

看到了自由夸克吗

1981年4月以 M. Fairbank 为领导的美国斯坦福大学的实验小组宣布,发现了分数电荷 $\pm 1/3e$ 的物质块。分数电荷的发现究竟在物理上有什么意义。我们周围的自然界只从物质的电荷来讲,也可以说是由电子和质子组成的。因电子和质子具有等值异号的电荷,所以在自然界中存在的物质有三种情况,一是电中性的(即在该物质中质子总数等于电子总数),或者是带负电(电子总数多于质子总数),或者是带正电(质子总数多于电子总数),三者必居其一。因此,在自然界里存在的带电物质所具有的电荷必须是 e 的整数倍。那么 Fairbank 等发现的分数电荷的来源是什么。前面已讲过只要认为物质通常是由电子和质子组成的,那就不会有分数电荷,所以若被测样品具有分数电荷的话,就可认为物质块中就不只是电子和质子,必然会导致这样的结论,即含有异常的荷电粒子。到目前为止,我们所知道的粒子当中,假定具有分数电荷的唯一粒子是夸克。所谓夸克是指组成一般叫做基本粒子的质子或介子的粒子。遵照夸克理论,则质子是由两个具有 $+2/3e$ 的电荷的夸克和一个具有 $-1/3e$ 的电荷的夸克组成。中子则由一个具有 $+2/3e$ 的电荷的夸克和两个具有 $-1/3e$ 的电荷的夸克组成。因此,如果 Fairbank 等的实验是可靠的话,那么他们就成功地发现了夸克,这将成为本世纪最重大的发现之一的伟大业绩。但是,我们要说明的一点是:带分数电荷也可能是不带色的特殊轻子。

Fairbank 等的实验概要如下:当超导体处于超导状态时,则磁场不能进入该物质当中(迈斯纳效应)。因此把处于这种状态的物质块放到磁场中时,磁力线如同流体一般会绕过物质而通过,因此物质块要受到来自磁场的力。若该力等于作用于物质的重力时,则物质块浮游于空间里。把这种物质块置于电极之间,缓慢地加上交流电时,则物质块受到和它本身电荷成正比的力,于是以与电荷成正比的振幅进行振动。所以通过测定振幅知道物质块所带电荷的值。这在原理上和 Millikan 测定 e 的绝对值的油滴实验是一样的。

Fairbank 等用的样品是铌球,重量为 $\leq 9 \times 10^{-5}$ 克。把这个处于超导状态的球放到电极之间时,最初它的电荷可能是 e 的几千几万倍。为了寻找分数电荷,做实验时就希望使样品的电荷尽可能接近中性状态。于是使样品接受电子或正电子,以中和样品所带有的电荷。如果完全中和的话,即使把交流电加在电极上,样品也会静止并不振动。这时,在该样品里不含有分数电荷。如果含有分数电荷的话,那就不管加上多少具有整数电荷的电子或正电子该样品都不会成为电中性的。所以, Fairbank 等的实验是要确定物质到

底是否能成为电中性的实验,具体讲,也可以说是,在不能发现分数电荷的情形下电子的电荷和质子的电荷的绝对值是否相等的一个实验。

Fairbank 等就 13 个铌球共进行了 40 次的电荷测定。于是观测到 $-1/3e$ 的电荷 5 次, $+1/3e$ 的电荷 9 次。其中还有 26 次没有观测到分数电荷。总之,即使对同一个铌球重复进行几次测量时,或者出现分数电荷或者不出现。这也许是由于夸克的移动,本来未带分数电荷的铌球,由于其形状或电极内电场的不均匀等原因,似乎呈现出具有分数电荷的样子。因电荷测定的误差控制在 $1/10e$ 以下,所以看了 Fairbank 等的论文给人的印象是,分数电荷的存在没有怀疑的余地。然而,到目前为止除了 Fairbank 等的实验以外,尽管有为数很多的研究人员作了许多努力,仍未发现具有分数电荷的物质块。

通过测定物质块的电荷,企图从中找到分数电荷从而发现夸克,除了这种尝试以外,今天尚有许多寻找夸克的实验。其中着力进行的实验是,利用高能粒子加速器使加速到巨大能量的质子与靶核中的质子相碰撞,并把它打碎从而取出组成它的粒子夸克的实验。但到目前为止还没有发现夸克。另外,在射向地球的宇宙射线粒子中寻找夸克的实验也和夸克假说创立的同时就开始了。在宇宙射线中含有的夸克是由高能宇宙射线在大气中产生的,或者是在宇宙中形成后飞向地球的,二者必居其一。在这种从宇宙射线中寻找夸克的实验里也没有发现夸克。如果在宇宙射线中不含有夸克的话,那么, Fairbank 等发现的夸克究竟是从那里来的。如果 Fairbank 等的实验是对的,而且假定夸克并没有只是对铌有偏爱的必然性时,那么地球上物质的夸克含量必须认为是相当高的。比如一杯水实际上就会含有 10^6 个夸克。Y. B. Zel'dovich 指出,如此大量的夸克的来源,也许要追溯到宇宙初始时的大爆炸。

如果 Fairbank 等的实验有什么错误的话,那么自由夸克在世界上不存在的几率会变大。因为其它实验都否定了自由夸克的存在。果真如此,是不是说所谓夸克只不过是存在于物理学者头脑当中想象的,逻辑的产物?当然不能这样讲。因为从实验上已经知道在质子当中确实存在夸克。如麻省理工学院和斯坦福大学的研究人员所进行的,由质子产生的电子射线散射的实验就是如此。他们使高能电子进入质子中时,发现进入质子中的电子为点状的夸克所散射又向外飞出现象。在这以后不仅是电子,在利用中微子和质子的散射的实验里,也肯定了在质子中存在夸克。今天虽已肯定了夸克是组成质子的粒子,可是不能不思考它为何不飞出质子。于是“夸克囚禁理论”就应运而生。然而不管这种理论完善到什么程度,它都会发现在自由夸克的面前土崩瓦解。(曹富田 编译)