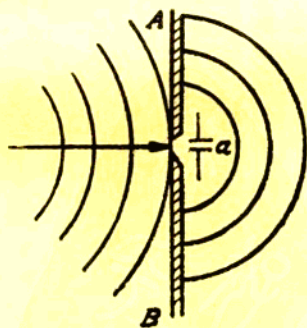


# 物理学概论

钱时惕 编著



河北大学教材科

# 前 言

这是供哲学系学生开设自然科学基础课（物理学部份）而编写的讲义，最初，在河北省自然辩证法师资培训班上试用（1980年），后又在哲学系几届学生中试用（1981—1983），根据试用情况，逐年作了些修改。

本讲义之特点，是很据哲学专业的需要来取材并构成一个前后连贯的逻辑体系，对物理学概念与原理的论述在保持科学性的前提下，注意了从哲学角度的分析与概括。

由于缺乏经验及水平所限，讲义中肯定有不少错误及缺点，欢迎大家批评、指正。

编者

83, 12

## 绪 论

物理学研究自然界物质最基本最普遍的运动形态（包括宏观物体的机械运动、热运动、电磁运动和微观物体的量子运动……等）的运动规律。说它普遍，因为这些运动的形态遍及宇宙万物各种物质（天体、地球、原子、分子、光、动物、植物……直至人的大脑）的运动之中，说它基本，是由于在这些运动的基础上，形成了更复杂、更高级的、化学的、生命的、宇宙的、乃至社会的运动形态。由于物理运动的基本性及普遍性，使之研究这种运动规律的物理学成为各门科学技术的基础。

物理学的发展，在历史上已经经历了三次大的突破。

第一次突破出现在十七、十八世纪，这主要是牛顿力学与热力学的建立与发展，它对于蒸汽机、热机、机械工业的发展起了巨大的推动作用。

第二次突破出现在十九世纪，这主要是建立经典电磁理论，引起了工业电气化、无线电通讯等的出现，使人类进入了应用电能的时代。

第三次突破表现在二十世纪上半叶，这主要是建立了相对论与量子理论，使人类的认识深入到原子、原子核的内部，在此基础上，引起了原子能、半导体、电子计算机、激光……等新技术的出现，推动了量子化学、分子生物学、量子生物学及现代宇宙学等新学科的出现。

目前，物理学正在酝酿着第四次突破，探索与研究亚核

世界的粒子运动规律。如果在向物质结构这一更深层次进军取得成功的话，必然对自然科学——技术科学的发展，对人类的物质生活与精神生活产生巨大的，目前还难以想像的影响。

由于物理学研究的规律具有很大的基本性与普遍性，因此，物理学与研究自然、社会、思维世界的普遍规律的哲学有着格外密切的关系。恩格斯、列宁都曾从当时物理学发展所提供的材料中吸取营养，建立与发展马克思主义的哲学观点。当某些资产阶级的哲学家利用电子、放射性……等物理学的发现来攻击唯物主义哲学原理时，列宁曾给予了有力的批判与驳斥，并卓有预见地指出：“现代物理学是在临产中。它正在生产辩证唯物主义”。（《唯物主义与经验批判主义》第313页）因此，理解与握掌物理学的基本概念与基本原理对于学好哲学具有重要的意义。

# 目 录

前言

绪论

## 第一编 宏观机械运动的物理学原理

——牛顿力学基础…………… ( 1 )

### 第一章 质点的运动…………… ( 3 )

§ 1—1 运动学的几个基本概念…………… ( 4 )

§ 1—2 质点运动的几个典型问题…………… ( 10 )

§ 1—3 牛顿运动定律与机械决定论…………… ( 14 )

### 第二章 功和能 机械能守恒…………… ( 22 )

§ 2—1 功…………… ( 23 )

§ 2—2 动能…………… ( 30 )

§ 2—3 势能…………… ( 33 )

§ 2—4 功能关系机械能守恒定律…………… ( 37 )

### 第三章 动量 动量守恒定律…………… ( 39 )

§ 3—1 动量 冲量 动量定理…………… ( 39 )

§ 3—2 动量守恒定律…………… ( 42 )

§ 3—3 关于机械运动的二种量度…………… ( 45 )

### 第四章 角动量 角动量守恒定律…………… ( 47 )

§ 4—1 角动量和角动量定理…………… ( 48 )

§ 4—2 角动量守恒定律…………… ( 54 )

§ 4—3 守恒定律与对称性\* …… ( 55 )

若教学时间不够，带\*部分可不讲

|                                      |        |
|--------------------------------------|--------|
| <b>第五章 振动与波</b> .....                | ( 59 ) |
| § 5—1 谐振动.....                       | ( 60 ) |
| § 5—2 机械波的形成及有关基本概念.....             | ( 65 ) |
| § 5—3 波动的数学描述及波的能量.....              | ( 70 ) |
| § 5—4 波传播中的现象及规律.....                | ( 76 ) |
| § 5—5 波的干涉.....                      | ( 78 ) |
| § 5—6 波源运动时对波的频率的影响——<br>多普勒效应.....  | ( 83 ) |
| 复习思考题.....                           | ( 85 ) |
| 习    题.....                          | ( 88 ) |
| <br><b>第二编 物质热运动的物理学原理</b> .....     | ( 92 ) |
| <br><b>第六章 热力学基本原理</b> .....         | ( 93 ) |
| § 6—1 热力学的体系及状态.....                 | ( 93 ) |
| § 6—2 对不同形式能量转化问题之研究<br>热力学第一定律..... | ( 99 ) |
| § 6—3 热力学第一定律对理想气体之应用.....           | (104 ) |
| § 6—4 热力学第二定律.....                   | (112 ) |
| § 6—5 热力学第三定律.....                   | (117 ) |
| <b>第七章 热运动的微观统计理论</b> .....          | (118 ) |
| § 7—1 分子运动论的基本概念.....                | (118 ) |
| § 7—2 热力学宏观量的微观解释.....               | (121 ) |
| § 7—3 分子热运动的统计规律性.....               | (127 ) |
| § 7—4 热力学第二定律的统计解释.....              | (130 ) |
| <b>第八章 耗散结构理论与“热寂论”问题*</b> .....     | (133 ) |
| § 8—1 耗散结构理论.....                    | (138 ) |

|             |                                   |       |
|-------------|-----------------------------------|-------|
| § 8—2       | “热寂论”问题                           | (142) |
|             | 复习思考题                             | (144) |
|             | 习    题                            | (147) |
| <b>第三编</b>  | <b>电磁运动的经典物理学原理</b>               | (150) |
| <b>第九章</b>  | <b>电    场</b>                     | (151) |
| § 9—1       | 电荷与物质                             | (152) |
| § 9—2       | 电荷之间的相互作用定律——<br>库仑定律             | (153) |
| § 9—3       | 近距作用与超距作用的争论<br>电场概念的引入           | (155) |
| <b>第十章</b>  | <b>磁    场</b>                     | (165) |
| § 10—1      | 磁场概念的引入                           | (166) |
| § 10—2      | 磁场强度                              | (172) |
| § 10—3      | 磁场对运动电荷与电流的作用                     | (179) |
| <b>第十一章</b> | <b>电磁场与电磁波</b>                    | (183) |
| § 11—1      | 电磁感应基本定律                          | (184) |
| § 11—2      | 感生电场概念                            | (187) |
| § 11—3      | 位移电流概念                            | (190) |
| § 11—4      | 电磁场方程                             | (192) |
| § 11—5      | 电磁波                               | (195) |
| § 11—6      | 电磁场的物质性                           | (199) |
|             | 复习思考题                             | (202) |
|             | 习    题                            | (203) |
| <b>第四编</b>  | <b>相对论——关于空间与时间<br/>    的物理学说</b> | (206) |

|                                      |           |
|--------------------------------------|-----------|
| <b>第十二章 狭义相对论</b> .....              | (207)     |
| § 12—1 牛顿的绝对的空观与伽里略<br>相对性原理.....    | (207)     |
| § 12—2 电磁现象也符合相对性原理吗?<br>迈克尔逊实验..... | (214)     |
| § 12—3 狭义相对论基本原理、<br>罗仑兹变换.....      | (218)     |
| § 12—4 相对论力学.....                    | (231)     |
| § 12—5 电场与磁场的相对性* .....              | (235)     |
| <b>第十三章 广义相对论简介</b> .....            | (237)     |
| § 13—1 广义相对论的基本原理.....               | (237)     |
| § 13—2 广义相对论效应* .....                | (240)     |
| § 13—3 相对论的时空观.....                  | (244)     |
| § 13—4 相对论中的相对性与绝对性问题* .....         | (248)     |
| 复习思考题.....                           | (250)     |
| 习    题.....                          | (252)     |
| <br><b>第五编 量子论与原子结构</b> .....        | <br>(254) |
| <b>第十四章 光量子概念</b> .....              | (255)     |
| § 14—1 光的微粒说与波动说的长期争论... ..          | (255)     |
| § 14—2 光电效应、光量子概念之引入.....            | (258)     |
| § 14—3 康普顿效应* .....                  | (262)     |
| § 14—4 关于光的波粒二象性的认识.....             | (266)     |
| <b>第十五章 原子的结构</b> .....              | (267)     |
| § 15—1 原子概念之确立及原子复杂结<br>构之发现.....    | (267)     |



|             |                                |              |
|-------------|--------------------------------|--------------|
| § 15—2      | 原子的有核结构模型·····                 | (271)        |
| § 15—3      | 经典物理在热辐射问题上的<br>佯谬与量子论的诞生····· | (276)        |
| § 15—4      | 原子光谱的规律·····                   | (282)        |
| § 15—5      | 波尔的原子结构模型·····                 | (286)        |
| § 15—6      | 量子化条件·····                     | (289)        |
| § 15—7      | 波尔的氢原子理论·····                  | (290)        |
| § 15—8      | 原子结构量子理论的一般图景·····             | (296)        |
| § 15—9      | 原子的电子壳层结构和元素周期律                | (301)        |
| <b>第十六章</b> | <b>电子的二象性及其运动方程</b> ·····      | <b>(310)</b> |
| § 16—1      | 电子的二象性假设及其试验验证···              | (310)        |
| § 16—2      | 测不准关系·····                     | (315)        |
| § 16—3      | 波函数及其物理意义·····                 | (319)        |
| § 16—4      | 微观客体的运动方程——<br>薛定格方程·····      | (323)        |
| § 16—5      | 有关量子运动几率性质的争论* ···             | (326)        |
|             | 复习思考题·····                     | (329)        |
|             | 习 题·····                       | (331)        |

## 第六编 亚原子世界的物理问题····· (333)

|             |                           |              |
|-------------|---------------------------|--------------|
| <b>第十七章</b> | <b>原子核中的物理现象</b> ·····    | <b>(333)</b> |
| § 17—1      | 原子核结构、核力·····             | (333)        |
| § 17—2      | 放射性元素及其衰变规律* ·····        | (338)        |
| § 17—3      | 原子核的结合能* ·····            | (342)        |
| <b>第十八章</b> | <b>基本粒子的性质及其规律性</b> ····· | <b>(346)</b> |
| § 18—1      | 基本粒子及其分类·····             | (346)        |

|             |                             |              |
|-------------|-----------------------------|--------------|
| § 18—2      | 基本粒子间的相互作用·····             | (350)        |
| § 18—3      | 基本粒子的相互转化·····              | (354)        |
| § 18—4      | 粒子与场的辩证统一·····              | (357)        |
| <b>第十九章</b> | <b>基本粒子的结构问题</b> ·····      | <b>(359)</b> |
| § 19—1      | 对基本粒子结构问题探讨的简史···           | (359)        |
| § 19—2      | 夸克模型·····                   | (362)        |
| § 19—3      | 轻子——层子谱与其结构问题·····          | (368)        |
| § 19—4      | 现代物理学对物质世界统一性<br>问题的认识····· | (371)        |
|             | 复习思考题·····                  | (376)        |
|             | 习 题·····                    | (377)        |
|             | 附录：物理学发展大事年表·····           | (379)        |

# 第一编 宏观机械运动的物理学原理

## —— 牛顿力学基础

### 引 言

物质世界多种多样的运动形式中，最简单、最普遍，因而人们最早研究的一种运动形式是物体之间的位置变化。一个物体相对于其它物体或物体的一部分相对于其它部分的位置变化，这样一种运动形式称为机械运动。天体的运行、小球的移动、飞机的行驶、河水的流动、地壳的形变、声音的传播……都是常见的机械运动的例子。研究物体机械运动规律的学科称为力学。

由于机械运动是最简单、最普遍的一种运动形式。人们在生产实践都大量接触它，具有直观性，发展也最早。古代的中国、埃及、巴比伦的劳动人民就已从生产实践中总结了大量有关力学的基本知识，创造发明了不少利用这些原理的简单机械，完成了许多著名的工程、建筑、开发了自然界，推动了生产力的发展。古代有关力学的知识虽然十分丰富，但是力学成为一个有系统有完整理论的学科，则是在十六——十八世纪而实现的。在这个时期，力学之所以发展成为一种系统的完整的理论，有以下三个方面的原因：

1、十五世纪以来，资本主义在欧洲蓬勃地发展起来，当时，航海、纺织、建筑、交通、机械制造工业得到了优先而迅速的发展，在这些生产活动过程，提出了大量的力学问

题，同时由于资本主义生产的发展，为科学的研究提供了必要的物质条件与实验手段。

2、文艺复兴运动以来，科学家注意运用实验的方法来进行自然现象的研究。伽里略曾在自己家里建立了一个工作室，这样，就产生了历史上第一个“大学实验室”。但伽里略没有从理论上阐明实验方法的意义，这一工作由伽里略的同时代人培根所完成。培根坚决反对经院哲学的研究方法，论证并制定了认识自然现象及其规律的经验（实验）方法。为此，马克思称赞他是“整个现代实验科学的真正始祖”。（马克思、恩格斯：《神圣家族》《马克思恩格斯全集》第二卷第163页）由于把力学理论研究 with 实验工作结合起来，推动了力学的迅速发展。

3、在这个时期力学完成了它的系统性与完整性，还由于运用了新的数学方法，这就是微积分，或称数学分析。这使之许多复杂的力学现象，都能找到相应数学方程并给出严格或近似的解答；使理论结果与观察到的现象，或实验的结果可以进行比较，有力地推动了力学理论体系的完成。

随着力学的发展，相应地扩大了唯物论自然观的影响，同时在哲学上则出现了机械的形而上学的唯物论。它在和封建的经验哲学斗争中起了很大的进步作用，然而，在一段时期，不少自然科学家和哲学以为一切自然现象都可用力学的概念和规定来解释，任何物质运动形式都可归结为机械运动，而抹杀了各种运动形式质的区别，这就阻碍了科学的进一步发展。

十九世纪末叶以来，随着生产和科学实验的不断进行，出现了一些新的学科领域。这是经典力学体系所不能包容

的。旧的经典力学所研究的仅是由大量原子所组成的宏观物体（如机器、车辆、天体之类），并且物体运动的速度远比光速（ $3 \times 10^8$ 米/秒）小得多。因此，当人们研究到分子、原子层次以下的微观世界或近于光速的高速运动物体时，经典力学的规律就不适用了。生产和科学的进步，充分说明了这一事实，经典力学的理论和其它科学一样，它所说明的一些规律，仅是物质作机械运动的一部分规律，因之有一定的适用范围，有的规律范围广一点，有的窄一点，但绝不是普遍适用而无所不包的，它是绝对真理长河中的一个片段，并将随着产生和科学技术的进步而不断发展。

## 第一章 质点的运动

质点是指那些在运动中可以看作一个点的物体。在几何上一个点是没有大小、形状的，描述点的运动最方便。实际的物体当然都有大小、形状。但是在许多情况，所要研究的问题并不需要考虑物体大小形状，譬如在运动物体的尺度比它运动的空间范围小得多时，就可以把这个物体看作一个质点。质点在几何上做为一个点来处理，但是它仍然是一个物体而不同于一个纯粹的点。它具有质量、能量、动量等各种物理属性。只是由于它在几何上被看作一个点，这些量就不能分布在有限的体积范围内，而是集中于一点上。

在这一章中，我们所讨论的质点运动，包括运动学及动力学二个部分。质点虽然只是一种理想情况，但通过对质点运动的研究，可以揭示力学运动的基本概念与基本定律，从而达到对机械运动规律的理解，而各种复杂的力学运动，则

可以以此为基础而作进一步的描述。

## § 1—1 运动学的几个基本概念

### 一、参考系

**运动学**描述物体的位置变化。

物体位置的描述总是相对于另一物体而言，作为比较标准的物体称之为**参考系**。运动的描述也是相对于参考系而言的。一个站在航行着的船上的人，以船为参考系看，他的位置不变，以地为参考系看，则船的位置在变化，人的位置也随着在变，船上一物体下落，船上人看是垂直下落，在地面上看，它是在沿着抛物线运动。因之，物体是在运动还是静此；运动的快还是慢，运动的轨迹是直是还是曲的，从不同的参考系看，都可能不一样。在地面看是火车在行驶，在车上看是地在动。我们生活在地球上，一般研究运动总是以地球为参考系，把地看作静止的，但从太阳系来看地球，则地球绕太阳运动的平均速度要达到30千米/秒。而从银河系中心来看，太阳又是以250千米/秒的速度绕银河系中心运动的。因为物体的机械运动是相对的。所以要描述物体的运动，必须先明确选取的是什么参考系。

### 二、位置和位移

运动学的任务是描述物体的运动。在选定了参考系之后，描述物体的位置及其变化，就要去研究它们的几何关系，但这里的几何关系不是静止的，而是变化的。

#### 1、位置：

描述质点的位置，可以用矢量的方法，从参考系的坐标原点出发，作一个矢量指到质点所在地，则这个矢量就完全

代表了质点的位置(图1-1), 这个矢量就是质点的位置矢量或矢径  $\vec{r}$ , 它在  $x, y, z$  三个方向的分量正是  $(x, y, z)$ , 因此用矢径和用坐标来描述是一样的。通常都用  $x, y, z$  三个方向的三个单位矢量  $\hat{i}, \hat{j}, \hat{k}$  把  $\vec{r}$  表示成分量式:

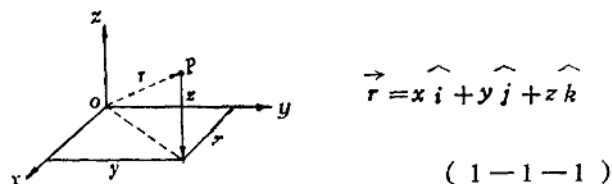


图1-1 质点的矢径

如果知道质点在任何时刻的位置, 我们就能够描述质点运动的全过程了。用矢量来表示, 我们就必须知道矢径  $\vec{r}$  与时间的函数关系:

$$\vec{r} = \vec{r}(t) \quad (1-1-2)$$

或者它的分别式:

$$x = x(t) \quad y = y(t) \quad z = z(t) \quad (1-1-3)$$

## 2、位移

研究质点运动, 不仅要知道它的位置, 更重要的是要知道它位置的变化, 如果质点的位置从  $\vec{r}$  改变到了  $\vec{r}_1$ , 则用矢量可以很简括地表示出质点位置的变化—— $\vec{r}$  增加了一个  $\Delta \vec{r}$ , 成为:

$$\vec{r}_1 = \vec{r} + \Delta \vec{r} \quad (1-1-4)$$

这个  $\vec{r}$  的增量  $\Delta \vec{r}$  反映了质点的位置改变，一般叫做位移。

图 1—2 (a) 中，质点从位置  $\vec{r}$  沿着  $\vec{r}$  同一方向前进，改变了位置  $\Delta \vec{r}$ ，达到了位置  $\vec{r}_1 = \vec{r} + \Delta \vec{r}$ 。图 1—2 (b)

中，质点位置从  $\vec{r}$  改变到  $\vec{r}_1$ ， $\vec{r}$  和  $\vec{r}_1$  不在同一方向，位移  $\Delta \vec{r}$  也不在  $\vec{r}$  或  $\vec{r}_1$  的方向，但只要从位置  $\vec{r}$  出发，作矢量  $\Delta \vec{r}_1$ ，按矢量相加法则就可得到新的位置  $\vec{r}_1 = \vec{r} + \Delta \vec{r}$ 。

位移反映了质点位置的改变，也就是在两个时刻的位置差别。

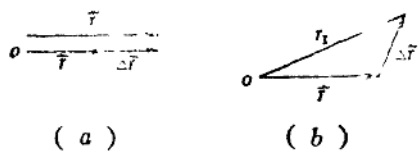


图 1—2 质点的位移

### 三、速度

物体的运动有快慢，这就是速率的概念。

对于一个在空间运动或在曲面上运动的物体，我们不仅要研究它运动的快慢，而且要研究它运动的方向，只用速率描述它的运动是不够的。

代表质点位置的是矢径  $\vec{r}$ ，代表它的位置变化的是位移  $\Delta \vec{r}$ 。质点的位置变化率应当就是它在单位时间内所发生的位移(图 1—3)。假如运动质点在从时刻  $t_1$  开始的时间隔  $\Delta t$  内(即从时刻  $t_1$  到  $t_1 + \Delta t$ )，经历了一段路程，最后使它的位置改变了  $\Delta \vec{r}$ ，即位移为  $\Delta \vec{r}$ 。那么，平均地



说， $\Delta \vec{r} / \Delta t$ 就反映了在 $\Delta t$ 这段时间内位置的变化率，我们把它定义为 $\Delta t$ 这段时间内的平均速度。

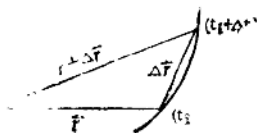


图 1—2 质点在 $\Delta t$ 内的位移 $\Delta \vec{r}$

$$\text{平均速度 } \vec{V} = \frac{\Delta \vec{r}}{\Delta t} \quad (1-1-4)$$

平均速度 $\vec{V}$ 反映了质点在一段时间内运动过程的特点，但是我们研究物体的运动时，常常不仅要知道一段路程的运动情况，而且希望知道物体在某一时刻的运动状态。为此，

我们令时间间隔 $\Delta t \rightarrow 0$ 而取平均速度 $\vec{V} = \frac{\Delta \vec{r}}{\Delta t}$ 在 $\Delta t \rightarrow 0$ 的极限值。这个极限值属于 $t$ 这一时刻，它又是从平均速度过渡来的，因此适合于作为时刻 $t$ 的运动状态的描述。我们称它为时刻 $t$ 的瞬时速度 $\vec{V}$

$$\vec{V} = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \vec{V} = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta \vec{r}}{\Delta t} \quad (1-1-5)$$

因此，可以说瞬时速度就是矢径 $\vec{r}$ 对时间的导数：

$$\vec{V} = \frac{d \vec{r}}{d t} \quad (1-1-6)$$

我们在力学理论中研究的一般都是瞬时速度，因此常常