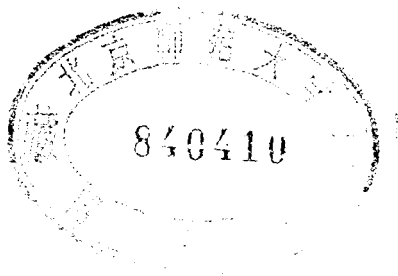


大学物理学自习丛书

力 学



知 识 出 版 社

大学物理学自习丛书

力 学

知 识 出 版 社 出 版

(上海人民广场大楼)

新华书店上海发行所发行 上海海峰印刷厂印刷

开本 787×1092 1/32 印张 9 字数 197,000

1981 年 7 月第 1 版 1981 年 7 月第 1 次印刷

书号: 13214·6 定价: 0.97 元

出版说明

本社计划出版一套《大学物理学自习丛书》，分力学、电磁学、热学、光学、原子物理学等分册，本书是力学分册。

无论是有机会升入大学进行正规学习的学生，还是有志于自学大学物理学课程的广大读者，都需要进行不同程度的自习。“学而时习之”。预习新课，温习旧课，首先要掌握课程的要点，然后经过阅读例题和做适量的习题，方能加深对概念和规律的理解，培养举一反三地解决实际问题的能力。为此，我们在这套自习丛中，每章分“提要”与“题解”两部分，“提要”对课程内容提纲挈领，举其大要；“题解”则供进一步阅读和练习之用。书中所编习题，并不希望教师都作课外习题布置，去加重学生的负担。

本分册习题，除第一章外，原来是上海科学技术出版社出版的《物理学·力学》一书附录的习题。原书作者应读者要求，对这些习题作出解答，并补上每章题解前的“提要”，编写成本分册。

参加本分册编写工作的，有上海复旦大学物理系和华东师范大学物理系的教师：郑广垣、瞿鸣荣、郑永令、徐在新、宓子宏。

知识出版社

1981年4月

目 录

第一章	物质与运动·····	1
第二章	速度和加速度·····	6
第三章	牛顿运动定律·····	26
第四章	功和能·····	61
第五章	动量守恒定律·····	89
第六章	刚体力学·····	120
第七章	振动·····	160
第八章	波·····	200
第九章	流体力学·····	231
第十章	狭义相对论基础·····	258

第一章 物质与运动

提 要

1. 宇宙中的一切物质,大至太阳系、银河系、总星系,小至分子、原子、基本粒子,都处于永恒的运动、变化之中。

运动的形式是多种多样的。物体间以及同一物体间相对位置的变化称为机械运动,它是自然界中最基本的运动形式之一。力学研究机械运动的规律及其应用。

2. 力是物体之间的一种相互作用。自然界存在着四种基本的力:万有引力(引力相互作用)、电磁力(电磁相互作用)、强力(强相互作用)和弱力(弱相互作用)。其中万有引力是最普遍的力。一切物体之间,不论物体的物质结构如何,也不论物体间的距离有多长,都存在着这种相互作用。由开普勒行星运动三定律推得的万有引力定律,是自然界的一条基本定律,也是近代天体力学的基础。

3. 开普勒行星运动三定律

(1) 行星都沿着椭圆轨道运动,太阳位于椭圆的一个焦点处。

(2) 在行星运动时,联结行星和太阳的线,在相等时间内永远扫出同样大小的面积。

(3) 行星公转周期 T 的平方与它们轨道长半轴 a 的立方成正比。即

$$\frac{T_1^2}{T_2^2} = \frac{a_1^3}{a_2^3}$$

字母的下标 1 和 2 指的是任何两颗行星。

4. 万有引力定律 任何两个物体间都存在着相互吸引力, 力的大小与两个物体质量 m_1 、 m_2 的乘积成正比, 与两个物体间距离 r 的平方成反比。即

$$F = G \frac{m_1 m_2}{r^2}$$

其中比例系数 G 称为引力常数。

5. 世界上的物质种类繁多, 各种物质的性质千差万别。物质的性质是由物质内部的结构决定的。物体可分割为分子, 分子可分割为原子, 原子可分割为电子和原子核, 原子核又可分割为人们暂时还不确切知道其内部结构的粒子——基本粒子。

1-1 已知地球沿椭圆轨道绕太阳公转。每年 1 月 3 日前后, 地球来到距太阳最近的位置(近日点); 7 月 4 日前后, 地球来到距太阳最远的位置(远日点)。试问地球北半球的人看来, 地球绕太阳运转的线速度在哪个季节大, 在哪个季节小?

解: 根据开普勒第二定律, 地球在近日点附近的线速度一定大于地球在远日点附近的线速度。当地球在近日点附近时(1 月 3 日前后), 北半球正处冬季(南半球正处夏季); 当地球在远日点附近时(7 月 4 日前后), 北半球正处夏季(南半球正处冬季)。所以在北半球的人看来, 地球绕太阳公转的线速度冬季大、夏季小(在南半球的人看来, 地球绕太阳公转的线速度夏季大、冬季小)。

1-2 地球与金星绕太阳运转的轨道均近似为圆轨道, 地球轨道的半径 $r_{\text{地}} = 1.5 \times 10^8$ 千米, 金星轨道的半径 $r_{\text{金}} = 1.08 \times 10^8$ 千米。求它们线速度 $v_{\text{地}}$ 与 $v_{\text{金}}$ 之比。

解：根据开普勒第三定律，有

$$\left(\frac{T_{\text{金}}}{T_{\text{地}}}\right)^2 = \left(\frac{r_{\text{金}}}{r_{\text{地}}}\right)^3 \quad (1)$$

其中 $T_{\text{金}}$ 与 $T_{\text{地}}$ 分别为金星与地球绕太阳公转的周期。

因为

$$T_{\text{金}} = \frac{2\pi r_{\text{金}}}{v_{\text{金}}}$$

$$T_{\text{地}} = \frac{2\pi r_{\text{地}}}{v_{\text{地}}}$$

所以

$$\frac{T_{\text{金}}}{T_{\text{地}}} = \frac{v_{\text{地}}}{v_{\text{金}}} \cdot \frac{r_{\text{金}}}{r_{\text{地}}} \quad (2)$$

将式(2)代入式(1)，得

$$\frac{v_{\text{地}}}{v_{\text{金}}} = \sqrt{\frac{r_{\text{金}}}{r_{\text{地}}}}$$

将 $r_{\text{地}}$ 及 $r_{\text{金}}$ 的数值代入，得

$$\frac{v_{\text{地}}}{v_{\text{金}}} = 0.85$$

1-3 在地球和月球中间的哪一点，地球对一质点的引力和月球对此质点的引力相平衡？已知地球中心距月球中心的距离为 3.84×10^8 米，地球质量为月球质量的 81 倍。

解：设质量为 m 的质点已位于地球和月球引力的平衡处，它与地球中心的距离为 $r_{\text{地}}$ ，与月球中心的距离为 $r_{\text{月}}$ 。

地球对该质点的引力为

$$F_{\text{地}} = G \frac{M_{\text{地}} m}{r_{\text{地}}^2}$$

月球对该质点的引力为

$$F_{\text{月}} = G \frac{M_{\text{月}}m}{r_{\text{月}}^2}$$

因地球和月球引力已平衡，故

$$G \frac{M_{\text{地}}m}{r_{\text{地}}^2} = G \frac{M_{\text{月}}m}{r_{\text{月}}^2}$$

于是

$$\left(\frac{r_{\text{月}}}{r_{\text{地}}} \right)^2 = \frac{M_{\text{月}}}{M_{\text{地}}} = \frac{1}{81}$$
$$\frac{r_{\text{月}}}{r_{\text{地}}} = \frac{1}{9}$$

又

$$r_{\text{地}} + r_{\text{月}} = 3.84 \times 10^8 \text{ 米}$$

所以

$$r_{\text{地}} = 3.456 \times 10^8 \text{ 米}$$

$$r_{\text{月}} = 0.384 \times 10^8 \text{ 米}$$

1-4 已知金的原子量为 196.9665。问在 1 克金中有多少金原子？

解：以一种碳原子 ($^{12}_6\text{C}$) 的质量的 $1/12$ 作为标准，其他原子的质量与它相比较所得的数值，就是该种原子的原子量。

碳原子 ($^{12}_6\text{C}$) 质量的 $1/12$ ，称为原子质量单位，其数值等于 1.6606×10^{-24} 克。

金原子的质量为

$$m = 196.9665 \times 1.6606 \times 10^{-24}$$
$$= 3.2708 \times 10^{-22} \text{ 克}$$

1 克金中包含的金原子数

$$n = \frac{1}{m} = \frac{1}{3.2708 \times 10^{-22}} = 3.0574 \times 10^{21}$$

1-5 已知硅与氧的原子量分别为 28.0855 和 15.9994。
试以克为单位表示二氧化硅分子(SiO_2)的质量。

解：二氧化硅分子的质量为

$$\begin{aligned} m &= (28.0855 + 15.9994 \times 2) \times 1.6606 \times 10^{-24} \\ &= 60.0843 \times 1.6606 \times 10^{-24} \\ &= 9.9776 \times 10^{-23} \text{ 克} \end{aligned}$$

第二章 速度和加速度

提 要

1. 描写一个物体的运动, 要选择另一个运动物体或几个虽在运动而相互间保持静止的物体群作为参考。这种被选作参考的物体或物体群称为参考系。要把运动物体在各个时刻相对于参考系的位置定量地表示出来, 应在参考系上建立适当的坐标系。

2. 物体的位移 $\Delta \mathbf{r}$ 和所经历的时间 Δt 之比, 称为这段时间内的平均速度矢量

$$\bar{\mathbf{v}} = \frac{\Delta \mathbf{r}}{\Delta t}$$

当 Δt 趋近于零时, 平均速度 $\bar{\mathbf{v}}$ 的极限叫做物体在时刻 t 的瞬时速度矢量

$$\mathbf{v} = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta \mathbf{r}}{\Delta t} = \frac{d\mathbf{r}}{dt}$$

瞬时速度矢量的大小称为速率, 可表示为

$$v = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta s}{\Delta t} = \frac{ds}{dt}$$

式中的 Δs 表示物体在 Δt 内走过的路程。

3. 速度矢量的改变量 $\Delta \mathbf{v}$ 与时间 Δt 之比称为物体在这段时间内的平均加速度矢量

$$\bar{a} = \frac{\Delta v}{\Delta t}$$

当 Δt 趋近于零时, 平均加速度矢量 $\bar{a}$ 的极限叫做物体在时刻 t 的瞬时加速度矢量

$$a = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta v}{\Delta t} = \frac{dv}{dt}$$

4. 匀变速直线运动的基本公式

$$v = v_0 + at$$

$$s = v_0 t + \frac{1}{2} at^2$$

$$v^2 - v_0^2 = 2as$$

5. 圆周运动的加速度

$$\text{法向(向心)加速度 } a_n = \frac{v^2}{r} = r\omega^2$$

$$\text{切向加速度 } a_t = \frac{dv}{dt}$$

$$\text{加速度的大小 } a = \sqrt{a_n^2 + a_t^2}$$

$$\text{加速度矢量与法线的夹角 } \theta = \arctg \frac{a_t}{a_n}$$

6. 速度和加速度沿直角坐标轴的分解

$$v = v_x \mathbf{i} + v_y \mathbf{j}$$

$$v_x = \frac{dx}{dt} \quad v_y = \frac{dy}{dt}$$

$$v = \sqrt{v_x^2 + v_y^2} \quad \alpha = \arctg \frac{v_y}{v_x}$$

其中 α 为 v 与 x 轴的夹角。

$$a = a_x \mathbf{i} + a_y \mathbf{j}$$

$$a_x = \frac{dv_x}{dt} = \frac{d^2x}{dt^2} \quad a_y = \frac{dv_y}{dt} = \frac{d^2y}{dt^2}$$

$$\alpha = \sqrt{a_x^2 + a_y^2} \quad \beta = \arctg \frac{a_y}{a_x}$$

其中 β 为 α 与 x 轴的夹角。

2-1 一快艇在静水中以 40 千米/小时的速度追赶在它前面 24 千米处的一艘轮船, 追了 60 千米才赶上, 求轮船的速度。

解: 快艇赶上轮船所化的时间为

$$t = \frac{60 \text{ 千米}}{40 \text{ 千米/小时}} = 1.5 \text{ 小时}$$

轮船在这段时间内所行驶的路程为

$$s = 60 - 24 = 36 \text{ 千米}$$

故轮船的速度为

$$v = \frac{s}{t} = \frac{36}{1.5} = 24 \text{ 千米/小时}$$

2-2 如果江中的水流速度为 2 米/秒, 上题中的快艇顺流追赶轮船, 问要追多少千米才能赶上? 如果逆流追赶, 结果又如何? 两种情况下, 追赶时间哪种短些? (路程相对地面计算。)

解: (a) 顺流追赶。水流速度为 2 米/秒 = 7.2 千米/小时。快艇相对于水的速度为

$$u_r = 40 \text{ 千米/小时}$$

快艇相对于岸的速度为

$$u = 40 + 7.2 = 47.2 \text{ 千米/小时}$$

轮船相对于水的速度为

$$v_r = 24 \text{ 千米/小时}$$

轮船相对于岸的速度为

$$v = 24 + 7.2 = 31.2 \text{ 千米/小时}$$

设快艇追赶路程 x 才赶上轮船，并设从开始追赶到赶上所经历的时间为 t ，显然

$$t = \frac{x}{u} = \frac{x - 24}{v}$$

于是

$$x = \frac{24u}{u - v} = \frac{24 \times 47.2}{47.2 - 31.2} = 70.8 \text{ 千米}$$

追赶所化的时间为

$$t = \frac{x}{u} = \frac{70.8}{47.2} = 1.5 \text{ 小时}$$

(b) 逆流追赶。水流速度为 2 米/秒 = 7.2 千米/小时。快艇相对于岸的速度为

$$u' = 40 - 7.2 = 32.8 \text{ 千米/小时}$$

轮船相对于岸的速度为

$$v' = 24 - 7.2 = 16.8 \text{ 千米/小时}$$

设快艇追赶路程 x' 才赶上轮船，并设从开始追赶到赶上所经历的时间为 t' ，显然

$$t' = \frac{x'}{u'} = \frac{x' - 24}{v'}$$

于是

$$x' = \frac{24u'}{u' - v'} = \frac{24 \times 32.8}{32.8 - 16.8} = 49.2 \text{ 千米}$$

追赶所化的时间为

$$t' = \frac{x'}{u'} = \frac{49.2}{32.8} = 1.5 \text{ 小时}$$

由此可见,逆流追赶所需的时间等于顺流追赶所需的时间。

2-3 一质点沿 x 轴作直线运动, 其坐标 x 与时间 t 的关系是

$$x = 1.5t^3$$

其中 t 以秒计, x 以米计。求: (a) 在 $t=0$ 到 $t=2$ 秒这段时间内的平均速度; (b) 在 $t=2$ 秒时的瞬时速度。

解: (a) 在 $t=0$ 到 $t=2$ 秒这段时间内质点走过的路程为

$$s = 1.5 \times 2^3 = 12 \text{ 米}$$

故这段时间内质点的平均速度为

$$\bar{v} = \frac{12}{2} = 6 \text{ 米/秒}$$

(b) 质点在任一时刻 t 的瞬时速度为

$$v = \frac{dx}{dt} = \frac{d}{dt}(1.5t^3) = 4.5t^2$$

质点在时刻 $t=2$ 秒的瞬时速度为

$$v = 4.5 \times 2^2 = 18 \text{ 米/秒}$$

2-4. 在湖中有一小船, 岸边有人用绳子跨过一高处的滑轮拉船靠岸, 如图 2-1 所示。

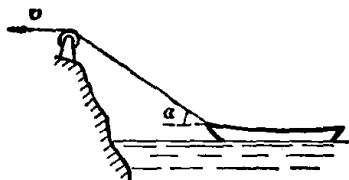


图 2-1

当绳子以速度 v 通过滑轮时, (a) 船运动的速度比 v 大还是小? (b) 如果保持绳子的速度 v 的大小不变, 船是否作匀速运动?

解：(a)由图 2-2 可见，在滑轮与船头之间绳的长度由 l 缩短到 $l - \Delta l$ 的过程中，船头由 A 点移动到 B 点，移动的距离为 Δs 。因 $\Delta s > \Delta l$ ，故船运动的速度 u 比绳通过滑轮的速度 v 大。

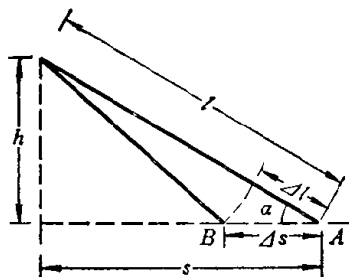


图 2-2

利用微分学还可算出 u 和 v 之间的定量关系。由图 2-2 可见

$$l^2 = h^2 + s^2$$

两边对 t 求导数，因 h 是定值，故

$$2l \frac{dl}{dt} = 2s \frac{ds}{dt}$$

即

$$\frac{ds}{dt} / \frac{dl}{dt} = l/s$$

但 $\left| \frac{ds}{dt} \right| = u$ ， $\left| \frac{dl}{dt} \right| = v$ ，故

$$\frac{u}{v} = \frac{l}{s}$$

因 $l > s$ ，故 $u > v$ 。

(b) 因船处于不同位置时，夹角 α 的值不同，因而 l/s 的值不同，故即使 v 是常数，船的速度 u 仍是变数，船不可能作匀速运动。

2-5 子弹在枪膛内按规律 $s = 405000t^2$ 运动(t 以秒计， s 以米计)。枪膛的长度为 0.5 米。求：(a) 子弹在枪膛内飞行的时间；(b) 子弹射出枪口时的速度。

解：(a) $0.5 = 405000t^2$

$$t = \sqrt{\frac{0.5}{405000}} = 1.11 \times 10^{-3} \text{ 秒}$$

(b) 由 $s = 405000t^2$ 及公式 $s = \frac{1}{2}at^2$ 可知子弹的加速度为

$$a = 405000 \times 2 = 810000 \text{ 米/秒}^2$$

子弹射出枪口时的速度为

$$v = at = 810000 \times 1.11 \times 10^{-3} = 899 \text{ 米/秒}$$

✕ 2-6 公共汽车以 25 千米/小时的速度行驶, 和它同方向开行的电车突然停在它前面约 15 米处。司机立刻刹车, 但汽车在刹车后又走了 3 秒钟才停下。问汽车会不会碰上电车?

解: 公共汽车的初速度为

$$v_0 = 25 \text{ 千米/小时} = 6.9 \text{ 米/秒}$$

公共汽车的加速度为

$$a = \frac{v - v_0}{t} = \frac{0 - 6.9}{3} = -2.3 \text{ 米/秒}^2$$

根据公式 $v^2 - v_0^2 = 2as$ 得公共汽车刹车后走过的路程

$$s = \frac{v^2 - v_0^2}{2a} = \frac{0 - 6.9^2}{-2 \times 2.3} = 10.35 \text{ 米}$$

由此可见, 汽车不会碰上电车。

2-7 矿井中的升降机在上升时最初作匀加速运动, 经 3 秒钟后速度达到 3 米/秒; 然后以这个速率匀速上升 6 秒钟; 在最后 2 秒钟内作匀减速运动, 到达井口时正好停止。求矿井的深度。

解: 匀加速阶段

$$s_1 = \frac{1}{2}at^2 = \frac{1}{2} \times \frac{3-0}{3} \times 3^2 = 4.5 \text{ 米}$$