# 70．闭合线圈在匀强磁场中加速运动时受到安培力吗？

闭合线圈在匀强磁场中运动，穿过线圈的磁通量没有变化，不产生感应电流，不受安培力。但有一种说法：线圈加速运动过程中，速度在增加，感应电动势和路端电压都在变大，在与运动方向垂直的导线中有充电电流产生，因此要受安培力作用。这种说法似乎是合理的，但经过数值估算，磁场对“充电电流”的安培力与线圈的重力相比，至少相差 13 个数量级，这是目前实验仪器测量不出来的，因此不应该予以考虑。

闭合线圈在匀强磁场中加速运动时受不受安培力，这个问题在部分教师中存有争议。

## 一、问题的提出

如图 1 所示的闭合线圈 abcd 在重力场中从高处落下，穿过一个匀强磁场区域，线圈下落过程中线圈平面始终保持竖直方向，磁场方向与线圈平面垂直，那么在线圈通过匀强磁场区域的过程中，线圈是否受到安培力的作用。

图 1 闭合线圈在匀强磁场中运动

*B*

a

b

c

d

这个看似简单的问题却在部分中学物理教师中引起争议，争论的一方（下面称为甲方）认为它不受安培力，理由是穿过线圈的磁通量没有发生变化，线圈中没有感应电流；另一方（称为乙方）则认为它受安培力，理由是虽然穿过线圈的磁通量没有发生变化，线圈中没有沿闭合回路流动的感应电流，但由于 dc 边和 ab 边都做切割磁惑线的运动，产生感应电动势，从而 bc 边与 ad 边存在着电势差，而且线圈下落的速度越来越大，因此感电动势也越来越大，即 bc 边与 ad 边的电势差在逐渐增大，这说明总有沿 ab 和 dc 的电流存在，因此线圈受到方向竖直向上的安培力作用。

乙方所说的电流不是中学物理教学中传统意义上的感应电流，因为它并不是在线圈里形成闭合回路，而是单向地从 ad 边流向 bc 边，从而 bc 边积累多余的正电荷成为正极，ad 边则积累多余的电子成为负极，因此我们把沿 ab 导线和 dc 导线的电流称为“充电电流”，而 bc 和 ad 边则相当于电容器的两个极板。问题是：这个“充电电流”到底有多大，是该忽略还是必须考虑它的存在。

## 二、“充电电流”的大小

在如图 1 所示的情况中，ab 和 dc 做切割磁感线运动，相当于电源内部，非静电力做功产生感应电动势，把正电荷从 ad 边移向 bc 边，ad 边相当于电源负极，bc 边相当于电源正极，电路处于断路状态，断路时的路端电压等于电动势，即 *U* = *E* = *Blv* = *Bl* ，在短时间 Δ*t* 内电源两极电荷量的变化为 Δ*q* = *C*·d*U*·Δ*t* = *C*·*Bl* ·Δ*t*（式中 *C* 为 ad 边和 bc 边作为两个极板所构成的电容器的电容），通过 ab 边和 dc 边的总电流（即 ab 和 dc 边的电流之和）为

*i* = = *C*·*Bl* = *C*·*Bl*·*a*

其中的电容 *C* 是个很小的数，式中的加速度 *a* 在这里就是重力加速度 *g*。我们用平行板电容器电容的公式估算一个具体的例子：设正方形线圈边长为 10 cm，导线的直径为 2 mm，ad 导线和 bc 导线的纵截面面积 S = 2×10−4 m2，二者距离 d = 10−1 m，则

*C* = = F = 1.8×10−14 F

放到计算感应电流的公式 *i* = *C*·*Bl*·*g* 中进行数量级的比较：*B* 一般是 10−1 ~ 101 数量级、*l* 一般是 10−1 数量级，*g* 是 101 数量级，而 *C* 是 10−14 数量级，比上述各量都相差很多个数量级。若 *B* = 1 T，*l* = 0.1 m，*g* = 10 m/s2，则安培力

*F*安 = *BIl* = *C*·*B*2*l*2·*g* = 1.8×10−14×12×0.12×10 N = 1.8×10−15 N

而上述直径为 2 mm、边长为 10 cm 的铝制导线框（铝在金属导体中属于密度较小的导体）的重力为 *G* = *ρ*铝*Vg* = 2.7×103×（2×10−3）2×10−1×10 N = 1×10−2 N。

安培力与重力相比较，竟然相差了 13 个数量级！可以想象，安培力比我们忽略了的空气阻力还要小得多。这一切的根源正是由于电容 *C* 太小，从而充电电流 *I* 很小。

这种电容，称为分布电容。分布电容虽然很小，但并不是所有问题中都能忽略，例如：在讨论远距离输电时，由于距离很长，输送的是交变电流，两根平行的导线间（以及与大地之间）的分布电容是要考虑的；在讨论高频交变电流问题时，由分布电容引起的容抗问题也是必须考虑的，而在如图 1 所示的这类单调变化的问题中，一般是不考虑分布电容的影响的。

## 三、乙方的观点对中学物理教学造成极大的负面影响

自然界的现象是复杂的，其影响因素是很多的，我们在研究和讨论问题时必须突出主要因素、忽略次要因素，这就是要建立理想模型的原因。**在一定意义上说，没有近似，就没有物理学**。如果我们按照乙方的观点给学生讲解，将造成极大的混乱，按照这种思维逻辑，处处都要追求“完美”，各种因素都必须考虑而不能忽略，那么物理学可能至今还停留在伽利略、牛顿之前的时代，我们所有学习过的物理规律都将不能应用。例如，重力场并不是匀强场，因为地面上任意两点的重力方向都不能真正平行；自由落体运动“严格”说来并不是匀变速直线运动，因为在物体下落过程中，离地心越来越近，受地球的引力作用越来越大，因此它受到的是变力，是变加速运动，再细追究，物体在地面参考系（转动的非惯性参考系）中运动时，还要受到科里奥利力的影响，连直线运动都不是，单摆的等时性是不存在的，因为我们找不到真正能够在摆动过程中不伸长的细绳，因此找不到真正的单摆，即使能找到真正的单摆，它也不是简谐运动，因为 sin*θ* 与 *θ* 不可能真正相等。更重要的是，牛顿运动定律只适用于惯性参考系，可是上哪儿去找真正的惯性参考系呢，于是乎，牛顿运动定律就没有适用的地方了，而牛顿的三个运动定律是经典物理学的核心内容，牛顿运动定律在任何地方都不适用，经典力学还有存在的价值吗？

类似可能引起争议的问题还有很多，例如下面这道高考试题：如图 2 所示，用一根长为 *L*、质量不计的细杆与一个上弧长为 *l*0、下弧长为 *d*0 的金属线框的中点联结并悬挂于 O 点，悬点正下方存在一个上弧长为 2*l*0、下弧长为 2*d*0，方向垂直纸面向里的匀强磁场区域，且 *d*0 ≪ *L*。先将线框拉开到如图所示位置，松手后让线框进入磁场，忽略空气阻力和摩擦。下列说法正确的是（ ）。

a

b

c

d

*L*

*l*0

2*l*0

O

*d*0

2*d*0

*B*

图 2 高考试题附图

A．金属线框进入磁场时感应电流的方向为 a→b→c→d→a

B．金属线框离开磁场时感应电流的方向为 a→d→c→b→a

C．金属线框 dc 边进入磁场与 ab 边离开磁场的速度大小总是相等

D．金属线框最终将在磁场内做简谐运动

原题给出的正确答案是 D，当然是按照甲方的观点进行解释的。但按照乙方的观点，线框在进入磁场和从磁场中穿出的过程中，由于感应电流的存在，将消耗机械能而振幅逐渐减小，到一定程度后，线框将局限在磁场区域内往复运动，这时形成回路的感应电流不存在，但仍有反复的充、放电过程存在，这种充、放电的电流仍要消耗能量．最终线框必将停止在平衡位置处，因此选项 D 不正确。

对于这个具体问题来说，上面两种说法都有道理！往复运动过程中的充、放电的电流的确很小，它引起的安培力也很小，比起空气阻力和摩擦力都要小很多，既然题目明确“忽略空气阻力和摩擦”，那么比空气阻力和摩擦都要小得多的安培力当然要忽略了，从而答案应该是 D 选项。但即使能量损耗的速度再小，经过无限长的时间**最终**也会完全消耗掉，因此线框的**最终**状态必定是静止在平衡位置处。