 \mu}{4\pi} \frac{q \vec{v} \times \vec{r}}{r^3},$$

а за индукцията на заряда q :

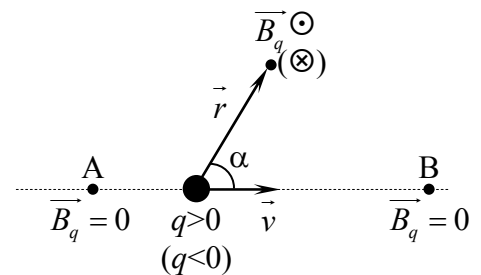
$$(3) \vec{B}_q = \frac{d\vec{B}}{dN} = \frac{\mu_0 \mu}{4\pi} \frac{q \vec{v} \times \vec{r}}{r^3}.$$

Големината на магнитната индукция на заряда q в дадената точка ще бъде:

$$(4) B_q = \frac{\mu_0 \mu}{4\pi} \frac{qv \sin \alpha}{r^2},$$

където α (фиг. 1) е ъгълът между посоката на скоростта \vec{v} на заряда и посоката към точката, в която определяме индукцията (посоката на вектора \vec{r}). Формули (3) и (4), които получихме на базата на разсъждения от закона на Био – Савар – Лаплас, са потвърдени и експериментално.

От получените формули (3) и (4) можем да направим няколко извода: магнитната индукция на полето на заряд q зависи от големината и посоката на скоростта на заряда (ако $\vec{v} = 0 \Rightarrow \vec{B}_q = 0$ т.е. неподвижен заряд не създава магнитно поле); големината на индукцията B_q зависи от направлението към точката, в която я определяме – ако $\vec{v} \uparrow \uparrow \vec{r}$ или $\vec{v} \uparrow \downarrow \vec{r}$ ($\alpha = 0$ или $\alpha = \pi$, $\sin \alpha = 0$), т.е. зарядът не създава магнитно поле по направлението на движението си, $B_q = 0$ (т. А и т. В на фиг. 1); посоката на вектора \vec{B}_q зависи и от знака на заряда – ако $q > 0$ посоката на \vec{B}_q е в посоката на векторното произведение $\vec{v} \times \vec{r}$ (на фиг. 1 е към нас), а ако $q < 0$ – в посока обратна на това векторно произведение (на фиг. 1 – към чертежа); големината на индукцията в дадена точка не е постоянна, а се изменя с времето, тъй като се променя разстоянието r и ъгъла α – индукцията B_q е максимална в тези точки, за които $\alpha = \pi/2$ (в този случай разстоянието r има минимална стойност).



фиг. 1

Действие на магнитно поле върху движещ се електричен заряд. Сила на Лоренц

Видяхме, че около всеки движещ се заряд се създава магнитно поле. Ако зарядът се движи във външно магнитно поле с индукция \vec{B} , собственото поле, което той създава при своето движение и външното магнитно поле ще си взаимодействат по някакъв начин. Това означава, че на движещия се заряд ще действа някаква сила. Можем да определим тази сила по начина, по който определихме магнитната индукция на заряда, но ще използваме закона на Ампер (4 въпрос) вместо закона на Био – Савар – Лаплас. На проводник, по който тече електричен ток, поставен в магнитно поле, му действа сила на Ампер. Тази сила може да се представи като суперпозиция на силите, с които магнитното поле действа на всеки отделен заряд от проводника. Ако на елемент $d\vec{l}$ от проводника действа сила на Ампер:

$$d\vec{F} = I d\vec{l} \times \vec{B} = (I d\vec{l}) \times \vec{B},$$

ние също можем да представим тази сила чрез заряда q , а не чрез тока I , като използваме (2):

$$(5) \quad d\vec{F} = (I d\vec{l}) \times \vec{B} = (dNq\vec{v}) \times \vec{B} = dNq\vec{v} \times \vec{B}.$$

Силата, която действа на отделен заряд q ще получим, като разделим (5) на броя dN на зарядите в елемента $d\vec{l}$:

$$(6) \quad \vec{F}_L = \frac{d\vec{F}}{dN} = q\vec{v} \times \vec{B}.$$

Силата \vec{F}_L (6) е определена експериментално от холандския физик Х. Лоренц и затова носи неговото име – сила на Лоренц. Виждаме, че тя зависи от големината и знака на заряда и взаимната ориентация на скоростта \vec{v} на заряда и магнитната индукция \vec{B} на външното поле. Големината на силата на Лоренц се дава с формулата:

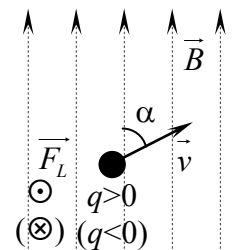
$$(7) \quad F_L = qvB \sin \alpha,$$

където α е ъгълът между посоките на векторите \vec{v} и \vec{B} (фиг. 2). От (7) се вижда, че силата е максимална когато зарядът навлиза в полето перпендикулярно на магнитната индукция ($\vec{v} \perp \vec{B}$, $\sin \alpha = 1$, $F_L = qvB$).

От получените формули (6) и (7) можем да направим следните изводи за силата на Лоренц: тя действа само на движещи се заряди (ако $\vec{v} = 0 \Rightarrow \vec{F}_L = 0$); винаги е насочена перпендикулярно на скоростта, а тъй като преместването е винаги по посока на скоростта, тя е перпендикулярна и на преместването – следователно силата на Лоренц не извършва работа върху заряда ($\vec{F}_L \perp d\vec{r}$, $\cos \beta = 0$, 7 въпрос, Физика 1) и не променя енергията му т.е. тя може да променя скоростта само по посока, но не и по големина (играе ролята на центростремителна сила); посоката ѝ зависи и от знака на заряда – ако $q > 0$ посоката на \vec{F}_L е в посоката на векторното произведение $\vec{v} \times \vec{B}$ (на фиг. 2 е към нас), а ако $q < 0$ – в посока обратна на това векторно произведение (на фиг. 2 – към чертежа).

Ако зарядът q се движи едновременно в електрично поле с интензитет \vec{E} и в магнитно поле с индукция \vec{B} , силата, която му действа, е суперпозиция от електричната и магнитната (Лоренцовата) сили:

$$\vec{F} = q\vec{E} + q\vec{v} \times \vec{B}.$$



фиг. 2