

工科大学物理 基本教材

第一册

李金铎主编



04
4
:/

前 言

对于物理这门基础理论课，怎样才能做到对各工科专业具有广泛的适应性，又能在学时少的情况下打好基础，提高教学质量，这是当前教材建设的主要矛盾。

我们认为应以“教观点、教方法、教基本规律”作为指导思想。要认真精选内容，重视教学方法研究，充分调动学生学习的积极性和主动性，彻底改变“满堂灌”“抱着走”的被动局面，在有限学时内使学生打下较扎实的理论基础，提高学生的科学思维能力，是完全可能的。

这本教材是我们许多教师多年教学实践的体会、是近几年来在使用杨仲着教授主编的《大学物理》的基础上，在老教师的言传身教、相互切磋，发挥集体智慧的基础上总结出来的。

我们遵照“打好基础、精选内容、力求更新、利于教学”的原则。以1980年《物理学大纲》及1981年对大纲的补充说明为依据。编写中力求少而精，运用辩证唯物主义和历史唯物主义观点阐述物理基本规律，总结内在的统一性与谐和性。并尽量作到理论与实际相结合，精选习题，培养学生分析问题解决问题的能力，使教师好教，学生好学。每学时篇幅控制在3~4千字内，这样可使学生有余力参阅其它有关参考书。生动活泼学习，利于提高教学质量。

编写组在教研室主任李金镛教授亲自主持下分成四组。力热组（陈志芳、张洪、辛宗烈），电磁组（钟纫珠、王学信、刘淑美），波光组（庞兆芳、李美玲、秦绮文），近代组（罗

大章、武珊、张庆云、张洪），另有选题和绘图组：王金煜、孙胜兰、王克起、贾洛武、张立升、曹文斗、李增智、周佩瑶、吴亚非等教师。写出初稿后相互审阅讨论修改，并经罗大章付教授通篇校阅后，由李金锷教授逐节仔细审改。我们在编写过程中得到了倪守正付教授和马世宁等同志的帮助。他们提出许多宝贵意见。

本教材第一版在我校及一些兄弟院校进行了试用，大家提出了不少改进意见，经认真研究后，这次再版（第二版）作了相应修订。在修订中，华东工程学院方光耀、江苏工学院赵善文、山东工学院张尧柏、哈尔滨工业大学等许多院校的老教师都提出了很多具体的宝贵意见，对此我们表示衷心的感谢。今后仍望兄弟院校师生随时指正。

编者 1983年11月

第二版序言

物理学作为一门基础理论科学，其重要性随着科学技术的发展而日益明显。材料科学、能源科学以及诸如激光、信息、生物物理等边缘学科，都是以物理规律为基础而发展起来的。理工科学生只有打好理论基础，才有可能在专业课学习及科研新领域开拓中得到较高成就。这在欧美近代科学教育史上已得到有力的例证。

学好物理学是必要的，但我们的教育方针是要德、智、体全面发展，所以每门课程（包括物理学）在总的教学计划中的比重要适度。首先政治思想教育课程应有所保证；其次由于近代技术科学的发展，理工科大学生在电子学、计算机以及测试技术上的训练也应有所加强；再则是专业课程也在日新月异。面对实际情况，加强物理教材的精选和教学方法的研究是非常迫切的。教育部1983年《关于高等学校工科基础课的教学情况分析》与《教材建设意见》（提纲）文件中指出：“当前，基础课教学改革的重点是精选教学内容，加强实践性环节，改进教学方法，着重培养能力”。“在基础课的教学改革中，精选教学内容是中心环节。”

由于物理学的发展，对物理学的基本规律的认识日益明确，为精选内容提供了科学依据。物理学是研究物质世界基本规律的科学。我们认为物质运动的最基本形态可以概括为：粒子运动形态；波动运动形态；波和粒子统一。在这个思想的指导下，编写了本教材。

我们注意到，现在高等学校入学学生水平逐年提高，而理工科高等学校又有很多后续课程对物理理论的深化与延伸能起很好的作用。所以在精选教材的基础上，研究教学方法，运用近代教学手段，充分调动学生的积极性，是能够在有限的学时内使学生掌握物理学的基本内容，从而起到打好基础培养能力的作用。

目 录

第一章 质点运动学	(1)
§ 1—1 坐标系 运动方程.....	(2)
§ 1—2 瞬时速度.....	(7)
§ 1—3 瞬时加速度.....	(10)
问题和习题.....	(24)
第二章 质点动力学	(28)
§ 2—1 牛顿运动定律.....	(28)
§ 2—2 变力作功 动能定理.....	(39)
§ 2—3 保守力作功与势能的关系.....	(44)
§ 2—4 功能原理 机械能守恒定律.....	(50)
§ 2—5 能量守恒和转换定律.....	(56)
§ 2—6 动量原理 动量守恒.....	(58)
§ 2—7 碰撞.....	(65)
附录 力学单位制和量纲.....	(74)
问题和习题.....	(77)
第三章 刚体	(93)
§ 3—1 刚体运动学.....	(93)
§ 3—2 力矩 转动定律.....	(100)
§ 3—3 角动量原理 角动量守恒.....	(111)

§ 3—4 力矩的功 转动动能定理·····	(116)
问题和习题·····	(122)
第四章 分子运动论 ·····	(130)
§ 4—1 分子力与热运动·····	(130)
§ 4—2 理想气体压强公式·····	(133)
§ 4—3 温度 能量按自由度均分原理··	(141)
§ 4—4 气体分子的玻尔兹曼能量分布 和麦克斯韦速率分布·····	(146)
§ 4—5 分子的平均碰撞频率和 平均自由程·····	(154)
§ 4—6 气体内部的迁移现象·····	(156)
§ 4—7 真实气体 范德瓦耳斯方程·····	(160)
问题和习题·····	(163)
第五章 热力学 ·····	(169)
§ 5—1 热力学第一定律 理想气体 等值过程·····	(170)
§ 5—2 绝热过程·····	(183)
§ 5—3 卡诺循环·····	(189)
§ 5—4 热力学第二定律·····	(195)
§ 5—5 卡诺定理·····	(200)
问题和习题·····	(203)
第六章 真空中的静电场 ·····	(208)
§ 6—1 电荷 库仑定律·····	(208)

§ 6—2	电场与电场强度	(212)
§ 6—3	电力线与电通量	(224)
§ 6—4	高斯定律及其应用	(228)
§ 6—5	电场力的功 电势	(237)
§ 6—6	等势面 场强与电势的关系	(248)
	问题和习题	(256)

第七章 静电场中的导体和电介质 (266)

§ 7—1	静电场中的导体	(266)
§ 7—2	电介质	(274)
§ 7—3	电介质内的场强 有介质时的 高斯定律	(281)
§ 7—4	电容 电容器	(291)
§ 7—5	电场的能量	(299)
	问题和习题	(303)

第八章 电流与磁场 (314)

§ 8—1	稳恒电流	(314)
§ 8—2	磁场 磁场中的高斯定律	(317)
§ 8—3	毕奥—沙伐—拉普拉斯定律	(319)
§ 8—4	安培环路定律	(325)
§ 8—5	运动电荷的磁场	(331)
§ 8—6	磁场对载流导线的作用力	(334)
§ 8—7	磁场对运动电荷的作用力 霍尔效应	(337)
	问题和习题	(344)

第九章 物质的磁性和磁介质中的磁场..... (352)

§ 9—1 物质的磁性..... (352)

§ 9—2 磁化强度矢量..... (356)

§ 9—3 磁介质中的安培环路定律..... (358)

§ 9—4 M 、 B 、 H 三个磁矢量的关系..... (360)

§ 9—5 铁磁质..... (361)

问题和习题..... (370)

第十章 电磁现象的普遍规律..... (374)

§ 10—1 电源的电动势..... (374)

§ 10—2 电磁感应 涡旋电场..... (377)

§ 10—3 自感与互感 磁场能量..... (387)

§ 10—4 电流连续性方程 位移电流..... (395)

§ 10—5 麦克斯韦方程组的积分形式..... (402)

问题和习题..... (404)

第一册习题答案..... (412)

第一章 质点运动学

人类从长期实践活动中观察到世界上所有物质都在不停地运动。不存在任何绝对静止的东西。譬如，课堂里一张讲桌对地面来说是静止不动，画在图 1—1 地球表面 O 点，可以看出它对地轴来说却在绕地轴转动，对太阳来说地球还要以每秒约 30 公里的速度绕太阳公转，对银河系中心来说太阳带着包括地球在内的整个太阳系以每秒约 200 公里的速度绕银河中心运动，所以实际上这张讲桌是非常迅速地运动着。另外，讲桌内部的分子、电子甚至核内粒子都在时刻不停的运动。由此可见，运动是物质的存在的形式，是物质的固有属性，运动与物

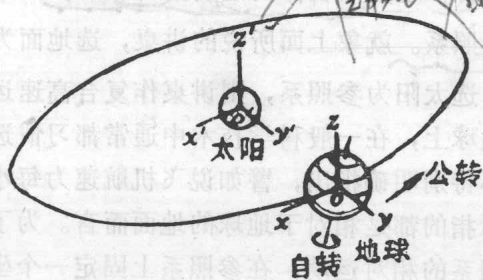


图 1—1

质是不可分割的，没有不运动的物质，也没有离开物质的运动。运动是绝对的，静止是相对的。

本章质点运动学主要是研究物体之间相对位置随时间的变

化关系，这种运动叫机械运动。物体具有大小和形状。一般在物体大小比起所研究物体运动的路径小得多的情况下，就可以把物体模型化，看成没有大小和形状的质点。如研究行星的公转运动，就可忽略其大小视行星为质点。认为物体各点运动状态相同。这种突出主要矛盾，忽略次要矛盾的研究问题的科学思维方法，需要注意在学习中逐步培养起来。而且由于物体实际上是无数质点组成，分析这些质点的运动，就可弄清楚整个物体的运动，所以质点运动学是研究物体运动的基础。

§1—1 坐标系 运动方程

由图 1—1 可知，对于一个物体运动的描述，要说一个物体是静止还是运动，以及怎样运动，必须要说明该物体是对那一个物体而言，也就是物体的运动具有相对性，这个供对照的物体称做参照系。就象上面所说的讲桌，选地面为参照系就是静止不动。选太阳为参照系，则讲桌作复合高速运动。由于我们生活在地球上，在一般科学技术中通常都习惯选地球作为参照物，而不特别明确指出，譬如说飞机航速为每小时飞行 800 公里，实际指的都是相对于地球的地面而言。为了能定量描写物体对参照系的相对运动，在参照系上固定一个坐标系，则物体相对参照系的位置完全可以由坐标确定。一般对三维空间运动，常用直角坐标系 (x, y, z) 、球坐标系 (r, θ, φ) 或柱坐标系 (r, θ, z) 。对二维平面运动，常用二维直角坐标系 (x, y) 或极坐标系 (r, θ) 。究竟选用什么坐标系为好，应以研究问题能够最为简捷为准。运动物体在坐标系中的

位置在不同时刻有不同的坐标，因此运动有瞬时性，或者说质点坐标是时刻 t 的函数。譬如，有初速 v_0 的匀加速直线运动，用一维坐标系，其坐标可表示为

$$x = x_0 + v_0 t + \frac{1}{2} a t^2 \quad (1-1-1)$$

此处 x_0 为 $t = 0$ 时刻的坐标， a 为加速度。对三维空间运动，用三维直角坐标系，其坐标可以写为

$$x = f_1(t), y = f_2(t), z = f_3(t) \quad (1-1-2)$$

这些将坐标作为 t 的函数表达式称为运动方程，或运动方程分量式。有了运动方程，则质点 P 在某一时刻 t 的空间位置就唯一确定。从坐标轴的原点 O 向 P 点作一矢量 r ，这个矢量大小和方向也就唯一确定，这个矢量称为位置矢量或矢径。位置矢量可以写成

$$\begin{aligned} r(t) &= x\mathbf{i} + y\mathbf{j} + z\mathbf{k} \\ &= f_1(t)\mathbf{i} + f_2(t)\mathbf{j} \\ &\quad + f_3(t)\mathbf{k} \quad (1-1-3) \end{aligned}$$

式中 \mathbf{i} 、 \mathbf{j} 、 \mathbf{k} 分别为 x 、 y 、 z 轴的单位矢量，这个矢量表达式又叫运动方程矢量式。矢径的大小为

$$r = \sqrt{x^2 + y^2 + z^2} \quad (1-1-4)$$

r 与 x 轴， y 轴， z 轴的夹角 α 、 β 、 γ 可由方向余弦

$$\cos \alpha = \frac{x}{r}, \cos \beta = \frac{y}{r}, \cos \gamma = \frac{z}{r} \quad (1-1-5)$$

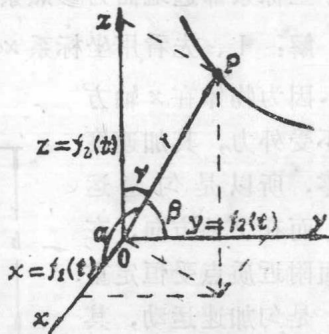


图 1-2

怎样写好看

求出。见图 1—2。因此质点运动的瞬时位置可用一个矢量表示，说明运动的位置具有矢量性。运动方程的矢量式充分反映了运动的相对性、瞬时性、矢量性。

在这里要特别指出，对于同一个质点运动的描述，譬如斜抛运动，由于坐标系不同，即使是同一参照系，其运动方程的形式也是不同的。从下面例 1 可看出它的不同。此外，运动方程所描述的质点在 t 秒瞬时的位置，实际指的是 t 秒末哪一个瞬时位置，譬如 $t = 3$ 秒，指的是 3 秒末时的质点位置 A_3 。

[例题 1] 设有一质点被从地面斜抛于空中，已知初速为 v_0 ，初速与地面夹角为 θ ，空气阻力忽略，重力加速度为 g ，试分别列出对应图上不同二维平面直角坐标系的运动方程。这两个坐标系都选地面为参照系。

解：I、先看用坐标系 xoy 的描述。

因为物体在 x 轴方向不受外力，其加速度为零，所以是匀速运动。而在 y 轴方向，在地面附近质点受恒定重力，是匀加速运动，其加速度矢量 g 指向 y 轴负方向， $g = -gi$ 。斜抛运动可看成是水平匀

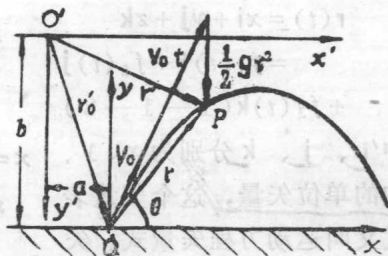


图 1—3

速运动和垂直匀加速运动两个独立的直线运动的叠加。这就是运动的叠加原理或叫运动的独立作用原理。

质点初始位置在 $t = 0$ 时， $x_0 = 0$ ， $y_0 = 0$ 。初始速度 v_0 。

在 x 轴上的分量大小为 $v_0 \cos \theta$, 指向 x 轴正向即 $v_{0x} = v_0 \cos \theta i$ 。
 在 y 轴上的分量大小为 $v_0 \sin \theta$, 指向 y 轴正向即 $v_{0y} = v_0 \sin \theta j$ 。

由 (1-1-1) 式知, 运动方程可写为

$$x = v_0 \cos \theta t$$

$$y = v_0 \sin \theta t - \frac{1}{2} g t^2$$

运动方程

其矢量式为 $r = v_0 \cos \theta \cdot t i + (v_0 \sin \theta \cdot t - \frac{1}{2} g t^2) j$

运动方程

$$= (v_0 \cos \theta i + v_0 \sin \theta j) t + \frac{1}{2} (-g j) t^2$$

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

注意是矢量

由矢量式还可看出, 斜抛运动的质点在时刻 t 的位置矢量 r 可由矢量 $v_0 t$ 和 $\frac{1}{2} g t^2$ 用矢量合成方法合成。斜抛运动也可看成斜向 v_0 方向的匀速运动和重力方向的垂直自由落体运动两个独立直线运动叠加而成。(见图 1-3)

II 再看用 $x' o' y'$ 坐标系的描述, 其运动情况不变, 只是坐标系改变, $t = 0$ 时初始位置 $x'_0 = a$, $y'_0 = b$ 。初始速度

$$v'_{0x} = v_0 \cos \theta, \quad v'_{0y} = -v_0 \sin \theta, \quad \text{加速度 } g = g j'$$

由 (1-1-1) 式知运动方程可写为

$$x' = a + v_0 \cos \theta t$$

$$y' = b - v_0 \sin \theta t + \frac{1}{2} g t^2$$

与矢量方向问题

$$\begin{aligned}
 \text{其矢量式为 } \mathbf{r}' &= (a + v_0 \cos \theta \cdot t) \mathbf{i}' + (b - v_0 \sin \theta \cdot t + \frac{1}{2} \\
 &\quad g t^2) \mathbf{j}' \\
 &= (a \mathbf{i}' + b \mathbf{j}') + (v_0 \cos \theta \mathbf{i}' - v_0 \sin \theta \mathbf{j}') t + \\
 &\quad \frac{1}{2} g \mathbf{j}' t^2 \\
 &= \mathbf{r}'_0 + \mathbf{v}_0 t + \frac{1}{2} g t^2
 \end{aligned}$$

此处 \mathbf{r}'_0 为初始位置矢量。任一时刻 t 的位置矢量 \mathbf{r}' 可看成由 \mathbf{r}'_0 、 $\mathbf{v}_0 t$ 和 $\frac{1}{2} g t^2$ 三个矢量叠加而成。(见图 1—3) 可见其运动方程因坐标系原点和方向不同而异。

由此题还可看出当 $\theta = \frac{\pi}{2}$ ，斜抛运动就变成竖直上抛运动，其运动方程把上抛和过顶点后自由下落的运动全包括了。如抛出点在高于地面 h 处， xoy 坐标系原点仍可取在抛出点，这时运动方程与题中 I 的解相同，如 $\theta = 0$ ，斜抛运动就变成平抛运动，方程就变成平抛运动的运动方程了。

通过以上讨论可知，所有各种形式的匀加速运动都可归结为一个匀加速运动方程的矢量式

$$\mathbf{r} = \mathbf{r}_0 + \mathbf{v}_0 t + \frac{1}{2} \mathbf{a} t^2 \quad (1-1-6)$$

来描述。当 \mathbf{v}_0 与 \mathbf{a} 同向(或反向)，就是匀加速直线运动(或匀减速直线运动)，具体如抛体运动的竖直下抛运动(或竖直上抛运动)即是。当 \mathbf{v}_0 与 \mathbf{a} 不共线，就是抛物线运动。而 \mathbf{r}_0 是

（矢量有可约性。）

否为零，由所取的坐标系而定。由下节所述位移的定义，还可看出矢量式在不同的坐标系其位移表示则是相同的，都是 $v_0 t + \frac{1}{2} g t^2$ 。用矢量式表示运动，与坐标系的选择无关，这是在力学中应用矢量的好处。（注：这种经过坐标变换操作后形式不变的性质，物理上称之为对称性。）

以上得出的各种形式的匀加速运动方程是利用已知的匀加速直线运动公式（1—1—1式）和运动的叠加原理而建立的，以后还要讨论用其它方法求运动方程。学会正确建立运动方程的分量式和矢量式具有重要意义。因为有了运动方程就知道了任何时刻的质点运动情况，不但可以确定其位置，而且可以由此算出质点运动的速度和加速度。

§1—2 瞬时速度

如图 1—4 设质点沿曲线运动，由 P 点经 Δt 时间运动到 Q 点，其位置矢量由 $r(t)$ 变到 $r(t + \Delta t)$ ，位置矢量的增量 $\Delta r = r(t + \Delta t) - r(t)$ 叫位移，显然位移也是一个矢量，它的方向由 P 点指向 Q 点，它的大小为割线 PQ 的长度，与实际质点运动的路程弧长 PQ 不同，曲线运动时质点在 Δt 时间内从 P 点到 Q 点的平均速度定义为 $\bar{v} = \frac{\Delta r}{\Delta t}$ ，平均速度是矢量，

其方向就是位移 Δr 的方向，大小为 $|\bar{v}| = \frac{|\Delta r|}{\Delta t} = \frac{PQ}{\Delta t}$ 。我们把实际运动的路程 $\Delta s = PQ$ 除以 Δt 定义为 Δt 时间内的平均速率 $v = \frac{\Delta s}{\Delta t} = \frac{PQ}{\Delta t}$ ，平均速率是标量。除单向直线运动外，

一般平均速度的大小与平均速率是不同的。而且经过不同的时间 Δt ，平均速度和平均速率也都随之而变化，所以它们都与时刻 t 和时间间隔 Δt 有关。

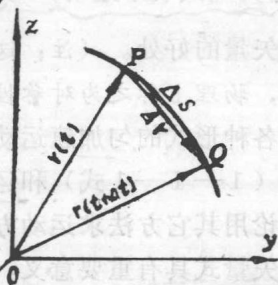


图 1-4

但是平均速度的大小和平均速率只是反映从 t 秒到 $t + \Delta t$ 秒时间间隔内运动的平均快慢。还不足以精确地反映任一时刻 t 瞬时运动的快慢，为此只要使 Δt 逐渐减小而趋近于零，平均速度 $\frac{\Delta r}{\Delta t}$ 的极限值，就反映了 t 时刻的瞬时速度

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

瞬时速度（以后简称速度）等于矢径对时间的一阶导数。速度是矢量，其方向为 Δr 的极限方向，即由割线 PQ 方向趋近于 P 点的切线方向。因为由 (1-1-3) 式知

$$r = xi + yj + zk$$

注意此处坐标系对地面来说是固定不动的，不随质点运动