

从一道力学试题谈静摩擦力做功

邵 云

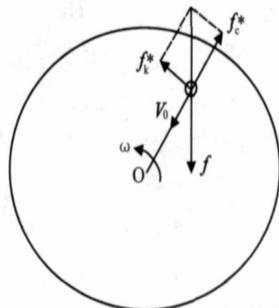
有这样一道力学试题：“半径为 R 的圆盘以恒定角速度 绕垂直于盘面中心的铅直轴转动，一个质量为 m 的人，要从圆盘边缘走到圆盘中心，问圆盘对他所做的功为_____。”

为了简单起见，假设人沿半径相对于圆盘匀速走向中心，其相对速度数值为 V_0 。据此情形，可作以下分析：开始时，人的绝对速度（即相对于地面参考系的速度）的数值为 $\sqrt{V_0^2 + \omega^2 R^2}$ ，到中心后，绝对速度变为 V_0 ，因此从地面参考系看来，人体的动能减少了，减少量为 $(1/2) m \omega^2 R^2$ ，出题人因此认为，这个动能的减少来自圆盘对人所作的负功，即圆盘面对人所作的功为 $-(1/2) m \omega^2 R^2$ 。看起来似乎没什么错，但是通过分析会发现，这个答案是错误的，正确答案应是 $-m \omega^2 R^2$ ！原因是出题人没有考虑到人体本身会对自己做功，或者说，出题人对静摩擦力做功缺乏认识。

在作具体分析之前，先让我们了解一下静摩擦力做功的一些特点。静摩擦力有时会做功、有时不会做功，这要看具体采用哪个参考系。功的定义是：力乘以力的作用点在力方向上的位移。例如，有个人在马路上由静止开始作加速跑动，虽然速度和人体动能越来越大，但由于跑动时鞋底与路面是相对静止的，而路面对鞋底朝前的静摩擦力的作用点在鞋底，所以它的速度始终为零，即作用点没有朝前的位移，因此地面对人的静摩擦力只提供人向前的动量增量，而不做功。分析可知：人体向前动能的增加来自人体的内力做功（肌肉拉动骨骼做功）。同样，运动员在跳高、跳远及登山时都是人体的内力做功，外界静摩擦力对其不做功。与此类似，圆柱形（或球形）刚体在平整的路面上作无滑动加速滚动时，路面对它的静摩擦力同样也不做功。

做功与参考系的选取紧密相关。例如一个质量为 m 的人在以速度 v_0 匀速行驶的火车车厢内由静止开始向火车头方向加速跑动，在车厢参考系观察，地板对人的静摩擦力是不做功的，只有人体内的肌肉拉动骨骼运动做功。设这个内力所做的功为 $W_{内}$ ，应该有 $W_{内} = (1/2) m V_{相}^2$ ， $V_{相}$ 为人相对于火

车的速度。现以地面为参考系重新考察一下车厢内那个人的运动，此时车厢地板对人朝前的静摩擦力的作用点（鞋底）与地板一样具有朝前的速度 v_0 ，而鞋子会在地板上停留一小段时间，此时的静摩擦力对人体就做功。设静摩擦力为 $f(t)$ ，则静摩擦力做功的功率为 $f(t) v_0$ ，静摩擦力对人体所做的总功 $W_f = \int f(t) v_0 dt = v_0 \int f(t) dt$ ，这里的 $\int f(t) dt$ 显然是静摩擦力对人体朝前的冲量， $\int f(t) dt = m V_{相} - 0 = m V_{相}$ ，因此 $W_f = m V_{相} v_0$ 。另外，由于人体内力做功是人体内肌肉骨骼相对运动所作的功，所以人体内力做功与参考系无关。在地面参考系中观察人体内力做功，依然是 $W_{内} = (1/2) m V_{相}^2$ 。这样在地面参考系看来，不仅人体内力做功，而且车厢地板对人朝前的静摩擦力也要做功，两者之和 $W_{内} + W_f = (1/2) m V_{相}^2 + m V_{相} v_0 = (1/2) m (V_{相} + v_0)^2 - (1/2) m v_0^2$ ，这便是在地面参考系中观测到的人体动能增量，它从一个侧面反映了人体内力是会做功的！当然这也说明只要作用点在力的方向有速度（或位移），静摩擦力就会做功！



现在回到圆盘这个问题上来，我们可以通过圆盘转动参考系考察一下圆盘对人鞋底的静摩擦力方向（如图）。在转动参考系中，人匀速行走，人体受到 3 个力作用：惯性离心力 f_c^* 、科里奥利力 f_k^* 与静摩擦力 f ，三者应平衡。 $f_c^* = m \omega^2 r$ ， $f_k^* = 2 m v_0 \omega$ ，所以 $f = \sqrt{(f_c^*)^2 + (f_k^*)^2}$ 。由于在此转动参考系中，与盘面接触的鞋底是静止的，因此在转动参考系中静摩擦力是不做功的。

下面再以地面为参考系重新考察一下这个问题：虽然人体质心所作的是螺旋线式运动，但是与盘



物理学史在原子物理课程学习中的作用

田 冲 王东娜

原子物理作为近代物理的一部分,内容比较抽象,理论性较强,现行的《原子物理学》教材主要讲授各类原子的结构及光谱,介绍分子、原子核及粒子物理知识来。由于原子物理理论性较强,概念抽象不易理解,许多同学不能完全掌握所学内容,以致对原子物理逐渐失去兴趣。我们认为,在原子物理教学中适当引入物理学史有利于原子物理学的学习。

原子物理学是人类在研究自然、探索微观世界过程中逐渐形成的一门学科。在其形成发展的过程中,科学家们克服困难、坚持不懈的科学精神感染着我们每一个人。物理学史体现了人类探索物质世界的现象、结构、特性、规律和本质的全过程,包含着科学家的思索与创造、艰辛与悲欢。了解这一过程有助于学生提高科学素养、培养科学精神,同时通过了解科学家的事迹,形成科学的思维方法,有助于更好地理解物理教材中的内容。

实践表明,教师把物理学史引入物理教学,学生通过了解科学家的实验以及科学发现的艰辛过程,使他们的直觉思维能力、发现问题和提出问题的能力以及建构模型的能力较以前有所提升。

教育重演论认为,“现代学生的学习过程是对人类文化发展过程的一种认知意义上的重演,即现代人的认知发展是对其祖先认知水平长期演化过程的

浓缩”。因此,将物理学史引入物理教学,成为教学的有效手段,从相应的物理情境中可以体会科学家在探索自然界的过程中如何通过质疑、批判、合作、争辩进而克服困难并提出创造性的概念、假说,最终依靠精巧的实验证实假说的艰辛历程。介绍这些历史有利于我们形成科学的思维方法,产生创新思维。皮亚杰(Jean Piaget)的建构主义发展观也认为,发展就是个体在与环境不断相互作用中的一种建构过程,是其内部心理结构不断变化并通过同化和顺应日益复杂的环境而达到平衡的过程。

在物理教学中引入物理学史,能促使我们更好地理解物理学的基本概念、定律、定理提出的背景,并逐渐掌握学习方法。此外,它还能促进我们学习与掌握基本物理方法,让我们把所学的知识分类,形成完善的知识结构系统。而科学家们富有个性化的创造性思维方法能使我们得到启迪,通过接受和同化,形成我们自己的学习方法和科学研究方法。运用物理学史有助于我们形成创新思维,激发我们学习科学、探索未知世界的勇气与信心。

原子物理作为近代物理的一部分,地位十分重要。但是由于其内容较多、概念较难,学生们普遍感觉比较困难,概念不易理解,不能掌握所学的知识。如何使我们学好原子物理,更好地用所学的知识解决问题,通过原子物理的学习,养成科学思维,是目

面接触的鞋底和圆盘面一样,只有沿圆周切线方向,即横向速度 v ,而没有径向速度,因此静摩擦力所做的功为 $W_f = \int (-f_k^s) r dt = - \int_0^R 2m^2 V_0 r dt$ 。由于 $V_0 = -dr/dt$,所以 $W_f = \int_R^0 2m^2 r dr = -m^2 R^2$ 。需要补充说明的是:与盘面接触的鞋底在空间描出的轨迹是一小段一小段分开的、半径逐渐减小的圆弧线,因此采用积分计算的前提是圆盘足够大,即人需要跨很多步才能到达圆盘中心。另外,从边缘走到圆心的过程中,人体的动能增量为 $-(1/2)m^2 R^2$ 。根据质点的动能定理并对比之前的 W_f ,就会得到在此过程中人体内力做功 $W_{内} = (1/2)m^2 R^2$,这便是人体克服惯性离心力

所作的正功!
总之,静摩擦力是否做功与其作用点在力的方向上是否存在位移直接相关,这当然与参考系的选择有关。在上述问题中,静摩擦力的切向分力做负功,而法向(即径向)分力不做功,取而代之的是人体内力所作的正功!因此本试题的正确答案应该是 $-m^2 R^2$ 。

(江苏省南京市晓庄学院物理系 210017)

