

17-21 领会物理思想

——素质教育和习题教学漫谈之二

□ 姜水根

大家知道,打太极拳是可以锻炼身体的,做广播体操也是可以锻炼身体的,为什么不把太极拳叫做太极操呢?大家看到太极拳的姿势是美的,舞蹈也是很美的,为什么不把太极拳叫做太极舞呢?我们可以在公园里看到有些练习太极拳的人,有人好象在做操,也有人好象在跳舞,这些人都不得太极拳的要领。那么太极拳区别于广播操和舞蹈的关键在哪里呢?

广播操的每一节都在锻炼人的某一部分的肌肉,不论我们国家的广播操从第一套到第四套怎样的变化,它们都是在锻炼人们的胸部的、背部的、腿部的、腹部的、腰部的肌肉等,这就是操的意义。舞蹈的每一个动作都在一种情景中表达一种感情。不论是民族舞还是芭蕾舞,也不论是古典舞还是现代舞,它们都能表现劳动和战争,表现欢聚和离别,表现爱情和仇恨。那么太极拳呢?太极拳虽然是能够锻炼肌肉的,虽然是美的,但是它的转体、移步,它的运气、眼神,从整体到每一个细微处,它是那么的连贯、那么的含蓄,它的内涵要比做操和舞蹈深刻得多。它的一招一式都有它特定的意义,那就是保护自己、攻击对手的拳击上的意义。太极拳的“白鹤亮翅”,整个动作不是为了看好的,他的右手是为了防止对方用手劈自己的头部,他的左手是为了防止对方用脚踢自己

的脚部。徒弟只有学会了师父教的每一个动作的思想,才能说他学会了“拳”。

学生做物理习题是学好物理的必不可少的环节。做物理习题就要求掌握基本的物理概念和规律,解出物理习题就使学生学会了应用物理公式对物理实际问题或理论问题的判断和计算,使学生对学过的物理概念和规律得到巩固。解物理习题的过程中经常会运用数学计算,解数学方程,使学生对运用数学工具解决物理问题的过程更加熟练、更加灵活。如果物理习题教学仅仅是巩固物理的基本概念和规律、操练数学运算的话,那么这种教学就相当于打太极拳动作是美的,也锻炼了肌肉,但是不得要领。物理习题教学有着比这两个目标更深的含义,从素质教育的观点看,物理习题教学的过程是领会物理思想的过程。

一、从物理试题的本身领会物理思想

例1 从一座塔的顶上静止释放一块小石头,经过3s 石块落到地面,问塔有多高?

分析和解: 本题并不难,根据自由落体运动的规律, $h = \frac{1}{2}gt^2 = 44.1\text{m}$ 。

题目是简单的,但是思想是深刻的。这道题的教学如果仅仅满足于知道是自由落体,会代公式计算,那是太不够了。我们说这道题的思想是深刻的,深刻在哪里呢?我们要测量塔

的高度,如果直接用尺来测量的话,要一把那么长的尺,或者要几把尺进行连接,还要从那么高的塔顶挂下来,会产生诸多的问题。这道题给我们的教益在于,我们不是直接用尺来测量塔的高度,而是用测量时间间接地得到塔的高度,这是“测量变换”的思想。

例2 如图1所示, A 、 B 是两个球状玻璃泡,它们的容积之比为1:5,用一根

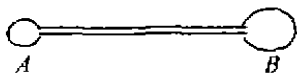


图1

细管相连通,在 0°C 时,在两个玻璃泡中充满了 1atm 的空气之后与外界封闭。现将玻璃泡 B 放在当时的室温是 19°C 的环境中,玻璃泡 A 放在温度较冷的地方,经过一段时间后,这时两个玻璃泡内气体的压强为 0.8atm ,求:玻璃泡 A 所在处的温度。(管中空气体积不计)

分析和解:从热动平衡的观点来看,两个玻璃泡内的空气的温度可以不同,但是它们是流通的,压强是相同的,它们的体积之和不变。(两个玻璃泡中的温度分别等于各自的环境的温度)

分别以两个玻璃泡内的气体为研究对象,原来状态是:

$$p_A V_A = n_A R T_A$$

$$p_B V_B = n_B R T_B$$

后来的状态是:

$$p'_A V'_A = n'_A R T'_A$$

$$p'_B V'_B = n'_B R T'_B$$

这里 $p_A = p_B = 1\text{atm}$, $p'_A = p'_B = 0.8\text{atm}$, $T_A = T_B = 273\text{K}$, $T'_B = 292\text{K}$

根据 $n_A + n_B = n'_A + n'_B$

可解得: $T'_A = 96.1\text{K}$

现在我们把玻璃泡 B 看成一个气体压强计,把压强的读数改成相应的温度,那么就可

以明白,本题所展示的情景就是一个测量低温的过程。我们一般测量温度用的水银温度计可以测量到 -38°C 。温度再低,水银就要凝固。本题所示的两个玻璃泡,我们可以通过测量气体的压强来测量气体的温度。本题和例1一样,也是“测量变换”的原理。

“测量变换”在物理学上的应用是相当广泛的,卡文迪许使用扭秤研究万有引力恒量的时候,要测量两个重物之间的万有引力,由于引力很小,他是通过测量力矩来测力的,又是通过石英丝的扭转角度来测力矩的,再是通过光点的移动来测石英丝的扭转角度的。这就是“测量变换”。在生活中我们也常常用到“测量变换”的思想,我们常说5分钟自行车的路,这是把长度测量变换为时间测量。古人常用,一柱香时间,就是把时间测量变换为长度测量。

我们再来看一个更为复杂一些的问题。

例3 如图

2所示,一只椭球形的鸡蛋长轴是 6cm ,短轴

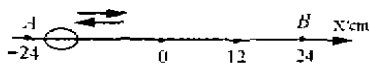


图2

是 4cm ,鸡蛋在 x 轴上做简谐运动,运动过程中椭球的焦点在 x 轴上,鸡蛋的端点正好不碰到 A 、 B 两点,即在 A 、 B 之间往复运动,现有一支枪固定在支架上,以垂直于 x 轴的方向射出子弹正好瞄准 $x = 12\text{cm}$ 处,子弹可看成质点,子弹的速度比鸡蛋的速度大很多,现有一个瞎子叩动板机,那么他击中鸡蛋的概率是多大?

分析和解:鸡蛋在 A 、 B 之间做往复运动,也就是它的中心在 $+21\text{cm}$ 和 -21cm 之间往复运动。由于子弹是瞄准 $+12\text{cm}$ 的,也就是鸡蛋的中心在 -15cm 和 $+9\text{cm}$ 之间,子弹击

中鸡蛋的概率实际上就是鸡蛋出现在这个空间区域的概率,可以化成鸡蛋在一个周期内在这个区域所出现的时间,这就是把空间概率转化成时间概率。

根据简谐运动是匀速圆周运动在直径上的投影,在半个周期内,鸡蛋被击中的时间是匀速圆周运动圆心角在 θ 角这个区域, $\theta = \arccos \frac{9}{21} - \arccos \frac{15}{21}$ (如图3),那么子弹击中鸡蛋的概率就是 $p = \frac{\arccos \frac{9}{21} - \arccos \frac{15}{21}}{\pi} = 0.11$ 。

概率的思想在现代物理实验中也得到了运用,根据大统一理论推出质子的寿命是有限的,为 $10^{31} \sim 10^{32}$ 年,这个时间要比宇宙的年龄还要长得多,当然是不可能被测出的,于是就取 $10^{33} \sim 10^{35}$ 个质子,一年内就可能有 10^2 个质子发生衰变,这是可能被测出的。这样就把时间概率转化为空间概率,从而把不能测量的变换成能够测量的了。

正是在这种理论和设想的影响下,格拉肖等人设计了著名的深井内探测质子的实验。整个实验装置被安排在地下600m深处的巨大洞穴里。该洞穴用合成橡胶衬里,在洞壁上装有2000支光电倍增管,并灌入1万吨异常纯化的过滤水,以寻找能够表明质子发生蜕变的闪光。根据实验水中包含的质子数大于 10^{27} 的情况,所以有理由认为,水池里每年应当发生约 2×10^2 次质子蜕变。这个实验目前虽然没有得到质子寿命的上限,但是,实验的设计所运用

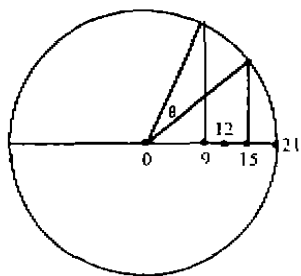


图3

的巧妙的概率思想是非常有启发性的。

二、从不同的解法的比较中领会物理思想

例4 渔人在河中乘舟逆流航行,经过某桥下时,一只水桶落入水中,半小时后他才发觉,即回头追赶,在桥的下游5.0km处赶上。设渔人顺流及逆流相对于水的划行速率不变,求水的流速。

解法1:以大地为参照系,水流速度为 v ,船相对于水的速度为 v_1 ,则以大地看来船在逆流而上时的速度为 $v_1 - v$,经过了 $t_1 = 0.5$ h,船到达了桥的上游 $s_1 = (v_1 - v)t_1$,此时水桶到达了桥的下游 $s'_1 = vt_1$ 。此后,船向下游驶去,速度为 $v_1 + v$,设经过 t_2 时间追上水桶,船运行了 $s_2 = (v_1 + v)t_2$,而水桶运行了 $s'_2 = vt_2$,则水桶此时在桥的下游 $s = s'_1 + s'_2 = v(t_1 + t_2)$,这也是船的位移 $s = s_2 - s_1 = v_1(t_2 - t_1) + v(t_1 + t_2)$,可得 $t_2 = t_1$,则

$$v = \frac{s}{2t_1} = 5 \text{ km/h}.$$

解法2:本题的情景如以河水为参照系,则水桶相对于河水是静止的,这只船顺流和逆流行动时相对于河水速率是相同的,于是从水桶落水到船返回赶上水桶共用时间为 $t = 0.5 + 0.5 = 1$ h,则水流速度

$$v = \frac{s}{t} = 5 \text{ km/h}.$$

由于这道题很容易,所以人们往往对参照系的选择不以为然,经常在给学生上竞赛课的老师就会十分重视参照系的选择。但是要问到上面的两种参照系,哪一种参照系更好,哪一种参照系更真实的时候,人们往往会以为第二种参照系更好,第一种参照系更真实。实际上,惯性参照系问题是空间平移对称性问题,在不同的惯性参照系中描述的物体的速度、动量、能量等可能是不同的,但是,所描述的牛顿定

律、动量定理、动量守恒定律、机械能守恒定律却是具有相同的形式。这就是伽利略力学相对性原理。再发展到爱因斯坦的物理相对性原理：对于物理理论，一切惯性参照系都是等价的。这就是说，不同的惯性参照系之间没有哪个比另一个更好或更真实的，它们都是平等的。只有更习惯和更方便的区别。上面我们求得的水流的速度5km/h，只是我们习惯于以大地为参照系的描述而已，并不是说只有这个答案才是真实的。

例5 如图4所示，一辆小车在公路AB上行驶的速度是 $v_1=50\text{km/h}$ ，在公路以外的平地上行驶的速度

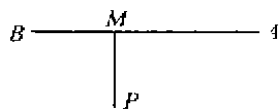


图4

是 $v_2=40\text{km/h}$ ，在离公路垂直距离 $PM=30\text{km}$ 处有一仓库P，这辆小车从距离M为100km的公路上的A处行驶到仓库至少用多少时间？

解法1：小车从A直接运动到P路程最短，但速度最小，所以为了使时间最少，可使小车先在公路上行驶到Q，再从Q沿直线QP行驶到P，这是一个求时间极值的问题。

设Q点与M距离为 x ，则小车在公路上行驶的时间是 $t_1=\frac{100-x}{v_1}=\frac{100-x}{50}$ ，小车在平地上行驶的时间是

$$t_2=\frac{\sqrt{30^2+x^2}}{v_2}=\frac{\sqrt{30^2+x^2}}{40}$$

小车运动总的时间为

$$t=t_1+t_2=\frac{100-x}{50}+\frac{\sqrt{30^2+x^2}}{40}$$

这里求 t 的极小值，在中学数学的范围内还真不容易，用高等数学的方法不难求得（具体求导解题过程从略），当 $x=40\text{km}$ 时， $t=\frac{100-40}{50}+\frac{\sqrt{30^2+40^2}}{40}=2.45\text{h}$ 。

• 20 •

解法2：如果我们把运动反过来，小车从P行驶到A的运动时间最短，也应取道P→Q→A，小车在

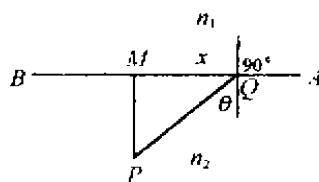


图5

这两种媒质中的速度不同，相当于光的全反射（如图5），要选取适当的点Q正是光从光密媒质射向光疏媒质的入射点。即

$$n_1 \sin \theta = n_2 \sin 90^\circ$$

$$\text{则: } \sin \theta = \frac{n_1}{n_2} = \frac{v_2}{v_1} = \frac{4}{5}$$

$$x=40\text{km}$$

所用时间为 $t=2.45\text{h}$ 。

这道题的解法告诉我们，几何光学和力学是有对应关系的，光线和粒子的轨道在数学表达方面非常相似。光在均匀的介质中直线传播，对应于匀速直线运动。光在不同介质中的折射，对应于粒子在力场中的运动。不论光发生反射或者折射，它都遵从费马原理，即光程取到极值，或者说光走的时间最短。我们在讨论物体的运动，当它的运动取最短的时间的问题，我们都应该想到运用几何光学来解这种力学问题。

例6

如图6所示，质量为 m 的金属跨接杆可以在水平平行的金

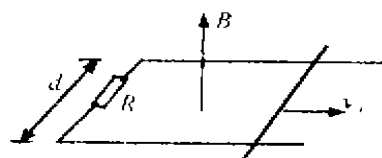


图6

属导轨上无摩擦地滑动，两轨之间宽度为 d ，导轨与电阻为 R 的电阻器连接，放在竖直方向的匀强磁场中，磁感强度为 B ，跨接杆初始速度为 v_0 ，试求跨接杆停下来所滑行的距离。金属跨接杆和导轨的电阻均不计。

分析：跨接杆在运动的过程中，切割磁感

线产生感应电动势,就有感应电流通过跨接杆,这样杆就受到磁场力的作用,产生向后的加速度,因此做减速运动,随着速度的减小,磁场力减小,所以跨接杆是做加速度逐渐减小的减速运动。

解法1:设跨接杆在水平导轨上滑行的过程中的平均速度为 $\bar{v}$,滑行时间为 t ,则在此过程中回路的面积变化为 $\Delta S = \bar{v}dt$,回路的磁通量的变化为 $\Delta\phi = B\bar{v}dt$,在此过程中的平均感应电动势为 $\epsilon = \frac{\Delta\phi}{\Delta t} = B\bar{v}$,由欧姆定律得 $I = \frac{\epsilon}{R} = \frac{Bd\bar{v}}{R}$,平均力为 $F = IBd = \frac{B^2d^2\bar{v}}{R}$ 。

根据动量定理 $\bar{F}t = \Delta mv$,即

$$-\frac{B^2d^2\bar{v}}{R}t = 0 - mv_0, \text{得}$$

$$\bar{v}t = \frac{mv_0K}{B^2d^2}$$

解法2:跨接杆的速度由 v_0 变化到0的过程中,在某一个瞬时,它的速度为 v ,它的感应电动势为 $\epsilon = Bdv$,在那个瞬时的电流为 $I = \frac{Bdv}{R}$,则跨接杆受的力为 $F = \frac{B^2d^2v}{R}$ 。把跨接杆的运动分成无限多个微元过程,根据动量定理 $F\Delta t = \Delta mv$,那么从开始到最后停下来,可以列出方程如下:

$$\frac{B^2d^2v}{R}\Delta t_0 = mv_0 - mv_1$$

$$\frac{B^2d^2v_1}{R}\Delta t_1 = mv_1 - mv_2$$

$$\frac{B^2d^2v_2}{R}\Delta t_2 = mv_2 - mv_3$$

.....

$$\frac{B^2d^2v_n}{R}\Delta t_n = mv_n - mv_{n+1}$$

把这些式子两边相加,得:

$$\frac{B^2d^2}{R}(v_0\Delta t_0 + v_1\Delta t_1 + v_2\Delta t_2 + \cdots + v_n\Delta t_n) = mv_0 - mv_{n+1}$$

$$\text{即 } v = v_0\Delta t_0 + v_1\Delta t_1 + v_2\Delta t_2 + \cdots + v_n\Delta t_n$$

$$\Delta t_n = \frac{mv_0K}{B^2d^2}$$

对比这两种解法,第一种是用平均值的方法,这里要注意,取平均的时候有一个对什么平均的问题,是对时间平均还是对位移平均。这道题解法里的平均速度、平均感应电动势、平均电流强度、平均磁场力都是对时间的平均。第二种是用微元法,是对跨接杆在运动过程中的每一个时刻进行分析,对无限小的微元时间列动量定理的方程。

微元法是物理研究和物理解题中的一种重要的方法,微元法和平均方法有着密切的联系,平均方法是将某个变化的物理量在所取的过程中将一个不变量代替它。有的变化量是线性变化的,有的是非线性变化的。本题所涉及的速度、以及感应电动势、电流强度、磁场力等都是非线性变化的。微元法是在无限小的过程中进行研究的,它在每一个微元中把某个要研究的物理量用不变的量来代替变化的量,这一点与平均方法的思想是相同的,应当说微元法在思想方法上是严密的。平均的方法,不论变量是线性变化还是非线性变化,都要受到微元法的检验。

物理习题教学的过程,不仅是打好学科基础的过程,而且是领会物理思想的过程。要注意物理习题本身和解题方法的精神实质,就像太极拳老师对每一个姿势要讲解其来龙去脉,太极拳学习者对每一个动作要知道它的意义一样。在物理习题教学中,不仅要掌握习题中的基本概念和规律,这是物理习题教学的骨架,还要掌握习题中的物理思想,这是物理习题教学的灵魂。

(浙江省宁波市效实中学 315000)