普通高中教科书

物理

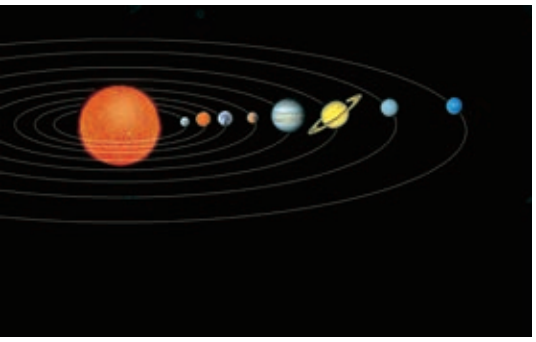
必修

第二册

总主编　束炳如　何润伟



上海科技教育出版社



亲爱的同学：

欢迎你学习《物理（必修 2）》！

你已经投身于一项激动人心的探索活动。让我们继续携手，度过一段美好的时光。

你周围世界发生的事情几乎都跟物理学有关，现代社会的许多技术进步都源于对物理规律的理解和应用。学习物理可以使你提高科学素养的愿望得到实现，甚至可以使你成为“专家”。作为现代社会的公民，物理学将有助于我们解决生活、生产中的许多问题。

在《物理（必修 2）》中，我们将学习曲线运动，探索机械能及其守恒定律，领会万有引力定律的重要意义，了解从牛顿力学到现代物理的变革，体会物理学的思想观点和研究方法，认识物理学在科学技术上的广泛应用，及其对人类文明与社会发展的巨大影响。

为了让你在学习《物理（必修 2）》的过程中获得更大的成功，请浏览下面的本书栏目介绍。



第 5 章　经典力学的局限性与相对论初步

经典力学（classical mechanics），通常叫牛顿力学。牛顿把地面上物体的运动与行星的运动综合起来进行深入研究，总结了经典力学的基本规律。他的不朽名著《自然哲学的数学原理》，为经典力学奠定了基础。

步入 19 世纪末叶，在经典力学基础上发展起来的经典物理学，似乎到了尽善尽美的程度。著名物理学家开尔文勋爵（Lord Kelvin）踌躇满志地宣告：“科学大厦已经基本建成。”但他也有所担忧：“在物理学晴朗天空的远处，还有两朵小小的令人不安的乌云。”

开尔文担忧的“两朵乌云”是什么呢？

当物理学研究扩展到微观、高速领域时，人们发现经典力学不再适用。20 世纪初，物理学家创立了相对论和量子论，驱散了“两朵乌云”，奠定了现代物理学的基础。

本章你将在了解经典力学巨大成就及其局限性的基础上，初步了解相对论时空观，关注宇宙起源和演化，体会人类对自然界的探索永无止境。

每章的开头都有一些情境，提出一些问题，让你明确本章研究的主要内容。

实验探究

这里将要求你提出问题，设计实验方案，动手做一些有意义的实验，进行科学探究。

实验探究　研究平抛运动

实验的部分装置如图 2-1-4 所示。实验时，用小锤击打弹性钢片，小球 *B* 沿水平方向飞出，做平抛运动；同时小球 *A* 被放开，做自由落体运动。

用小锤击打弹性钢片后，你观察到了什么现象？

请你分析一下：这个实验的结果能验证伽利略关于平抛运动的研究结论吗？请说出你的理由。

我们还可以用频闪照相的方法进一步验证伽利略的研究结论。

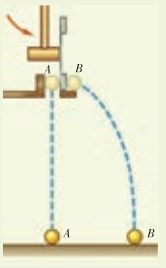


图 2-1-4　研究平抛运动的实验

分析与论证

这里你将进行分析、综合，并运用数学工具进行推理，得出物理学规律和公式。通过这一过程，你将体会科学思维的魅力。

分析与论证　分析产生离心现象的原因

设质量为 m 的物体，沿半径为 R 的圆周做匀速圆周运动，线速度为 v，运动中受到指向圆心的外力的合力为 F，如图 3–4–3 所示。

物体做匀速圆周运动所需要的向心力是 $F_{向心} = m\frac{v^2}{R}$。

试根据向心力公式，思考讨论下列几种情况时物体的运动状况：

学生必做实验　探究向心力大小与半径、角速度、质量的关系

我们知道，向心力的大小跟运动物体的质量、速度和圆周运动的半径有关。本实验根据向心力公式，进一步探究向心力大小与物体的质量、角速度、圆周半径之间的关系。

如图 3–2–5 所示，向心力实验仪主要由调速轮、长滑槽、短滑槽、横臂、弹簧测力套筒、标尺、转动手柄、传动皮带、小球、基座等组成。

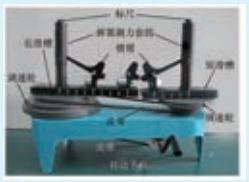


图 3–2–5　向心力实验仪

学生必做实验

这里为你提供了完整的实验活动，让你通过动手实验，探索物理规律，学习物理方法，形成物理观念，提高解决问题的能力，体验成功的喜悦。

信息浏览、STSE

这里为你提供了各种有趣、有用的资料，包括物理学史上的经典事例、科学家小故事等，它们反映了物理学与科学、技术、社会、环境的紧密联系。你的视野将更开阔，你会更加热爱科学。

信息浏览

时间延缓效应的实验验证

通过观察高速运动的微观粒子，时间的相对性反复地得到了证实。例如，有一种粒子叫 μ 子，它的寿命只有 2.2 μs，就是说，如果你观察一个相对于你静止的 μ 子，你只能观察 2.2 μs，之后它就发生了衰变。在高能物理实验室中，μ 子可以加速到 0.9966 c，由公式计算出它的平均寿命为 26.7 μs，实验值也为约 26.4 μs。因此，实验完全证实了时间延缓公式。

1971 年，哈夫勒（J. Hafele）和基廷（R. Keating）用喷气式飞机携带铯原子钟进行环球飞行实验，证实了时钟延缓效应（图 5–3–6）。

多学一点　圆周运动的速度

做圆周运动的物体在圆周上某一点的瞬时速度 v 可以用以下方法求得。

如图 3–1–7 所示，假如物体在圆周上从 A 点运动到 B 点，位移是 AB，所用的时间为 Δt。根据速度的定义，速度是位移 AB 跟所用时间 Δt 的比值，即 $v = \frac{AB}{\Delta t}$，这是 Δt 时间内的平均速度。所取的时间 Δt 越短，B 点越接近 A 点，物体在 AB 间的运动就越接近于匀速直线运动，所求的平均速度也越接近于 A 点的瞬时速度。假如所取的时间为无限短，B 点将无限逼近 A 点，此时求得的平均速度，就是 A 点的瞬时速度了。

速度是矢量。做圆周运动的物体在圆周上某一点的瞬时速度的方向，是圆周上这点的切线方向。

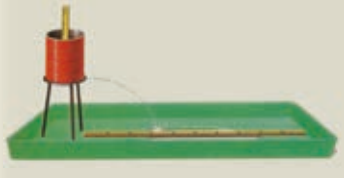
多学一点

这里将介绍更多更深的奥秘，以开阔你的视野。你如果有兴趣，可以作进一步的探索。

课题研究

这里提供了一些课题供你选择研究，这种研究将使你的才智得到充分的展示。

课题研究



研究水柱的射程

请用图 2–2–6 所示的装置研究水桶内水的深度与水柱射程的关系，并用适当的方式描述这种关系。

图 2–2–6　研究水柱的射程

目　录



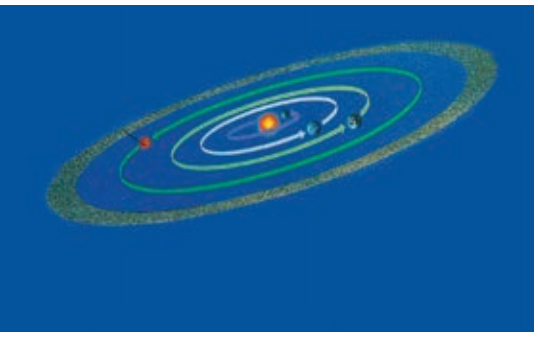
第 1 章　功和机械能 …… 6

1.1　动能变化跟做功的关系 …… 7
1.2　功与功率 …… 12
1.3　动能定理的应用 …… 17
1.4　势能的变化与机械功 …… 21
1.5　机械能守恒定律 …… 25



第 2 章　抛体运动 …… 30

2.1　飞机投弹与平抛运动 …… 31
2.2　平抛运动的规律 …… 35
2.3　斜抛运动 …… 40

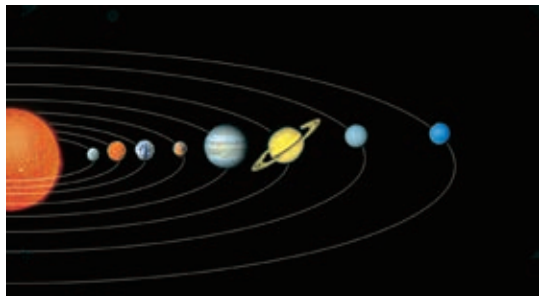


第 3 章　圆周运动 …… 46

3.1　怎样描述圆周运动 …… 47
3.2　匀速圆周运动的规律 …… 51
3.3　圆周运动的案例分析 …… 56
3.4　离心现象及其应用 …… 59

第4章 万有引力与航天 …… 65

4.1 从托勒密到开普勒 …… 66
4.2 万有引力定律是怎样发现的 …… 70
4.3 飞出地球去 …… 76



第5章 经典力学的局限性与相对论初步 …… 83

5.1 经典力学的巨大成就和局限性 …… 84
5.2 狭义相对论的基本原理 …… 88
5.3 相对论的时空观与宇宙演化 …… 93

总结与评价 课题研究成果报告会 …… 100
研究课题示例 …… 100
评价表 …… 101





第1章 功和机械能

你坐过游乐园里的过山车吗？如果坐过，你的感觉如何？过山车时而在低处蜿蜒穿行，时而在高处倒悬着掠过弧顶。当它从高处直冲而下，速度最高可达 200 km/h，当它沿扭转的轨道疾驰，你瞬时感觉天旋地转，定会惊叫连连。太惊悚了！太刺激了！

你能从物理学的角度思考过山车的原理吗？这里涉及做功、物体的动能、势能及其相互转化等物理学原理呢！

本章将以汽车的运动为背景，深化对功和功率的认识，通过实验探究物体的动能变化跟做功的关系。接着以打桩机的工作为背景，研究重力做功与重力势能变化的关系，通过实验验证机械能守恒定律，体会守恒观念对认识物理规律的重要性。

1.1　动能变化跟做功的关系

如图 1–1–1 所示，汽车启动后，在牵引力的作用下行驶一段距离，速度发生了变化。根据初中所学的知识，牵引力对汽车做了功，汽车的动能就发生了变化。那么，汽车动能的变化跟牵引力做的功有什么关系呢？

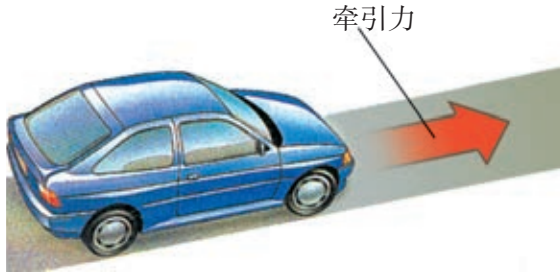


图 1–1–1　汽车在牵引力作用下运动

从汽车的动能变化谈起

分析与论证　研究汽车动能的变化过程

如图 1–1–2 所示，假设有一辆质量为 m 的汽车，不受阻力作用，在不变的牵引力 F 作用下沿平直公路行驶，速度由 v_1 增大到 v_2，相应的行驶距离为 s。那么，在此过程中，汽车的加速度多大？汽车运动的速度 v_1、v_2，跟牵引力 F、行驶距离 s 的关系是怎样的？

根据牛顿第二定律有　　$F = ma$

由运动学公式有　　$a = \dfrac{v_2^2 - v_1^2}{2s}$

由此可得

$$Fs = \frac{1}{2}mv_2^2 - \frac{1}{2}mv_1^2 \qquad (1)$$

请想一想，（1）式表示什么物理意义？

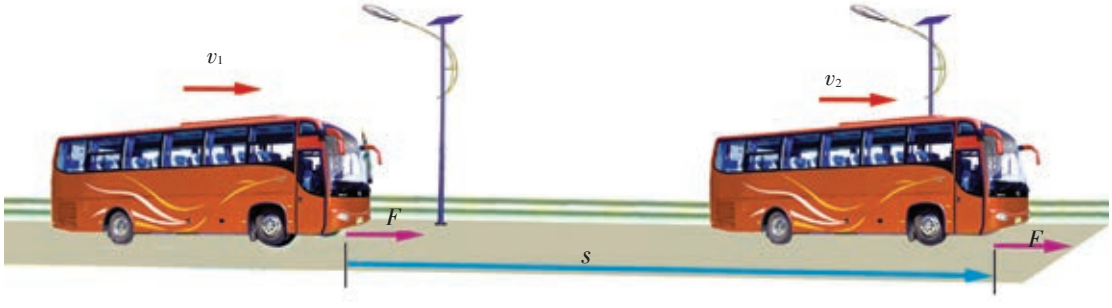


图 1–1–2　汽车在不变的牵引力作用下运动，速度增大

动能　动能定理

我们来分析（1）式的物理意义。

1. 等式左边的 Fs 是我们在初中就已熟悉的功。汽车在行驶距离 s 的过程中牵引力 F 所做的功 $W = Fs$。

汽车牵引力是工程技术上为了计算方便而引入的一个等效力。在汽车行驶过程中，发动机动力做功，可以等效地看成是牵引力对汽车所做的功。

2. 等式右边的两项跟汽车的质量和速度有关。物理学中把 $\frac{1}{2}mv^2$ 叫做物体的**动能**（kinetic energy），用符号 E_k 表示，即

$$E_k = \frac{1}{2}mv^2$$

动能是标量，在国际单位制中，动能的单位是焦耳，简称焦，符号是 J。

请思考：大货车与小汽车以相同的速率行驶时，谁具有的动能大？同一辆小汽车，或以 60 km/h 的速率行驶，或以 110 km/h 的速率行驶，它以哪个速率行驶时所具有的动能大？

物理量的增量是指后一时刻的量值减去前一时刻的量值。

3. $\frac{1}{2}mv_2^2 - \frac{1}{2}mv_1^2$ 反映了汽车从初状态到末状态的动能变化，我们称它为汽车动能的增量，即 $\Delta E_k = E_{k2} - E_{k1}$。于是（1）式可写成：

$$W = \Delta E_k \qquad (2)$$

需要指出，上式虽然是以汽车的运动为例推导出来的，但具有普遍意义。理论和实验都表明，**外力对物体所做的功等于物体动能的增量**。物理学中把这个结论叫做**动能定理**（theorem of kinetic energy）。

动能定理是一条重要的物理规律，(2)式是它的数学表达式。在下一节我们将运用（2）式对功的概念和功能关系作进一步的讨论。

实验探究　恒力做功与物体动能变化的关系

下面再用实验来研究动能定理。

提出问题

前面已通过理论分析，得出了恒力做功与物体动能变化的关系，即 $W = \frac{1}{2}mv_2^2 - \frac{1}{2}mv_1^2$。那么，能否用实验对此进行验证呢？

制订计划与设计实验

为了探究恒力做功与物体动能变化的关系，你应该怎样来设计实验，需要测量哪些物理量？

请写出你制订的探究计划。

图 1–1–3 是向你推荐的一种实验装置。你也可以根据自己制订的计划，选用其他器材设计实验。图 1–1–4 的方格坐标纸

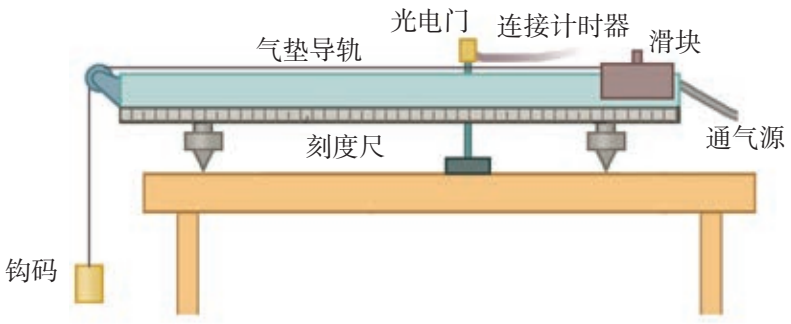


图 1-1-3　用气垫导轨验证动能定理的实验装置

可供你在实验中选用。

你选用了哪些实验器材？

实验中钩码的质量要远小于滑块的质量，为什么？

请写出你设计的实验方案。

以下两个研究计划供你参考，你也可以制订其他计划。

1. 直接验证　逐一比较外力对物体做的功与物体动能的增量。

2. 用图像验证　根据公式 $W=\frac{1}{2}mv^2$，用实验数据作出图像，研究 W 与 v^2、W 与 m 的关系。

进行实验与收集证据

请写出你实验中的主要步骤，设计表格，记录实验中收集到的数据。

科学不能停留在单纯地观测数据上，必须对观测到的数据进行细致的分析，才能找到规律。

分析论证

请写出数据的主要处理过程。

通过分析，你得出的结论是什么？

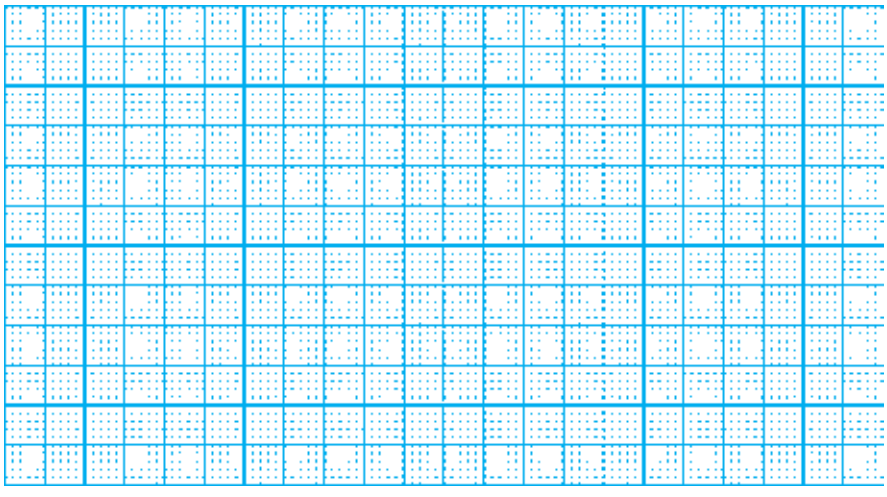


图 1-1-4　方格坐标纸

评估

请思考，在你的实验中：

主要误差是什么？你是如何减小误差的？

你认为如何改进，可以使你的实验更好一些？

交流与合作

与同学交流讨论，了解他们制订的探究计划和设计的实验方案，分析其中有哪些地方是值得你学习的。

完成一份实验报告。

多学一点　过程量与状态量

由动能定理的分析过程可知，动能是跟物体的运动状态有关的物理量。$\frac{1}{2}mv_1^2$ 是物体在速度为 v_1 时刻的动能，$\frac{1}{2}mv_2^2$ 是物体在速度为 v_2 时刻的动能，W 是物体由速度 v_1 增大到 v_2 过程中，力对物体所做的功，它反映的是力对物体的做功过程。

由此可见，功是力对物体作用的过程量，动能是跟物体运动有关的状态量。动能定理则把做功过程与物体状态（动能）的变化联系了起来。

案例分析

案例　图 1-1-5是一颗质量为 40 g 的子弹以 100 m/s 的速度击穿苹果瞬间的照片。子弹穿过苹果后，速度降为 60 m/s。问子弹击穿苹果前后的动能变化了多少？苹果对子弹做了多少功？

分析　以子弹为研究对象，在子弹击穿苹果的过程中，由于苹果的阻力对子弹做了功，子弹的动能减少了。根据子弹击穿苹果前后的速度变化，可以计算出子弹的动能增量 ΔE_k。再根据动能定理 $W = \Delta E_k$，就可以算出苹果对子弹所做的功了。

解答　子弹的质量 $m = 40\ \text{g} = 4.0 \times 10^{-2}\ \text{kg}$，子弹的初速度 $v_1 = 100\ \text{m/s}$，击穿苹果后的速度 $v_2 = 60\ \text{m/s}$。

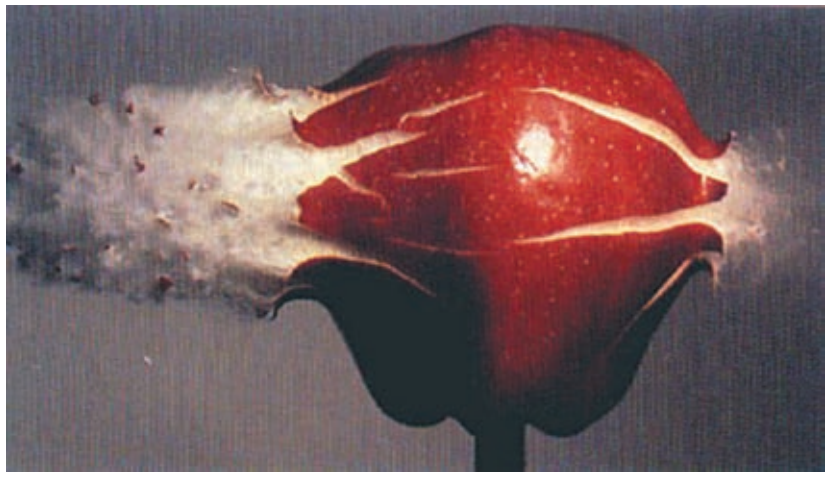


图 1-1-5　子弹击穿苹果的照片

由动能定理 $W = \Delta E_k$ 可知，苹果对子弹做的功与子弹击穿苹果前后动能的变化量是相等的，

$$W = \Delta E_k = E_{k2} - E_{k1} = \frac{1}{2}mv_2^2 - \frac{1}{2}mv_1^2$$

代入数值得 $W = -128$ J。

负号表示苹果对子弹做负功，使子弹的动能减少。

STSE

公路上为什么要限制车速

当公路上行驶的车辆发生意外碰撞时，它们的损坏程度和事故的严重性跟碰撞前车辆的动能大小有关，而车辆的动能则取决于车辆的质量和车速的平方。因此在公路（尤其是高速公路）上，都有限制车速的标志。货车、客车的质量较大，对它们速度大小的限制值要比轿车小一些。例如，高速公路对中、重型车辆和客车的车速限制一般是 100 km/h，对小汽车一般是 120 km/h。

有的汽车，如城市中的双层客车，在设计时厂家就把车速限制在 70 km/h。当汽车速度大于 70 km/h 时，即使驾驶员踩油门加速，燃油系统也不会把燃油送到发动机中，直到汽车速度小于 70 km/h，才会恢复供油。

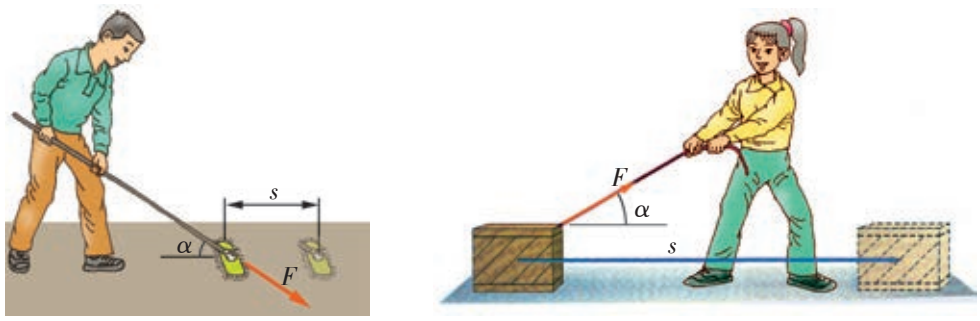
家庭作业与活动

1. 把一辆汽车的速度由 10 km/h 提高到 20 km/h，跟把这辆汽车由 50 km/h 提高到 60 km/h 相比，哪种情况下要做较多的功？试通过计算来说明。
2. 质量是 0.5 kg 的物体，从 15 m 高处自由下落到 10 m 高处。在这个过程中，重力对物体做了多少功？物体的动能增加了多少？
3. 质量 $m = 500$ g 的物体，原来的速度 $v_1 = 2$ m/s，受到一个与运动方向相同的力 $F = 4$ N 的作用，在光滑水平面上发生了位移 $s = 2$ m。问物体的末动能是多大？

1.2 功与功率

在初中，我们研究过力与运动方向相同的情形中功的计算式 $W = Fs$，高中物理中则要从功和能的关系上进行研究，加深对功的理解。

当力的方向与物体的运动方向不相同时（图 1–2–1），怎样计算力对物体做的功呢？



a　擦地板的力 F 做功　　b　拖木箱的力 F 做功

图 1–2–1　力跟位移不在一条直线上

怎样计算力跟位移成一定夹角时的功

分析与论证　计算力跟位移成夹角 α 时的功

如图 1–2–1b 所示，人向斜上方拉木箱，设拉木箱的力 F 跟水平地板的夹角为 α，木箱在水平地板上的位移为 s。

为了计算力 F 对木箱做的功，可将 F 按图 1–2–2 所示分解为 F_1 和 F_2。F_2 跟运动方向垂直，不做功；F_1 跟运动方向一致，对木箱做功。根据力的分解知识可得

$$F_1 = F\cos\alpha$$

所以，当力跟位移成夹角 α 时，功的计算公式是

$$W = Fs\cos\alpha$$

这是计算功的一般公式，它表明，**力对物体所做的功，等于力的大小、位移的大小、力与位移夹角的余弦这三者的乘积。**

功是标量，在国际单位制中，功的单位是焦耳，简称焦，符号是 J。

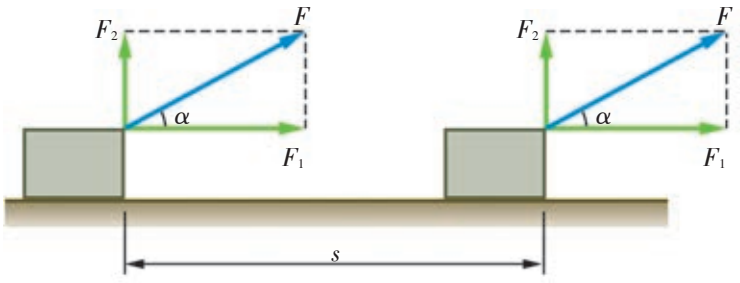


图 1-2-2　拉力的水平分力跟位移方向相同

案例分析

案例　如图 1-2-3 所示，两人用力推一辆熄火的小汽车，每人用力的大小都是 200 N，方向都跟车的运动方向成 30°。当小汽车前进了 20 m 时，汽车发动机点火启动。问：

（1）在推车过程，两人对车一共做了多少功？

（2）两人应该怎样推车，才会有最好的效果。

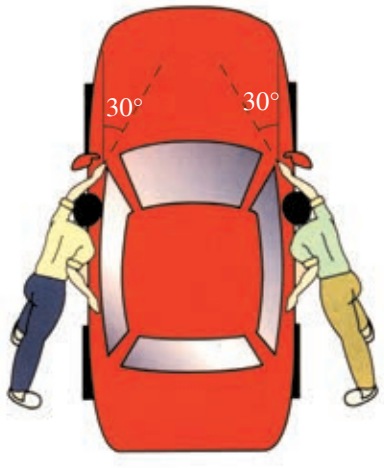


图 1-2-3　两人推汽车

分析　先根据公式 $W = Fs\cos\alpha$ 计算出一个人推汽车所做的功，再计算出另一个人推汽车所做的功，最后将两人推汽车所做的功相加就是做的总功了。

写出你的计算过程。

有的同学提出：也可以先求出两人推汽车的合力，再求合力所做的功，这个值应该与用上面的解法得到的结果相同。

你同意他的意见吗？请试一试。

正功、负功的含义

把计算功的一般公式（$W = Fs\cos\alpha$）和动能定理（$W = \Delta E_k$）结合起来做些分析，不仅可以加深对功的含义的理解，而且可以进一步揭示做功和能量变化之间的联系。

当力 F 与物体位移 s 之间的夹角 α 等于零时，根据功的一般计算式，$\cos\alpha = 1$，$W = Fs$，这表示力 F 对物体做正功。由动能定理可知，因为 $W > 0$，所以 $\Delta E_k > 0$，这说明物体的动能增加，且做了多少功，动能就增加多少。

请讨论当 $0<\alpha<\frac{\pi}{2}$、$\alpha=\frac{\pi}{2}$、$\frac{\pi}{2}<\alpha\leqslant\pi$ 三种情况下，做功的正负情况和做功与动能变化的关系。

综上所述，力对物体做正功时，物体的动能增加；力对物体做负功时，物体的动能减少；力对物体做多少功，物体的动能就变化多少。这就是说，**功是能量变化的量度**。

请思考并讨论：在汽车启动、加速、减速、制动等各个过程中，分别有哪些力对汽车做功？哪些力对汽车做正功？哪些力对汽车做负功？做功与动能变化的关系怎样？

信息浏览

“功”的概念是怎样建立的

在物理学的发展过程中，随着动力学研究的进展，人们逐渐认识到需要一个物理量来衡量“运动量”的转移问题。

到 18、19 世纪，欧洲的机械工业蓬勃发展。在分析机器的运转中，功作为一个基本参数，逐渐显示出它的重要性。例如，法国工程师卡诺（L. Carnot）以重物与升高的高度乘积来评价机器的功效，称其为“作用矩”；法国数学家蒙日（G. Monge）则把功称为“动力效应”；法国工程师彭赛列（J. Poncelet）明确推荐了“功”这个名词。从此，“功”的概念从机械功效的研究中被引入到了物理学。

研究功率

我们知道，物体做功的快慢用功率来表示。**功 W 与完成这些功所用时间 t 的比叫做功率**（power），功率用符号 P 表示，即

$$P=\frac{W}{t}$$

在国际单位制中，功率的单位是瓦特，简称瓦，符号是 W。1 W = 1 J/s。技术上常用千瓦（kW）做单位，1 kW = 1 000 W。

机器的功率是衡量机器性能的重要指标。图 1–2–4 给出了几种汽车的发动机功率。发动机功率大的汽车，单位时间内做的功多，因而动能增加得也多。

想一想：为什么赛车的功率都比较大？

你是否注意到，汽车在路面较好的公路上行驶时，车速较快，而在路面较差的公路上行驶或者上坡时，司机常通过换挡来减小车速。这表明：当汽车的功率一定时，汽车的牵引力跟车速有一定的关系。那么，牵引力跟车速、功率之间究竟有什么关系呢？

分析与论证　研究力、速度跟功率之间的关系

如图 1–2–5 所示，若汽车在恒定的牵引力 F 的作用下做匀



小型汽车，功率约 40 kW



货车，功率约 100 kW



高级小汽车，功率约 180 kW



铰接客车，功率约 150 kW

图 1-2-4　几种汽车发动机的平均功率

速直线运动，经过时间 t，从 A 运动到 B，行驶的距离为 s。

根据功和功率的定义式 $W = F s$，$P = \frac{W}{t}$，以及速度公式 $v = \frac{s}{t}$，可以推导出牵引力做功的功率

$$P = F v$$

请写出你的推导过程。

这个公式反映了功率跟力和速度之间的关系。公式虽然是在匀速直线运动的情况下推导出的，但对变速运动也适用。在匀变速直线运动中，如果公式中的 v 是时间 t 内的平均速度，那么 P 就是这段时间内的平均功率；如果 v 表示物体在某一时刻的瞬时速度，那么 P 就是该时刻的瞬时功率。

请用这个公式分析：为什么汽车在路面较差的公路上行驶或爬坡时，司机总要通过换挡来减小车速？

如果汽车上坡时仍要保持原来的速度，司机应该怎样做？为什么要这样做？

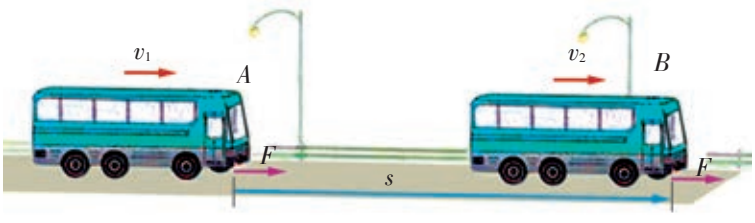


图 1-2-5　汽车在牵引力作用下匀速行驶

家庭作业与活动

1. 某人推着一辆质量为 10 kg 的自行车上坡。已知坡的倾斜角为 30°，长度为 300 m，此人所用的推力为 75 N，方向平行于坡面。在他把自行车从坡底推到坡顶的过程中：
   （1）他对自行车做的功是多少？
   （2）重力对自行车做的功是多少？
2. 图 1–2–6 中，一名举重运动员在 1 s 的时间内把重 210 kg 杠铃举高了 1.2 m；而我们知道，用手拉葫芦（差动滑轮），一般在 5 min 内可将 500 kg 钢材提高 2 m。比较运动员举杠铃和用手拉葫芦吊钢材时做功的功率。
3. 一台水泵每秒能把 30 kg 的水抽到 10 m 高的水塔上。不计额外功的损失，这台水泵的输出功率是多大？如果保持这一输出功率，半小时能做多少功？ g 取 10 m/s^2。
4. 一辆汽车以 108 km/h 的速率在水平路面上匀速行驶。如果作用在汽车上的空气阻力与摩擦力之和为 800 N（图 1–2–7），那么汽车发动机输出的功率多大？



图 1–2–6

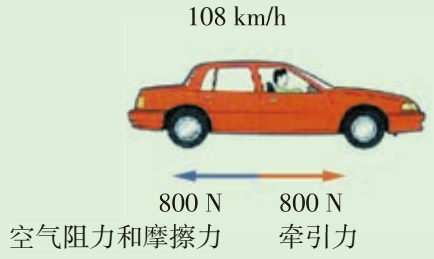


图 1–2–7

课题研究

研究汽车的功率和速度

在司机的指导下，完成下列任务。

1. 观察汽车的铭牌，了解汽车发动机的功率等主要参数。

2. 观察汽车的驾驶室（图 1–2–8），了解驾驶台上有哪些仪表，它们的用途是什么，怎样读取仪表上的数据。

3. 了解司机在什么情况下要换挡，他是怎样通过换挡来变速的。了解你所参观的汽车采用的是无级变速还是分挡变速，汽车变速系统的基本物理原理是什么。

4. 请教司机，在什么情况下要加大油门，在什么情况下要减小油门。

5. 观察司机启动汽车的过程。

尽可能用你所学的物理知识分析你所了解的情况，并将你的体验与分析过程写成调查报告。同时拍摄相关的照片，并加以说明。



图 1–2–8　汽车驾驶室

1.3　动能定理的应用

动能定理是物理学的重要原理。用动能定理分析问题，只需考虑物体初、末状态的动能与外力对它所做的功，而不必考虑物体的加速度和时间，因而往往比用牛顿定律和运动学规律更简便。下面来分析几个具体案例。

研究汽车的制动距离

案例分析

案例　汽车的制动性能是衡量汽车性能的重要指标。在一次汽车制动性能的测试中，司机踩下制动闸，使汽车在阻力作用下逐渐停止运动（图1–3–1）。下表中记录的是汽车以不同速率行驶时，制动后所经过的距离。

汽车速率 v/(km·h^{-1})	制动距离 s/m
10	1
20	4
40	16
60	?

请根据表中的数据，分析以下问题：

（1）为什么汽车的速率越大，制动距离也越长？

（2）让汽车载上 3 名乘客，再做同样的测试，制动距离会有变化吗？试分析原因。

（3）设汽车在以 60 km/h 匀速行驶的时候制动，在表中填上（没有乘客时的）制动距离的近似值。试说明你分析的依据和过程。



图 1–3–1　汽车制动性能测试

分析　对问题（1），以汽车为研究对象。在制动过程中，制动产生的阻力对汽车做负功，汽车制动后的末速度是零。假设汽车制动时的阻力为滑动摩擦力，由动能定理可知，汽车制动前的速度越大，它的初动能越大，制动时阻力做的功也越多，因而制动过程中经过的距离就越长。

请参照以上分析方法分析问题（2），并写出你的分析过程。

问题（3）要求定量地算出汽车的制动距离 s。由于不知道制动时的阻力 f，也不知道汽车的质量 m，因而很难根据动能定理直接求解。

你可以运用动能定理列方程组解答，也可以通过分析表中的数据，找出车速 v 跟制动距离 s 的（比例）关系，从而求出当汽车速率为 60 km/h 时的制动距离。

请写出你的分析解答过程。

合力做功与动能变化

在实际问题中，往往是多个力同时对一个物体做功，这时怎样运用动能定理分析问题呢？

案例分析



图 1-3-2　正在滑行的飞机

案例　一架质量 $m = 5.0 \times 10^3$ kg 的喷气式飞机，从静止开始在跑道上滑行，经过距离 $s = 5.3 \times 10^2$ m，达到起飞速度 $v = 60$ m/s。在这个过程中飞机受到的平均阻力是飞机所受重力的0.02倍。请根据动能定理求出飞机滑行时受到的牵引力。

分析　以飞机为研究对象，先分析飞机受力和每个力做功的情况。飞机在跑道上滑行时，水平方向上受到两个力的作用：一个是发动机的牵引力 F，与飞机滑行方向相同，对飞机做正功；另一个是阻力 f，与飞机滑行方向相反，这个力使飞机的动能减少，对飞机做负功。竖直方向上的力对飞机不做功，可以不考虑。再算出总功和动能的变化，最后根据动能定理可求出牵引力的大小。

解答　牵引力对飞机做的功为

$$W_{\text{牵引力}} = F s$$

阻力对飞机做的功为

$$W_{\text{阻力}} = -f s = -kmgs$$
$$= -0.02 \times 5.0 \times 10^3 \times 9.8 \times 5.3 \times 10^2 \text{ J}$$
$$= -5.2 \times 10^5 \text{ J}$$

飞机动能的增量为

$$\Delta E_k = \frac{1}{2} mv^2 = \frac{1}{2} \times 5.0 \times 10^3 \times 60^2 \text{ J} = 9.0 \times 10^6 \text{ J}$$

运用动能定理得

$W = W_{牵引力} + W_{阻力} = \Delta E_k$

请你代入数据，求出飞机所受到的牵引力。

可见，当有多个力对物体做功而使物体的动能发生变化时，应分析物体受到哪几个力，每个力是否对物体做功，做正功还是负功。动能定理中的功应是每个力所做功的代数和。

是否可以将动能定理中的功 Fs 理解为合外力所做的功？如果可以，则可先分析物体的受力情况，算出合外力做的功（或列出表示合外力做功的代数式），再应用动能定理列出方程求解。

按这一思路将此题再解答一次，得出的结果是否与前面的一致？

此题也可用牛顿定律来解答，请你尝试一下，看看用哪种方法更简便。

由动能定理计算变力做功

有些问题用牛顿定律与运动学知识是很难解决的，但用动能定理却可以很方便地解决。我们知道，当变力对物体做功时，很难根据功的计算式 $W = Fs$ 求出功，但根据功与动能变化的关系就可以方便地求出功。

案例分析

案例　用质量为 4.0 kg 的铁锤，以 5.0 m/s 的速度打击放在铁砧上烧红的铁块。设击中铁块后铁锤即静止，求铁块对铁锤所做的功。

分析　铁锤打击铁块的过程中，力的大小是变化的，过程比较复杂，用牛顿定律很难解决。但本题并不要求知道物体做功的细节，只要求知道做功的多少，因此可以通过动能定理来解决。

以铁锤为研究对象。在铁锤打击铁块的过程中，铁块对铁锤做了负功，使铁锤由运动变为静止，铁锤的动能减少直至变为零。

解答　忽略重力对铁锤做的功。根据动能定理，铁块对铁锤做的功为

$$\begin{aligned} W &= \Delta E_k = E_{k2} - E_{k1} \\ &= 0 - \frac{1}{2}mv_1^2 = -\frac{1}{2} \times 4.0 \times 5.0^2 \text{ J} \\ &= -50 \text{ J} \end{aligned}$$

通过对案例的分析与体验，可归纳出运用动能定理分析解决问题的步骤：

（1）明确要解决的问题，确定研究对象；

（2）分析研究对象的受力情况，确定外力（或合外力）对研究对象所做的功；

（3）明确研究对象在初末状态的动能，确定动能增量；

（4）运用动能定理列出方程。

家庭作业与活动

1. 一同学用手将质量为 1 kg 的物体由静止向上提起 1 m，这时物体的速度为 2 m/s，g 取 10 m/s^2，则下列说法中正确的是（　　）。

   A. 该同学对物体做的功为 12 J

   B. 物体所受合外力做的功为 12 J

   C. 物体所受合外力做的功为 2 J

   D. 物体克服重力做的功为 10 J

2. 一质量为 m 的物体静止在粗糙的水平面上。当此物体受水平力 F 作用运动了距离 s 时，其动能为 E_{k1}；而当此物体受水平力 $2F$ 作用运动了相同的距离时，其动能为 E_{k2}，则（　　）。

   A. $E_{k2} = E_{k1}$　　B. $E_{k2} = 2E_{k1}$

   C. $E_{k2} > 2E_{k1}$　　D. $E_{k1} < E_{k2} < 2E_{k1}$

3. 汽车在平直的公路上由静止开始做匀加速运动，当速度达到 v_1 后立即关闭发动机让其滑行，直至停止。汽车的 $v - t$ 图像如图 1–3–3 所示。设在运动的全过程中汽车的牵引力做功 W_1，克服摩擦力做功 W_2，求 $W_1 : W_2$。

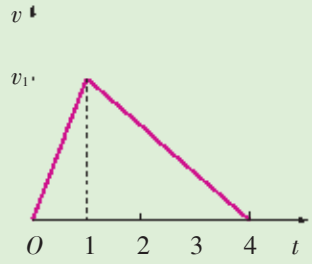


图 1–3–3

4. 质量为 24 kg 的滑块，以 4 m/s 的初速度在光滑水平面上向左直线滑行，从某一时刻起在滑块上施加一水平向右的力。经过一段时间，滑块的速度方向变为向右，大小为 4 m/s，则在这段时间内力所做的功为_____。

1.4　势能的变化与机械功

物理学中把物体由于被举高而具有的能量叫做**重力势能**（gravitational potential energy）。因此，打桩时被举高的重锤具有重力势能（图 1–4–1）。

重锤的质量越大，上升的高度越高，桩就被打得越深。这表明，重锤的重力势能跟它的质量和高度有关。

那么，重力势能的大小跟重锤的质量与高度，究竟有怎样的关系呢？



图 1–4–1　打桩机

研究重力做功跟重力势能变化的关系

分析与论证　重力势能的大小

图 1–4–2 是打桩机工作的示意图，打桩机重锤的质量为 m，重锤所受到的重力为 $G = mg$。

设重锤从离地面高度 h_1 处，自由下落至离地高为 h_2 处（桩的顶端），重锤高度的变化为（$h_1 - h_2$），因此重力做的功为

$$W = mg\left(h_1 - h_2\right)$$

即

$$W = mgh_1 - mgh_2 \qquad (1)$$

这是一个很重要的关系式，下面我们来研究它的物理意义。

（1）式中的 mgh 跟物体的质量和离地面的高度有关，这就是物体的重力势能，用符号 E_p 表示，于是有

$$E_p = mgh \qquad (2)$$

上式表明，**物体的重力势能等于它所受重力和它的高度的乘积**。在国际单位制中，势能的单位是焦耳，符号是 J。

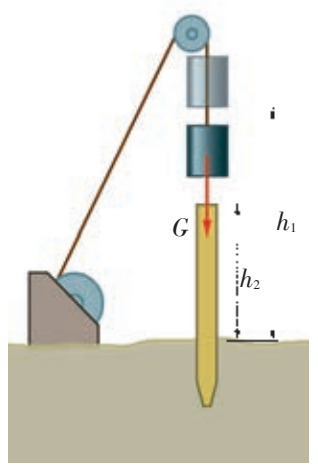


图 1–4–2　打桩机工作示意图

重力做功跟重力势能的变化

（1）式反映了重力做功跟重力势能变化的关系。由（1）式可知：当重锤从高处 h_1 下落到低处 h_2 的过程中，重力做正功，重锤的重力势能减少。

反之，当重锤从低处 h_2 上升到高处 h_1 的过程中，重力做负功，重锤的重力势能增加。

重力做功与重力势能变化的关系可用下式表示

$$W = E_{p1} - E_{p2} = -\Delta E_p$$

重力势能是地球与物体系统所共有的。

式中，W 为重力所做的功，E_{p1} 为物体在初始位置的重力势能，E_{p2} 为物体在末了位置的重力势能，ΔE_p 为重力势能的增量。

综合重力做功的两种情况可知：当重力对物体做正功时，物体的重力势能减少；当重力对物体做负功时，物体的重力势能增加。

我们在第 1.1 节中已经知道，物体动能的变化可以用外力做功的多少来量度，而重力势能的变化也可以用重力做功的多少来量度。这又一次表明：功是能量变化的量度。

案例分析

案例　打桩机重锤的质量是 250 kg，重锤在打桩机顶端时，离地面的高度是 20 m。试分析计算：

（1）当重锤被钢丝绳拉着从地面匀速上升到打桩机顶端时，重力对重锤做了多少功？重锤的势能变化了多少？

（2）当钢丝绳松弛，重锤从打桩机顶端自由落到地面时，重力做了多少功？重锤的势能变化了多少？

分析　首先分析重力对重锤所做的功和重锤势能是怎样变化的。当重锤匀速上升时，重力是做正功还是负功？重锤的势能是增加还是减少？当重锤下落时，情况又怎样呢？

请写出你的分析、计算过程和结果。

重力做功跟路径无关

重力做功跟物体经过的路径有没有关系呢？

在图 1–4–3 中，两个学生的质量都是 m，因此他们所受重力相等。当他们分别以图示的路径登上高 h 的阶梯顶端 A 时，重力对这两个学生所做的功是否相同？重力对这两个学生做的功跟他们经过的路径有关吗？

请写出你的分析过程与结论。

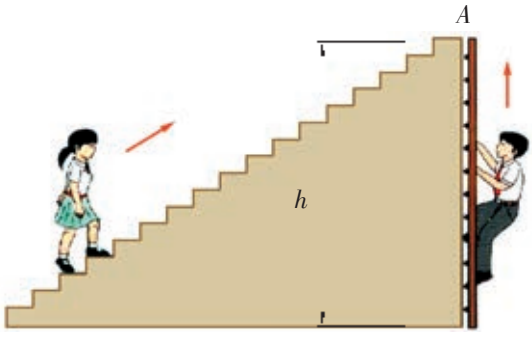


图 1–4–3　重力对谁做功多

分析结果表明：重力对这两个学生所做的功一样多，都等于 mgh，跟他们登梯的路径没有关系。

请讨论：

1. 假如图中的男同学沿着另外几种不同的斜坡登上 A 处，重力所做的功是多少？

2. 图 1–4–4 中的滑雪运动员从山上沿不同的坡道下滑到山脚，重力对他做的功是否一样？



图 1–4–4　重力对滑雪运动员做的功与路径有关吗

由以上分析和进一步的研究可知：

重力对物体做的功只跟物体的初始位置和末了位置的高度有关，而跟物体经过的路径无关。

物体的重力势能计算式 $E_p = mgh$ 中的 h，是相对于某个重力势能为零的参考平面而言的。在这个参考平面上，$h = 0$，重力势能也为零。选择不同的参考平面，公式中的高度 h 就不相同，因而物体的重力势能也不同：位于参考平面上方的物体的重力势能为正值，在其下方的物体的重力势能为负值。

选择重力势能的参考平面，应视研究问题的方便而定。通常选择水平地面作为重力势能为零的参考平面。

案例分析

案例　图1-4-5是地图上某小山包的等高线图，a、b、c为山包上的三个点在地图上的位置。

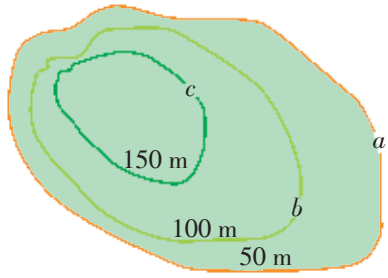


图 1-4-5　地图上的等高线

（1）若选择海平面为重力势能参考面，质量为 55 kg 的学生在 a、b、c 位置时的重力势能是多大？他从 a 位置上升到 c 位置，重力做了多少功？

（2）若选择 100 m 的等高线所在平面为重力势能参考面，则质量为 55 kg 的学生在 a、b、c 位置时的重力势能是多大？他从 a 位置上升到 c 位置，重力做了多少功？

分析　等高线上标注的数字（称为标高）表示地面上此处距海平面的高度。两等高线数字之差表示此两位置之间的高度差（竖直距离）。

根据重力势能计算式，物体在某一位置的重力势能等于物体受到的重力 mg 和此位置相对于势能参考面的高度 h 的乘积，因此若选择海平面作为重力势能参考面，则重力和等高线标高的乘积就是该物体在此等高线上的势能。若选择某一等高线所指的面为重力势能参考面，则考察点和参考面等高线标高之差与物体所受重力的乘积，即为物体相对选定重力势能参考面的重力势能，在参考面之上的重力势能为正值，在参考面之下的重力势能为负值。

解答　（1）请根据上面分析完成问题（1）的计算。

（2）当选择 100 m 的等高线所在平面为参考面时，计算如下（g 取 10 m/s^2）。

学生在 a 位置时，他相对于重力势能参考面的高度

$$h_{ab} = 50\ \text{m} - 100\ \text{m} = -50\ \text{m},$$

重力势能

$$E_{pa} = mgh_{ab} = 55 \times 10 \times (-50)\ \text{J} = -2.75 \times 10^4\ \text{J}$$

学生在 b 位置时，因为就在重力势能参考面上，所以重力势能 $E_{pb} = 0$。

学生在 c 位置时，他相对于重力势能参考面的高度

$$h_{cb} = 150\ \text{m} - 100\ \text{m} = 50\ \text{m},$$

重力势能

$$E_{pc} = mgh_{cb} = 55 \times 10 \times 50\ \text{J} = 2.75 \times 10^4\ \text{J}$$

从 a 位置上升到 c 位置，重力做的功等于重力势能增量的负值

$$W = -\Delta E_p = E_{pa} - E_{pc} = -2.75 \times 10^4\ \text{J} - 2.75 \times 10^4\ \text{J} = -5.5 \times 10^4\ \text{J}$$

弹性势能

物体发生弹性形变时具有的势能叫做弹性势能，被拉伸或压缩的弹簧都具有弹性势能（图 1–4–6）。

弹性势能与形变的大小有关。例如，弹簧的弹性势能与弹簧的伸长量或压缩量有关。被拉伸或压缩的长度越长，恢复原状的过程对外做的功就越多，弹簧的弹性势能就越大。

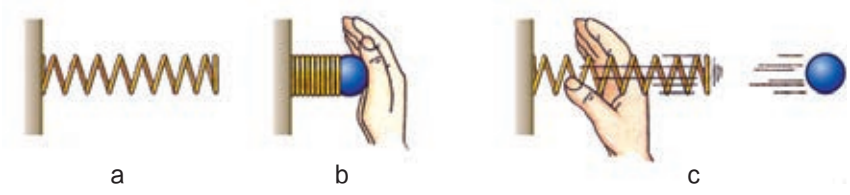


图 1–4–6　压缩的弹簧有做功的本领，具有弹性势能

多学一点　弹性势能表达式

设弹簧的劲度系数为 k，弹簧的伸长量或压缩量为 x，则弹簧的弹性势能可表示为 $E_p = \frac{1}{2}kx^2$。

家庭作业与活动

1. 质量为 100 g 的小球从高 1.8 m 处落到水平地面上，又弹回到 1.25 m 高处。在这个过程中，重力对小球所做的功是多少？小球的重力势能变化了多少？
2. 质量为 50 kg 的人沿着长 150 m、倾角为 30° 的坡路走上一个土丘，重力对他所做的功是多少？他克服重力所做的功是多少？他的重力势能增加了多少？
3. 图 1–4–7 是一个质量为 m 的物体被斜抛出去后的运动轨迹。

（1）在物体由抛出位置 1 运动到最高位置 2 的过程中，重力所做的功是多少？物体克服重力所做的功是多少？物体的重力势能增加了多少？

（2）在物体由位置 2 运动到跟位置 1 在同一水平面上的位置 3 的过程中，重力所做的功是多少？物体的重力势能减少了多少？

（3）在物体由位置 1 运动到位置 3 的过程中，重力所做的功是多少？物体的重力势能变化了多少？

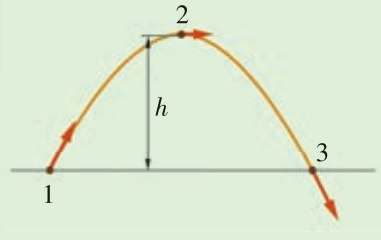


图 1–4–7

1.5　机械能守恒定律

在初中已经知道，运动的物体往往既具有动能，也具有势能，且势能和动能是可以互相转化的。打桩机的重锤从高处下落的过程中，重锤的高度越来越小，速度却越来越大，这表明重锤的势能在减少，但动能却在增加，减少的势能转化成了动能。



a　下落的果实



b　过山车

图 1-5-1　这些物体在运动中的动能与势能怎样转化

机械能守恒定律

物体的动能与势能之和称为**机械能**（mechanical energy）。若用符号 E 表示机械能，则有

$$E = E_k + E_p$$

通过对图 1-5-1 中各事例的分析，你能猜想出物体机械能的转化遵循什么规律吗？

下面从理论分析和实验探究两方面来研究机械能的转化与守恒问题。

分析与论证　研究重锤自由下落过程中机械能是否守恒

如图 1-5-2 所示，设打桩机重锤的质量是 m，当重锤离桩顶高度为 H 时，以桩顶为参考平面，重锤具有的机械能是

$$E_1 = E_{k1} + E_{p1} = 0 + mgH = mgH$$

忽略空气阻力，重锤下落过程中只有重力做功。当下落至离桩顶高度为 h 处时，因为 $v_2^2 = 2g(H - h)$，此时的动能 $E_{k2} = \frac{1}{2}mv_2^2 = mg(H - h)$，而 $E_{p2} = mgh$，所以重锤具有的机械能是

$$E_2 = E_{k2} + E_{p2} = mg(H - h) + mgh = mgH$$

同理，重锤刚下落至桩顶时，因为 $v_3^2 = 2gH$，此时的动能 $E_{k3} = \frac{1}{2}mv_3^2 = mgH$，而 $E_{p3} = 0$，重锤具有的机械能是

$$E_3 = E_{k3} + E_{p3} = mgH + 0 = mgH$$

比较重锤在这三个位置时的机械能 E_1、E_2、E_3，可得出什么结论？

重锤在自由下落过程中，只有重力做功，它的重力势能转化为动能，但动能与重力势能之和是一个恒量，即机械能保持不变。

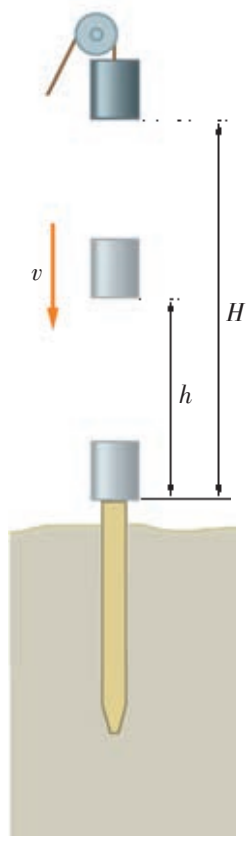


图 1-5-2　研究打桩机重锤下落过程的机械能

上面是从分析重锤自由下落过程中得出的结论。这个结论是否具有普遍意义呢?

研究证明，在只有重力做功的情况下，不论物体是做何种形式的运动，这个结论都是正确的。

同样可以证明，在只有弹力做功的物体系统内，动能与弹性势能可以互相转化，总的机械能也保持不变。

机械能中的势能包括重力势能与弹性势能。

可以得出结论：**在只有重力或弹力做功的物体系统内，动能与势能可以互相转化，而总的机械能保持不变。**即

$$E = E_k + E_p = 恒量$$

这个结论叫做**机械能守恒定律**（the law of conservation of mechanical energy）。它是力学中的一条重要定律，是普遍的能量守恒定律的一种特殊情况。

学生必做实验　验证机械能守恒定律

我们通过实验来研究物体在自由下落过程中动能与重力势能的变化，从而验证机械能守恒定律。

设计实验和进行实验

实验装置如图 1-5-3 所示。重物自由下落时，如果忽略空气阻力，只有重力做功，重物的机械能守恒。

把纸带的一端固定在重物（钩码）上，另一端穿过打点计时器的限位孔。用手竖直提起纸带，使重物停靠在打点计时器下方附近。接通电源，待打点计时器打点稳定后再松开纸带，让重物自由下落，打点计时器就在纸带上打出一系列的点。取下纸带，换上新的纸带，重复实验三次。

重物的质量用天平测出。在纸带上按序标注几个计数点，选定纸带上的起始点作为参考点，设打该点时重物的重力势能为零。通过测量，算出各点的动能和势能，就能验证机械能是否守恒。

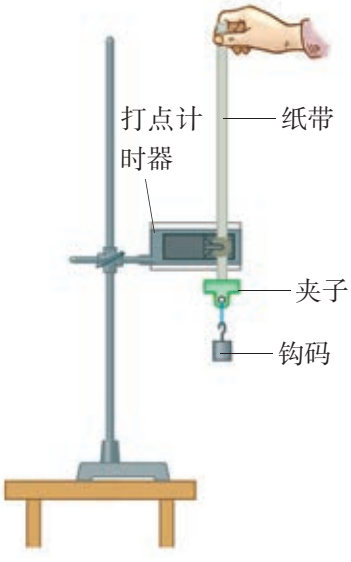


图 1-5-3　验证自由落体的机械能守恒定律

收集证据

从三条纸带中选择一条比较理想的纸带，将起始点作为参考点 O。测量出标注的几个其他计数点到位置 O 的距离并计算出各点的瞬时速度，记录在表格中。

重物质量 m = _____kg

位置	O	A	B	C	D
到 O 点距离 s/m					
重力势能 E_p / J					
速度 v/(m·s^{-1})					
动能 E_k / J					
机械能 E / J					

分析论证

由上面的实验证据，你得出的结论是_____。

思考讨论

1. 确定参考点 O 后，设打该点时重物的重力势能为零，你如何确定打其他点时重物重力势能的正负？

2. 通过实验，你得到了什么结论？

3. 如何减小实验误差？

应用机械能守恒定律分析问题

在生活和生产中，应用机械能守恒定律分析解决有关的力学问题往往比较方便。在分析问题时，首先要注意是否只有重力或物体系统内部弹力做功。

案例分析

案例 1　图 1–5–4 是上海轨道交通某车站的设计方案。由于站台建得稍高，列车进站时要上坡，出站时要下坡。忽略斜坡的摩擦力，你能从机械能守恒定律分析这种设计的优点吗？

分析　列车进站前虽关闭了电动机，但仍具有动能，可使列车爬上斜坡，这是将动能转化为势能储存起来。出站时，列车可利用斜坡再将势能转化成动能。可见，这种设计方案可以节约电能。

你认为这种设计方案还有哪些优点？说说你的看法。



图 1–5–4　上海轨道交通某车站设计方案

案例 2 打桩机重锤的质量为 250 kg，被提升到离地面 20 m 的高度后自由下落，求它到达地面时的动能和速度（g 取 10 m/s^2）。

分析 提升到高处的重锤具有重力势能。因为重锤在自由下落过程中，只有重力做功，所以机械能守恒。重锤到达地面时，势能全部转化为动能。可用机械能守恒定律计算这时重锤的速度。

请完成有关的计算。

家庭作业与活动

1. 下列哪些事例中的机械能是守恒的？为什么？
   A. 雨滴接近地面时匀速下落；
   B. 铅球在空中飞行（空气阻力不计）；
   C. 玩具小车沿光滑固定斜面向上运动（空气阻力不计）；
   D. “神舟”载人飞船与运载火箭分离前与分离后做无动力运动。
2. 我们在必修 1 中学过，伽利略在他的理想实验中认为，在没有摩擦阻力的情况下，小球从斜面的一定高度滚下，必然在一个对接的斜面上冲到同样的高度，且不因这个斜面的倾角变化而变化。由于做这个实验时，摩擦阻力总是存在的，所以伽利略特别指出“在没有摩擦阻力的情况下”。现在，你能运用机械能守恒定律来解释伽利略的想法吗？
3. 滑雪运动员从离水平地面 30 m 的高处，沿弯曲起伏的滑道向水平地面滑行，阻力不计。运动员滑到水平地面时具有多大的速度？

第 1 章家庭作业与活动

A 组

1. 物体沿粗糙斜面下滑，在此过程中，什么力做正功？什么力做负功？什么力不做功？
2. 请讨论下列问题：
   （1）以 5 m/s 的速度匀速拉升一质量为 10 kg 的物体，在 10 s 内，拉力做了多少功？
   （2）若以比上面快 1 倍的速度把物体提升到相同的高度，那么所需做的功是否比前一次多？为什么？
   （3）在上面两种做功情况下，它们的功率是否相同？
   （4）若用一个大小不变的力将该物体从静止加速拉高到同一高度，使物体最后获得的速度为 5 m/s，那么拉力做了多少功？平均功率为多大？开始和结束时的瞬时功率各为多大？
3. 如图 1–A–1 所示，在“蹦极跳”中，质量为 m 的游戏者身系一根长为 L、弹性优良的轻柔蹦极绳，从水面上方的高台由静止开始下落 1.5L 到达最低点。假定空气阻力可忽略，则下列说法中正确的是（　　）。
   A. 游戏者在下落过程中机械能守恒
   B. 游戏者从开始下落到最低点动能增加了 mgL
   C. 游戏者从开始下落到最低点重力势能减少了 mgL
   D. 在最低点处蹦极绳的弹性势能为 1.5mgL



图 1-A-1

4. 图 1-A-2 所示的是一学生骑车爬坡的情形。假如她骑车时的最大功率是 1 200 W，车和学生的总质量是 75 kg，斜坡倾角 θ 为 20°，运动过程中受到的摩擦等阻力恒为 60 N，方向沿斜坡向下，则此学生骑车上坡的最大速度是多少？假如她在水平路面上骑车，所受阻力仍为 60 N，最大速度可达到多少？ g 取 10 m/s^2。

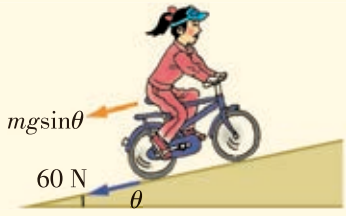


图 1-A-2

5. 一台起重机将质量 $m = 1 \times 10^3$ kg 的货物匀加速地竖直吊起，在 2 s 末货物的速度为 $v = 4$ m/s。若 g 取 10 m/s^2，不计额外功，求：

（1）起重机在这 2 s 内的平均功率；

（2）起重机在 2 s 末的瞬时功率。

6. 某同学身高 1.8 m，在学校运动会上参加跳高比赛，起跳后身体横着越过了高度 1.6 m 的横杆。若不计阻力，你能根据机械能守恒定律估算出他起跳时竖直向上的速度吗？

7. 一质量为 1 kg 的小车，沿着高为 0.3 m 的光滑斜坡滑下，到了斜坡底部后，小车继续在平地上滑行，此时它受到一个 2.0 N 的摩擦力作用。小车在停下之前，能在平地上滑行多远？

B 组

1. 张强每天的工作就是把地上的箱子搬到 12 m 高的楼上。某天，他必须尽可能快地把 30 箱总质量为 150 kg 的箱子搬上楼，因此他考虑不能一次只搬一箱。但如果每次搬得太多，就会走得很慢，不时要休息，而如果每次只搬一箱，那么大量的体能将用于提升自己的身体。现测得他在一段时间里的功率与他所搬物体质量之间的关系如图 1-B-1 所示。如果不把他返回楼下的时间和搬起、放下每个箱子的时间计算在内，请你求出：

（1）在所需时间最短的情况下，他每次搬运箱子的数目。

（2）把所有箱子都搬到楼上所需要的最短时间。

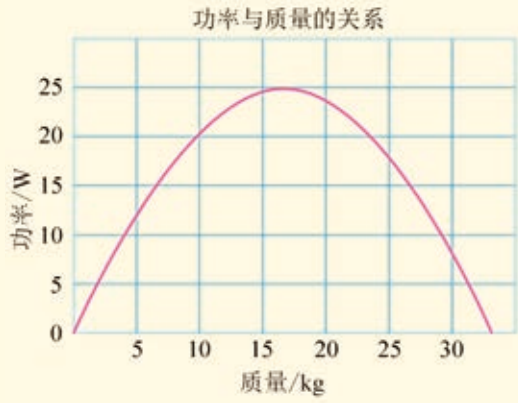


图 1-B-1

2. 用打点计时器能否验证动能定理？请你设计出实验探究方案，写出实验探究报告。

3. 给你一个额定工作电压为 2.5 V 的微型直流电动机和一个没有动力的玩具小汽车。现要用此电动机作为玩具汽车的动力，请你设计一个探究实验，探究 $P = F v$，并将你探究的结果写成报告。探究需要的器材，可以请老师帮助解决。



第2章　抛体运动

观众席上，人山人海；绿茵场上，激情飞扬。一场国际足球比赛正在激烈进行。一声哨响，蓝方队员被判犯规，红方获得任意球机会。只见红方 10 号队员助跑了几步，飞起一脚，那球在空中划过一道“美丽的弧线”……

在我们生活的广阔空间里，物体在做着各种各样的机械运动，不但做直线运动，而且更多的是做曲线运动。

那么，怎样研究曲线运动呢？在本章中，我们将以飞机投弹、炮弹发射等现象为背景，探讨物体的曲线运动；像伽利略那样，运用运动合成与分解的方法，实验探究平抛运动的规律，分析生产生活中的抛体运动，体会将复杂运动分解为简单运动的物理思想。

2.1 飞机投弹与平抛运动

从飞机投弹谈起

空军在军事演习或实战中，常需进行投弹。飞机在空中沿水平方向飞行时，要使投下的炸弹准确地命中地面的目标，飞行员应在何处投弹？

有的同学说：当飞机飞到目标的正上方时投弹，才能命中目标。

有的同学说：当飞机在离目标一定水平距离处投弹，才能命中目标。

……

要想正确地回答这个问题，就要弄清楚炸弹离开飞机后的运动情况。

曲线运动

让我们来做一个模拟实验。如图 2-1-1 所示，使一个小球在水平桌面上以一定的速度向右运动，小球离开桌面后在空中的运动跟炸弹在空中的运动是相似的。你认为哪一幅图中的曲线可以表示小球离开桌面后的运动轨迹？

请动手做一做，并仔细观察小球离开桌面后的运动轨迹。

可以发现，小球因惯性要保持向前运动；同时，小球因受重力作用而向下运动。图 2-1-1b 中的曲线能大致表示小球的运动轨迹。我们把物体**沿着一条曲线路径的运动叫做曲线运动**（curvilinear motion）。常见的圆周运动就是曲线运动。

物体做曲线运动的条件

模拟飞机投弹的实验表明：当物体受到的合力的方向跟它运动的速度方向不在同一直线上时，物体就做曲线运动。

运动物体加速度的方向跟它所受合力的方向是相同的。因此，做曲线运动的物体，它的加速度跟它的速度方向也不在同一直线上。

曲线运动速度的方向

曲线运动的速度方向总是不断地变化着。做曲线运动的质

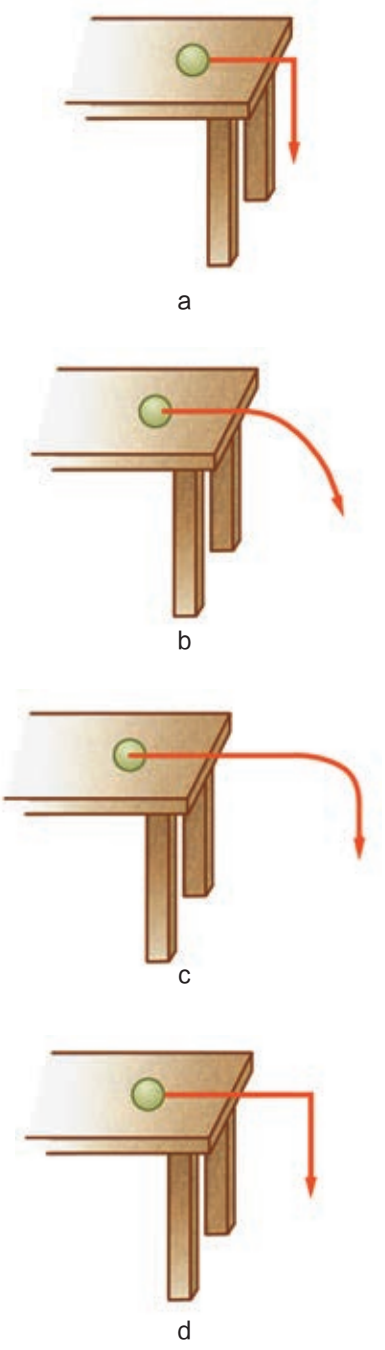


图 2-1-1 哪一幅图能表示小球运动的轨迹



图 2-1-2　做曲线运动的质点在某一点 *A* 的瞬时速度 *v* 的方向就在该曲线上过 *A* 点的切线方向上

点在某一点（或某一时刻）的速度方向是在曲线上该点的切线方向上（图 2-1-2）。

我们知道，速度是矢量，只要速度的方向发生了变化，速度就发生了变化，也就有了加速度。曲线运动的速度方向时刻都在改变，所以曲线运动是变速运动。

平抛运动

将一个物体以一定的初速度沿水平方向抛出，不考虑空气阻力，物体只在重力作用下所做的曲线运动，叫做**平抛运动**（horizontal projectile motion）。上述飞机投弹、滑出台面的小球在空中的运动都是平抛运动。平抛运动是一种二维曲线运动，下面我们来研究平抛运动。

伽利略关于平抛运动的研究

早在 17 世纪，伽利略（Galileo Galilei）就对抛体运动进行了详细的研究，找到了研究二维曲线运动的基本方法。

伽利略假定，做平抛运动的物体同时做两种运动：**在水平方向上，物体不受力的作用做匀速直线运动；在竖直方向上，物体受到重力作用做自由落体运动**。他认为这两个方向的运动**“既不彼此影响干扰，也不互相妨碍”**，物体的实际运动就是这两个运动的合运动。

由于物体在水平方向做匀速直线运动，它在水平方向发生的位移跟时间的一次方成正比，即在相等的时间间隔内位移相等。物体在竖直方向做自由落体运动，它在竖直方向发生的位移跟时间的二次方成正比，即在相等的时间间隔内位移之比为 1∶3∶5∶…。据此，伽利略用几何方法作出了平抛物体的运动轨迹，它是一条抛物线（图 2-1-3）。

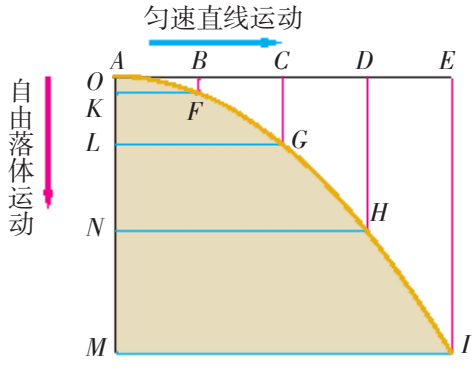


图 2-1-3　伽利略用几何方法得到的平抛物体的运动轨迹

这样，伽利略对物体做平抛运动的过程和轨迹给出了完整的描述。伽利略关于平抛运动的研究结论，不但具有重要的实用价值，而且揭示了研究二维运动的基本方法。

伽利略对平抛运动的研究与分析，对你研究较复杂的运动有什么启示？

验证伽利略的研究结论

下面我们用实验来验证伽利略关于平抛运动的上述研究结论。

实验探究　研究平抛运动

实验的部分装置如图 2–1–4 所示。实验时，用小锤击打弹性钢片，小球 B 沿水平方向飞出，做平抛运动；同时小球 A 被放开，做自由落体运动。

用小锤击打弹性钢片后，你观察到了什么现象？

请你分析一下：这个实验的结果能验证伽利略关于平抛运动的研究结论吗？请说出你的理由。

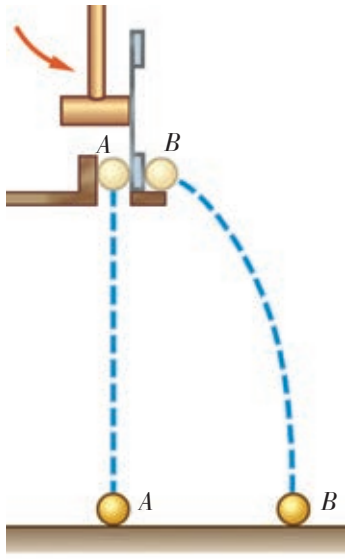


图 2–1–4　研究平抛运动的实验

我们还可以用频闪照相的方法进一步验证伽利略的研究结论。

分析与论证　研究平抛运动的频闪照片

我们用频闪照相的方法记录小球在平抛运动中的运动情况。图 2–1–5 是以间隔 $\frac{1}{30}$ s 拍摄的频闪照片，其中小球 A 做自由落体运动，小球 B 做平抛运动。请你用刻度尺分别测量小球 A 和 B 在不同时刻所处的水平位置 x 和竖直位置 y，记录在下表中，并讨论表后所列问题。

	$t/\left(\frac{1}{30}\ \text{s}\right)$	0	1	2	3	4	5	…
A 球	x/m							
	y/m							
B 球	x/m							
	y/m							

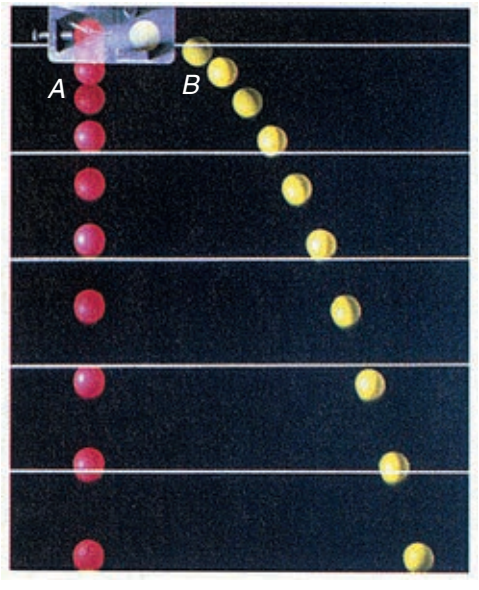


图 2–1–5　平抛运动的频闪照片

1. 频闪照片上小球的轨迹跟伽利略用几何方法得到的轨迹是否一致？

2. 伽利略假设平抛运动在水平方向应是匀速直线运动，即小球在相同的时间内发生的位移应相等，你的测量结果怎样？

3. 伽利略假设平抛运动在竖直方向应是自由落体运动，即小球发生的位移应跟时间的二次方成正比，你的测量结果怎样？

由以上的实验探究和分析论证，你得出的结论是什么？

家庭作业与活动

1. 研究平抛运动规律的一般方法是：将平抛运动分解到_____方向和_____方向。伽利略根据平抛物体受到重力作用，猜测物体在竖直方向可能做_____运动；根据平抛物体在水平方向不受力的作用，猜测物体在水平方向可能做_____运动。
2. 根据伽利略关于平抛运动的研究结论，下列说法中正确的是（　　）。

   A. 从同一高度，以大小不同的速度同时水平抛出的两个物体，它们一定同时落地，但抛出的水平距离一定不同

   B. 从不同高度，以相同的速度同时水平抛出的两个物体，它们一定不能同时着地，抛出的水平距离也一定不同

   C. 从不同高度，以不同的速度同时水平抛出的两个物体，它们一定不能同时着地，抛出的水平距离也一定不同
3. 用玩具手枪水平射击一个与枪口位于同一高度，但有一定距离的固定靶子，子弹能否击中靶子？若子弹从枪口水平射出的瞬间，靶子从静止开始自由下落，子弹能否击中靶子？
4. 假设一架飞机在高空沿水平方向匀速飞行，每隔相同的时间，从飞机上释放一个物体。请根据伽利略对平抛运动的结论推断：

   （1）这些物体在落地之前，在空中排列成的几何图形是什么样子？它们在竖直方向的距离之比是多少？

   （2）这些物体在落地之后，在地面（假设地面平坦）排列成的几何图形是什么样子？相互之间的距离是多少？

2.2 平抛运动的规律

飞机水平飞行时，投下的炸弹做平抛运动。要使炸弹命中目标，飞机应该在离目标有一定水平距离时投弹。这个距离是多少呢？要解决这个问题，就必须对平抛运动进行定量的研究。

运动的合成与分解

通过上一节的学习我们已经知道，平抛运动可以看成是水平方向上的匀速直线运动和竖直方向上的自由落体运动的合运动。人们在研究复杂运动时，通常是把复杂运动看作是由两个或几个简单运动复合而成的，这就是运动的合成与分解。物理学中，把物体的实际运动叫做**合运动**，而把组成合运动的两个或几个运动叫做**分运动**。

由分运动求合运动叫做**运动的合成**（composition of motions），由合运动求分运动叫做**运动的分解**（resolution of motion）。运动的合成与分解遵循怎样的规律呢？

力是矢量，力的合成与分解遵循平行四边形定则。研究运动的合成与分解就是要研究描述运动的位移、速度、加速度等物理量的合成与分解。这些量也都是矢量，它们的合成与分解都遵循平行四边形定则。

运用平行四边形定则可以算出做平抛运动的物体的位移、速度等物理量。

案例分析

案例　研究船渡河的运动

如图 2-2-1 所示，有一条渡船正在渡河，河宽为 260 m，船在静水中的速度是 36 km/h，水的流速是 18 km/h。为了让船能垂直于河岸运动而渡过河去，船应该怎样航行？

分析　船在渡河过程中的运动是由两个分运动合成的：船的匀速直线运动和在水流推动下船平行于河岸的匀速直线运动。

解答　河宽 $s = 260$ m，渡船相对于静水的速度 $v_1 = 36$ km/h $= 10$ m/s，河水相对于河岸的速度 $v_2 = 18$ km/h $= 5$ m/s，于是，渡船相对河岸的运动速度的大小

$$v = \sqrt{v_1^2 - v_2^2} = \sqrt{10^2 - 5^2}\ \text{m/s} = 8.7\ \text{m/s}$$

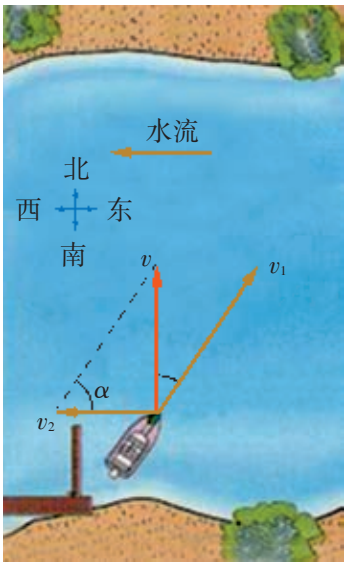


图 2-2-1　研究船渡河的运动

船渡河的时间 $t = \frac{s}{v} = \frac{260}{8.7}\ \mathrm{s} = 29.9\ \mathrm{s}$

因为渡船的两个分运动都是匀速直线运动，所以渡船的合运动也是匀速直线运动。

由图所示的几何关系知 $\cos\alpha = \frac{v_2}{v_1} = \frac{5}{10} = \frac{1}{2}$，于是

$$\alpha = 60°$$

因此，为了让船能垂直于河岸渡河，渡船的航行方向应指向上游方向，且与河岸成 60° 角。

研究平抛运动的规律

分析与论证　平抛运动的位移和速度

将运动的合成与分解应用于平抛运动，不仅可以用几何方法画出做平抛运动的物体的轨迹，还可以算出此物体在任意时刻的位移和速度。

如图 2–2–2 所示，设小球离开桌面时的初速度是 v_0。

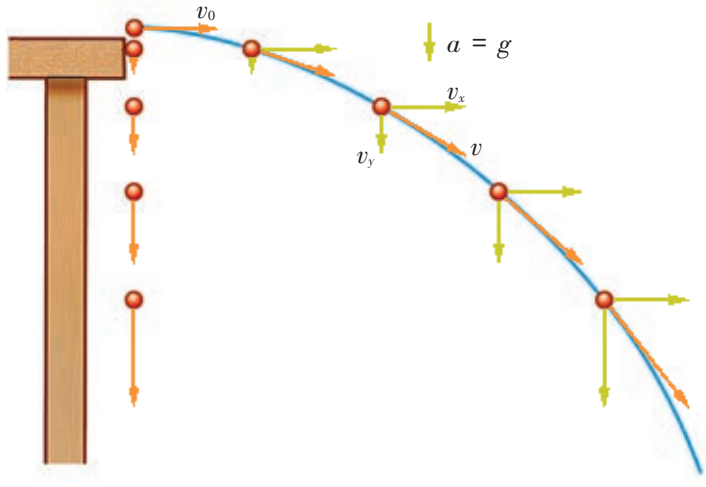


图 2–2–2　平抛运动

在水平方向上，由于不受力的作用，小球因惯性以抛出时的速度做匀速直线运动。物体在任一时刻的速度 v_x、位移 x 分别是

$$v_x = v_0 \qquad x = v_0 t \tag{1}$$

在竖直方向上，小球只受重力作用，做自由落体运动。小球在任一时刻的速度 v_y、位移 y 分别是

$$v_y = g t \qquad y = \frac{1}{2} g t^2 \tag{2}$$

你能根据分运动的速度和位移，求出图 2–1–5 中的小球在第 1 次，第 2 次，第 3 次……拍照时的速度和位移的大小和方向吗？

多学一点 推导平抛运动的轨道方程

把上述（1）和（2）式中的 t 消去，可得到平抛运动的轨迹方程

$$y = \frac{g}{2v_0^2}x^2$$

想一想：这是什么曲线的方程？

学生必做实验 探究平抛运动的特点

本实验要求学生描绘出平抛物体的运动轨迹，探究平抛运动的特点和规律。

实验装置如图 2–2–3 所示，将固定有斜槽的木板 A 放在水平桌面上，用图钉把坐标纸固定在竖直的木板 B 上，使坐标纸上的竖线处于竖直位置，并在坐标纸上选定与斜槽末端投影所在的位置为坐标原点 O，以水平向右的方向为 x 轴的正方向，竖直向下的方向为 y 轴的正方向。

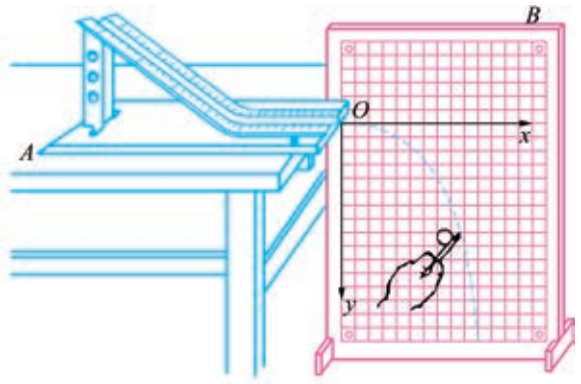


图 2–2–3 研究平抛物体的运动

设计实验

实验时，在斜槽上某一固定位置释放小球，使小球自由滑下，并从 O 点开始做平抛运动。先目测做平抛运动的小球在某一水平位置 x 处（如 x = 1.0 cm）的 y 值。然后使小球重新从固定位置自由滑下，在目测确定的位置附近，用铅笔记下小球实际经过的位置，并记录在坐标纸上。接着依次改变 x 值，重复上述步骤，确定各点的位置。

进行实验与收集证据

1. 安装实验装置，按照设计好的方案进行实验。

2. 收集信息。

（1）取下坐标纸，用平滑曲线画出小球做平抛运动的轨迹。

（2）在平滑曲线上选取几个不同的点，测出它们的 x 值和 y 值，并填入下表中。

实验序号	0	1	2	3	4	5
x/cm						
y/cm						

分析论证

运用所学知识分析论证实验结果。

1. 做平抛运动的小球的运动轨迹是抛物线吗？为什么？

2. 已知重力加速度 g 的值，利用公式 $x = v_0 t$ 和 $y = \frac{1}{2} g t^2$，求出上述实验中小球做平抛运动的初速度 v_0 的平均值。

思考讨论

实验时，要求斜槽的末端必须处于水平位置，为什么？

案例分析　飞机投弹问题的研究

案例　一架飞机水平飞行的速度为 250 m/s，飞机距地面的高度为 3 000 m。飞行员应该在离目标多少水平距离时投弹，才能命中目标？ g 取10 m/s^2。

分析　由于飞机的水平速度为 250 m/s，炸弹离开飞机后的运动是以 250 m/s 的初速度做平抛运动，所以飞行员必须在离目标一定水平距离时投弹才能命中目标。

炸弹运动的水平距离可根据 $x = v_0 t$ 求出。而炸弹在空中运动的时间 t 可根据飞机的高度，用自由落体运动的规律求出。

解答　由题知 $v_0 = 250$ m/s，$h = 3\,000$ m。

由 $h = \frac{1}{2} g t^2$，可得

$$\begin{aligned} t &= \sqrt{\frac{2h}{g}} \\ &= \sqrt{\frac{2 \times 3\,000}{10}}\ \text{s} \\ &= 10\sqrt{6}\ \text{s} \\ &= 24.5\ \text{s} \end{aligned}$$

炸弹在水平方向上运动的距离

$$x = v_0 t = 250 \times 10\sqrt{6}\ \text{m} = 6\,124\ \text{m}。$$

可见，飞行员应该在离目标水平距离为 6 124 m 处投弹，才能命中目标。

家庭作业与活动

1. 图 2-2-4 是小球做平抛运动时被拍下的频闪照片的一部分，背景标尺每小格表示 5 cm。由这张照片可得小球做平抛运动的初速度为_____m/s。

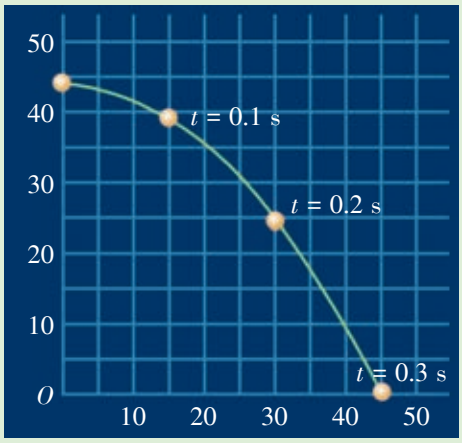


图 2-2-4

2. 四楼阳台离地面约 9.0 m。在阳台上水平抛出一个小皮球，落点离阳台的水平距离约 6.0 m，则球抛出时的速度约有多大？

3. 图 2-2-5 中，一名网球运动员正在将球水平击出，他要让球准确地落在图中所示的位置。你能根据图中所给的数据，计算出运动员击出球时球的速度吗？

4. 关于平抛运动，下列说法中正确的是(　　)。

A. 它是速度大小不变的曲线运动

B. 它是加速度不变的匀变速曲线运动

C. 它是水平方向的匀速直线运动和竖直方向的匀速直线运动的合运动

D. 它是水平方向的匀速直线运动和竖直方向的匀加速直线运动的合运动

5. 某同学在离地高 5 m 处以 5 m/s 的水平速度抛出一个物体，不计空气阻力，则物体在空中运动的时间为_____s，物体落地点到抛出点的水平距离为_____m 。g 取 10 m/s^2。

6. 飞机在距地面 0.81 km 的高度以 250 km/h 的速度水平飞行。要使得投下的物资落在指定地点，飞机应该在与目标的水平距离为多远的地方投放（不计空气阻力）？

7. 根据学过的平抛运动知识，用直尺测量玩具手枪子弹射出枪口时的速度。

（1）你的测量方法是_____。

（2）计算子弹速度的公式是_____。

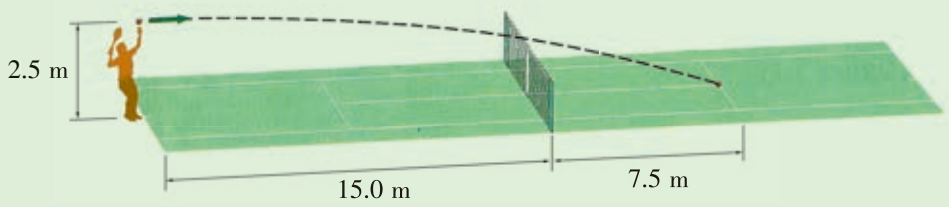


图 2-2-5

课题研究

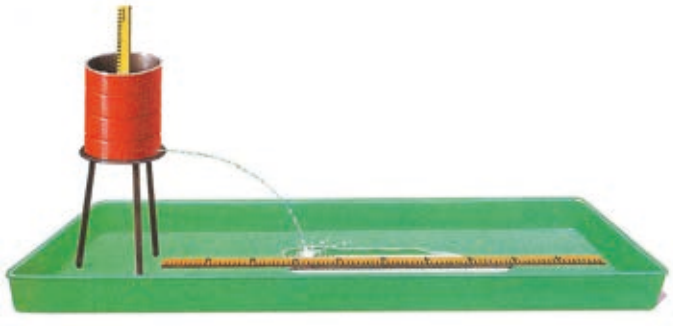


图 2-2-6　研究水柱的射程

研究水柱的射程

请用图 2-2-6 所示的装置研究水桶内水的深度与水柱射程的关系，并用适当的方式描述这种关系。

2.3 斜抛运动

将一个物体以**一定的初速度沿斜向抛出，且该物体在运动过程中仅受重力作用，该物体所做的运动叫做斜抛运动**（angle projectile motion）。生活中斜抛运动的例子很多，例如，运动员踢出的足球的运动，投出去的铅球、铁饼或标枪的运动……

你还能列举一些物体做斜抛运动的例子吗？

本节以炮弹发射为背景，运用运动合成的方法来研究斜抛运动的规律。

为了研究问题的方便，我们假定空气对炮弹的阻力可以忽略不计。

怎样研究斜抛运动

如图 2–3–1 所示，发射出去的炮弹具有一个向着斜上方的初速度 v_0。不计空气阻力，炮弹在空中运动的轨迹是怎样的？



图 2–3–1　研究炮弹的运动

分析与论证

研究斜抛运动，大致有两种思路。

方案1

设想炮弹不受任何力的作用，它将沿着初速度 v_0 的方向做匀速直线运动。而事实上，炮弹在竖直方向受到重力作用，因此它在竖直方向上做自由落体运动。根据运动的合成，我们可以把炮弹的运动看成是沿初速度 v_0 方向的匀速直线运动与沿竖直方向的自由落体运动的合运动。

如图 2–3–2 所示，每经过 1 s，炮弹沿初速度方向走过相等的距离；而在竖直方向上，炮弹按自由落体运动的规律，在 1 s 内，2 s 内，3 s 内……下落的距离之比为 1∶4∶9∶…。

根据以上分析，可以画出炮弹做斜抛运动时的轨迹（图 2–3–2）。

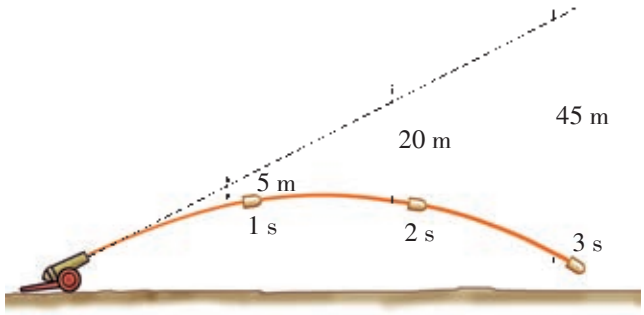


图 2-3-2 炮弹做斜抛运动时的轨迹

你不妨在图 2-3-1 中也试画一下，并将你画的轨迹与图 2-3-2 做一比较。

方案2

类似于研究平抛运动的方法，以炮弹射出点为原点，建立直角坐标系（图 2-3-3），将初速度 v_0 分解为沿水平方向的分量 v_{0x} 和沿竖直方向的分量 v_{0y}，这样，炮弹的运动就可以看成是以下两个运动的合运动：

在水平方向上，炮弹不受力的作用，因此炮弹在这个方向上的分运动是速度为 $v_x = v_{0x}$ 的匀速直线运动。

在竖直方向上，炮弹受重力作用，加速度为 g，方向与初速度 v_{0y} 的方向相反，因此炮弹沿这个方向的分运动是匀减速直线运动。

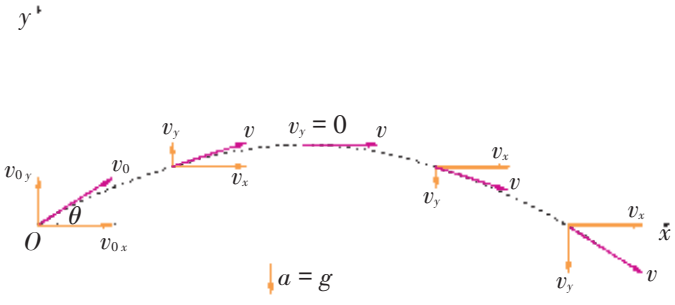


图 2-3-3 斜抛运动沿水平和竖直方向分解

分析图 2-3-3，你能描述一下炮弹在做斜抛运动的过程中速度的变化情况吗？

在分析炮弹运动轨迹时可以发现：炮弹的运动轨迹关于经过其最高点的竖直线是左右对称的。这启发我们：是不是可将斜抛运动作为平抛运动来分析处理呢？有兴趣的同学不妨一试。

设炮弹从炮筒中射出时的速度是 100 m/s，不计空气阻力，当炮筒的仰角分别为 30°、45°、60°时，请用运动合成与分解的方法，描绘炮弹的运动轨迹。

研究斜抛运动的射程与射高

在斜抛运动中，人们比较关注的是射高、射程和飞行时间。

射高是被抛物体所能达到的最大高度。

射程是被抛物体的抛出点与落点之间的水平距离。

飞行时间就是被抛物体从被抛出点到落点所用的时间。

你可以用频闪照相（图 2–3–4）等实验方法进行研究，也可以用理论分析的方法进行研究。

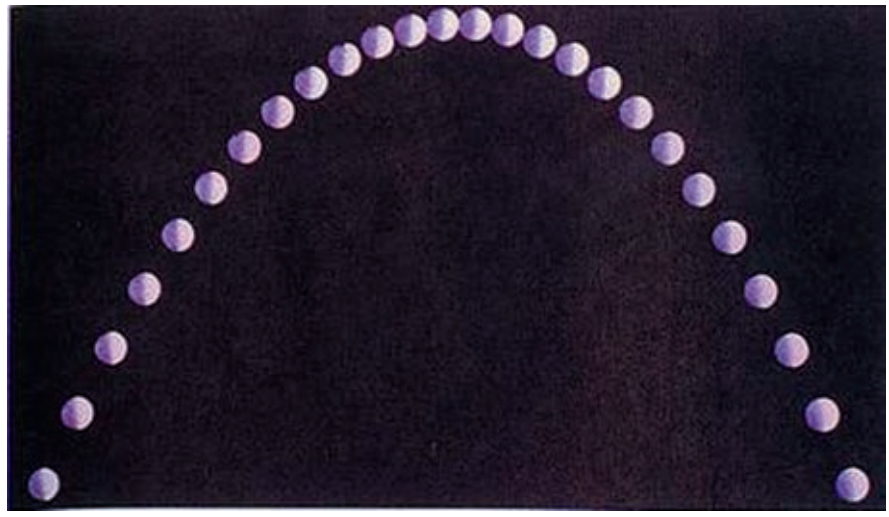


图 2–3–4　斜抛小球的频闪照片

实验探究　研究斜抛运动的射程和射高

如图 2–3–5 所示，用喷水枪喷射出一股水流，改变水流喷出时初速度的大小和方向（即喷射角），探究斜抛运动的射程和射高与哪些因素有关。

说出你的探究结论。

请根据实验结果讨论：

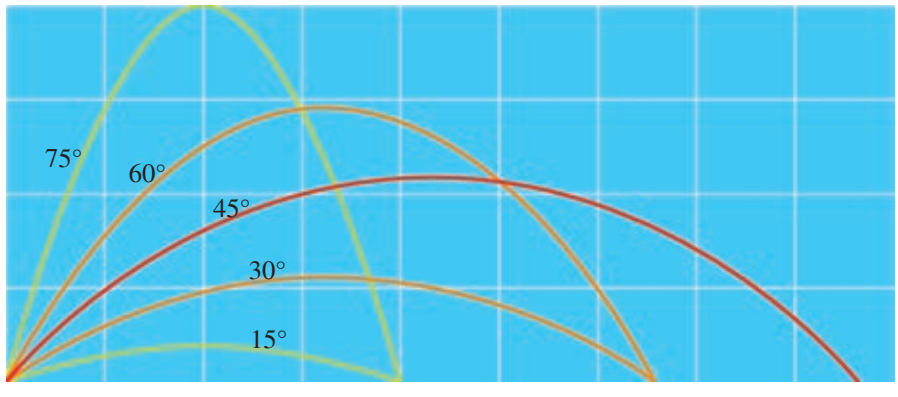


图 2–3–5　研究喷水枪喷射出的水流的射程和射高

1. 设初速度一定，当喷射角为多大时，射程最远？

2. 要获得同样的射程，可以有几个不同的喷射角？你能找出其中的规律吗？

理想弹道曲线与实际弹道曲线

在炮弹的实际运动过程中，由于初速度很大，空气阻力的影响是很大的。按不计空气阻力计算，用 20° 角射出初速度为 600 m/s 的炮弹，射程应达 24 km。但实际测量的结果却只有 7 km，射高也减小，而且轨迹也不再是抛物线，而变成了图 2-3-6 中实线所示的弹道曲线（图中的虚线是理想弹道曲线）。在进行炮弹射击时，要根据具体情况，对理想弹道曲线进行修正，才能得到实际所需的弹道曲线。

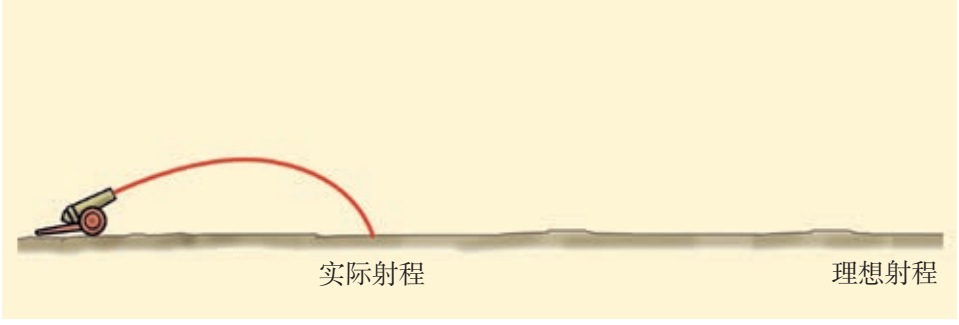


图 2-3-6 炮弹运动的理想弹道曲线和实际弹道曲线

信息浏览

伽利略是怎样研究斜抛物体射程的

伽利略把以各种抛射角发射的物体的射程和射高一一计算出来，制成表格，从中得出：当抛射角 $\alpha = 45°$ 时，射程最大；抛射角为 $45° \pm \beta$ 的两个斜抛运动射程相等。而在他之前，意大利学者塔尔塔利亚（N. Tartaglia）于 1546 年就指出了前一个结论。

伽利略评论道：“仅用数学便得出如此严格的证明，这使我心中充满了又惊又喜的感觉……通过探索原因而达到对某一简单效应的理解会使人茅塞顿开，从而使理解和验证其他事实毋需借助实验，目前的例子恰好说明了这一点；由于作者成功地证明了最大射程必定是仰角为 45° 时发生的，因此他也证明了在实际上可能从未观察到的情况，即在同 45° 角相差（大于或小于）同一数量的仰角下，射程是相等的……”

你从伽利略对斜抛物体射程的研究中得到了哪些启示？

你能证明斜抛物体在同样大小的初速度下，抛射角分别为 $45° + \beta$ 和 $45° - \beta$（$\beta < 45°$）时的射程相等吗？

家庭作业与活动

1. 下列选项中物体做抛物线运动的是（　　）。
   A. 一个从跳板上跳入游泳池的人
   B. 一艘绕着地球运行的太空飞船
   C. 一片从树上掉下的叶子
   D. 一列沿着平直轨道行进的火车
2. 要提高运动员掷铅球的成绩，应该采取哪些措施？
3. 我国于 2003 年 10 月 15 日成功发射了“神舟”五号载人宇宙飞船。假如航天员杨利伟在飞船中抛出一个小球，小球的运动轨迹将是怎样的？为什么？
4. 图 2-3-7 所示的是做斜抛运动的物体在几个位置时的速率。分析图中给出的速率，你找到了什么规律？你能用理论分析的方法证明这一规律吗？

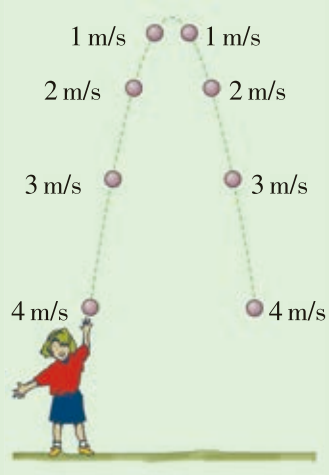


图 2-3-7

课题研究

研究弹道曲线

学了抛体运动后，有些同学可能会对有关的军事知识产生兴趣，或许想进一步了解弹道曲线方面的知识。

研究弹道曲线的规律是军事和射击运动中的基本科目。请你分析：实际的弹道曲线是由哪些因素决定的？用枪、炮瞄准目标时应考虑哪些因素？怎样增大枪、炮的射程？等等。

在进行此项研究时，你可能要向当地驻军部队官兵请教，最好能参加一次实际的射击活动。你可能要查阅一些参考资料。

请把你的研究成果写成科学报告，向同学和老师介绍。

课外活动

假如有一天能在月球上开运动会，你能想象出那将是一种什么样的情景吗？例如，掷铅球、投标枪的成绩会发生什么变化？跳远、跳高的成绩会发生什么变化？等等。

你可以在互联网、资料室查询有关资料。

班级还可以此为题，召开一次科学讨论会。

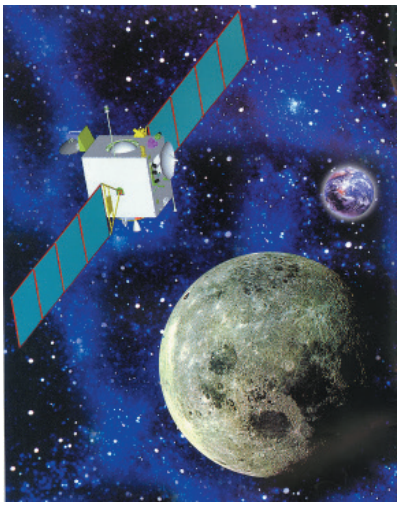


图 2-3-8　月球、卫星与地球（近处的为月球）

第 2 章家庭作业与活动

A 组

1. 某人站在匀速运动的自动扶梯上，经时间 t_1 恰好到达楼上。若自动扶梯停止运行，此人沿此梯拾级而上，需经时间 t_2 到达楼上。如果自动扶梯正常运行，人仍保持原来的步频沿梯而上，则到达楼上的时间为 _____。
2. 两个相同的物体位于同一高度处，其中一个水平抛出，另一个沿光滑斜面从静止自由下滑，哪一个物体先到达地面？到达地面时，两者速率是否相等？
3. 水平匀速飞行的飞机上，相隔 1 s 落下物体 A 和物体 B。在落地前，A 物体将（　　）。
   A. 在 B 物体的前方
   B. 在 B 物体的后方
   C. 在 B 物体正下方
   D. 在 B 物体前下方
4. 做平抛运动的物体，每秒速度增量总是(　　)。
   A. 大小相等，方向相同
   B. 大小不等，方向不同
   C. 大小相等，方向不同
   D. 大小不等，方向相同
5. 一个小球从高处水平抛出，抛出点跟落地点的水平距离为 s。现将 s 分成三等分，则小球在水平方向上相继运动 $\frac{s}{3}$ 的时间内，其下落高度之比为（　　）。
   A. 1∶1∶1
   B. 1∶2∶3
   C. 1∶3∶5
   D. 1∶4∶9
6. 一艘小船从河岸的 A 点出发渡河，河宽为 260 m，船在静水中的速度是 18 km/h，水流速度是 9 km/h，如图 2–A–1 所示。为使船在最短的时间内到达河对岸，问：
   （1）船渡河最短时间是多少？
   （2）船到达河对岸的位置在 A 点下游多远处？

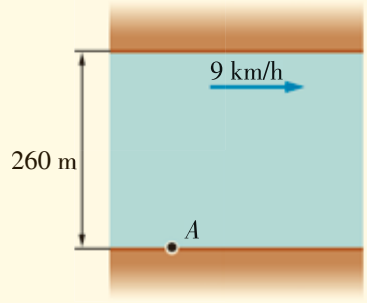


图 2–A–1

B 组

1. 春游时，同学们在农田旁看见一台正在抽水的农用水泵，其出水管水平放置。只用一把刻度尺，如何估算出水泵的出水口在单位时间内流出的水量（设水从出水口均匀流出）？要求说明需测量的物理量。
2. 如图 2–B–1 所示，枪管 AB 对准小球 C，ABC 在同一水平线上。子弹射出枪口时，悬挂小球的细线突然断开，小球 C 由静止开始下落。已知 BC 的距离 s 为 100 m，不计空气阻力，重力加速度 g 取 10 m/s^2，问：
   （1）如果小球 C 下落 20 m 时被击中，那么子弹离开枪口时的速度是多大？
   （2）如果子弹离开枪口时的速度大于上面所求的数值，那么子弹仍然能击中这个小球吗？为什么？
   （3）如果悬挂小球的细线突然断开后，小球 C 不是由静止开始下落，而是和子弹同时以 10 m/s 的初速度沿子弹初速度方向水平抛出，那么子弹是否还能击中这个小球？若能击中，在何处击中？

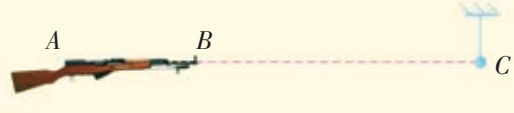


图 2–B–1