

一个简单电磁力现象反映的相对论

魏喜武

(安徽省宣城中学 安徽 宣城 242000)

(收稿日期:2017-03-03)

摘要:两个静止的电荷只受到静电库仑力的作用,当这两个电荷运动时,一个运动电荷要在另一个电荷处产生磁场,另一个电荷还要受到洛伦兹力.这一简单电磁力的变化反映了相对论,只有用做匀速运动电荷电场的变化与产生的磁场,才能求出电荷受到的作用力,也可以用相对论力的变换求出电荷受到的作用力.

关键词:静止 匀速运动 电场 磁场 力的变换

在一次物理教研组会议上,笔者向物理组的教师提出了一个没有想明白的问题:

在一个平面内,有两个都带有电荷量为 Q 的负电荷,相距为 r ,这时两个电荷应受到相互排斥的库仑力.再把这个平面以速度 v 向某一方向运动,这时两个电荷既要受到相互排斥的库仑力,同时由于一个电荷的匀速运动要形成电流,电流又要产生磁场,另一个电荷在这个磁场中就要受到指向产生磁场的那个电荷的洛伦兹力,同样方法也可以得出产生磁场的电荷也要受到指向另外一个电荷的洛伦兹力,也就是说这两个电荷还要受到一个相互的吸引力.换句话说,也就是有两个固定不动的电荷,我们站着不动与我们不断移动来分别观测两个电荷受到的力是不同的.两个电荷彼此受到的力,不仅仅是与两个电荷带电的多少和相距的距离有关,还与我们在观测时的运动状态有关.大家议论纷纷,认为不可思议,最后也没有找到一个令人信服的解释.

于是,笔者就对这一个看似矛盾的电磁力现象进行了进一步思考,选择不同的参考系,测量的结果不一样,这不正是相对论吗?因此只有用相对论的有关知识才能解决这一问题.

1 用相对论匀速运动点电荷变化的电场与产生的磁场求电荷受到的作用力

如图1所示, Q_1 和 Q_2 是带有等量负电荷的点电荷,相距为 r ,并以相同的速度 v 沿 x 轴方向运动. Q_2 在 Q_1 处产生的电场 E 的方向与 z 轴方向相反,其大小通过场强变换和洛伦兹变换以及相关推导,可以得出

$$E = k \frac{\gamma Q_2}{r^2}$$

式中 k 为常数, $\gamma = \left(1 - \frac{v^2}{c^2}\right)^{\frac{1}{2}}$.

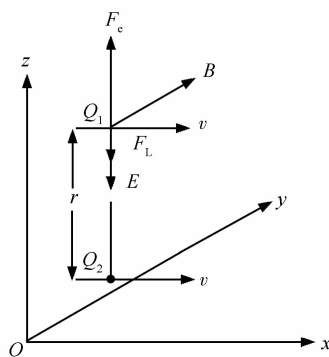


图1 做匀速运动时,受到的电场力与磁场力

Q_2 在 Q_1 处产生电场,与 Q_1 是否运动无关,由此可得 Q_1 受到的电场力为

$$F_e = Q_1 E = k \frac{\gamma Q_1 Q_2}{r^2} \quad (1)$$

式中 F_e 的方向与 z 轴方向相同.

与此同时, Q_2 以速度 v 运动,形成与 v 方向相反的电流,根据右手螺旋定则,要在 Q_1 处产生方向与 y 轴同向的磁场(如图1中 B),其大小根据相对论有关知识,可以求出

$$B = k \frac{\gamma Q_2 v}{c^2 r^2}$$

Q_1 在磁场 B 中运动,要受到洛伦兹力作用,根据左手定则,其方向与 z 轴方向相反,大小为

$$F_L = Q_1 v B = k \frac{\gamma Q_1 Q_2 v^2}{c^2 r^2} \quad (2)$$

(下转第61页)

分析:升降机以 1 m/s^2 的加速度匀加速上升,表明升降机所受合外力恒定,由于弹簧弹力是变力,因此升降机受到的牵引力不是恒力,那么整体受到的合外力不是恒力.若认为物体相对于系统的质心做简谐运动则是错误的.而实际是物体在非惯性系中做简谐运动,即物体相对于升降机做简谐运动,当物体再次相对于升降机静止时,弹簧伸长量达到最大,然后间距变小.二者的速度图像如图9所示.

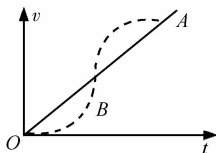


图9 升降机和物体的速度图像

(上接第57页)

由于 F_e 的方向与 z 轴方向相同, F_L 方向与 z 轴方向相反,并在一条直线上,由式(1)、(2)可得 Q_1 受到 Q_2 作用力的合力为

$$F = F_e + F_L = k \frac{\gamma Q_1 Q_2}{r^2} - k \frac{\gamma Q_1 Q_2 v^2}{c^2 r^2} = k \frac{\gamma Q_1 Q_2}{r^2} \left(1 - \frac{v^2}{c^2}\right) \quad (3)$$

式中 $v < c$, 合力的方向与 z 轴方向相同. 当 $v \ll c$ 时, 两个电荷受到的力也就是静电力.

2 用相对论力的变换求电荷受到的作用力

两个电荷静止时只受到静电力的作用,做匀速运动时受到的力发生了变化,而两个电荷的距离、带电的多少都没有变化,显然用相对论的力的变换也可以求出结果.

如图2所示,有 S 和 S' 两个参考系, S' 以速度 u 相对于 S 沿 x 轴方向运动,在 xOy 平面上,有两个相距为 r , 带有等量负电荷的带电点电荷 Q_1 和 Q_2 , 以相同速度 v 沿 x 轴方向运动 ($v = u$).

Q_1 在 S' 系中静止,它受到的力就是静电排斥力

$$F' = k \frac{Q_1 Q_2}{r^2}$$

根据相对论力的变换,在 S 系中观测, Q_1 受到的力在 x, y, z 轴上的分量将为

$$F_x = F'_x$$

总之,对于弹簧双振子系统,若其中一个物体受到恒力作用,则二者的运动都是匀加速直线运动与简谐运动的合运动,不可能共同做匀加速直线运动,也不能说都做简谐运动,而是各自相对于系统的质心做简谐运动,或者说一个物体相对于另一个物体做简谐运动,弹簧长度发生周期性变化,并非保持不变.若其中一个物体做匀加速直线运动,则该物体可视为非惯性系,那么另一个物体相对于非惯性系始终做简谐运动.

参考文献

- 1 张林海,黄振平.一道高考选择题的定量计算.中学物理,2010(5):26
- 2 张征印.奇思妙想 解惑答疑.数理天地,2011(5):35
- 3 张晓红.弹簧题的错解剖析.中学物理,1999(5):46

$$F_y = \frac{1}{\gamma} F'_y$$

$$F_z = \frac{1}{\gamma} F'_z$$

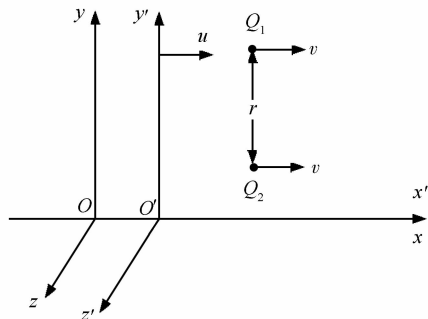


图2 Q_1 和 Q_2 在两个不同参考系 S 和 S' 观测受到不同的力

通过上面对 Q_1 受到力的方向的分析,我们知道 Q_1 受到的作用力在 x 和 z 轴的分量为零,因此,在 S 系中观测到 Q_1 受到的力

$$F = F_y = \frac{1}{\gamma} F' = k \frac{Q_1 Q_2}{\gamma r^2}$$

把上式的分子、分母同乘 γ

$$F = k \frac{\gamma Q_1 Q_2}{\gamma^2 r^2} = k \frac{\gamma Q_1 Q_2}{r^2} \left(1 - \frac{v^2}{c^2}\right) \quad (4)$$

比较式(3)、(4)可见两种不同方法,解答的结果一样.

参考文献

- 1 张三慧.大学物理学.北京:清华大学出版社,1999