

中学物理函数图象

ZHONGXUEWULIHANSHUTU

宇航出版社

中学物理函数图象

张耀久 编著

宇航出版社

中学物理函数图象

张耀久 编著
特约编辑：倪汉昌

*

宇航出版社出版
新华书店北京发行所发行
各地新华书店经售
山东电子工业印刷厂印刷

*

开本：787×1092 1/32 印张：14 字数：320千字
1988年4月第1版 1988年4月第1次印刷
ISBN7-80034-051-1/G·003 印数：1—3200册 定价：2.90元

前 言

本书是为中学物理教师编写的教学参考书，也可供相当于高中程度的读者阅读参考。

一般物理书籍是用语言来陈述物理概念，用公式来表达物理定律，用数学计算来解决物理问题的。本书介绍一种函数图象教学法，它的特点是运用函数图象的抽象和研究方法来描述物理概念、研究物理规律和解决物理问题的。图象具有形象、直观和物理动态过程清晰等优点，它是物理教学中的一种重要方法，掌握和运用这一方法对提高教学质量，引导学生认识物理规律、理解物理概念和学好物理知识都是非常必要的。

书中主要讨论了中学物理中常用的二十种典型函数图象，这些图象遍及了力学、热学与分子物理学、电学、光学等各个部分，并以力学和电学中的图象为重点，对每一个典型图象都作了基本概念、图象分析、图象法解题例析等方面的叙述，力图使内容翔实、概念清晰、图析透彻。特别是选编了相当数量的典型例题，进行了较为深入的剖析，阐明思路，分析解法，讨论一题多解、一题多变，有意识地培养读者的求异思维能力。每一章节之末配有一定数量的练习题，以帮助读者检查掌握物理知识的情况。书后附有答案。

苏州大学物理系倪汉彬副教授审阅了本书初稿，陈顺永同志绘制了全部插图，蔡亦君同志给出了练习题的答案。对他们的辛劳谨此表示感谢。本书内容涉猎较广，作者水平有

，加以脱稿仓促，书中错误和缺点难免。诚恳希望读者给
以批评、指正。

作 者

1985年10月

目 录

绪 论	(1)
一 直线运动的图象	(9)
二 平面运动的轨道	(38)
三 力-位移图象	(60)
四 势能曲线	(85)
五 力-时间图象	(106)
六 简谐振动的图象	(126)
七 简谐波的图象	(155)
八 温度-时间图象	(179)
九 分子运动图象	(197)
十 气体的状态变化曲线	(208)
十一 气体状态变化的示功图	(236)
十二 电场分布曲线	(256)
十三 伏安特性曲线	(275)
十四 电源的外特性曲线	(293)
十五 磁场分布曲线	(316)
十六 电磁感应现象的图象	(331)
十七 交流电的图象	(356)
十八 电子学图象	(383)
十九 几何光学图象	(401)
二十 光电效应的图象	(420)
附 录 练习题答案	(435)

绪 论

函数是表现变量间对应规律的数学概念，图象是表达变量间函数关系的数学方法。大千世界中纷繁多样的物理现象的演变过程，常常存在着相互联系、相互制约的对应关系。因此，函数图象成为研究物理学的重要工具乃是自然的事情了。

物理函数图象是以解析几何中的坐标法为基础，藉助数和形的结合，即将描述物质运动形式的函数关系和几何学中的曲线问题相结合，来表现两个相关物理量之间的依存关系，从而直观、形象地表达各种现象的物理过程和规律。图象是物理规律和理论的基本表达形式之一，图象的研究方法也是物理学研究的重要方法，图象的作用不仅是作为定量分析和计算的工具，而且在于运用数学的抽象和研究方法来形成物理概念、掌握物理规律和解决物理问题。

一 图象的物理应用发展简史

十七世纪初叶，人们在研究天体运行规律时，发现行星的变速运动中的时间、位置和速度诸变量之间存在着复杂的关系。开普勒(Johannes Kepler, 1571—1630, 德)首先在哥白尼(Nicolaus Copernicus, 1473—1543, 波)提出的日心说的基础上发现行星沿椭圆轨道绕着太阳运动，并研究了行星运动的轨道、速率和周期的关系，解答了行星如何

运动的问题。开普勒决心完善日心说的伟大抱负终获实现，这就是经过他长期的观测、分析和计算所得出的三条关于行星运动的定律——开普勒三定律。开普勒的成功向数学提出了新的课题，同时也提供了现实模型，促使数学有一个相应的发展和突破。伽利略(Galileo Galilei, 1564—1642, 意)发现了抛出去的石块沿着抛物线轨道飞去，并将精密的

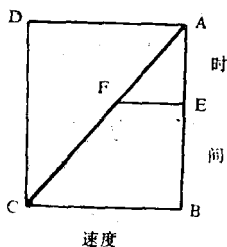


图 1

实验测量与严格的数学分析相结合，成功地描述了物体自由下落的规律。更为可贵的是伽利略在物理学上第一个用坐标表示物理量来研究物体的运动。他以纵轴表示时间，横轴表示速度，画出了物体作自由下落的图象，如图 1 所示，当物体由时刻 A 开始坠

落时，经过时间 AE 到时刻 E 时的瞬时速度用与横轴平行的线段 EF 的长度来表示，三角形 AEF 的面积就是落体在时间 AE 内所落下的距离的数值。他还证明，当落体经过时间 AB 后，若以在时刻 B 所获得的末速度 BC 作匀速运动，那么，在相等时间内落体所通过的路程就等于矩形 ABCD 的面积的值，也即等于落体在下落过程中落下距离的两倍。这是用函数图象表示物理规律的方法的雏形。伽利略将数学看成是人类思维的一种完全可靠的逻辑形式，他既反对亚里士多德(Aristotle, 公元前384—322, 希)的那种视几何学为诡辩的理论，也不同意柏拉图(Plato, 公元前427—347, 希)将世界看成是几何性质的写照。伽利略力排众议，科学地运用数理结合的方法，以准确的数学证明寻求物体运动的规律，

用函数图象的形式代替文字表达物理定律，伽利略的这种研究物理学的方法论为后人作出了光辉的榜样。

牛顿(Isaac Newton, 1642—1727, 英)是自然科学史上的显赫人物，这位大科学家不仅是物理学家，也是数学家。在他的著作中也屡次使用了坐标和正确地运用了纵横轴。他对二次和高次曲线进行了系统的研究，并利用欧氏几何做工具，建立了力学体系，奠定了动力学的基础。牛顿是用数学方法包括函数图象来系统地整理物理理论、定律、公式的创始人。

科学技术的爆炸性膨胀使数学发生了深刻的变革，由于变量的引进，数学已突破了旧有的常量数学的界限，1637年笛卡尔(Rene Descartes, 1596—1650, 法)发表了《方法论讲演集》，他的《几何学》理论是以两个观念为基础的，即坐标和利用坐标法与把带有两个未知数的任意代数方程视为平面上的一条曲线。他把描述运动的函数关系与解析几何中的曲线问题相结合，这样，点的运动就表现为两个变量(x 和 y)间的对应关系，他的基本思想就是几何方法与代数方程的互相沟通，解决数和形的结合。细致的观察与慎密的思维相结合是这位数学的一代宗师成功的秘诀。传说他患病卧床时，还思维不息，一次偶然的机遇，他看到一个蜘蛛在天花板上爬行，之后又沿着吐出的蛛丝逐渐下落。这一司空见惯的小事却为笛卡尔倍加警觉，他边观察边琢磨，终于悟出了利用数(x 、 y 和 z)来表示空间点的坐标的方法。解析几何就是这样而诞生的。

数学中函数图象理论的确立和在物理学中的移植应用，推动了物理学的进一步发展。自伽利略率先运用坐标概念表示运动规律和牛顿正确利用纵横轴表示物理量开始，一个把

物理与数学相结合，用函数图象去表达物理定律、寻求和总结物理规律的数学物理方法得到了全面广泛的应用。物理学及其它自然科学领域，包括科研、生产、工程技术、教育等均对函数图象知识作了推广和实际的应用。因为一幅简洁的函数图象所表达的物理过程和规律可以蕴含着需要许多语言才能阐明的深刻意义。

二 图象在中学物理中的作用

在普通物理中，图象的作用主要表现为以下几个方面：

1. 已知物理公式画出函数图象，通过图象与公式的有机结合去更深入地分析物理过程，掌握物理规律。例如由光电效应方程 $\frac{1}{2}mv_m^2 = h\nu - w$ ，可以画出光电子的最大初动能随入射光频率变化的图象（ $\frac{1}{2}mv_m^2 - \nu$ 图），根据图线与纵横轴交点和图线的斜率等表示的意义能更加深化对光子说这一量子理论的认识和理解。

2. 根据实验数据制作函数图象，通过图象分析去探索、总结物理规律，并由图象的性质、特点作出问题的解答。例如通过实验数据作出萘的熔解和凝固曲线，去研究晶体在相变过程中的变化规律。

3. 利用图象上的点与坐标之间的对应关系可以由一个物理量去求出另一相关物理量。例如通过查阅晶体二极管的伏安特性曲线，由已知的工作电流能求出相应的工作电压。

4. 利用图象交点的坐标值求解问题。由图线与坐标轴的交点或两条图线的交点所表示的意义去寻找问题解时，都可以从交点坐标的一组数据中获得。例如利用电源的路端电压随电流变化的图象（ $U-I$ 图）与纵横轴的交点求得电源的电

动势和捷路电流；利用两条位移-时间图象的交点坐标求得两个物体相遇的位置和时刻。

5. 利用图线下方图形的面积值去计算一个物理量在另一个物理量上的累积效果。例如用速度-时间图象下方的图形面积去求物体的位移；用力-位移图象下方的图形面积去求作用力对物体所做的功。

6. 利用图线上某一点的切线的斜率去求一个物理量对另一个物理量的变化率。例如利用位移-时间图象的斜率求物体运动的速度；利用电源路端电压-电流强度图象(又名电源的外特性曲线)的斜率求电源的内阻。

7. 利用图象所表达的物理规律去研究另一些与之相联系的物理规律。例如利用电场分布曲线所表达的电场强度的分布去研究电势的分布规律；利用线圈中电流随时间的变化曲线($I-t$ 图)去研究线圈中自感电动势的变化规律。

8. 利用图象求某些物理量的极值。例如利用电源的输出功率随外电路电阻变化的图象($P-R$ 图)求电源的最大输出功率；利用光的折射角的正弦随入射角的正弦的变化曲线($\sin r - \sin i$ 图)求发生全反射时的临界角。

9. 利用图象去研究某些物理量的相位关系。例如利用振动图象去研究振动的相位；利用交流电的图象去研究电流与电压的相位关系等。

.....

由此可见，学好物理图象对我们认识物理规律、理解物理概念、掌握物理知识都是十分必要的。为此，我们应努力培养自己作图、识图和分析图象的能力，并把它作为一种数学手段自觉地运用，但又必须正确处理物理与数学的关系，既要认识数学在物理学发展中的巨大作用，又要注意不能以数学

去代替物理。物理函数图象是运用解析几何、函数理论等数学分支所提供的概念、理论、方法和技巧对物理现象的规律、过程进行数量方面的描述，以几何图线的形式形象地表达出来，并根据图象的性质、特征对物理现象作出分析和判断，从而揭示各种现象的运动规律。诚然，物理图象脱颀于数学的理论和方法，但这并不表示用纯粹的数学知识可以解决一切物理图象的问题。这里涉腊了物理和数学这两门息息相关但又有本质区别的学科间的相互关系：物理以数学为工具，用数学来归纳自己的发现和表达自身的规律，并以“数学解”的形式出现，这种“数学解”是否正确，还得回到实际问题中去，对其作出解释和评价，形成对实际的物理问题的判断或预见。所以，在应用图象来研究物理规律时，就必须十分重视图象所包含的物理意义。

在应用图象方法时，下面几点是值得注意的：

1. 数学是一门抽象的科学，数学中函数图象的坐标、图线、符号、斜率、图线下方的面积等没有具体的含义，而它们在运用数学方法建立起来的物理图象中都已赋予具体的物理内容，包含了一定的物理意义。所以，物理图象具有表达物理规律的深刻含义而区别于数学的一般函数图象。例如，数学中的正比例函数图象 $y=kx$ 没有确切意义，但表现在物理图象中可以有多种物理规律，在位移-时间图象中它表示物体的匀速直线运动的规律，在速度-时间图象中表示物体作匀变速直线运动的规律，在伏安特性曲线中又表示为一个线性电阻两端的电压与电流强度的关系等。

2. 由于受有物理过程的约束，物理图象的取值范围区别于一般函数图象的定义域。例如，一定质量的气体在等温过程中，气体的压强与体积的乘积为一恒量，即 $PV=C$ 。

以数学而论，这是两支等轴双曲线，存在于一、三两个象限，但在物理中因气体的压强和体积均不能为负值，所以 $P-V$ 图象只限于第一象限。

3. 数学中的函数图象的坐标、斜率、图线下方的面积等因无具体的意义而没有单位，它们在物理图象中表示的是一些物理量，所以就具有一定的单位。例如，速度-时间图象的纵横坐标分别表示速度和时间，它们的国际单位是米/秒和秒，图线的斜率表示加速度，单位米/秒²，图线下方的面积表示位移，单位米（注意：不是面积的单位米²）。

4. 数学中的函数图象的纵横坐标轴的单位长度的选取一般是相同的，而物理图象因纵横轴表示不同的物理量而可以根据各量的实际情况确定单位长度。这样，同一图象由于单位长度选取的不同，画出的两条图线与横轴的夹角和图线下方的真实面积的大小都会不相同。但这并不影响计算图线斜率所表示的物理量和图线下方的面积所表示的物理量的数值。如图 2 中的 (a) 和 (b) 是完全相同的两条 $v-t$ 图，虽然所取时间坐标的单位长度不同，但仍然表示有相同的加速度和同一时间内的相同位移（注意：计算图象的斜率时，不是测出图象与横轴夹角 α 的大小后再去计算正切值 $\tan \alpha$ 的）。

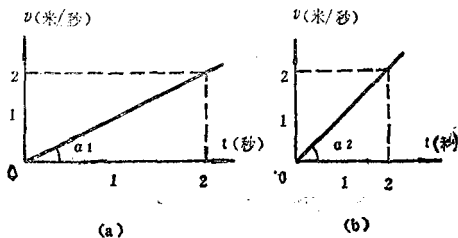


图 2

综上所述，在研究物理图象时，既要与数学形式相联系，加速认识，理解过程，又要特别注意物理内容。因为任何物理概念和物理规律都包含有一定的意义和适用范围，如果不注意物理内容而生套硬抠数学理论，就不能更好地掌握物理知识和提高对物理图象的运用能力。

一 直线运动的图象

(一) 基本概念与图象分析

1. 运动图

用几何学的观点研究运动学始于直线运动的研究。研究物体的运动，在于掌握物体的运动规律，为了研究运动规律，物理量的量度有着原则的重要性。运动学是通过量度时间、位置、速度和加速度等来描述运动的，它的基础就是几何学的时空概念。因此，研究运动规律就得确立坐标系，在选定的参照系中，进一步确定运动物体在任一时刻的位置、速度和加速度等，以达到控制、驾驭运动的目的。

运动图是表达位移、速度和加速度等物理量随时间变化规律的物理图象。它是根据实验数据或者运动方程作出，以横坐标代表时间，纵坐标分别代表位移、速度和加速度，将物体运动过程中相应的时间与位移、速度、加速度在坐标平面上用一点表示出来，所有这些点的集合描成的图线就是运动图。运动图反映了物体运动的位移、速度和加速度与时间之间一定的函数关系，形象直观地表达了物体的运动状态、过程和运动的规律。图象法的任务就是确定运动图，并通过这些图象，能由一些已知的运动参量求出另一些运动参量，以及能够确定充分描述物体运动所必须的初始条件。

2. 位移-时间图象

表示直线运动的位移与时间关系的图象叫做位移-时间

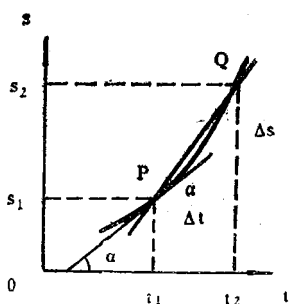


图 1-1

图象或 $s-t$ 图,如图1-1所示.

(1) 根据位移-时间图象,可以了解物体的运动情况,如运动的性质、方向、快慢程度等.利用位移-时间图象可以求出任何时间(或时刻)内的位移(或位置),也可以求出发生任一位移所需的时间.

表 1-1

运动性质	运动方程	$s-t$ 图	图象性质
静止	$s=0$		与时间轴平行的直线
	$s=s_0$ (初始位置)		
匀速直线运动	$s=vt$ $s=s_0+vt$		倾斜直线, 斜率 $\tan \alpha = v$
匀变速直线运动	$s = \frac{1}{2}at^2$		抛物线, 顶点坐标(0, 0)
	$s = v_0t + \frac{1}{2}at^2$ (v_0 是初速度)		抛物线 顶点坐标
			$(-\frac{v_0}{a}, -\frac{v_0^2}{2a})$

(2) 匀速直线运动的 $s-t$ 图是一条倾斜的直线，匀变速直线运动的 $s-t$ 图是一条抛物线。一些基本的直线运动的图象及其性质如表1-1所示。

(3) 图线上任何两点间割线的斜率表示物体在这段时间内的平均速度，其大小为

$$\bar{v} = \frac{s_2 - s_1}{t_2 - t_1} = \frac{\Delta s}{\Delta t}$$

方向与物体运动的位移方向相同，如图1-1中的 Δt 秒内的平均速度由 PQ 的斜率和 Δs 的方向确定。

图线上任何一点的切线的斜率表示物体在该位置或该时刻的即时速度，其大小为

$$v = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta s}{\Delta t} = \operatorname{tg} \alpha$$

方向由 $\operatorname{tg} \alpha$ 的正负值来确定(图1-1中的 P 点)。

3. 速度-时间图象

表示直线运动的速度与时间关系的图象叫做速度-时间图象或 $v-t$ 图，如图1-2所示。

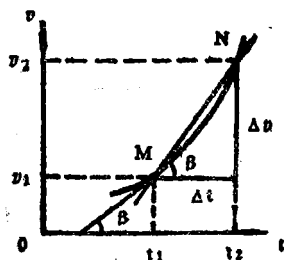


图 1-2

(1) 从速度-时间图象上可以判断物体作直线运动的性质、方向、位移和加速度等情况。利用它可以直接求出任一时刻的速度，或已知物体的速度求出对应的时刻来，也可以求出某段时间内速度的变化的大小和方向。

(2) 匀速直线运动的 $v-t$ 图是一条平行于时间轴的直