

6004

物理学

上册

南京工学院等七所工科院校编

3
70
21

高等教育出版社

物 理 学

上 册

南京工学院等七所工科院校编

高等教育出版社

1977·北京

本书是在江苏省七所工科院校 73 年编写的《物理》的基础上，按照目前工科院校对物理基础的要求而改编的。

本书按讲授 130—150 学时编写，分上、中、下三册。上册内容为力学、分子物理和热力学，中册为电学，下册为振动与波、物理光学和近代物理基础。

本书可作为高等工科院校的教学用书，也可供理科非物理专业选用。

本书原由人民教育出版社出版。1983 年 8 月 9 日，上级同意恢复“高等教育出版社”。本书今后改用高等教育出版社名义继续印行。

物 理 学

上 册

南京工学院等七所工科院校编

高等教育出版社出版

新华书店北京发行所发行

黑龙江肇源印刷厂印刷

*

开本 787×1092 1/32 印张 7.875 字数 189,000

1977 年 12 月第 1 版 1985 年 2 月第 12 次印刷

印数 1,491,101—1,526,300

书号 13010-089 定价 1.10 元

编 者 的 话

物理课是高等工科院校的一门重要基础理论课。通过本课程的学习,使学生较系统地掌握物质运动的基本规律,培养学生运用基本规律对一般问题进行理论分析和计算的能力。充分发挥物理学在培养学生辩证唯物主义世界观方面的作用。

在本书的编写过程中,我们努力运用辩证唯物主义观点来阐明物理学的基本规律;按照理论与实践相统一的原则,从学生易于理解的实际问题中提出问题,引出概念和规律,并指出应用这些概念和规律去解决问题的途径,同时注意培养学生抽象思维的能力;在经典物理与近代物理的关系方面,本书在系统地阐述经典物理的基本规律的同时,指出经典概念的局限性和近代物理的发展。

本书是在一九七三年江苏省工院校《物理》编写组编写的《物理》的基础上改编成的。在改编中,注意了与现有高中水平相衔接,并作了必要的增补和修改。本书按讲授130—150学时编写,有些内容用小字排印,以供选择。

由于我们对马列著作和毛主席著作学习不够,业务水平有限,加之改编时间仓促,因此本书定有不少缺点和错误,衷心希望使用本书的教师和读者,多提出宝贵意见和建议。

参加本书编写工作的院校和人员有:南京工学院(柯景风、马文蔚、曹恕、宋玉亭、李士澂)、南京航空学院(兰信梯、桂永蕃)、华东工程学院(张粉)、华东水利学院(蒋澄华)、南京林产工业学院(王明馨)、无锡轻工业学院(葛元欣)、镇江农机学院(周遥生),并由张粉、马文蔚、王明馨负责定稿。在编写过程中,兄弟院校也给予了大力的支持和帮助。

编 者

1977.12.

目 录

第一章 矢量的加减法	1
1-1 矢量 标量	1
1-2 矢量加减的几何法	2
1-3 矢量合成的解析法	6
思考题	10
习题	10
第二章 直线运动	12
2-1 参照系 质点 位移	13
2-2 平均速度 瞬时速度	16
2-3 平均加速度 瞬时加速度	19
2-4 匀变速直线运动	21
2-5 自由落体运动	24
思考题	29
习题	29
第三章 质点动力学的基本定律	32
3-1 牛顿第三定律	32
3-2 物体受力分析	33
3-3 牛顿第一定律	35
3-4 牛顿第二定律	36
3-5 力学单位制 质量和重量	40
3-6 牛顿定律的应用举例	42
思考题	49
习题	50
第四章 功与能	54
4-1 功 功率	54
4-2 动能 动能原理	60

4-3 势能 重力作功与重力势能的关系	64
4-4 机械能转换与守恒定律 功能原理	71
4-5 能量转换与守恒定律	76
思考题	80
习题	81
第五章 动量	86
5-1 冲量 动量 动量原理	86
5-2 动量守恒定律	91
5-3 完全弹性碰撞 完全非弹性碰撞	95
5-4 中子的发现	99
思考题	101
习题	101
第六章 曲线运动	104
6-1 曲线运动中速度的方向	104
6-2 抛体运动	106
6-3 匀速圆周运动 角速度和线速度	111
6-4 向心加速度 向心力	113
6-5 切向加速度和法向加速度	117
6-6 万有引力定律	118
6-7 引力质量 惯性质量 引力场	123
思考题	127
习题	128
第七章 刚体的转动	132
7-1 刚体的定轴转动	132
7-2 转动定律 转动惯量	139
7-3 力矩作功	145
7-4 转动动能	147
7-5 动量矩 动量矩守恒定律	151
7-6 经典力学的适用范围	155
思考题	158
习题	159

第八章 气体分子运动论	163
8-1 分子运动论的基本概念	163
8-2 气体的状态参量 平衡态	166
8-3 理想气体状态方程	169
8-4 理想气体的压力公式	175
8-5 气体分子的平均平动动能与温度的关系	180
8-6 气体分子速率的统计分布规律	181
8-7 分子的平均碰撞次数和平均自由程	187
8-8 能量均分原理 理想气体的内能	190
思考题	197
习题	198
第九章 热力学简介	201
9-1 功与热	201
9-2 热力学第一定律	202
9-3 热力学第一定律对理想气体等值过程的应用	205
9-4 气体的热容量	210
9-5 热力学第一定律对理想气体绝热过程的应用	213
9-6 卡诺循环 热机的效率	216
9-7 热力学第二定律	220
思考题	223
习题	224
第十章 非常压与非常温[阅读材料]	227
10-1 真空技术简介	227
10-2 低温	232
10-3 等离子体	234
10-4 高压	236
习题答案	238

第一章 矢量的加减法

在研究物理学的过程中,会遇到许多物理量,如质量、力、速度、加速度等等。不仅它们的物理意义不同,而且,就数学运算的法则而言也不尽相同,一般可分为标量、矢量等。本章主要讨论矢量的概念和矢量的加减法运算。

1-1 矢量 标量

在实践中会遇到这样的问题:使用同样大小的力,作用于同一物体上,所产生的效果却不相同。如图 1-1 所示,若由大小为 500 牛顿的力 F 竖直作用于一物体,刚好能把该物体从地面上提起(图 1-1a),而用大小同为 500 牛顿的力去斜拉此物体时,却只可能使其在地面上移动(图 1-1b)。因此,要反映作用在物体上的力,不仅要指明它的大小,而且还必须指明它的方向。又如,使用两个大小均为 250 牛顿的力 F' 作用于上述物体,在图 1-1c 所示的情况下,这两个力的作用效果和一个方向与它们相同、大小为 500 牛顿的力作用的效果相同,同样刚好能把物体提起;而在图 1-1d 所示的情况下,这两个力却不能提起此物体。这说明,在计算两个力的合力时,不能用

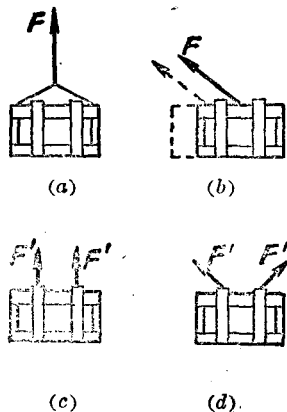


图 1-1 矢量

简单的代数加法,而必须运用新的运算法则。像力这样的物理量,不仅有大小,而且有方向,相加时还必须符合一定的运算法则(平行四边形法则),这种物理量叫做矢量。位移、速度、加速度等也都是矢量。此外,还有一些物理量,只有数值大小,没有方向,而且相加时服从代数法则。这种物理量叫做标量。如质量、时间等都是标量。

矢量通常用带有箭号的字母 $\vec{A}$ 或黑体字母 $\mathbf{A}$ 来表示^①,在作图时,常用带箭头的线段来表示。线段的长短按一定比例表示矢量的大小,箭头的指向表示矢量的方向。例如,一列高速火车以 40 米/秒的速度向东行驶,则其速度矢量 $\mathbf{v}$ 可用图 1-2 中的有向线段表示。

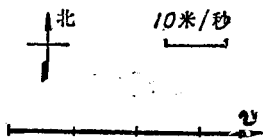


图 1-2 速度矢量的图象表示

矢量的大小叫做矢量的模。矢量 $\mathbf{A}$ 的模常用符号 $|\mathbf{A}|$ 或 A 表示。

1-2 矢量加减的几何法

一 矢量的加法

矢量的运算不同于标量的运算。例如,一物体同时受到几个力的作用,在计算合力时,不能简单地运用代数相加,而必须运用矢量的加法运算。那么,矢量的加法遵守什么规律呢?让我们先看一个实验。如图 1-3a 所示, AB 是一弹簧, A 端固定, B 端连接两根细线,分别通过定滑轮挂上 0.3 千克和 0.4 千克的砝码,两根细线之间的夹角为 90° 。当弹簧的 B 端静止在 O 点时,两根细线

① 本书中一律用黑体字母表示。

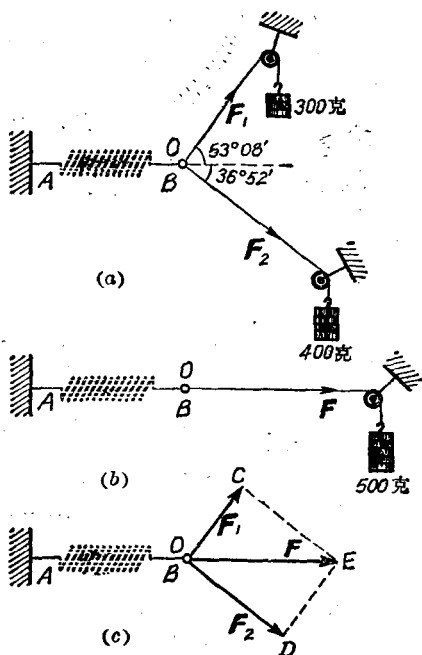


图 1-3 两力的合成

对 B 端的作用力 F_1 和 F_2 的大小分别为 2.94 牛顿和 3.92 牛顿。如采用图 1-3b 所示的装置，在 B 端连接一根细线，通过定滑轮后，挂上砝码，则当所加砝码为 0.5 千克时，弹簧的 B 端恰好静止于 O 点，此时，细线对 B 端的作用力 F 的大小为 4.9 牛顿。实验表明，力 F 使弹簧伸长的效果与 F_1 和 F_2 两个力共同作用时的效果相同，我们把 F 叫做 F_1 和 F_2 两个力的合力。

根据上述实验所表现的合力 F 与 F_1 和 F_2 之间的关系，我们按一定的比例用线段 BC 和 BD 分别表示力 F_1 和 F_2 的大小，并以它们为邻边作平行四边形，如图 1-3c 所示，用相同比例量出此平行四边形的对角线 BE ，就等于合力 F 的大小，对角线与某一邻

边的夹角给出了合力 F 的方向。由此我们可以得出矢量合成(或加法)的平行四边形法则: 两矢量 A 与 B 相加的合矢量是以这两矢量为邻边的平行四边形的对角线矢量 C (图 1-4), 写成

$$A+B=C \quad (1-1)$$

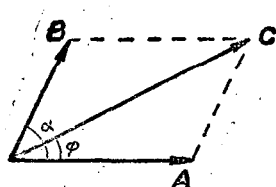


图 1-4 两矢量合成的平行四边形法则

两矢量合成的平行四边形法则可简化为两矢量合成的三角形法则。如图 1-5 所示, 自矢量 A 的末端起画出矢量 B , 则自矢量 A 的始端到矢量 B 的末端画出的矢量 C , 就是 A 和 B 的合矢量。由于矢量 A 、 B 与合矢量 C 构成一个三角形, 故这种方法叫做矢量合成的三角形法则。对于多矢量的合成, 原则上可以逐次采用三



图 1-5 矢量合成的三角形法则

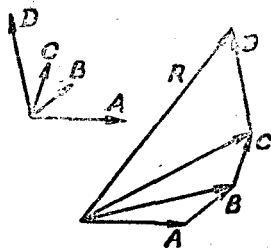


图 1-6 多矢量的合成

角形法则进行, 先求出其中两个矢量的合矢量, 然后, 将该合矢量再与第三个矢量相加, 求得三个矢量的合矢量, ……依此类推, 即得到多个矢量合成时的多边形法则。如图 1-6 所示, 若要求出 A 、 B 、 C 、 D 四个矢量的合矢量时, 可从 A 矢量出发, 首尾相接地依次画出 B 、 C 、 D 各矢量。然后由第一个矢量 A 的始端到最后一个矢量 D 的末端, 作一矢量 R , 这个矢量 R 就是 A 、 B 、 C 、 D 等四个矢

量的合矢量。

合矢量的大小和方向，除了上述几何作图法外，还可根据计算求得。

设矢量 A 和 B 的夹角为 α ，合矢量 C 与矢量 A 的夹角为 φ (图 1-7)，由图可知

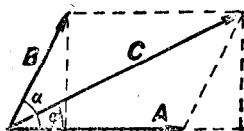


图 1-7 两矢量合成的计算

$$|C|^2 = (B \sin \alpha)^2 + (A + B \cos \alpha)^2$$

$$= A^2 + B^2 + 2AB \cos \alpha$$

$$\operatorname{tg} \varphi = \frac{B \sin \alpha}{A + B \cos \alpha}$$

$$\text{故 } |C| = \sqrt{A^2 + B^2 + 2AB \cos \alpha} \quad (1-2a)$$

$$\varphi = \arctg \frac{B \sin \alpha}{A + B \cos \alpha} \quad (1-2b)$$

式(1-2a)及(1-2b)给出合矢量的大小 C 及方向 φ 。

例 一飞机由某地起飞，向东飞行 50 千米后，又向东偏北 60° 的方向飞行 40 千米，求此时飞机的位置。

解 飞机在飞行中位置的移动，可以用自始端指向末端的有向线段表示，通常叫做位移，位移也是一个矢量。飞机向东飞行 50 千米，可用矢量 A 表示，又向东偏北 60° 的方向飞行 40 千米，可用矢量 B 表示，而飞机終了的位置则可用矢量 C 的终端表示 (图 1-8)。由图可知，矢量 C 就是 A 和 B 的矢量和，而两矢量 A 、 B 的夹角为 $\alpha = 60^\circ$ ，利用式(1-2a)及(1-2b)即可分别求得矢量 C 的大小和方向为

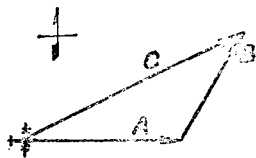


图 1-8

$$\begin{aligned} |C| &= \sqrt{A^2 + B^2 + 2AB \cos \alpha} \\ &= \sqrt{50^2 + 40^2 + 2 \times 50 \times 40 \times \cos 60^\circ} \end{aligned}$$

$$=78.1 \text{ 千米}$$

$$\varphi = \arctg \frac{B \sin \alpha}{A + B \cos \alpha}$$

$$= \arctg \frac{40 \times \sin 60^\circ}{50 + 40 \cos 60^\circ}$$

$$= \arctg \frac{40 \times 0.866}{50 + 40 \times 0.5} = \arctg 0.495$$

$$= 26^\circ 20'$$

二 矢量的减法

两个矢量 A 与 B 之差也是一个矢量, 可用 $A-B$ 表示。因为

$$A-B = A + (-B) \quad (1-3)$$

其中 $-B$ 表示与矢量 B 的大小相等而指向相反的另一矢量。所以, 矢量 A 与 B 之差就可以看成矢量 A 与矢量 $-B$ 之和, 同样可以采用平行四边形法则。从图 1-9 中也

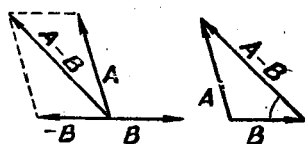


图 1-9 两矢量相减

可以看出, 自 B 末端向 A 末端作一矢量, 就是矢量 A 与 B 之差 $A-B$ 。

求矢量差的大小和方向, 仍可用式 (1-2a) 及 (1-2b) 进行计算, 但必须注意这时角 α 不是矢量 A 、 B 之间的夹角, 而是这个夹角的补角。

1-3 矢量合成的解析法

一 矢量的分量表示法

设矢量 A 在平面直角坐标系 xOy 上, A 与 x 轴的夹角为 α , 其始端位于原点 O (图 1-10)。矢量 A 的分量就是该矢量在 x 轴

和 y 轴上的两个投影。由图 1-10 可以看出, 矢量在 x 方向的分量 A_x 和在 y 方向的分量 A_y 分别为

$$\left. \begin{aligned} A_x &= A \cos \alpha \\ A_y &= A \sin \alpha \end{aligned} \right\} \quad (1-4)$$

显然, 矢量 A 的模与分量 A_x 、 A_y 之间的关系为

$$|A| = \sqrt{A_x^2 + A_y^2}$$

矢量 A 与 x 轴的夹角 α 和分量之间的关系为

$$\alpha = \arctg \frac{A_y}{A_x}$$

由式(1-4)可见, 当 A 与 x 轴的夹角 $\alpha = 0$ 时, $A_x = A$; 当 $\alpha = \pi$ 时, $A_x = -A$ 。在讨论直线运动时要用到这个结论。

二 矢量合成的解析法

运用矢量的分量表示法, 可以使矢量加减的运算简化。设平面直角坐标内有矢量 A 和 B , 它们与 x 轴的夹角分别为 α 和 β (图 1-11), 求合矢量 C 。

根据式(1-4), 矢量 A 和 B 在两坐标轴上的分量可分别表示为

$$\left\{ \begin{aligned} A_x &= A \cos \alpha \\ A_y &= A \sin \alpha \end{aligned} \right. \quad \text{及} \quad \left\{ \begin{aligned} B_x &= B \cos \beta \\ B_y &= B \sin \beta \end{aligned} \right.$$

由图 1-11 可以看出, 合矢量 C 在两坐标轴上的分量 C_x 和 C_y 与矢量 A 、 B 的分量之间的关系为

$$\left\{ \begin{aligned} C_x &= A_x + B_x \\ C_y &= A_y + B_y \end{aligned} \right. \quad (1-5)$$

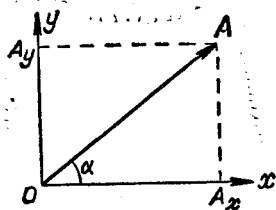


图 1-10 矢量的正交分解

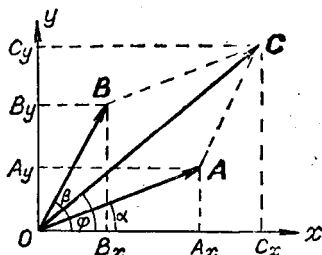


图 1-11 两矢量合成的解析法

矢量 C 的大小及方向由下列二式确定

$$\left. \begin{aligned} |C| &= \sqrt{C_x^2 + C_y^2} \\ \varphi &= \arctg \frac{C_y}{C_x} \end{aligned} \right\} \quad (1-6)$$

例 设一小船在静水中以每秒 1.5 米的速度向东偏北 30° 的方向划行, 若不划行而任风吹动, 则船将以每秒 0.5 米的速度向南偏西 30° 的方向飘移, 试求小船同时参与这两种运动时速度的大小和方向。

解 小船所参与的两种不同速度的运动可在平面直角坐标系中以 v_1 和 v_2 表示, 小船实际运动的速度 v 应是 v_1 和 v_2 的矢量和(图 1-12), 即

$$v = v_1 + v_2$$

根据式(1-5)有

$$v_x = v_{1x} + v_{2x}$$

$$v_y = v_{1y} + v_{2y}$$

因为 $v_1 = 1.5$ 米/秒, $\alpha_1 = 30^\circ$, 故

$$v_{1x} = 1.5 \times \cos 30^\circ = 1.5 \times \sqrt{3}/2 \approx 1.3$$

$$v_{1y} = 1.5 \times \sin 30^\circ = 1.5 \times 1/2 = 0.75$$

又因为 $v_2 = 0.5$ 米/秒, $\alpha_2 = 240^\circ$, 故

$$v_{2x} = 0.5 \times \cos 240^\circ = 0.5 \times (-1/2) = -0.25$$

$$v_{2y} = 0.5 \times \sin 240^\circ = 0.5 \times (-\sqrt{3}/2) \approx -0.43$$

于是

$$v_x = v_{1x} + v_{2x} = 1.3 + (-0.25) = 1.05$$

$$v_y = v_{1y} + v_{2y} = 0.75 + (-0.43) = 0.32$$

根据式(1-6)可以分别求得合速度 v 的大小及方向为

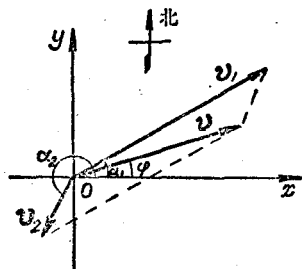


图 1-12 两速度的合成

$$\begin{aligned}
 |v| &= \sqrt{v_x^2 + v_y^2} \\
 &= \sqrt{(1.05)^2 + (0.32)^2} \approx 1.1 \text{ 米/秒} \\
 \varphi &= \arctg \frac{0.32}{1.05} \approx 17^\circ
 \end{aligned}$$

本章小结

本章叙述了矢量的基本概念、矢量加减的几何法以及矢量合成的解析法。

一 矢量的概念

既具有数值大小、又有方向，合成时符合平行四边形法则的物理量叫做矢量，如力、速度、加速度等都是矢量。只具有数值大小，加法运算时遵守代数法则的物理量叫做标量。

矢量可以用一带箭头的有向线段来表示。矢量 A 的大小与它的分量 A_x 、 A_y 间的关系为

$$|A| = \sqrt{A_x^2 + A_y^2}$$

矢量 A 与 x 轴的夹角 α 和分量 A_x 、 A_y 间的关系为

$$\alpha = \arctg \frac{A_y}{A_x}$$

二 矢量合成

两个或两个以上的矢量合成时，得到的仍是一个矢量。

两矢量合成的平行四边形法则：两矢量 A 与 B 相加的合矢量，是以这两矢量为邻边的平行四边形的对角线矢量 C ，可写为

$$A + B = C$$

按照矢量的正交分解，合矢量 C 在平面直角坐标系上的分量为

$$C_x = A_x + B_x$$

$$C_x = A_x + B_x$$

所以合矢量 C 的大小为

$$|C| = \sqrt{C_x^2 + C_y^2}$$

合矢量 C 与 x 轴的夹角为

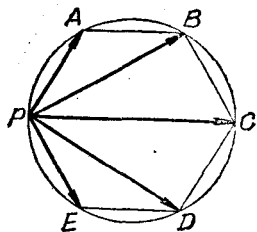
$$\varphi = \arctg \frac{C_y}{C_x}$$

思考题

- 1-1 标量和矢量的区别是什么？一个量仅有大小和方向而其他性质一概不知，你能否确定该量一定是矢量？
- 1-2 有人说“合力一定大于分力”。对吗？为什么？
- 1-3 两矢量的合矢量的模是否一定大于它们各自的模？
- 1-4 如果一矢量的分量中有一个不为零，该矢量可不可能为零？用分量表示时，一矢量为零矢量的充分必要条件是什么？
- 1-5 矢量合成的几何法和解析法各有什么优点？
- 1-6 在平面直角坐标系内，若矢量的起点在坐标原点，你能否从它分量的正负判断该矢量处于第几象限？

习题

- 1-1 两个互成 150° 角的力，其大小均为 120 牛顿，求合力的大小和方向。
- 1-2 两个互成 60° 角的力，一个等于 4 牛顿，另一个等于 3 牛顿，求合力的大小和方向。
- 1-3 如图所示，设有 5 个力作用于一点 P ，这 5 个力的大小与方向，相当于每边等于 b 的正六边形的两个边和三个对角线，求这 5 个力的合力。
- 1-4 轮船为了要垂直横过河流到达对岸，沿着与河岸成一定角度的方向以 2 米/秒的速率航行，已知水流的速率为 1 米/秒，求合速度的大小和轮船航向与河岸的夹角。



题 1-3 图