

# 孤立磁极存在吗?

刘家谟 张世杰

(云南大学物理系)

孤立的正、负电荷是存在的,那么孤立的南、北磁荷是否也可能存在呢?通常电磁场方程组在形式上的不对称是否表明人们对电磁现象实质的认识还有某些片面性呢?

## 一、单磁子存在假设

1931年,狄拉克(Dirac)首先指出<sup>[1]</sup>:量子力学并不排斥单磁极[以下简称单磁子(monopole)]的存在,而且单磁极的磁荷 $g$ 与电子电荷 $e$ 之间有下面的关系:

$$eg = \frac{1}{2} n\hbar c \quad (n = \text{整数}). \quad (1)$$

[后来施温格(Schwinger)再次探讨了这个问题<sup>[2]</sup>,他认为这个关系应是:  $eg = n\hbar c$ ]. 若将  $n = 1$  时的  $g$  记作  $\mu_0$ , 便有

$$e\mu_0 = \frac{1}{2} \hbar c. \quad (2)$$

这就是基本电荷 $e$ 与基本单磁子磁荷 $\mu_0$ 之间的关系.

由此式可以估计,  $\mu_0 = \frac{1}{2} \frac{\hbar c}{e} \approx 3.3 \times 10^{-1}$  电磁单位.

从(2)式看来,如果孤立电荷与孤立磁荷都存在的话,那么两者必都有一个最小值,这样便可以解释电荷为什么是量子化的,而且电磁对称性问题也可以得到部分解决.

电子和质子之间的库仑引力  $F_e \propto e^2$ , 南、北基元单磁子之间的库仑引力  $F_m \propto \mu_0^2$ , 于是  $F_m/F_e = (\mu_0/e)^2 = (\hbar c/2e^2)^2 = (137/2)^2 \approx 4693$  (精细结构常数  $\alpha = e^2/\hbar c \approx 1/137$ ). 我们已能将正负基元电荷孤立开来,但异性基元磁荷之间这样强大的引力可能是至今未能将南、北基元磁荷孤立开来的原因.

## 二、单磁子的寻找

单磁子存在的假设是否合乎实际,这还有待实验检验.为了寻找单磁子曾进行过很多实验<sup>[3]</sup>.这些实验大体可以分为两类:一类是从初级宇宙辐射中寻找单磁子,另一类是想从实验室条件下产生单磁子.

### 1. 从初级宇宙辐射中寻找

第一类实验以马尔克斯(Malkus)的工作<sup>[4]</sup>为最早<sup>1)</sup>.后来卡瑟斯(Cathers)根据同样的原理进行了规模较大的实验<sup>[5]</sup>.他们的基本设想如下:假若高能宇

宙线中的核子与大气中的核子相碰撞能产生单磁子,由此产生单磁子对所需的能量可以取自宇宙辐射.这种作用大约发生在地面以上10—15公里处.由于单磁子的电离损耗很大,而且与速度无关(约五百万电子伏特每厘米),它的能量将损耗得极快.在大气中便减小到热运动能量.一个单磁子在遇到异性单磁子而湮没以前,应该单独存在一段相当长的时间.在大气层中单磁子虽然受到地磁场的作用力,但不会得到加速,因为取自地磁场的能量仅为  $20 \times 10^8$  电子伏特/千高斯·厘米,而单磁子通过大气层损失的能量比从0.6高斯的地磁场中取得的能量要好几个数量级.因此,可以预料单磁子是沿着地磁场力线缓慢扩散.根据这些估计和设想,马尔克斯设计了一个实验.预计单磁子在核乳胶中的径迹约有数百微米.实验持续两星期,没有发现单磁极的径迹.

卡瑟斯认为,马尔克斯的实验规模太小,收集面积不够大,收集时间也不够长.实验结果虽是否定的,但还不能排除更重的单磁子的存在.和马尔克斯的实验原理相似,卡瑟斯重新设计了一个规模大得多的实验.配备的探测器也比马尔克斯的更为完善.实验历时1200小时,但没有发现单磁子的踪迹.

要从宇宙辐射中寻找单磁子,还能用云室技术.据狄拉克估计,单磁子的径迹应该和重核碎片差不多.科尔(Cole)也曾对单磁子在云室中的行为做过一些理论上的估计<sup>[7]</sup>.据此可以预期,单磁子在宇宙线探测设备中的径迹应和重核碎片相似(例如,大致相当于完全电离的  $Z = 68$  的核的径迹)<sup>[6]</sup>.

在这些估计的启示下,菲茨(Fitz)进行过典型的宇宙射线云室实验<sup>[8]</sup>来寻找单磁子.结果是:在含有550条电子及 $\mu$ 介子径迹的照片组中,没有发现单磁子的径迹.

上述三个实验都是想从宇宙辐射中直接寻找运动着的单磁子.另外根据麦克斯韦的计算,能量很小的单磁子可能会被物质所束缚,单磁子与物质的结合能

1) 更早在1940年左右,埃伦哈夫特(Ehrenhaft)曾宣布他已发现基元磁荷甚至磁流.见 F. Ehrenhaft, et al., *J. Frank. Inst.*, 230 (1940), 381. *Phys. Rev.*, 67 (1945), 63, 201; 葛旭初,《电磁对称与相对论》重庆版,(1946).但后来狄拉克指出,单磁子不应出现在上述实验的通常情况中.同时如果那个实验是正确的话,那么以后的实验<sup>[13]</sup>就更应该检验到单磁子了.

大约与化学结合能相当(即大约几个电子伏特)。有些人便由此想到应用足够强的磁场应能将单磁极从物质中拉出来,就象用强电场将电子从物质中拉出来一样。戈托(Goto)设想<sup>[9]</sup>单磁子可能会嵌入铁磁性物质,并在其中堆积起来。于是他用铁磁矿苗为样品,施加很强的脉冲磁场,想把单磁子拉出来,并使之得到加速,再用核乳胶来记录径迹。结果并未发现单磁子的径迹。

科尔姆(Kolm)的想法<sup>[10]</sup>则恰巧相反。他认为宇宙辐射中初级单磁子的能量约为 $10^{20}$ 电子伏特,即使在上层大气中产生的次级单磁子,它们虽有能量损耗,但剩余的能量仍然相当可观。高能单磁子是不可能聚集在地面上的铁磁性物质中的。只有很深海水(其深度超过单磁子的穿透深度)能够使单磁子的能量最终减小到热运动能量。因此单磁子可能聚集在海底沉淀物的磁性成分中。他估计自己的实验是可以将单磁子拉出来,并使其加速到500亿电子伏特。在此以前弗莱歇尔(Fleisher)<sup>[11]</sup>也曾利用北大西洋海底的沉淀物做过实验,并估计这些沉淀物已积累了一千六百万年,对单磁子的收集时间可以说是够长的了。但是他们的实验都未得到肯定的结果。

克洛普斯(Kolopus)<sup>[12]</sup>和罗斯(Ross)<sup>[13]</sup>等人认为,从这些实验的否定结果看来,月面物质非常可能是单磁子的隐蔽处。不论是原始宇宙辐射中的单磁子,或是因高能宇宙粒子和月面物质的核子相碰撞而产生的单磁子都应被月面物质所减速而嵌入其中。月面物质的年龄很长,约 $3-4 \times 10^9$ 年。而且在这样漫长的岁月中,月球表面层受到扰动的深度不大。因此,月面在宇宙射线下暴露的时间最长。此外,由于月球上没有大气和磁场,物理环境比地球上单纯一些,对单磁子在减速以后的境遇如何可以比在地球上更容易推断一些。故此他们用宇宙飞船“阿波罗”11号、12号和14号取回的月面材料进行了实验。结果还是没有发现单磁子。

## 2. 在实验室条件下产生

第二类是想在实验室条件下产生单磁子的实验。阿马尔迪(Amaldi)等人<sup>[14]</sup>用加速器中的质子束去轰击靶。在靶中由质子-核子碰撞或由二次 $\gamma$ 射线所产生的单磁子应该因它的电离作用而迅速失去能量,最终在靶中停留下来。然后从加速器中将靶取出,将它置于强度很高的脉冲磁场中。这个强度的磁场已足够将束缚得很紧的单磁子拉出来,并使它在通过核乳胶时得到加速<sup>[15]</sup>。在1974年的一次实验<sup>[16]</sup>是用很强的质子束去轰击铁靶。然后对靶施加很强的超导磁场,企图将单磁子拉出来。这些实验结果都是否定的。

## 三、两点推测

实验上的否定结果,可以引起下面的推测:

1. 单磁子是客观存在,可能质量很大,比迄今各种实验曾探索过的质量范围的上限还要大。果真如此的话,随着实验设备和技术的不断提高改进,将来终究会找到它的。也可能理论估计有缺陷,以致它逃过了各种实验设备的观察。果真如此的话,应该对过去的理论计算进行检查,求出新的数据。为以后的实验设计提供依据。

2. 狄拉克单磁子也许根本不存在。果真如此的话,我们就应从理论上找出否定它的根据,并为电荷的量子化寻求新的解释。

从理论方面看,有人认为<sup>[17]</sup>过去的理论证明都是不严格的。为了使场方程组具备对称性,单磁子的存在并不是必要条件;如果能为电荷的量子化找到别的理由,那么单磁子存在的假设便没有必要了。还有人从另外角度做研究<sup>[18]</sup>,他们认为:完全不必假设单磁子的存在,只要有亚光速和超光速的电荷便可以使场方程组具备完全对称的形式。超光速电荷对电磁场的贡献和假想中的单磁子的贡献是一样的。

从1931年到现在,寻找单磁子的工作延续了将近半个世纪。实验方面已经积累了不少资料。我们应该以辩证唯物主义为指导思想,以批判的态度审慎地看待已经提出的理论,并密切注意实验工作的进展。

## 参 考 文 献

- [1] Dirac, P. A. M., *Proc. Roy. Soc.*, **A133** (1931), 60. *Phys. Rev.* **74** (1948), 817.
- [2] Schwinger, J., *Phys. Rev.*, **144** (1966), 1087. *Science*, **165** (1969), 757.
- [3] Porter, N. A., *Nuovo Cimento*, **15** (1960), 959.
- [4] Malkus, W. V. R., *Phys. Rev.*, **83** (1951), 899.
- [5] Cathers, W. C., *Phys. Rev.* **149** (1966), 1070.
- [6] Bauer, E., *Proc. Cam. Philos. Soc.*, **47** (1951), 777.
- [7] Cole, H. J. D., *Proc. Cam. Philos. Soc.*, **47** (1951), 196.
- [8] Fitz, H. G., *Phys. Rev.*, **111** (1958), 1406.
- [9] Goto, E., *Phys. Rev.*, **132** (1963), 387.
- [10] Kolm, H. H., *Phys. Rev.*, **D4** (1971), 1285.
- [11] Fleisher, R. L., *Phys. Rev.*, **184** (1969), 1393.
- [12] Alvarez, L. W., et al., *Science*, **167** (1970), 701.
- [13] Ross, R. R., *Phys. Rev.*, **D8** (1973), 698.
- [14] Amaldi, E., *Nuovo Cimento*, **28** (1963), 773.
- [15] Bradner, H., *Phys. Rev.*, **114** (1959), 603. Purcell, E. M., *Phys. Rev.*, **129** (1963), 2326. Gurevich, I. I., *Phys. Rev. Lett.*, **38B** (1972), 549. Carrigon R. A., *Phys. Rev.*, **D3** (1973), 3717.
- [16] Neznick, F. A., *Phys. Teach.*, **12-5** (1974), 309.
- [17] Strachev, V. I., *Sov. J. Part. and Nucl.*, (U. S. A.) **4-1** (1973), 78.
- [18] Recami, E., *Lett. Nuovo Cimento*, **9** (2)-12 (1974), 479.