

对于该刊 2008 年第 6 期赵超先老师的文章《对有电磁作用时的牛顿第三定律的讨论》中的观点，我们有不同的看法。电荷与电荷、运动电荷与运动电荷之间的作用力是通过电磁场这种物质作用的，电荷受到的力是电磁场的作用力，而不是电荷之间直接作用的，所以，这些力不是作用与反作用力。

牛顿第三定律是物理学中的主要定律之一，是分析物体间相互作用的重要依据。上文从运动带电粒子间的相互作用否定牛顿第三定律，这里首先分析运动带电粒子的洛伦兹力不是作用与反作用力，然后通过电磁场动量的变化说明牛顿第三定律对电磁作用依然成立。

几种物体的相互作用

【例 1】两点电荷的相互作用：即电荷间的相互作用满足库仑定律（图 1），

$$\mathbf{F}_{12} = \frac{q_1 q_2}{4\pi\epsilon_0 r^3} \mathbf{r} = -\mathbf{F}_{21}$$

$\mathbf{F}_{12}$ 和 $\mathbf{F}_{21}$ 似乎满足牛顿第三定律。

【例 2】两个人通过绳的拉力也有 $\mathbf{F}_{12} = -\mathbf{F}_{21}$ ，似乎也满足牛顿第三定律（图 2）。

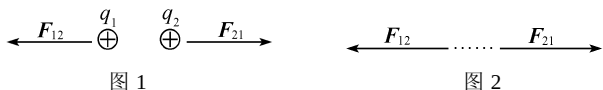


图 1

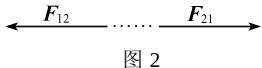


图 2

【例 3】两运动带电粒子某瞬间的速度（图 3）， $\mathbf{v}_1$ 垂直于 $q_1 q_2$ 连线， $\mathbf{v}_2$ 沿 $q_1 q_2$ 连线。显然， q_1 不受洛伦兹力的作用，而 q_2 所受到的洛伦兹力的方向如图 3 所示，即 $\mathbf{F}_{12} = 0$ ， $\mathbf{F}_{21} \neq 0$ ，这就是说 $\mathbf{F}_{12} \neq \mathbf{F}_{21}$ ，或者说牛顿第三定律在这里不成立。

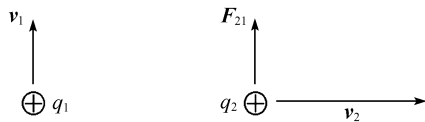


图 3

【例 4】如图 4 所示，两力通过一块橡皮而作用，显然它们的方向不相同，因此他们也不满足牛顿第三定律。



通过对以上四例的分析可以发现，在前两例中 $\mathbf{F}_{12} = -\mathbf{F}_{21}$ 似乎满足牛顿第三定律，但很快发现例 2 中的 $\mathbf{F}_{12}$ 和 $\mathbf{F}_{21}$ 不是

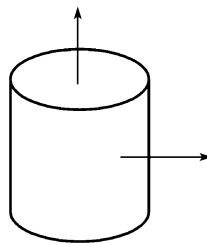


图 4

作用与反作用力。而在后两例中 $\mathbf{F}_{12} \neq \mathbf{F}_{21}$ 显然不满足牛顿第三定律，对于例 4 也容易看出两个力不是作用与反作用力，对于例 3 则得出牛顿第三定律对磁力不成立的结论。笔者对此不敢苟同，以下从分析 $\mathbf{F}_{12}$ 和 $\mathbf{F}_{21}$ 的关系入手说明牛顿第三定律对磁力依然成立。

在例 2 和例 4 中 $\mathbf{F}_{12}$ 和 $\mathbf{F}_{21}$ 通过中间物质——绳和橡皮而作用，它们不是作用与反作用力， $\mathbf{F}_{12} = -\mathbf{F}_{21}$ 是否成立都很正常，也容易理解。而例 1 和例 3 中的 $\mathbf{F}_{12}$ 和 $\mathbf{F}_{21}$ 通常则认为作用与反作用力，若 $\mathbf{F}_{12} = -\mathbf{F}_{21}$ 成立，则牛顿第三定律成立，若 $\mathbf{F}_{12} \neq -\mathbf{F}_{21}$ 则认为牛顿第三定律不成立。因此在例 1 中牛顿第三定律成立，在例 3 中牛顿第三定律不成立。而事实上带电粒子间也通过中间物质——电磁场而作用，电磁场的作用与例 2 中的绳和例 4 中的橡皮一样，起着传递力的作用， $\mathbf{F}_{12}$ 和 $\mathbf{F}_{21}$ 分别是电磁场对 q_1 和 q_2 的作用，因此，它们像例 2 和例 4 中的 $\mathbf{F}_{12}$ 和 $\mathbf{F}_{21}$ 一样也不是作用与反作用力，所以， $\mathbf{F}_{12} = -\mathbf{F}_{21}$ 是否成立都不能说明牛顿第三定律是否成立。

电磁动量

通过以上分析可知运动带电粒子间的相互作用力（这样称之实际不合适，姑且暂时这样称之）不是作用与反作用力。现在要问带电粒子所受力的反作用力在哪里？既然带电粒子所受的电磁力是电磁场作用的，那么它的反作用就是带电粒子对电磁场的作用，即电磁场要受到带电粒子的作用。

实物受到力作用时，它的动量将发生变化，电磁场受到力的作用时，动量是否也发生变化呢？回答是肯定的，电磁场受到带电粒子作用时其动量也

要发生变化, 现在从相互作用的角度解释电磁场动量的变化。对静电场由于场的动量不随时间变化, 说明电场系统所受外力为零, 即库伦力对电磁场动量改变的贡献为零, 所以, 带电粒子所受库伦力的大小相等、方向相反, 作用在同一条直线上。而运动带电粒子的作用不满足上述关系, 因此电磁场所受到的运动带电粒子作用的合力不等于零, 这样电磁场的动量将发生变化, 关于电磁场动量如何变化, 即与运动带电粒子的机械动量的转化在一般电磁场理论文献都有所讨论, 其定量关系为

$$-\iiint_V (\rho \mathbf{E} + \mathbf{j} \times \mathbf{B}) d\mathbf{v} - \iint_S \mathbf{T} \cdot d\mathbf{s} = \iiint_V \frac{\partial}{\partial t} (\epsilon_0 \mathbf{E} \times \mathbf{B}) d\mathbf{v}, \quad (1)$$

$$\text{其中 } \mathbf{T} = \frac{1}{2} \left(\epsilon_0 E^2 + \frac{1}{\mu_0} B^2 \right) \mathbf{I} - \epsilon_0 \mathbf{E} \mathbf{E} - \frac{1}{\mu_0} \mathbf{B} \mathbf{B}。$$

(1)式左边第一项为带电粒子所受电磁力的负值, 即电磁场所受带电粒子的作用力, 第二项为区域 V 外的电磁场对区域 V 内电磁场的相互作用力, 即电磁场的应力, 起到电磁场动量的传递作用, 有时称之为动量流, 右边为电磁场动量的变化率。(1)式充分说明带电粒子间不是直接作用(超距作用), 而是与电磁场的相互作用。现在再来讨论电磁场动量如何变化, 变化的原因是什么。运动带电粒子(即电流)在磁场中要受到安培力作用, 其力密度为

$$\mathbf{f}_e = \mathbf{j}_e \times \mathbf{B} \quad (2)$$

而位移电流与传导电流在电磁效应有相同的性质, 因此位移电流在磁场中也要受到安培力作用,

其力密度为

$$\mathbf{f}_e = \epsilon_0 \frac{\partial \mathbf{E}}{\partial t} \times \mathbf{B} \quad (3)$$

根据电与磁的对称性, 若磁荷存在时, 运动磁荷(磁流)在电场将受到磁安培力作用, 力密度为

$$\mathbf{f}_m = -\mathbf{j}_m \times \epsilon_0 \mathbf{E} \quad (4)$$

由于没有发现磁荷, (4)一般不讨论。尽管如此, 与随时间变化的电场具有电流的性质(位移电流)类似, 随时间变化的磁场也具有磁流的性质, 可把它称为位移磁流, 位移磁流在电场也将受到磁安培力的作用, 力密度为

$$\mathbf{f}_m = -\frac{\partial \mathbf{B}}{\partial t} \times \epsilon_0 \mathbf{E} \quad (5)$$

这样位移电流和位移磁流在电磁场中所受电磁场作用力的密度为

$$\begin{aligned} \mathbf{f}_e + \mathbf{f}_m &= \epsilon_0 \frac{\partial \mathbf{E}}{\partial t} \times \mathbf{B} - \frac{\partial \mathbf{B}}{\partial t} \times \epsilon_0 \mathbf{E} \\ &= \frac{\partial}{\partial t} (\epsilon_0 \mathbf{E} \times \mathbf{B}) \end{aligned}$$

这就是说电磁场动量的变化是因为位移电流和位移磁流在电磁场中所受电磁场作用的缘故。

通过以上讨论可知, 运动带电粒子所受洛伦兹力以及稳恒电流元所受安培力不符合牛顿第三定律的根本原因是他们不是作用与反作用力。

(董宇欣, 北京科技大学信息工程学院 100083; 董超铀, 陕西省延安教育学院 716000)

原作者答复

《现代物理知识》杂志编辑同志:

对我文章的反馈意见已收到, 其中所提问题我已认真研读过, 下面我对涉及的问题作以下几点说明。

一、我的文章中并没有给出“牛顿第三定律对磁力不成立”的结论。

我文章的第一段是提出一个问题。讨论起因是教学中学生的疑问, 即两个电流元间的作用为什么不符合牛顿的作用和反作用关系(两个运动电荷间的作用也有类似问题)。有些同学往往把它与两个静止点电荷之间的作用力类比, 并且错误地认为两个静止点电荷之间的力是一对作用和反作用力, 因此导致它们大小相等、方向相反。文章第一段通过例子所说的“这两个运动电荷所受电磁力并不符合牛顿第三定律”是指从例子来看两个电荷间的电磁作用力似乎不符合牛顿

第三定律, 并不等于下了“牛顿第三定律对磁力不成立”的结论。

二、对于两个静止点电荷之间的作用力, 我文章后半部分的第一个例子的结论是“清楚地表明两个点电荷间的作用力是如何通过电磁场的应力来传递的”。也就是说两个静止点电荷之间的力不是一对作用和反作用力, 是通过电磁场起作用的。

文章最后的结论是: “在考虑有电磁作用在内的系统所发生的过程时, 电磁场本身的动量必须计算在内, 这样才能正确地使用牛顿第三定律。”那么在考虑文章开始时的例子时, 也必须考虑电磁场本身的动量变化和电磁场的作用力, 否则就会不正确地使用牛顿第三定律。

文章重点在于讨论电磁场的动量和电磁应力, 讨论电磁应力和带电体的作用, 因此怎么可能会有“电

不可思议的脉冲星

夏雄平



在浩瀚的宇宙中,存在着许许多多的不同种类的星体,在这些星体中,有我们熟悉的绿色家园行星——地球,能量之母的恒星——太阳,以及拖着长长尾巴的彗星等等。但是在众多的星体中,有些星体并不为人们所熟悉,这里就有诸如白矮星、红巨星、超新星、脉冲星和黑洞等等,这些不为人熟悉的星体中,它们都有着与平常星体许多不同寻常的地方,有些方面是我们常人无法想象的,在这众多的不同寻常的星体中,有一种星体它不仅在宇宙学的发展中具有划时代的意义,它更为我们提供了一把揭开宇宙秘密的金钥匙。这种星体就是脉冲星,它有着美丽的身姿(如图1所示),更令人注目的是它的特征和性质是如此的不可思议,甚至我们无法想象。

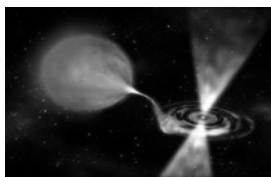


图1 正在向两极喷射物质的脉冲星

脉冲星,顾名思义,就是能够发射脉冲的星体。它在迅速自转的同时,从两极发出射电波,波束有规律地不断扫过地球。这种波束在地球上的观察者看来就是按特定周期产生的脉冲。脉冲多呈单峰或

双峰形状,少数具多峰形状。(如图2)

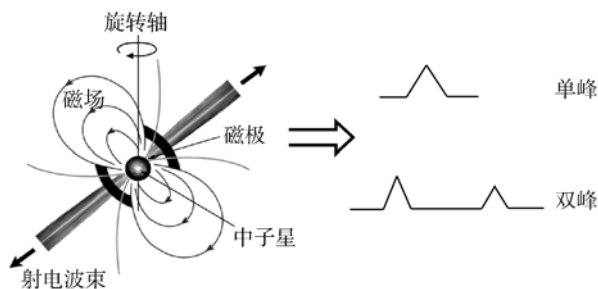


图2 射电波束产生的脉冲信号

脉冲星尽管一直到1967年才由贝尔和休伊什在一次偶然的机会中观测到,但人类对它的研究其实早在20世纪二三十年代就开始了。那时朗道一直对物质处于高温高密状态下的物理过程感兴趣,他认为随着物质密度的增加,电子的费米能逐渐升高,与加速器中产生的电子一样,存在于极高密度物质中的这些高能电子,亦可望有助于我们认识某些新的物理过程。因此,当查德威克发现了中子时,朗道就推测一种主要由中子构成的星体(后称为“中子星”)的可能性。1934年,巴德和兹威基进一步明确地指出,中子星有可能在超新星爆发过程中产生。到1939年时,由奥本海默和沃尔科夫的计算表明:中子星的质量上限大约为1倍于太阳质量,而半径却只有10公里左右。到1967年,贝尔和休伊什在射电波段研究星际闪烁时,意外地发现了一种非常规则的周期性信号,其周期大约只有1秒。他们分析由于这种信号周期很短,因此推测这种信号只可能来源于一种非常致密星体的自转。因

荷与电荷、运动电荷和运动电荷之间的作用力是电荷之间直接作用的”的观点?

三、有时写文章时明知有些表述实际不合适,但姑且称之的情况也有。例如所提意见《牛顿第三定律与电磁动量》一文中也有文章开头“这里首先分析运动带电粒子的洛伦兹力不是作用与反作用力”一句话,细究起来,此处洛伦兹力是指场对电荷的作用力,还是指运动带电粒子间的作用力?大家都知道,洛伦兹

力是指场对电荷的作用力。能否下结论说,作者认为场与电荷的作用力不是作用与反作用力?

如果我文章的有些表述欠精确,以致引起误会,这是要在今后务求避免的。

最后,非常感谢本刊编辑老师的负责精神,也感谢《牛顿第三定律与电磁动量》一文作者参与该问题的讨论,并欢迎对不足的地方进行指正。

(赵超先)