

Излъчването на ускорени заряди – качествено

Може би най-важното и най-известното следствие от теорията на Максвел за електромагнитното поле е съществуването на електромагнитните вълни – променливо електромагнитно поле в пространството извън зарядите и токовете. Тясно свързано с това следствие е твърдението, че заряд, който се движи с ускорение, излъчва електромагнитна вълна. Въпросът за обосноваване на това твърдение с относително прости разсъждения, без да се използват уравненията на Максвел, е разработван още преди повече от век. Най-голяма популярност е получил подходът, който води началото си към един от класиците на електродинамиката – към Дж. Дж. Томсън. В достъпната у нас методическа литература този подход е изложен най-подробно в [1] и [2]. Не липсват пъти той да бъде използван и в учебниците по физика. Пръв такъв опит у нас бе направен в [3]. С по-големи или по-малки подробности въпросът бе включван и в по-късни учебници (вж. напр. [3], [4], [5] и др.). Последен опит за, макар и най-бегло, обосноваване на факта, че ускорените заряди излъчват, бе направен в учебника [6]¹.

След практическия провал на профилираното обучение по физика и астрономия, не само въпросът за излъчване на ускорен заряд, но и много други по-прости и също толкова съществени за общата физична картина въпроси изпаднаха от обучението, като вниманието се съсредоточи върху проблемите в общозадължителната подготовка. И, въпреки че поне в близките години е малко вероятно тенденцията да се обърне, ние отново се връщаме към проблема за излъчване на ускорено движещ се заряд, защото се появи вариант на подхода на Томсън (вж. [7]), който се отличава със своята нагледност и простота. А със сигурност може да се каже, че колкото и да се олекотява учебното съдържание в общозадължителния минимум, винаги ще съществува необходимост да се задоволят интересите на онази малка част от учениците, които имат специална нагласа към изучаване на природните науки. А въпросът за излъчване на ускорено движещ се заряд несъмнено принадлежи към тези, които предизвикват интерес.

Известно е, че електричното поле на неподвижен точков заряд, както и на заряд, който се движи равномерно със скорост v , много по-малка от скоростта c на светлината във вакуум, има две характерни особености:

- полето е *надлъжно*, т.е. посоката на интензитета му E е радиална, в направлението, свързващо заряда с точката на наблюдение;
- големината на интензитета е обратно пропорционална на квадрата на разстоянието r от заряда до точката на наблюдение, т. е. $E \sim 1/r^2$.

Погледнат откъм физичната му страна, проблемът за излъчването на ускорените заряди се състои в това, да се покаже, че когато зарядът се движи с ускорение:

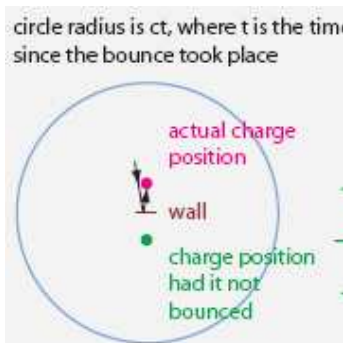
- интензитетът на полето му вече има и напречна, или още тангенциална компонента – съставяща, която е перпендикулярна на направлението от заряда към точката на наблюдение;
- големината на тангенциалната компонента намалява с увеличаване на разстоянието по-бавно от големината на радиалната – само като $1/r$, т.е. $E_t \sim 1/r$.

В традиционните изложения на подхода на Томсън се разглежда или полето на равномерно движещ се заряд, който в определен момент започва да се движи ускорено, или полето на неподвижен заряд, който започва да се движи с ускорение. Преимуществото на развития в [7] подход е в това, че в него не се разглежда абстрактната ситуация на ускорено движение, в която не е ясно кой ускорява заряда, каква е ролята му като източник или приемник на енергия. Вместо това се разглежда конкретната ситуация,

¹ Подробно изложение на въпроса може да се намери и в II част на настоящия Алманах – както в оригиналната статия от папката “1 ED statii”, файл “1991a sledstviya ot Maksuel”, така и във файла “05 ED – fizichna teoriya” от папката “2 disertaciya”.

при която точков заряд q се движи равномерно със скорост v , удря се в перпендикулярна на траекторията му стена и, след еластичен удар, отскача обратно със същата скорост v .

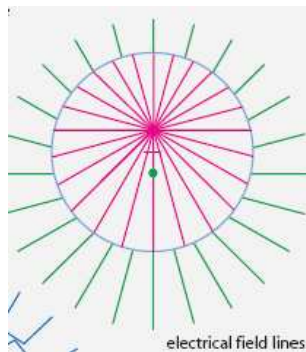
На качествено равнище пораждането на напречна компонента на полето може да се проследи в трите последователни фигури 1,а, 1,б и 1,в. На първата от тях, 1,а, е показан движещ се надолу заряд, който среща хоризонтална стена и отскача от нея нагоре. Изобразени са:



Фиг. 1,а.

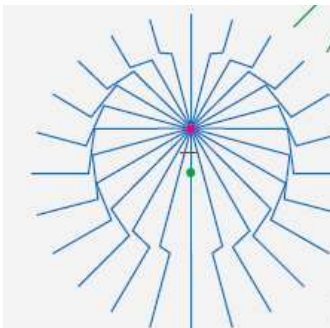
- положението 1 (червената точка) на заряда над стената, след като е изтекло време t от момента на удара;
- положението 2 (зелената точка), в което би се намирал зарядът в момента t , ако липсва стена и той продължи да се движи равномерно;
- окръжност с радиус ct и център – точката, в която зарядът е срещнал стената. (Всъщност тази окръжност е сечение на сфера с този радиус и равнината на чертежа.)

Тъй като промените на полето се разпространяват с **крайна** скорост c , в момента t картината на силовите линии извън окръжността би била такава, каквато ако зарядът продължаваше да се движи равномерно – радиална с център в т. 2. Вътре в окръжността обаче полето съответства на истинското моментно положение на заряда – посоката на силовите линии е също радиална, но с център в т. 1. Тази картина е изобразена на фиг. 1,б.



Фиг. 1,б.

Вижда се, че на самата окръжност двата вида силови линии “се разминават” – едните свършват в едни точки от окръжността, другите започват в други нейни точки. Тази ситуация е невъзможна: силови линии могат да започват и свършват само в точки, в които има заряди. А по окръжността заряди няма... Следователно ние трябва да “съшием” едните силови линии с другите, така че всяка от тях да бъде непрекъснатата крива. Картината, която се получава при това “съшиване” е показана на фиг. 1,в.

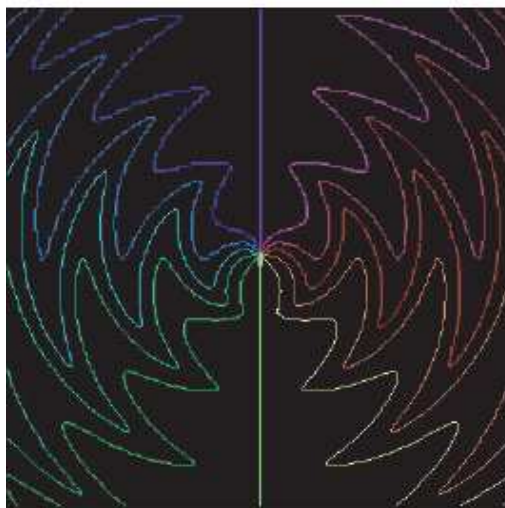


Фиг. 1,в.

С това по същество приключва качественото доказателство, че в полето на точков заряд, който е претърпял ускорение **съществува област**, в която интензитетът има и тангенциална компонента.

Качественият анализ на фиг. 1,в позволява да разкрием съществена особеност на излъчването – то не е *изотропно*. Наистина, в направление на ускорението съответните силови линии нямат чупки, което показва, че в тези две посоки няма излъчване. От същата фигура се вижда, че най-значителни са чупките в посоките, перпендикулярни на ускорението – следователно в тези посоки излъчването е максимално.

Ако зарядът изпитва не един, а множество удари – както ако се намира между две успоредни равнини, ще получим поредица от чупки на силовите линии, които чупки с времето се отдалечават от заряда. Ако ли пък зарядът изпитва не последователни удари в две равнини, а извършва хармонично движение, ще се получи картина на силовите линии като показаната на фиг. 2².



Фиг. 2.

За разкриване на втората особеност на новополученото поле – че интензитетът на напречната компонента е обратно пропорционален само на r , а не на r^2 , както и на синусовата зависимост на интензитета на напречното поле от посоката на ускорението, може да се проследят разглежданията в оригинала, или в някой от посочените източници в литературата. По този път не е трудно да се получи и формулата на Лармор за мощността на излъченото електромагнитно поле.

² Всъщност в оригинала на адрес www.motionmountain.net фиг. 2 е началната картина на една интересна анимация, която много нагледно показва генерирането на хармонични електромагнитни вълни.

Литература:

1. **Фабрикант В. А.** *О классической теории излучения*, Физика в школе, 1, 1974.
2. **Попов Хр.** *Следствия от уравненията на Максвел (2). Излъчване на ускорено движещо се точков заряд*, Физика, 1, 1991, с. 13–19.
3. **Борисов М.** и др. *Физика за 11. клас на общообразователните трудово-политехнически училища*, С., Народна просвета, 1974, с. 80.
4. **Попов Хр.** и др. *Физика за 10. клас на ЕСПУ*, С., Народна просвета, 1983.
5. **Попов Хр., Т. Сугарев, Др. Иванов** *Физика за 11. клас на СОУ. Електродинамика*, С., Просвета, 1992, с. 61.
6. **Попов Хр.** и др. *Физика и астрономия за 11. клас, профилирана подготовка*, С., Просвета, 2002 г., с. 278.
7. **Ch. Schiller** *Motion Mountain, the adventure of physics, light, charges and brains, vol. III*, Edition 24.15, available as free pdf at www.motionmountain.net.