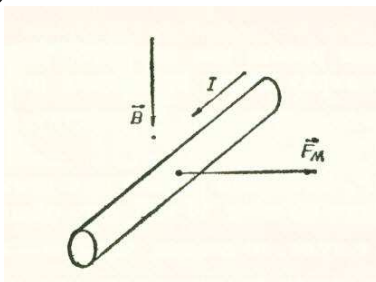


Въпросът за работа на магнитните сили¹

Един от уроците в новия учебник по физика за 9. клас² е озаглавен “Точкови заряди в магнитно поле”. Освен традиционния извод на формулата за големината на магнитната сила, действаща върху точков заряд, и въпроса за сила на Лоренц, в него е включена и подточка “Работа на магнитните сили”. Необходимостта от разглеждане на последния въпрос се налага от факта, че в практиката срещаме преди всичко случаи, когато работа извършват именно магнитните сили (например в електромоторите), а не електричните сили.

Начинът на разработката в учебника подсказва, че като отправна точка и като мотивировка за разглеждането може да се използва необходимостта от разкриване на **привидното противоречие** между две твърдения: **първо**, че в електромоторите работа вършат магнитните сили и, **второ**, че магнитните сили не извършват работа, защото са перпендикулярни на посоката на движение.

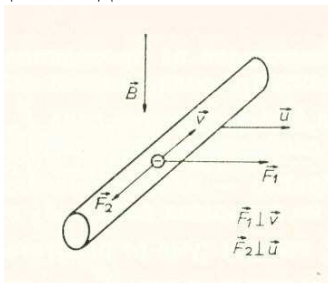
Един естествен подход към проблема е да се използва нещо, което вече е добре известно на учениците – например факта, че в магнитно поле върху прав проводник, по който тече ток I , действа магнитна сила \vec{F}_M . За простота обикновено се разглежда хомогенно поле, което е перпендикулярно на проводника (фиг. 1). Силата \vec{F}_M е сума от магнитните сили \vec{F}_1 , които действат на всеки свободен електрон, движещ се в проводника. И доколкото техните дрейфови скорости са перпендикулярни на силите \vec{F}_1 , то е естествено, че както отделните сили \vec{F}_1 , така и тяхната сума \vec{F}_M не извършва работа (проводникът е неподвижен!).



Фиг. 1.

След това може да се постави въпросът: какво би станало, ако проводникът не е закрепен здраво и има възможност да се движи под действие на приложената сила? Очевидно е, че той ще започне да се движи в посока на \vec{F}_1 , при което самата сила ще извърши определена положителна работа A_1 .

Какво става обаче в процеса на движението? Ако означим с \vec{u} скоростта на

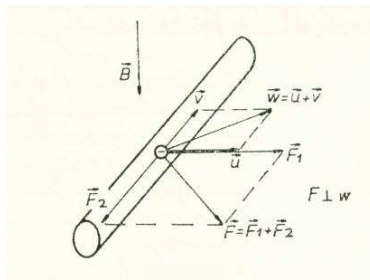


¹ Въпросът за работа на магнитните сили в новия учебник по физика за 9. клас, Физика, 1981, 6, с. 30–32.

² Попов Хр. и др. Физика, учебник за 9. клас на единните средни политехнически училища, ДИ “Народна просвета”, С., 1981.

Фиг. 1.

движение на проводника, по изученото преди това правило на изпънатите пръсти на дясната ръка може да проверим, че на всеки свободен електрон ще действа и една магнитна сила \vec{F}_2 , която е перпендикулярна и на \vec{u} , и на \vec{B} , като се стреми да намали тока по проводника, т.е. посоката ѝ е противоположна на дрейфовата скорост \vec{v} на електроните (фиг. 2). Тази нова магнитна сила, която е перпендикулярна на \vec{u} , не върши работа при преместването на проводника, но извършва определена работа A_2 при протичането на тока, т.е. при дрейфа на електроните. И поради противоположните посоки на \vec{F}_2 и на \vec{v} тази работа е отрицателна!



Фиг. 3.

Общата магнитна сила \vec{F} , действаща на един свободен електрон, е сума от \vec{F}_1 и \vec{F}_2 , и съгласно с общото правило е перпендикулярна на скоростта $\vec{w} = \vec{u} + \vec{v}$ на електрона (фиг. 3). Тази сила наистина не извършва работа при общото преместване в посока на \vec{w} . Разрешението на формулираното в началото “противоречие” се крие именно във факта, че и преместването, и силата се разлагат на суми от съответно две премествания и от две сили. Силата \vec{F}_1 не извършва работа при протичане на тока, но извършва положителна работа A_1 при преместване на проводника. Именно тази работа наричаме *работа на магнитната сила*, защото действащата на целия проводник по закона на Ампер магнитна сила \vec{F}_M е сума точно от всички сили \vec{F}_1 , действащи върху свободните електрони.

Обратно – както отбелязахме, силата \vec{F}_2 не върши работа при движението на проводника, но извършва работа A_2 при протичането на тока. И тъй като общата работа, която е сума от работите на \vec{F}_1 и \vec{F}_2 , е нула, то следва, че $A_2 = -A_1$.

Всъщност, силите \vec{F}_2 не са нищо друго, освен индуцираните при движението на проводника ЕДС, с които учениците ще се занимават по-късно, при обясняване на единия от двата случая на електромагнитна индукция. В разглеждания урок тези сили присъстват “анонимно”, без название. Фактът обаче, че те препятстват протичането на тока показва, че за да бъде токът постоянен, електродвижещите сили на включените във веригата източник (батерия, акумулатор и т.н.) трябва да извършват допълнителна работа, да преобразуват допълнителна енергия от източника (допълнителна към тази, която неизбежно се преобразува в джаулева топлина).

По такъв начин в края на разглеждания проблемът може да се разгледа от енергетична гледна точка, като се обърне внимание на следната верига от преобразования на енергията: началната енергия на източника (напр. химична енергия), посредством действащите в него ЕДС се изразходва за поддържане на тока във веригата (т.е. за противодействие на силите \vec{F}_2), а посредством магнитните сили се превръща в механична енергия на движещия се проводник (напр. на ротора на електромотора).

Разбира се, изложената последователност в изясняването на въпроса не е единствено възможната. Би могло например разглежданията на двете сили \vec{F}_1 и \vec{F}_2 да се направят съвсем отделно. В този случай, след изясняване на въпроса за работата на силата \vec{F}_1 може да се премине към случай, в който ток не тече, а проводникът се движи със скорост \vec{u} , поради което се появява силата \vec{F}_2 (т.е. – индуцираната ЕДС) и едва в края да се разгледа общият случай, когато скоростта е $\vec{w} = \vec{u} + \vec{v}$. Особеност на всички възможни варианти е това, че обяснението на разглеждания въпрос винаги трябва да се търси на микроскопично равнище, т.е. на основата на силите, които действат на отделните свободни електрони.

За по-голяма ясност в изложението използвахме вектори. Тъй като съществените за разглежданията вектори са два по два или перпендикулярни, или с общи направления, не представлява принципна трудност в обясненията да не се използват векторни означения – това само ще доведе до определено отежняване на изразните средства.