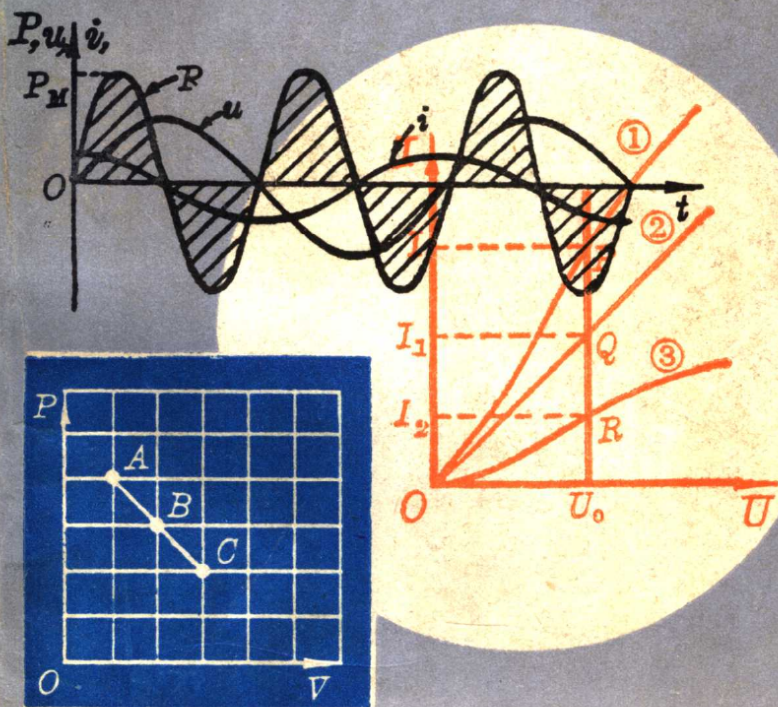


中学物理图象 及其应用

俞贯中 贝铮编



中学物理图象及其应用

俞贯中 贝 铮 编

广东教育出版社

中学物理图象及其应用

俞贯中 贝 铮 编

*

广东教育出版社出版发行

广东省新华书店经销

韶关新华印刷厂印刷

787×1092毫米32开本 8.375印张 125,000字

1987年11月第1版 1987年11月第1次印刷

印数 1—5,300册

ISBN7-5406-0207-4/G·206

书号 7449·401 定价 1.55元

前 言

物理图象是一种数学语言和工具，它在教学和科研中都有很大用处。特别是初学物理的学生，还没有学过微积分，更有必要借助图象去理解概念、掌握规律和解决问题。许多抽象的概念用图象表示可以形象化；有些用语言难以表达清楚的规律用图象来表达显得简明扼要；有些问题的讨论用图象来分析才能全面透彻；有些要用微积分证明的公式用图象来证明会很直观；一些计算很复杂的过程用图象来处理能很快解决；在实验中用图象处理大量实验数据，既可避免一些繁复的计算，有时还可提高实验结果的精确度……。因此目前国内外的物理教科书中都很重视介绍图象，在各级各类考试中常可见到关于图象的题目。为了帮助读者比较系统、全面地掌握物理图象这个工具，配合教材学好物理这门课，我们编写了这本书。

我们相信这本书不仅有助于中学生学习物理，而且对于教师以及其他物理爱好者也有参考价值。

编 者

目 录

第一章 物理图象的基本知识.....	1
§ 1.1 物理图象	1
(一) 什么叫物理图象	1
(二) 物理图象的意义	4
(三) 物理图象与一般函数图象的关系	5
§ 1.2 物理图象的应用.....	6
(一) 用图象描述物理过程, 反映物理概念和规律	6
(二) 利用图象推导、论证新规律	9
(三) 利用图象解答物理问题	12
(四) 利用图象计算或估算某些量的大小	22
(五) 图象在实验中的应用	24
§ 1.3 物理图象的绘制.....	31
(一) 描点法是绘制物理图象的基本方法	31
(二) 绘制图象时要充分利用图形的性质	34
(三) 线性图象的绘制	35
(四) 绘图中的几个问题	36
第二章 力学中的物理图象	38
§ 2.1 运动学中的图象.....	38
(一) 匀速直线运动的图象	38
(二) 匀变速直线运动的图象	39
(三) 匀变速曲线运动的图象	45
(四) 匀速圆周运动的图象	56

(五)应用举例和问题讨论	58
§ 2.2 有关力的图象	75
(一)力—位移图象	75
(二)力—时间图象	77
(三)应用举例和问题讨论	79
§ 2.3 关于能量的图象	94
(一)动能—坐标图象	95
(二)重力势能—高度图象	96
(三)引力势能—距离图象	97
(四)弹性势能—位移(或坐标)图象	98
(五)应用举例和问题讨论	99
§ 2.4 振动和波的图象	109
(一)机械振动的图象	109
(二)机械波的图象	111
(三)应用举例和问题讨论	113
第三章 热学和分子物理学中的图象	123
§ 3.1 热学中的图象	128
(一)热膨胀的图象	128
(二)熔解和凝固的图象	129
(三)有关汽化和沸点的图象	131
(四)应用举例和问题讨论	132
§ 3.2 分子物理学中的图象	139
(一)理想气体的图象	139
(二)气体分子速率分布图象	144
(三)应用举例和问题讨论	145
第四章 电学中的图象	157
§ 4.1 关于电场的图象	157
(一)点电荷电场中的 $E-r$ 图象和 $V-r$ 图象	157

(二)在电偶极子的两个电荷延长线上和中垂面上的 $E-r$ 图 象	158
(三)电偶极子电场中, 在两电荷联线的延长线上和中垂面上的 $V-r$ 图 象	159
(四)均匀带电球壳电场中的 $E-r$ 图象和 $V-r$ 图象	160
(五)均匀带电球体电场的 $E-r$ 图象和 $V-r$ 图象	160
(六)无限长均匀带电直线电场的 $E-r$ 图象和 $V-r$ 图象	161
(七)两块无限大、均匀带电的平行板间电场的 $E-x$ 和 $V-x$ 图 象	162
§ 4.2 关于电容器充电、放电过程的图 象	163
(一)电容器充电过程中的 $Q-t$ 图象、 $U-t$ 图象和 $i-t$ 图象	163
(二)电容器放电过程中的 $Q-t$ 图象、 $U-t$ 图象和 $i-t$ 图象	165
§ 4.3 关于电流和电压的图 象	166
(一)线性元件的 $I-U$ 图 象	166
(二)非线性元件的 $I-U$ 图 象	167
(三)导体的电阻率随温度变化的图 象	167
(四)电源输出电压、输出功率和效率随负载变化的图 象	168
§ 4.4 关于磁场的图 象	171
(一)无限长载流直导线磁场的 $B-r$ 图 象	171
(二)载流直螺线管内部磁场的 $B-x$ 图 象	172
(三)亥姆霍兹线圈轴线上磁场的 $B-x$ 图 象	172
§ 4.5 关于电磁感应的图 象	173
(一)在匀强磁场中运动的直导线上的电磁感应现象	173
(二)在匀强磁场中移动的闭合线框中的电磁感应现象	175
(三)在匀强磁场中匀速转动的线框中的电磁感应现象	176
§ 4.6 关于自感电路中电流滋长和衰减的图 象	178
§ 4.7 关于交流电的图 象	180
(一)单相交流电和三相交流电的 $u-t$ 图 象	180
(二)纯电阻、纯电感和纯电容电路上交流电的 $u-t$ 图 象和 $i-t$	

图 象	181
(三)纯电阻、纯电感和纯电容电路中的有功功率—时间图 象	182
§ 4.8 应用举例和问题讨论	185
第五章 光学和原子物理学中的图 象	200
§ 5.1 关于光的反射和折射图 象	200
§ 5.2 关于透镜公式的图 象	202
§ 5.3 关于光电效应的图 象	204
§ 5.4 原子物理学中的图 象	207
§ 5.5 应用举例和问题讨论	210
习题	225

第一章 物理图象的基本知识

对物理来说，数学是一种科学的语言和有效的工具。也就是说，运用数学可以简明、准确地表达物理概念和规律，可以深入、有效地研究物理问题，揭示事物的本质。在中学物理课本中，数学的运用主要体现在用公式来表述物理概念和规律，用公式来推演某些规律，计算某些结果。实际上，物理概念和规律不仅可以用公式表示，也可以用函数的图象来表述，后者不仅具有直观形象的特点，便于初学者掌握运用，而且在科学研究中常常先于公式被发现和记录。所以物理图象在学习物理和研究物理的过程中也是很重要的。

在这一章里，我们将讨论物理图象及其意义，讨论物理图象的应用以及绘制方法。

§ 1.1 物理图象

(一) 什么叫物理图象

我们先来看两个例子。

例1. 一石块从离地面 H_0 米高处以初速 v_0 竖直上抛，问它的位置、速度如何变化？

分析：为了描述运动，设坐标轴 y ，方向向上为正，原点在离地面 H_0 米处，如图1-1所示。并取抛出的时刻为计时起

点，因为石块做以初速为 v_0 、加速度为 g 的匀减速运动，根据匀减速直线运动公式，它的位置和速度随时间变化的函数关系如下：

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

$$v = v_0 - g t$$

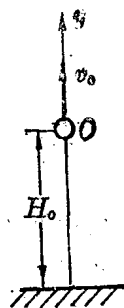


图1-1

为了形象起见，将 $y = v_0 t - \frac{1}{2} g t^2$ 的函数关系画在以横轴表示时间 t 、纵轴表示位置坐标或位移（因为坐标原点设在运动开始的地点，位置坐标和位移的大小是一致的） y 的直角坐标系中。画出函数 $y(t)$ 的图象，如图1-2所示。这就是表示位置坐标或位移随时间变化的图象。

同样我们可以在以横轴表示时间、纵轴表示速度的直角坐标系中画出函数 $v = v_0 - g t$ 的图象，如图1-3。这就是表示石块的速度随时间变化的图象。

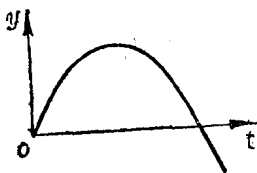


图1-2

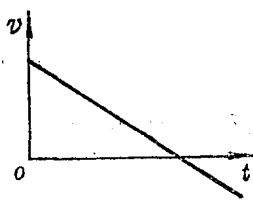


图1-3

例2. 用一条橡皮绳做伸长形变实验，如图1-4。测得伸长与负载的数据如下：

负载(克)	50	100	150	200	250	270	280	290	300
伸长(毫米)	8.5	15.5	23.0	32.0	40.5	43.5	44.6	45.4	45.9

试问橡皮绳的形变规律如何?

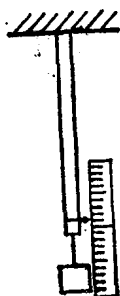


图1-4

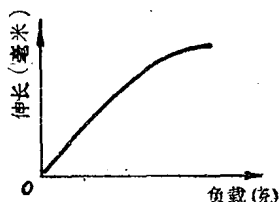


图1-5

分析: 凭这些实验数据很难直接看出橡皮绳的伸长随负载变化的规律。但是,在以横轴表示负载,纵轴表示伸长的直角坐标系中,描出相应的点,将这些点联成光滑曲线,如图1-5所示。它是橡皮绳伸长随负载变化的关系图象,也就是橡皮绳的形变规律曲线。

上面两个例子中所画的图象就是物理图象。由此可见,所谓物理图象就是指在直角坐标系中绘出的表示两个物理量之间的关系的函数图象。用图象来表示物理规律往往比公式法和列表法形象直观。

应该指出,物理图象比较形象直观,指的是两个物理量之间的数量关系。如例1中竖直上抛物体的位移—时间图象是抛物线,它说明位移随时间变化的规律,并不是实际运动的轨

迹。在竖直上抛物体的运动中，我们看不到这样的抛物线。所以不要将坐标图中的曲线与肉眼可以看见的轨迹混淆。

还要注意，描述质点运动图象的形状以及相对坐标轴的位置，与参照系的坐标原点和方向选择有关。如例1，将参照系的坐标原点设在地面上，那么 $y-t$ 图象就变成图1-6 所示的形状。如

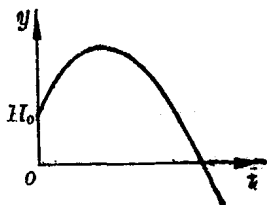


图1-6

果将参照系的坐标轴正向倒过来，则图象也倒过来。

(二)物理图象的意义

物理图象是一种函数图象，它直接告诉我们两个物理量之间的函数关系。如图1-2所示的图象，它直接告诉我们位移 y 与时间 t 之间的关系。给出时间 t ，即可找出对应的位移 y ，反之亦然。

此外，图线的截距，割线和切线的斜率，曲线下的面积常常有一定的物理意义。在位移—时间图象中， y 轴的截距为运动开始时的位置，通过任意两点的直线的斜率表示相应这段时间内的平均速度，通过任意一点的切线的斜率表示相应时刻的即时速度。在速度—时间图象中， v 轴上的截距表示初速度，割线的斜率表示平均加速度，切线的斜率表示即时加速度，曲线下的面积表示位移。

可见物理图象除了表示两个物理量之间的关系外，还可由它的截距，斜率和曲线下的面积等反映有关的概念和规律，为

图象的广泛应用提供了依据。

(三)物理图象与一般函数图象的关系

一般函数图象是表示任意两个变量之间的对应关系，而物理图象是表示两个特定的物理量之间的对应关系。同一种函数图象在不同场合往往可以表示不同的物理现象。如：匀速直线运动中的位移—时间图象；匀变速直线运动中的速度—时间图象；弹簧在弹性限度内的形变—外力图象；金属电阻随温度变化的图象；压强不变条件下理想气体体积随温度变化的图象；电阻上的电压随电流变化的图象等都是线性函数图象。因此，对于物理图象应注意以下几点：

(1) 物理图象中的两个变量是两个物理量，具有一定的意义，图象反映的规律是物理规律，也有一定的意义。

(2) 物理图象中的坐标轴表示的是某个物理量，因此一般都有单位。在速度—时间图象中，纵轴表示速度，单位一般是米/秒；横轴表示时间，单位一般是秒。

(3) 物理图象中作为自变量的物理量有一定的取值范围，因为物理规律常常只在一定范围内成立，不能任意外推。在图1-2所示的上抛运动中，只有在 $t > 0$ 时才有意义。 $t < 0$ 时物体没有上抛。

(4) 物理图象中的截距、斜率和曲线下的面积是否都具有物理意义要看具体的图象。在速度—时间图象中，曲线下的面积表示位移，而位移—时间图象中，曲线下的面积却没有物理意义。另外，如果斜率有物理意义，斜率一般用纵坐标和横坐标的改变量之比计算，而不通过测量角度查正切函数表获得。

因为坐标轴标度比例不同将引起曲线斜率的倾角也不同。如图1-7和图1-8都表示以 1 米/秒^2 的加速度作匀加速运动质点的速度—时间图象。显然，两条图线与横轴的夹角不相等。

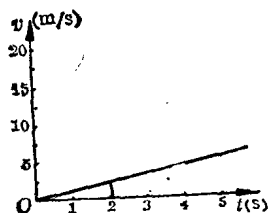


图1-7

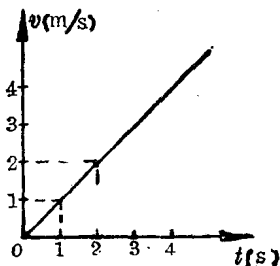


图1-8

§ 1.2 物理图象的应用

图象在物理学中的应用可以概括为下面几个方面：

(一) 用图象描述物理过程，反映物理概念和规律

图象具有形象直观的优点，用图象描述某些物理过程，表示某个物理概念和规律的例子俯拾即是，特别是有些应用物理方面的问题，如晶体三极管的输入特性、输出特性，整流电路经电容滤波后输出电压的变化规律等，一般都用图象而不用解析式表示。

图象中的图线，不管是直线还是曲线，其上每一个点所对

应的一组坐标值，表示一组相互对应的物理量；每一条图线表示一个物理过程，反映这个过程中这两个物理量之间的关系。这个关系就是物理规律。

图1-9中的 $v-t$ 图象反映的是一个匀变速直线运动的规律。我们很容易由图得出下面结论：

- (1) 速度是线性变化的，即均匀变化的。
- (2) t 时刻的速度为 v_t 。
- (3) 由截距(即 $t = 0$ 时的 v 值)可知它的初速度 v_0 。
- (4) 由直线的斜率可知它的加速度 $a = \lg\alpha = \frac{\Delta v}{\Delta t}$ 。

$$(5) \text{ 由曲线下的面积，可知它的位移 } S = \frac{1}{2}(v_0 + v_t) \times t \\ = v_0 t + \frac{1}{2}at^2.$$

电源输出功率($P_{\text{出}}$)随外电阻(R)变化的图象如图1-10所示。它直接反映 $P_{\text{出}}$ 与 R 之间的函数关系。由图我们也可以容易地得出如下结论：

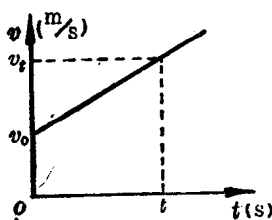


图1-9

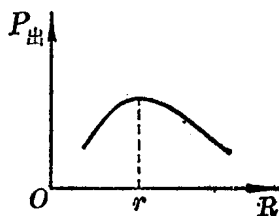


图1-10

- (1) 当外电阻 R 等于电源内阻 r 时，电源有最大输出功率。

(2) 当 $R < r$ 时, 输出功率将随外电阻 R 的增大而增大。

(3) 当 $R > r$ 时, 输出功率将随外电阻 R 的增大而减小。

如果根据解析式

$$P_{\text{出}} = \frac{R\varepsilon^2}{(R+r)^2}$$

就不那么容易得出上面的结论。顺便指出, 这个图象中曲线的斜率和曲线下的面积没有实际意义。

我们再来看如图1-11所示的电路各点电势的变化。设四个电源电动势分别为 ε_1 、 ε_2 、 ε_3 、 ε_4 , 四个电阻皆为 R , 接线电阻很小, 忽略不计。那么沿着电流方向各点电势随位置变化的图象, 如图1-12所示。

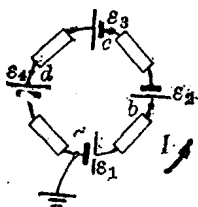


图1-11

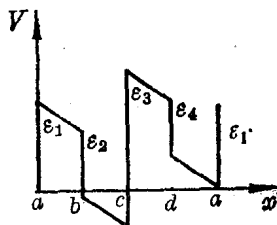


图1-12

此图象表示了全电路中各点电势的升降情况。由图可见:

(1) 沿电流方向绕电路一周, 电势回复到原来大小。

(2) 电流通过电阻 R 有电势降落。

(3) 电流通过电源, 有电势跃迁, 电动势方向与电流方向一致, 电势升高, 电动势方向与电流方向相反, 电势降落。电势变化的大小等于电动势的大小(如果电源内阻不能忽略, 还要考虑内阻上的电势降低, 那么电流通过电源电势升高要小一些。图1-12所示的情况, 没有考虑电源内阻)。

(二)利用图象推导、论证新规律

利用图象推导、论证公式常常可以避免许多繁琐或微积分的运算，直接由图推出结果。

例1. 一个质点作匀变速直线运动，已知速度公式为 $V = V_0 + at$ ，试推出它的位移公式。

分析：先由速度公式画出速度—时间图象，如图1-

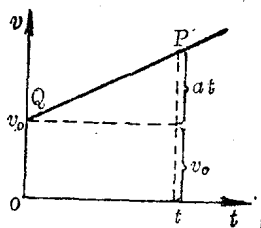


图1-13

13. 根据曲线下面积的物理

意义，图线下的面积就是 t 秒内的位移 Δx ：

$\Delta x = \text{梯形 } OtPQ \text{ 的面积 } \Delta s$

$$\text{而面积 } \Delta s \quad \Delta s = \frac{1}{2} [\overline{OQ} + \overline{tP}] \times \overline{Ot}$$

$$= \frac{1}{2} [v_0 + (v_0 + at)] \times t$$

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

所以
$$\Delta x = v_0 t + \frac{1}{2} at^2$$

例2. 一个弹簧的弹性系数为 K ，在外力作用下伸长 Δx (未超过弹性限度)，求弹簧的弹性势能。

分析：在弹性限度内，弹簧的弹力和形变服从虎克定律，沿弹簧轴线方向设坐标轴 x ，原点设在弹簧的固定端，如图1-14，