



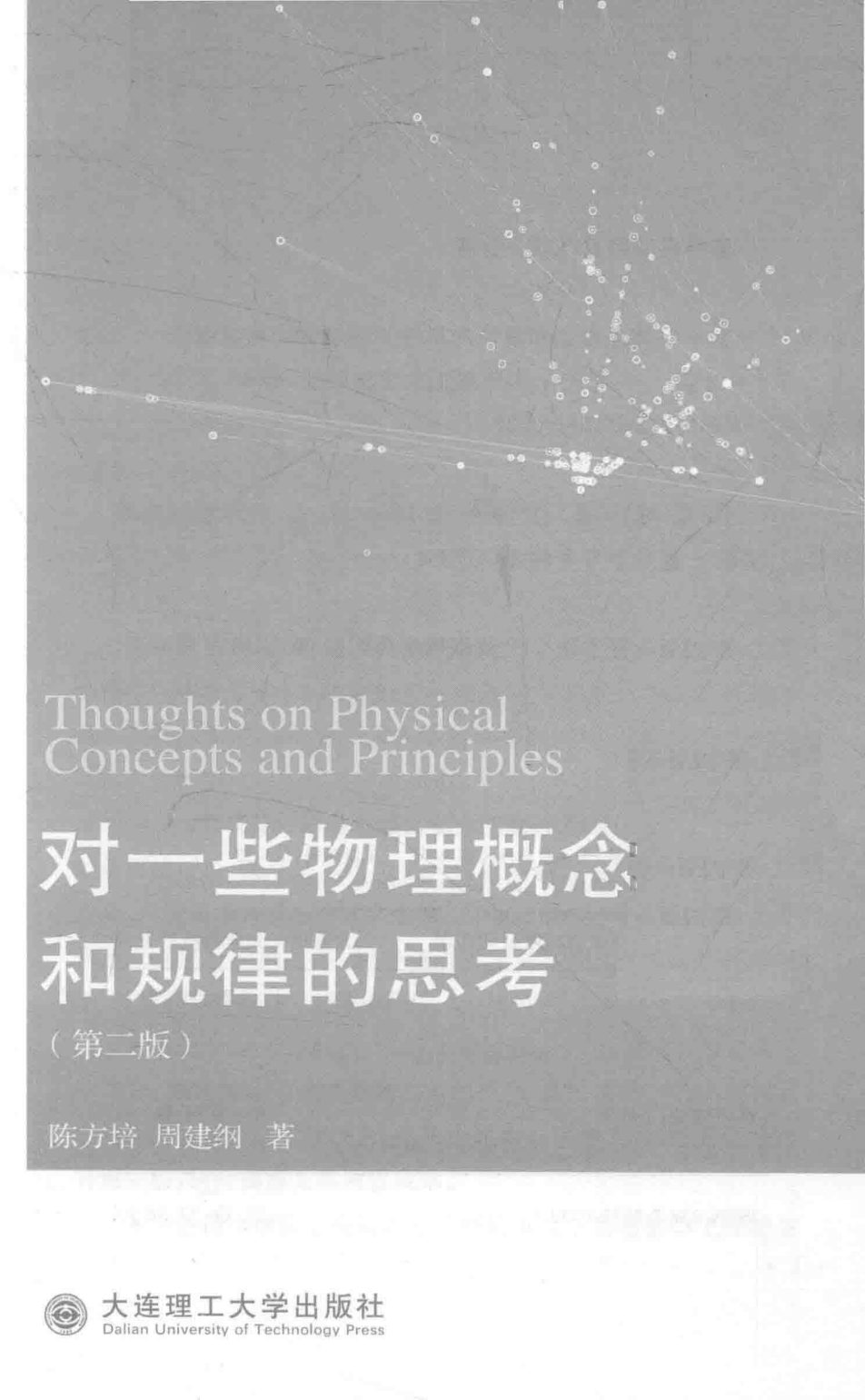
Thoughts on Physical
Concepts and Principles

对一些物理概念 和规律的思考

(第二版)

陈方培 周建纲 著

大连理工大学出版社
Dalian University of Technology Press



Thoughts on Physical
Concepts and Principles

对一些物理概念 和规律的思考

(第二版)

陈方培 周建纲 著



大连理工大学出版社
Dalian University of Technology Press

图书在版编目(CIP)数据

对一些物理概念和规律的思考 / 陈方培, 周建纲著
—2版. —大连: 大连理工大学出版社, 2016.9
ISBN 978-7-5685-0532-1

I. ①对… II. ①陈… ②周… III. ①物理学—高等学校—教学参考资料 IV. ①O4

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2016)第 189619 号

大连理工大学出版社出版

地址: 大连市软件园路 80 号 邮政编码: 116023

发行: 0411-84708842 传真: 0411-84701466 邮购: 0411-84708943

E-mail: dutp@dutp.cn URL: <http://www.dutp.cn>

大连金华光彩色印刷有限公司印刷

大连理工大学出版社发行

幅面尺寸: 147mm × 210mm

印张: 9.25

字数: 198 千字

1989 年 3 月第 1 版

2016 年 9 月第 2 版

2016 年 9 月第 1 次印刷

责任编辑: 于建辉

责任校对: 许蕾

封面设计: 冀贵收

ISBN 978-7-5685-0532-1

定价: 39.80 元

前 言

写作本书的目的,主要是为正在学习大学物理的理工科大学生提供一本参考书,帮助他们更好地理解 and 掌握所学的物理基本概念和基本规律。本书也可供大学基础物理教师、中学物理教师及其他对物理感兴趣的读者参考使用。

本书对物理学中的一些基本概念和基本规律进行了较深入和较全面的讨论,还对某些物理概念的通常叙述和传统观点提出了质疑,并发表了作者的见解和看法。作者希望这本书能启发读者对物理问题进行积极思考,培养读者严密的逻辑思维,提高读者钻研、分析和综合解决问题的能力。

本书由 57 篇文章组成,每篇文章讨论一个(或彼此有密切联系的几个)物理基本概念或物理基本规律(原理)。虽然各篇文章相互之间存在着某些必然的联系,但从论述重点角度看,可以看成是相对独立的,因此每篇文章独立成章。

本书各篇文章都是根据作者长期从事大学物理教学工作所累

积的资料整理后写成的,有些文章曾发表(出版)过,鉴于尚具有参考价值以及为了使本书的内容更为完整,在充实、修改后一并收入。

本书原是大连理工大学陈方培教授所编写的、1989年由大连理工大学出版社出版的《对一些物理概念和规律的思考(经典物理部分)》。由于原书只涉及经典物理部分,显得不够完整,本次修订由大连大学周建纲博士重新梳理,增加了足够的狭义相对论及量子力学内容,有利于读者对物理概念和物理规律的全面了解。

由于我们的学识和教学经验有限,书中不妥与疏漏之处在所难免,望读者不吝指正。您有任何意见或建议,请通过以下方式与大连理工大学出版社联系:

电话:0411-84708947

邮箱:jcjf@dutp.cn

著 者

2016年9月

目 录

第一部分 经典物理

- 1 参照系与坐标系 /2
- 2 惯性与惯性质量 /8
- 3 经典力学中功的概念 /14
- 4 经典力学中能量的概念 /21
- 5 关于牛顿运动定律 /37
- 6 经典力学相对性原理与时间空间的基本特性 /45
- 7 关于谐振动的能量 /52
- 8 关于热力学平衡状态 /60
- 9 温度的概念 /66
- 10 关于理想气体及其状态方程 /75
- 11 内能、功与热量 /83
- 12 电量的概念 /91
- 13 物体的静电平衡 /97

- 14 静电场与电荷分布的对称性以及稳定电流磁场与
电流分布的对称性 /103
- 15 动生电动势、感生电动势与洛伦兹力 /114
- 16 经典物理中场的概念 /121
- 17 物理学中的叠加原理 /127
- 18 有关波动定义及波动方程含义的若干问题 /135
- 19 光波的波矢、波阵面与能流密度 /141
- 20 对光波干涉条件的讨论 /146
- 21 从牛顿力学理论到哈密顿原理 /153
- 22 时空平移不变性与动量、能量守恒定律 /158

第二部分 狭义相对论

- 23 狭义相对论对时间与空间的基本观点 /162
- 24 狭义相对论中参照系和坐标系的特点 /165
- 25 狭义相对论的时空度规 /167
- 26 狭义相对论的时空图 /171
- 27 “光钟” /173
- 28 “运动钟慢”与“运动尺缩”效应及其解释 /176
- 29 洛伦兹变换 /180
- 30 “同时”的相对性 /186
- 31 狭义相对论也遵守因果律 /188
- 32 时空间隔取值对因果关系的影响 /191
- 33 光速与信号传播最大速度的区别 /194
- 34 狭义相对论中的质点速度 /197

- 35 包含两个坐标系的时空图 /201
- 36 波动最广泛的定义和最普遍的特性 /205
- 37 坐标变换与相位不变性 /210
- 38 由相位不变性导出多普勒效应 /213
- 39 狭义相对论中的物质 /215
- 40 狭义相对论中的质点速度、惯性质量、
动量、力 /218
- 41 狭义相对论中牛顿第二运动定律的修改 /223
- 42 狭义相对论中牛顿第一运动定律的修改 /226
- 43 狭义相对论中牛顿第三运动定律的修改 /228
- 44 狭义相对论力学的一些特点 /231
- 45 不存在所谓“质速关系”“质能关系” /234
- 46 惯性质量可变的动力学 /238
- 47 狭义相对论中粒子(质点)系的动量 - 能量
守恒定律 /242
- 48 狭义相对论中不存在质量守恒定律 /246
- 49 光速粒子的一些特性 /249
- 50 相对性原理 /252
- 51 狭义相对论中的拉格朗日函数 /258
- 52 一群荷电质点及其电磁场的拉格朗日函数 /261
- 53 狭义相对论中时空平移与物质场能动张量
守恒定律 /264
- 54 Poincaré 群整体变换下的 Noether 定理 /268

第三部分 量子力学

55 量子化 /274

56 经典化 /277

57 量子理论中的物质存在于何处 /281

参考文献 /285

第一部分 经典物理

1

参照系与坐标系

在数学中为了确定空间几何点的位置,需要坐标系。有了坐标系,就可以用称为坐标的一组数来表示一个几何点的位置。比较广泛被采用的坐标系是斜坐标系,它由一组相交于一点的有向直线以及单位长度构成,有向直线称为坐标轴,坐标轴的交点称为坐标原点。在三维空间中,描述质点的位置需要三个独立变量,这就要

有三条不共面的坐标轴。在图 1-1 中画出的是三维斜坐标系, O 为坐标原点, X 、 Y 、 Z 为斜坐标轴,这三条轴形成相交于坐标原点的三个平面 XOY 、 YOZ 、 ZOX , Ol 、 Om 、 On 各为 X 、 Y 、 Z 轴上的单位长度,它们不必相等。如果我们要确定一点 P 的坐标,可通过 P 点

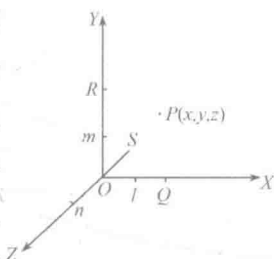


图 1-1

做三个平面分别平行于 YOZ 、 ZOX 、 XOY , 各与 X 、 Y 、 Z 轴相交于 Q 、 R 、 S 点,若 $OQ = x ol$, $OR = y om$, $OS =$

z 轴, 则 (x, y, z) 就是 P 点在斜坐标系中的坐标。

如果斜坐标系中的坐标轴 X, Y, Z 互相垂直, 并且令各轴上的单位长度相等, 斜坐标系便变成了直角坐标系。直角坐标系是最常用的坐标系, 用它表达的一些几何关系也比较简单, 例如在直角坐标系中, 从坐标原点至坐标为 (x, y, z) 的 P 点的距离 r 满足关系

$$r^2 = x^2 + y^2 + z^2$$

但在斜坐标系中这个关系不成立。

从以上对斜坐标系的介绍中可以看出, 用坐标系来确定点的坐标实质上包含着两方面的内容: 第一, 坐标系具有一套用来确定坐标的基准, 坐标轴、坐标原点、单位长度都是一些基准; 第二, 还要有一套决定坐标的方法, 如上述在斜坐标系中用以决定 P 点坐标 (x, y, z) 的方法。

除斜坐标系和直角坐标系外, 还存在许多不同的坐标系, 它们各有自己的基准和决定坐标的方法。例如球坐标系也是一种常用的坐标系, 它可看成由直角坐标系演化而成。

如图 1-2 所示, $OXYZ$ 为直角坐标系, P 为待定坐标点, 做一连接 O, P 两点的直线段, 按照取定的长度和角度单位, 分别量出 OP 的长度 r 、 OP 与 Z 轴的夹角 θ 以及平面 POZ 与平面 XOZ 之间的夹角 φ , 则 (r, θ, φ) 就是 P 点在球坐标系中的坐标。球坐标系的基准是

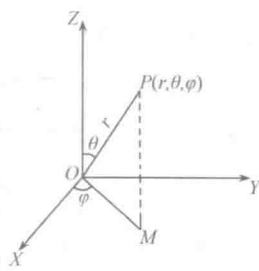


图 1-2

Z 轴、 XOZ 平面、坐标原点 O 以及长度和角度的单位。

在物理学上常根据物理问题的特点和求解的方便来选用各种各样的坐标系, 在这里没有必要也没有可能对这些坐标系一一加

以介绍。但必须强调,不管坐标系如何千变万化,它们的作用都是以坐标来表示几何点的位置,它们都有其基准和决定坐标的方法。还要指出,在各种坐标系的坐标之间存在一些代数关系,例如在直角坐标系与球坐标系的坐标之间存在下述关系

$$z = r \cos \theta$$

$$x = r \sin \theta \cos \varphi$$

$$y = r \sin \theta \sin \varphi$$

$$x^2 + y^2 + z^2 = r^2$$

利用坐标系坐标之间的代数关系可以从一种坐标系变换到另一种坐标系。

以上谈的只是确定几何点的位置的数学方法,还没有与物理学联系起来。物理学所研究的“位置”是具体物体的位置,物理学认为一个物体(或质点)的位置只能相对于其他物体来确定。从物理学的角度看来,不仅几何点有其物质基础——质点,而且坐标系也不能脱离物质凭空存在。具体地说,作为坐标系基准的坐标轴或坐标平面必须固定在一个特定的物体或一群特定的质点之上。这就必须引入参照系的概念,下面比较详细地说明这个问题。

首先应指出,在物理学中对质点运动的研究是研究复杂物体运动的基础,因为任何物体都可以看作是由许多质点组成的^①。为简单起见,我们只研究质点的运动。

运动具有相对性,一个质点相对于不同的物体所表现出的运动状态是不相同的,因此在描述质点的位置及其变化时必须指明是相对于哪一个物体而言的,这个被指明的物体称为参照物体。参照物体的作用就是供观察者在它上面安置坐标系。

必须指出,参照物体也是由许多质点组成的,或者说它是一个质点系。不是任何物体(或任何质点系)都可被选为参照物体,只有刚体(或刚性质点系)^②,亦即其中任何两质点之间的距离保持不变的物体(或质点系),才可成为参照物体。这是因为如果物体本身的形状和线度在发生改变,坐标系基准将发生扭曲,便难以确切定出一个质点的位置和描述质点的运动。

如果选用一个刚体作为参照物体,在它上面安置坐标系是不难做到的。我们以常用的直角坐标系作为例子,在刚体中任选一质点作为坐标原点,再通过原点和刚体中的其他一些质点做出三条彼此正交的坐标轴,每条坐标轴就是原点和一些质点的连接线。在同一个刚体上面,可以安置许多不同的直角坐标系,它们的区别是坐标原点不同和坐标轴的取向不同。对于这些不同的坐标系,同一质点在同一时刻的位置坐标是不同的,但质点的速度和加速度是相同的,这是因为这些坐标系都固定在同一个刚体之上,不同坐标系的坐标轴之间彼此相对位置保持不变,即彼此无相对运动。因此,可以在这些坐标系中选用任何一个来描述所研究的质点的运动。如果参照物体不是刚体,就不会有这样简单的结论。研究发生在地球上的力学现象时,我们很自然地选用地球作为参照物体,这时便把地球看为刚体,通常把坐标原点和直角坐标系的两条坐标轴选置在地面上或实验台上。在做力学习题时,大家常常是这样选取的。

在刚体中画出一条直线可以物化为一条刚性杆子。实际上,这条直线必穿过刚体中的一些质点,这些质点之间的距离是固定不变的,将它们连接在一起就抽象成一条刚性杆子。这样便可把三

维斜坐标轴(或直角坐标轴)物化为三条相交于一点的并具有指向的刚性标杆,总称为三维标架^③,今后我们简称之为标架。标架本身也是刚体,当然可用它代替原来的刚体作为参照物体。

必须指出,标架并不一定要固定在一个刚体之上,在研究天体的运动和天体物理问题时,往往选用如下的标架:把标架原点(即坐标原点)固定在太阳的中心,构成标架的三条刚性标杆(即坐标轴)分别指向三个遥远的恒星,这个标架称为日心标架。必须强调,日心标架与固定在太阳(视为刚体)之上的标架是两类不同的标架,固定在太阳之上的标架将随着太阳自转而转动。而日心标架则不受太阳自转的影响。

在一些物理教科书中把参照系定义为:“描写物体运动状态所选作参照的物体(或物体群)”。可是参照系的英文为 Frames of reference,即参照的标架,我们认为把“参照的物体”改称为“参照的标架”更恰当一些。因为谈到参照的物体时易于使人把它理解为一个实际存在的具体物体,然而有些标架并不是某一实际存在的具体物体(或一群物体)。例如日心标架只与太阳中心联系而与太阳的其他部分没有直接联系,这个标架所指向的三个遥远恒星,也仅仅起到指向的作用,它们本身并不依附在标架上。对于日心参照系来说,参照物体只是日心标架本身,它不是一个实际存在的具体物体,而实际存在的太阳、三个遥远的恒星都不是日心参照系选作参照的物体。因此,我们主张把参照系定义为:“描写物体运动状态时所选作参照的标架”。

标架可直接抽象为斜坐标系(或直角坐标系)。反过来看,有了斜(或直角)坐标系,只要指明坐标轴(或坐标平面)和坐标的原点

的选择如何与实际物体(或质点系)相联系,就必定对应有一个标架,也就建立了一个参照系。这样,在物理学中往往用坐标系来代表参照系而不另提出参照系的名词。但我们认为对初学者来说,引入参照系的概念并搞清楚它与坐标系的关系对学好物理学还是很必要的。

众所周知,作为经典力学理论基础的牛顿运动定律只在惯性参照系^①中成立。观察和实验证实地球参照系(即固定在地球上的标架)、太阳参照系(即固定在太阳上的标架)都只是近似的惯性参照系。在近似程度上,太阳参照系较地球参照系高。近似程度更高的惯性参照系是日心参照系。要深入研究惯性参照系就要讨论星系和整个宇宙的运动和演化,必然要涉及广义相对论,这已超过本书的范围,我们就不多讲了。

① 一个物体总可以分为许多部分,每一部分足够小时就可视为质点,故一个物体可以看成是由许多质点组成的。当这些质点之间的距离保持不变时,物体就成为刚体。

② 在相对论中由于作用的传播速度的有限性,一般来说刚体不可能存在,相对论中的参照系的概念需要另行讨论,本节的讨论限于经典力学。

③ 在相对论中可把三维标架推广为四维标架,标架的第四维代表时间轴,当然不可能把时间轴也想象为一条刚杆。

④ 以自由质点为参照物所定义的参照系称为惯性参照系,详见第5节。

2

惯性与惯性质量

惯性的存在和作为惯性量度的惯性质量的引入是由牛顿运动定律所决定的。

牛顿第一定律告诉我们,在不受外力的情况下,任何(可视为质点的)物体都将保持静止状态或匀速直线运动状态。需要注意,在这条定律的表述中,应当把物体当作质点看待,因为线度不为零的物体在不受外力的情况下还可以处在角动量不变的转动状态,这是牛顿第一定律所没有概括的。

静止或匀速直线运动都是速度不变的状态,因此牛顿第一定律意味着任何质点都具有倾向于保持其速度(包括大小和方向)不变的特性,我们把这种特性称为质点的惯性。

牛顿第一定律虽揭示了惯性的存在,但只对惯性做了定性的说明。要定量地描述惯性的大小还要依靠牛顿第二定律。

牛顿第二定律告诉我们,物体(可视为质点)受合力 $\mathbf{F}$ 作用时所获得的加速度 $\mathbf{a}$ 可表示为