

大学物理课堂例题真实化举析

胡海云 刘兆龙 冯艳全

物理学一词来源于希腊文 physics, 意即“自然”。物理学是一门历史悠久的自然学科, 不仅对物质文明的进步和人类对自然界认识的深化起了重要的推动作用, 而且对人类的思维发展也产生了不可或缺的影响。随着科技的发展, 社会的进步, 物理已渗入到人类生活的各个领域。在大学物理课堂教学中, 从实际背景出发, 联系



生活讲物理, 把实际问题物理化, 物理问题综合化、生活化, 适当创设一些小而具体、新而有趣的真实化的例题, 是我们近几年在大学物理教学改革中的一种尝试, 目的是让学生体会物理学在生活实际及科学技术中的应用价值, 激发学生的学习兴趣, 培养思考问题、解决问题的能力, 从而提高学生的综合素质。下面着重给出几个涉及生物体的教学实例。

实例一、水母喷水推进模式

水母是生活在大海中的一种低等生物, 它们的身体多半透明, 身体外形呈圆伞状或钟状 (图 1), 其直径有大有小。伞内有发达的肌纤维, 肌纤维收缩时, 伞内的胃腔就会随之收缩, 使身体内的水从腔口挤出, 形成喷射水流而推动水母前进, 然后利用收缩过程中储存在外伞肌肉中的弹性应变能, 使外伞反复恢复到放松的状态, 并使水回流至外伞内

部, 为下一次的喷水做准备。若近似把完全张开时的水母看成是一个充满水 (密度 $\rho = 1000 \text{ kg/m}^3$) 的半径为 $r_0 = 0.1 \text{ m}$ 的气球, 其中的水 (质量 $m = 4/3\pi r^3 \rho = 4.2 \text{ kg}$) 在 1 s 内由内截面半径为 1 cm 的柱状管口完全喷出, 可算得其平均速度约为

$$v = \frac{m}{\pi \times 0.01^2 t} = 13 \text{ m/s},$$

则由牛顿第二定律可知平均推进力为

$$F = \frac{\Delta m}{\Delta t} v = 55 \text{ N}.$$

此值大于水母的重力, 从而水母便能向相反的方向浮起, 可使其快速游动。这种喷水推进与火箭喷射原理相似, 都是将自身的物质向后方喷出而获得推力, 可以利用动量守恒原理进行解释。需要进一步指出的是, 虽然喷水推进其中涉及的流体问题不像看上去那样简单, 但生物喷水推进的特点使其在仿生水下机器人的研究中有着很好的应用前景。一方面, 喷水动作由改变腔体的体积完成, 可以灵活地应用多种驱动技术来实现; 另一方面, 通过改变喷水的参数, 很容易实现高速巡航和低速精确定位之间的切换。

靠自然伪装的保护完全失效。正是由于这些突出优点, 红外热成像技术目前已成为夜视技术中最热门、应用最广的技术, 用在导弹、机枪、火炮、飞机等军事设备上, 可以完成目标捕获、射击控制、监视及空中侦察任务。因此, 世界上许多国家竞相研制与开发红外热成像技术, 发展十分迅速。在过去 30 年中, 已成功开发应用了两代红外热成像系统, 美国 ANS/PAS-13 型“热力武器瞄准器”是目前最先进的被动红外夜视装备, 使用了第二代前视红外技术; 轻质、高传输率二元光学部件; 小体积、低功

耗的超大规模集成电路部件; 低功耗、高亮度发光二极管显示器等。对人员的探测距离超过 1100 m , 对车辆为 2200 m , 已被美陆军“陆战勇士”计划所选用。

(陕西西安武警工程大学物理教研室 710086)

基金项目: 武警工程大学基础研究基金资助课题 (No. WJY201105)

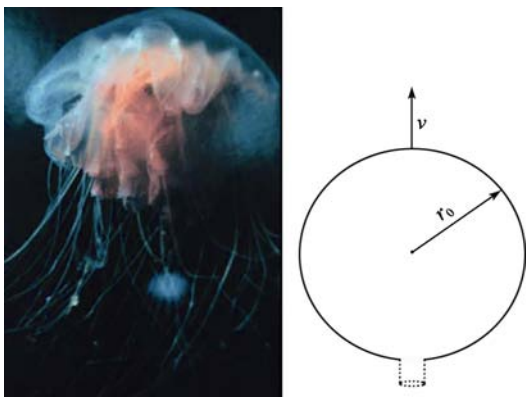


图1 水母的气球模型
(图片来源: *Physics of the Life Science*)

实例二、恐龙奔跑(走)速度

虽然恐龙早已灭绝,但据2007年8月英国《泰晤士报》报道,英国科学家发现,最凶猛强大的两腿食肉霸王龙的奔跑速度确实超过了大多数人类,时速能达到28.8千米。那么人们是如何知道6500万年前就灭绝的恐龙如霸王龙奔跑的速度呢?其实根据所发现的恐龙留下的足迹(图2),再加上恐龙腿骨化石,测量其腿长 L 和步距 s ,就能根据大学物理振动部分知识估算出恐龙的奔跑速度。

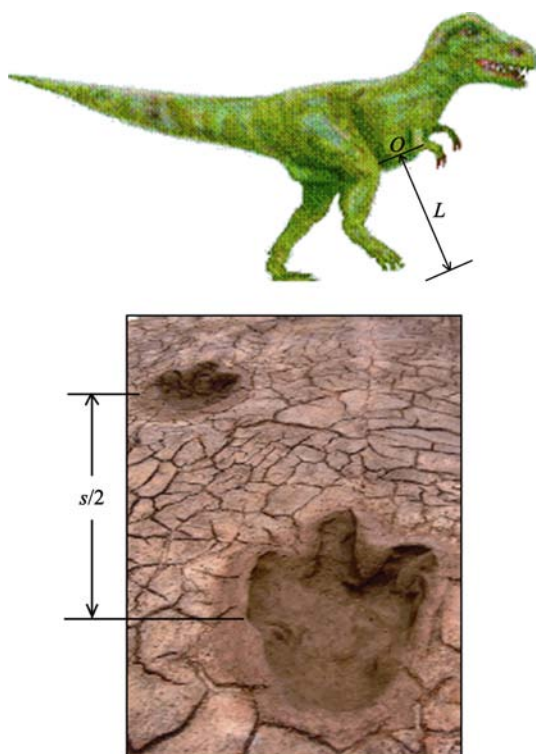


图2 霸王龙足印

(1) 已知霸王龙的腿长 L 为3.1m,当霸王龙奔走时,近似将其腿的运动看作是一根匀质杆绕通过其一端的水平轴 O 的角谐运动。匀质杆对轴 O 的转动惯量 $J = mL^2/3$,质心到轴 O 的距离 $h = L/2$ 。由此得霸王龙腿的固有周期为

$$T = 2\pi\sqrt{\frac{J}{mgh}} = 2\pi\sqrt{\frac{mL^2/3}{mgL/2}} \\ = 2\pi\sqrt{\frac{2L}{3g}} = 2\pi\sqrt{\frac{2 \times 3.1}{3 \times 9.8}} = 2.9 \text{ s}。$$

(2) 已知霸王龙的步距 s 为4.0m,则可估算出霸王龙可以大致奔走的速度为

$$v = s/T = 1.4 \text{ m/s} = 5.0 \text{ km/h}。$$

遇到紧急情况时,所有的恐龙都会急速奔跑起来,速度可达16~20km/h,食肉霸王龙在追赶猎物时速度还会快些。

实例三、沙蝎捕食

又如有一种沙漠蝎子既没有眼睛,也没有耳朵,但即使在夜间也能准确地定位它周围几十厘米的猎物。它捕食猎物靠的是一种地震仪式的本领。它有八条腿,趴伏时大致对称地放置在躯体四周(图3)。如果蜈蚣或其他小虫在这个沙蝎周围的沙子上活动时,就会在沙面上引起一种地震波;传出快速纵波脉冲和慢速横波脉冲,即P波和S波。蝎子从哪只腿先截获较快的P波,就能判断小虫所在的方向,并从P波和S波到达的时间差就可以“算出”小虫到它的距离。方位和距离都知道了,它就能立即转向小虫并猛扑过去捕获(作为美餐)。例如已知P波速度为 $u_L = 150\text{m/s}$,S波速度为 $u_T = 50\text{m/s}$ 。如果两波到达沙蝎的时间差为 $\Delta t = 3.5\text{ms}$,则小虫离它的距离可由公式 $d = \Delta t \frac{u_T u_L}{u_L - u_T}$ 得出为26cm。



图3 非洲沙蝎

实例四、大鸟的质量

有一位鸟类学家，在野外观测到一种少见的大鸟落在一棵大树的细枝上，他测得在 4 秒内树枝来回摆了 6 次，等鸟飞走了以后，他用 1 千克的砝码系在细枝上，测出树枝弯下了 12 厘米，于是他用笔很快地算出这支鸟的质量是 920 克，他是怎么算的？你会算吗？实际上计算是很简单的。他把树枝的摆动近似看成是简谐振动，振动频率为：

$$\nu = \frac{6}{4} = 1.5 \text{ Hz},$$

$$\omega = 2\pi\nu = 3\pi \text{ rad}\cdot\text{s}^{-1}.$$

他测得树枝的劲度系数为

$$k = \frac{1 \times 9.8}{0.12} = 81.7 \text{ N}\cdot\text{m}^{-1}.$$

由于 $\omega = \sqrt{\frac{k}{m}}$ ，所以鸟的质量为

$$m = \frac{k}{\omega^2} = 920 \text{ g}.$$

他间接地测出了这只不知名的大鸟。

实例五、空间飞行器上宇航员质量测量

图 4 显示一位宇航员坐在人体质量测量装置 (BMMD) 上。该装置设计的目的是用于空间轨道飞行器，使宇航员在失重条件下能够测量自己的质量。BMMD 是一把装有劲度系数为 k 的弹簧的椅子，宇航员通过测量他或她坐在该椅子上时振动的周期 T ，由弹簧振子的周期公式便可求出质量。

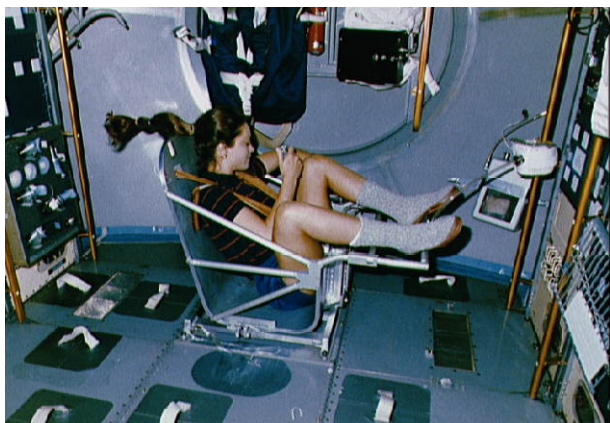


图 4 人体质量测量装置 (BMMD)

(1) 已知置于正执行任务的空间飞行器上的 BMMD 的弹簧常量 $k = 605.6 \text{ N/m}$ ，通过测得空椅子时 BMMD 振动的周期是 0.90149s 。则 BMMD 参

与部件的有效质量 m 由 $T = 2\pi\sqrt{m/k}$ 计算，即为

$$m = \left(\frac{k}{4\pi^2}\right)T^2 = \left(\frac{605.6}{4\pi^2}\right) \times 0.90149^2 = 12.5 \text{ kg}.$$

(2) 如果 M 是宇航员的质量，则由宇航员坐在 BMMD 上时系统的固有周期

$$T = 2\pi\sqrt{\frac{M+m}{k}},$$

可得其质量计算公式

$$M = \left(\frac{k}{4\pi^2}\right)T^2 - m.$$

当宇航员坐在椅子上时，若测出系统振动的周期变为 2.08832s ，可由上式求出

$$M = \left(\frac{605.6}{4\pi^2}\right) \times 2.08832^2 - 12.5 = 54.4\text{kg}.$$

实例六、蜜蜂传授花粉的一种方式

花的繁殖是依赖昆虫把花粉粒从一朵花传送到另一朵。其中蜜蜂在传授花粉的过程中扮演着至关重要的角色。为了收集花粉、花蜜，蜜蜂在身体上也演化出许多特化的构造，在身体上有密密细毛以吸附花粉，在后足上有特化的花粉梳，将附在身上的花粉集中到后肢的花粉篮内。令人惊异的是，静电也在蜜蜂收集花粉的工作中，扮演了相当重要的角色。当蜜蜂飞行时，由于翅膀与空气摩擦而产生静电。花粉粒通常带有负电荷（它们在一定程度上导电），当蜜蜂飞到花朵上时，花粉粒即受到静电的吸引就会被吸附到蜜蜂身上，蜜蜂的收集能力大为增加。若当蜜蜂在花的电绝缘的花药附近盘旋时，花粉也会跳向蜜蜂，在飞到下一朵花期间，花粉粒黏附在蜜蜂上（图 5）。当蜜蜂接近花的柱头（它通过花的内部与地电连接）时，花粉粒从蜜蜂跳到柱头上，使花受精。假定带有典型的 45pC 电荷的一蜜蜂是球形导体，则可求出在距离蜜蜂中心为 2.0cm 的花粉粒处蜜蜂的电场的大小约为 1011N/C 。此外请读者思考，对为什么花粉粒跳往蜜蜂，在蜜蜂飞行期间粉粒粘附在它上面，以及然后从蜜蜂跳离到接地的柱头上，给出合理的说明。

实例七、神经细胞电信号的传递

神经细胞可以传递电信号。如图 6 所示神经细胞由带树突的细胞体、树突和轴突组成，细胞体内的细胞核含有基因信息（遗传信息）；树突是由细胞体周围发出的分支，呈树枝状，负责传送信息到其

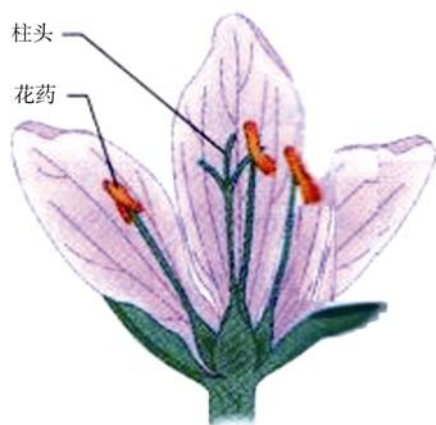


图5 花粉黏附在蜜蜂上

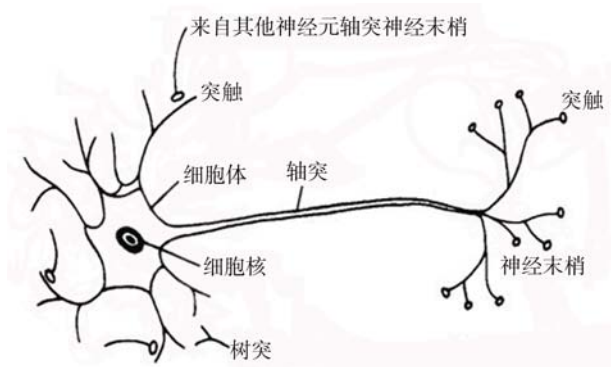


图6 神经细胞结构

他神经元；轴突是由细胞体发出一根较长的分支。细胞体与轴突的主要功能是与其他神经元合作，接受并传导神经脉冲，神经脉冲是由刺激引起的电位活动。两神经元之间并不接触，其中有一小空隙10~50nm 的叫做突触。当神经脉冲传至神经元的末端（终端按钮），胞质中的化学物质发生变化，将神经传导的化学物质（化学递质神经传送素）注入突触空隙中，引起放电作用（类比于电容器放

电），激发另一神经元，再传递神经脉冲。简单地说，神经细胞连接着人大脚趾的压力感觉细胞和脊髓中的神经，信号由树突进入细胞体，再从轴突传递出去。这种神经细胞的轴突像一个由薄膜构成的细长管子，半径为 $5\text{ }\mu\text{m}$ ，长度为 1 m ，膜的厚度为 8.0 nm ，膜的相对介电常数为 7 。由于膜的厚度与轴突半径相比非常小，所以膜的任一小部分都可看成平面，因此可以把轴突等效成平行板电容器。若已知轴突膜内外侧具有 90 mV 电势差，则利用电学知识可得轴突膜内外侧所带电荷电量是 $2.2\times 10^{-8}\text{ C}$ 。

实例八、红细胞骨架的力学性质的研究

红细胞骨架是粘在细胞膜内侧的聚合物网，美国生物学家迪瑟尔 (D. Discher) 巧妙地利用能量均分定理设计了一个实验来研究红细胞骨架的力学性质，他在这个聚合物网上粘贴了一个直径为 40 nm 的荧光纳米颗粒小球，这个网可看作一个限制小球自由运动的弹簧。在宏观世界中，可以通过给小球一个特定的力 F 测量小球在 x 方向的位移 Δx ，并用 $F = k_{\text{sp}} \Delta x$ 来找到答案。但是在如此微小的物体上施加一个确定的力是不容易的。迪瑟尔采取了另一种办法，即只对小球的热运动进行观察，他发现在室温下小球在 x 方向的振幅的方均根 $\sqrt{\langle (\Delta x)^2 \rangle} = 35\text{ nm}$ ，请问这个弹簧的劲度系数 k_{sp} 是多少？要回答这一问题，首先应用能量均分定理可得纳米小球在 x 方向的平均动能为 $kT/2$ 。再由题目给出的条件，可将小球在 x 方向上的运动看成是一系列的简谐振动，对于简谐振动有平均势能等于平均动能，因此小球在 x 方向上平均振动势能也为 $kT/2$ 。由简谐振动的知识，小球在 x 方向上平均振动势能又可表示为 $k_{\text{sp}} (\Delta x)^2 / 2$ ，所以可得 $k_{\text{sp}} = 0.0034\text{ pN/nm}$ 。这一结果表明红细胞骨架是非常柔软的，这正是红细胞易变形的性质所需要的。

在物理教学中，结合实际问题进行讲解，使学生既看到物理原理的实用性，又能逐渐学会通过建立物理模型，运用物理原理和规律分析求解实际问题。这样可以启发学生思考的积极性，变枯燥的理论教学为理论教学与案例教学相结合，既能提高学生学习物理的兴趣，又有利于培养和提高他们分析和解决实际问题的能力，并更好地体现物理以“物”喻理，以“物”明理，以“物”悟理的学科特点。

(北京理工大学物理学院 100081)