

### Законът на Кулон и възрастта на Вселената

Със сигурност няма експериментален закон, валидността на който да е проверявана повече от закона на Кулон. Проверките са в две посоки: първо, да се установят границите на приложимостта му, т.е. за какви разстояния между зарядите е валиден, и, второ, да се установи точността, с която можем да твърдим, че степенният показател на разстоянието в знаменателя е 2. Тук ще разгледаме един въпрос, свързан само с втория аспект на въпросните проверки.

Когато става дума за точността, с която законът на Кулон установява зависимостта на електричната сила  $F$  от разстоянието  $r$  между зарядите, той обикновено се записва във вида:

$$(1) \quad F = k \frac{Q_1 Q_2}{r^{2+q}}$$

и се търси горната граница за поправката  $q$ .

Пръв експериментално установява обратнопропорционалната зависимост между електричната сила и квадрата от разстоянието англичанинът Джон Робисън още през 1769 г. Точността на неговите опити позволява да се твърди, че  $q \leq 6 \cdot 10^{-2}$ . Хронологично следващи са опитите на Хенри Кавендиш, който през 1773 г. повишава точността три пъти и сваля горната граница за  $q$  до  $2 \cdot 10^{-2}$ . Нито Робисън, обаче, нито Кавендиш съобщават резултатите си<sup>1</sup>, така че ролята на първооткривател се полага на Шарл Кулон, който за пръв път публикува зависимостта  $F \sim 1/r^2$  през 1785 г., т.е. 16 години след Робисън и 12 години след Кавендиш. Затова, въпреки че точността в неговите опити е по-малка от тази в опитите на Кавендиш (от опитите на Кулон следва само, че  $q \leq 4 \cdot 10^{-2}$ ) днес законът заслужено носи неговото име.

Мястото на закона на Кулон във фундамента на цялата физика определя непрекъснатите усилия – вече над 220 години от публикацията на Кулон – за намаляване на горната граница на поправката  $q$ . Така в едни от последните експерименти въпросната граница бе намалена с 15 порядъка в сравнение с началните опити<sup>2</sup> и доведена до  $q \leq 6 \cdot 10^{-17}$ .

Дотук всичко е повече или по-малко известно. Какво общо има обаче то с възрастта на Вселената? За изясняване на този въпрос ще припомним, че проверките на закона на Кулон са два вида – преки (като тези в опитите на Кавендиш и Кулон) и косвени. Косвените се опират на едно от важните следствия на квантовата електродинамика: фотонът, посредникът при електромагнитното взаимодействие, е безмасова частица, само ако поправката  $q$  в знаменателя на закона е точно нула, т.е., ако електричната сила е **точно** обратнопропорционална на квадрата от разстоянието между зарядите. По такъв начин въпросът за проверка на закона на Кулон се свежда до проверка на факта, че собствената маса на фотона е нула. Въпросните проверки са също два вида: чрез лабораторни експерименти, и чрез наблюдения върху земното магнитно поле, на дисперсията на светлината от звездите, на космическото реликтовото лъчение и др.п. Като се започне от първите оценки на Де Бройл от 1940 г. ( $m_\gamma \leq 0,8 \cdot 10^{-42}$  kg), горната граница за масата  $m_\gamma$  на фотона непрекъснато намалява, като една от най-ниските стойности, дадена за нея от Чибисов през 1976 г. въз основа на оценки, свързани със стабилността на галактиките, е  $m_\gamma \leq 3 \cdot 10^{-63}$  kg. (Ако точността в опитите на Кулон, съдържаща се в оценката  $q \leq 4 \cdot 10^{-2}$ , се изрази като горна граница на фотонната маса, тя съответства на  $m_\gamma \leq 10^{-42}$  kg.)

Въпросът е:

<sup>1</sup> Резултатите от опитите на Кавендиш стават известни едва след като Максвел проучва и публикува неговото научно наследство – повече от сто години след като са получени въпросните резултати.

<sup>2</sup> Crandall R.E. *et al.* 1983 *Am.J.Phys.* 51, 698–702.

**има ли физични съображения, които поставят граница на точността, с която експериментално може да се провери законът на Кулон?**

Ясно е, че поради експерименталния характер на закона, ние никога няма да сме сигурни, че  $m_\gamma = 0$  (или, еквивалентното  $q = 0$ ), тъй като всеки експеримент се съпътства с грешки. Докога обаче можем да увеличаваме точността? Има ли този процес някаква принципна, а не техническа граница? Оказва се, че има и тя е свързана със съотношенията на Хайзенберг за неопределеност.

Както е известно, според едно от тези съотношения неопределеностите на енергията  $\Delta E$  и на интервала време  $\Delta t$  удовлетворяват неравенството  $\Delta E \Delta t \geq \hbar$ . Понеже енергията на частица с маса  $m_\gamma$  е  $m_\gamma c^2$ , неопределеността на масата не може да е по-малка от

$$(2) \quad \Delta m_\gamma \geq \frac{\hbar}{(\Delta t)c^2}.$$

Най-малката неопределеност на масата ще получим, като за  $\Delta t$  използваме възможния най-голям интервал време – възрастта на Вселената. Ако за  $\Delta t$  приемем  $10^{10}$  години, т.е.  $10^{10} \cdot (365 \text{ дни}) \cdot (24 \text{ часа}) \cdot (3600 \text{ секунди})$ , и използваме известните стойности за константата на Планк  $\hbar$  и за скоростта на светлината  $c$  във вакуум, получаваме, че  $\Delta m_\gamma \geq 10^{-69} \text{ kg}$ .

И така, щом днес експериментално установената горна граница за масата на фотона е  $10^{-63} \text{ kg}$ , ако физиците успеят да подобрят тази точност с още шест порядъка, те могат да изоставят всякакво по-нататъшни опити за проверка на закона на Кулон – съотношението на неопределеност не позволява (днес!) да се слезе под границата от  $10^{-69} \text{ kg}$ .! Е, положението не е толкова трагично – след някой и друг милиард години знаменателят в дясната страна на неравенство (2) ще се увеличи достатъчно и отново ще има смисъл да се проверява законът на Кулон...!