

# 杂技中的力学知识

邵淑芬

(华南师范大学物理系 佛山 528000)



中国的杂技艺术历史悠久,源远流长,是中华民族珍贵的文化遗产。杂技是一门充满神奇和挑战极限的艺术,演员们非凡的技术和高超的表演往往令人惊叹不已,这除了与演员们具有良好的心理素质、熟练的表演技艺之外,还与物理的力学知识有密切关联。下面从4个方面来分析杂技中蕴涵的力学知识。

## 一、物体平衡问题

物体的共点力平衡和力矩平衡是力学的基本内容,物体的平衡问题在日常生活中有广泛的应用。在教学上应注意以丰富多彩的生活实际展示平衡问题,同时注意启发学生多动脑研究、讨论,这对提高学生分析和解决问题能力非常有用;力求使学生以不同的方法、从不同的侧面来理解和学习这些知识,调动学生的学习兴趣和积极性。

### 例1:椅子顶

在凳子上放置4个啤酒瓶,把椅子4条腿搁在啤酒瓶上,演员单臂倒立在椅子上,看起来十分惊险,但演员却稳稳当当。力学原理是:如果物体重力作用线通过支面、支轴或者支点,那么物体就平衡。4个瓶子围成的面积就是支面,由于重力作用线通过这个支面,所以演员可以保持平衡状态。如果抽去1个瓶子,支面范围减小了一半,重心必偏向抽去瓶子反方向,使重心作用线落在余下3个瓶子构成的支面上才能平衡。支面面积越小,稳度越小,表演难度就越高。

### 例2:高空走钢丝

2000年12月31日,“高空王子”阿迪力手持长竿在上海的中环商务大厦之间走钢丝。这种手持平衡长竿的走钢丝难度要比空中骑车大得多,因为这是一种有支轴的平衡(轴即双足),其重心在支轴的上面,是一种不稳定平衡。重力的作用线稍稍偏离支轴,即可产生一个倾覆力矩,使人掉下来。那么演员靠什么办法来保持平衡呢?主要靠调节手中的平

衡杆来实现。从图1可以看出,当人的重心稍稍偏向右边时,产生一个顺时针方向的力矩,演员立即将杆移向左边,杆将对人产生一个略大于前者的逆时针方向的力矩,使人体回复到竖直位置;反之亦然。这时演员反应的灵敏度极为重要。重心变化察觉得迟了,移杆也无济于事。所以阿迪力在大河上空气流不稳定的情况下,能如履平地般地走完几十米的钢丝,实在令人叹服。

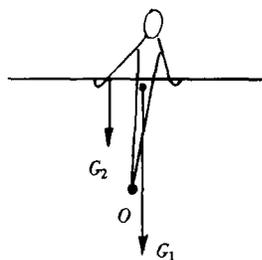


图1

## 二、向心力问题

在向心力问题的教学中,学生常常误认为向心力是一种特殊的力,是做匀速圆周运动的物体另外受到的力。如何正确认识向心力的来源,教学中应注意通过多分析实例使学生获得正确认识,如用水流星、飞车走壁和蹬毯的物理模型来分析,学生接受起来会相对容易一些。

### 例1:水流星

一根绳子的两端各系一个圆圈,圈中放上碗,倒进水,在演员手里一经舞动,上下旋转,恰似流星飞舞,而碗中的水并不倒出来。其实碗在竖直平面内做圆周运动,当碗到达最高点时,碗口朝下,但水并没有从碗中流下来,是因为碗在最高点处的速度足够大,碗里的水自身所受重力不足以提供它所需的向心力,水由于离心运动而压向碗底,对碗施加一个向上的压力,所以水没有掉下来,而是和碗一起运动。根据牛顿第三定律,碗底对水施加一个向下反作用力,这个反作用力和水所受重力的合力构成水

在最高点做圆周运动的向心力(图2)。

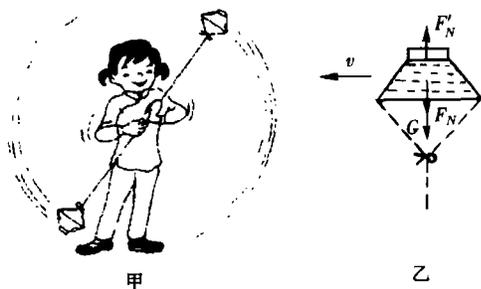


图2

### 例2:飞车走壁

演员骑着摩托车在球形网内最大的水平圆周上飞旋,让人惊心动魄。假设球形半径  $R = 8$  米,摩托车的车轮与网壁间的动摩擦因数  $\mu = 0.4$ 。驾驶员和摩托车这个整体在竖直方向受到重力  $G$  和网壁的摩擦力  $f$ ,网壁对摩托车的支持力  $N$  是摩托车做圆周运动所需的向心力(图3)。则:

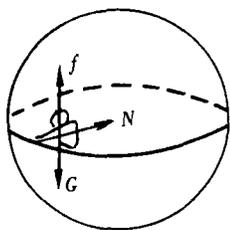


图3

$$N = mv^2/R$$

摩托车与网壁间的摩擦力大小为:

$$f = \mu N = \mu mv^2/R$$

摩托车在水平面内做圆周运动,在竖直方向没有运动,所以它满足:  $mg - f = 0$

解得摩托车的速度  $v = 14$  米/秒

如果摩托车的速度小于 14 米/秒,摩托车对网壁的正压力减小,摩擦力也减小,这样摩擦力会小于车的重力,摩托车在水平面内做圆周运动的同时还会在竖直面内向下加速运动,这样会危害演员的安全。

### 例3:蹬毯

演员躺在蹬毯凳上,双脚蹬起,用脚把一块普通的方毯快速旋转,使方毯能自由开启和改变形状。其实杂技关键在于用脚尖来控制方毯旋转的角速度。在运动着的方毯上任意选取一小块,质量为  $m$ ,它受到重力  $mg$  和方毯其余部分对这一小块作用力  $T$ ,小块毯在水平面内做匀速圆周运动,它在竖

直方向所受合力为零。即:

$$T \cos \theta - mg = 0$$

$T$  在水平面内分量为维持  $m$  小块做圆周运动的向心力。即:

$$T \sin \theta = m\omega^2 r$$

方毯的张角满足:  $\tan \theta = \omega^2 r/g$

所以随着方毯的旋转角速度  $\omega$  增大,方毯的张角  $\theta$  也增大。如果演员的脚尖忽上忽下地在竖直方向运动,借助空气的阻力方毯开启得更大。当方毯在脚尖上匀角速旋转时,方毯粗略地构成一个旋转抛物面(图4)。

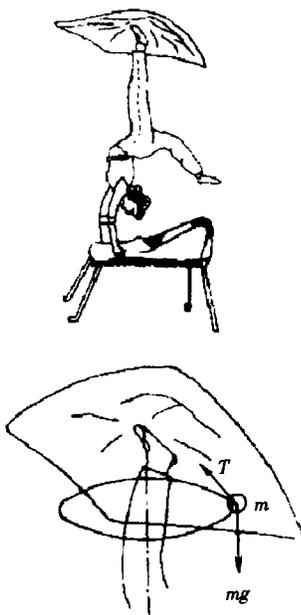


图4

### 三、动量守恒定律

动量的概念、动量定理和动量守恒定律是牛顿力学知识的进一步拓展,在牛顿运动定律的基础上,动量守恒定律和动量定理为解决力学问题开辟了新的途径,这是力学部分的重点知识。通过讨论一个具体事例,使学生知道,动量守恒定律不仅适用于碰撞,也适用于任何形式的相互作用,对定律的适用条件将会有更清楚的认识。

#### 例:气功碎石

表演时把一块沉重的大石板压在演员身上,一个大力士举起大铁锤使劲向石板砸去,石板被砸碎了,而演员安然无恙(图5)。假设石板质量为  $M$ ,铁锤质量为  $m$ ,铁锤打击石板前速度为  $v_0$ ,石板获得速度为  $v$ 。以铁锤和石板为研究系统,以铁锤速度  $v_0$  方向为正方向。由于铁锤打击石板时间很短,重

力的冲量很小,可忽略不计。铁锤打击石板前后总动量守恒。即:

$$mv_0 = Mv$$

解得  $v = mv_0/M$

石板获得能量为:

$$E_{\text{石}} = Mv^2/2 = (m/M) \cdot mv_0^2/2 = (m/M) \cdot E_{\text{锤}}$$

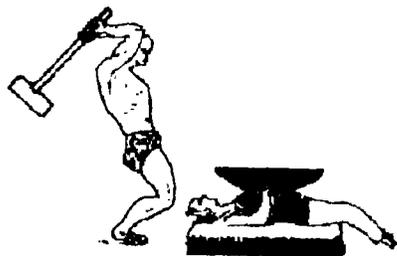


图 5

由于  $M \gg m$ , 所以石板获得的动能极小。为了让人更加安全,要尽量扩大石头和演员的接触面积,从而减小压强。在表演杂技时,往往还有作假,将铁锤制成空心的,用极柔软的细木棒,以尽量减小铁锤的质量  $m$ ,从而减小石板的速度  $v$ 。

#### 四、运动问题

运动学是力学的基础内容,运动的基本规律和对运动状态的描述方法,以及物理学研究问题的基本思路、方法,都是进一步学习的重要基础,特别是加速度的概念,是高中一年级物理课中比较难懂的概念。在教学中应根据实际情况尽量让学生多动手动脑,运用所学的知识分析和解决问题,由此学习和体会一些科学方法。

##### 例 1: 熊猫滚球

熊猫是我国独有的珍稀动物,憨态可鞠的熊猫站在一个大圆球上,灵活地滚球前进实在出人意料。假设熊猫质量  $m_1 = 50$  千克,球的质量  $m_2 = 20$  千克,球滚动时地面对球的动摩擦因数  $\mu = 0.1$ ,则地面对球的摩擦力为:

$$f = \mu N = \mu(m_1 + m_2)g$$

根据牛顿第二定律可得熊猫和球这个整体的加速度为:

$$a = f/(m_1 + m_2) = \mu g = 0.1 \times 9.8 = 0.98 \text{ 米/秒}^2$$

设在 3 秒内熊猫使球在地面上滚动的距离为:

$$s = at^2/2 = 0.98 \times 3^2/2 = 4.4 \text{ 米}$$

##### 例 2: “人体炮弹”

演员预先躺在特制的炮膛里,然后把他从炮膛

里发射出去,一位小丑站在一张高凳上,手上拿着一个大铁圈,开炮后,“人体炮弹”从这个铁圈里穿过再落到安全网上(图 6)。其实演员并不是由火药爆炸产生的力打出去的,而是弹簧的弹力将他推出去的。一般演员发射速度为  $v_0 = 24$  米/秒,仰角为  $\alpha = 60^\circ$ 。

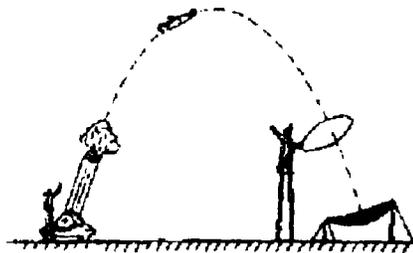


图 6

根据抛体运动公式可得“人体炮弹”飞行的最大高度为 22 米,飞行水平距离(射程)为 53 米。

在发射阶段,假设“人体炮弹”在炮筒内运动距离  $S = 8.5$  米,他的加速度为:

$$a = v_0^2/2S = 24^2/(2 \times 8.5) = 33.9 \text{ 米/秒}^2 \approx 3.5g$$

由于“人体炮弹”的加速度远小于人死亡的加速度(400g—500g),所以演员会很安全。

在落网阶段,“人体炮弹”的速度和发射速度差不多,网陷下的深度约为  $s = 1.5$  米,他的加速度为:

$$a = v_0^2/2s = 24^2/(2 \times 1.5) = 192 \text{ 米/秒}^2 \approx 19.6g$$

同样“人体炮弹”的加速度仍远小于死亡的加速度,所以演员也会很安全。

中学物理教学一直比较重视理论知识在技术和解释自然现象中的应用,但是存在某些脱离实际的倾向,教材的内容与我国实际严重脱节,学生对身边其他事物关注不够细致,对科学知识的了解局限在知识层次浅、相对容易的科学知识范围内。重训练、轻实际,重记忆、轻思考,单调枯燥的知识导致学生在心灵深处滋生出一种厌倦,利用日常生活中常见的杂技节目,进行物理分析和估算,可以使课堂教学生动化、趣味化、具体化与真实化,让教学更能吸引学生注意力、激发学生的学习兴趣,同时让学生学会观察生活、体验生活,提高了学生利用物理知识和物理规律解决实际问题的能力。

