

物理学教程

电学 2

[法] R. 阿内甘 J. 布迪尼 著
华宏鸣 译

高等教育出版社

371192

物 理 学 教 程

电 学 2

〔法〕 R. 阿内甘 J. 布迪尼 著
华宏鸣 译



高等教育出版社

1987

(京) 112号

本书根据〔法〕R. 阿内甘和 J. 布迪尼合著《物理学教程
电学 2》1978 年第三版译出。这套书共八册：力学 1、力学 2、电
学 1、电学 2、电学 3、光学 1、光学 2、热力学（其中力学 1、力学 2、
光学 1、电学 1 的中译本已经出版）。本册内容为：狭义相对论、
电磁场的性质、欧姆定律和焦耳定律、恒定电场和标势、恒定磁
场和矢势、真空中的平面波、在金属上的反射和驻波，电介质的
宏观和微观研究、色散和吸收、磁化介质的宏观和微观研究。

本书可供高等学校数学、力学和相近专业的大学生和教师
参考。

R. Annequin et J. Boutigny
Cours de Sciences Physiques
Électricité 2
Librairie Vuibert
物理学教程
电学 2

〔法〕R. 阿内甘 J. 布迪尼 著
华宏鸣 译

高等教育出版社出版
新华书店北京发行所发行
北京市顺义县印刷厂印装

开本 850×1168 1/32 印张 13.125 字数 315,000

1992 年 5 月第 1 版 1992 年 5 月第 1 次印刷

印数 00 001-1 140

ISBN 7-04-000001-6/O·1

定价 8.05 元

目 录

狭义相对论

第一章 相对论运动学	3
§ 1-1 经典运动学的回顾.....	3
§ 1-2 迈克耳孙实验.....	6
§ 1-3 特殊洛伦兹变换.....	9
§ 1-4 四维时空-矢量.....	13
§ 1-5 长度收缩	15
§ 1-6 时间膨胀和原时	16
§ 1-7 速度矢量的变换	18
§ 1-8 四维本征速度矢量	20
§ 1-9 四维电流矢量	20
应用	
§ 1-10 恒星的光行差.....	22
§ 1-11 多普勒效应.....	24
§ 1-12 斐索实验.....	27
例题	30
第二章 相对论动力学	36
§ 2-1 复习几个概念和假设	36
自由粒子的情况	
§ 2-2 粒子的拉格朗日函数	37
§ 2-3 粒子的能量	39
§ 2-4 四维动量-能量矢量.....	40
受外界作用的单粒子的情况	
§ 2-5 粒子的拉格朗日方程和几个推论	42
§ 2-6 四维力矢量	44

§ 2-7 电场中的带电粒子	45
§ 2-8 磁场中的带电粒子	50
孤立粒子体系	
§ 2-9 性质	52
§ 2-10 碰撞问题	54
§ 2-11 康普顿效应	55
§ 2-12 重心参考系	58
§ 2-13 非弹性碰撞的研究	60
例题	62

真空中的电磁学

第三章 电磁场中的电荷.....66

§ 3-1 电磁学的第一组假设	66
§ 3-2 粒子的拉格朗日方程	67
§ 3-3 第一对麦克斯韦方程	70
例题	70
§ 3-4 电动势和电动场的概念	72
例题	73
§ 3-5 四维力矢量和四维速度矢量之间的关系	75
§ 3-6 参考系的变换	76
§ 3-7 运动参考系中的电场	79
例题	82

第四章 电磁场的性质.....84

一般性质

§ 4-1 电流矢量和电流强度	84
§ 4-2 麦克斯韦方程	86
例题	88

稳恒电磁场

§ 4-3 稳恒状态下的体电荷密度和电流矢量	90
§ 4-4 带电粒子在稳恒电磁场中的能量	91

§ 4-5 电场的研究	92
§ 4-6 磁场的研究, 安培定理和矢势	93
§ 4-7 毕奥-萨伐尔公式	96
例题	98
第五章 导体中的稳恒状态、欧姆定律和焦耳定律	104
§ 5-1 导电介质	104
§ 5-2 导体系中的稳恒状态	106
§ 5-3 电导率的定义	107
§ 5-4 稳恒状态下的电场和标势	110
§ 5-5 导体的电阻和欧姆定律	110
§ 5-6 电阻计算的例子	112
例题	114
§ 5-7 同一场线簇的电阻和电容之间的关系	119
例题	120
§ 5-8 电导率的研究	122
焦耳定律	
§ 5-9 焦耳定律	125
例题	127
§ 5-10 有电场存在时的导体, 推广了的欧姆定律	128
例题	130
第六章 恒定电场和标势	133
§ 6-1 在远离不连续分布电荷的一点的电势	133
例题	135
§ 6-2 处于稳恒状态的二极管	136
例题	140
第七章 静电力和静电自由能	145
§ 7-1 静电场中的电荷	145
§ 7-2 静电场中的电荷对和电偶极子	145
例题	147
§ 7-3 电荷系的静电自由能	151
例题	156

§ 7-4 导体之间的静电力·····	157
例题·····	159
第八章 恒定磁场和矢势 ·····	165
§ 8-1 直线电流的磁场和矢势·····	165
例题·····	168
§ 8-2 无限长螺线管的磁场和矢势·····	173
§ 8-3 圆环形电流的磁场·····	175
例题·····	177
§ 8-4 在距离任意环形电流较远处一点的矢势和磁场·····	178
第九章 电磁力和电磁自由能 ·····	183
§ 9-1 磁场中的电路·····	183
§ 9-2 电路线度很小的情况·····	185
例题·····	186
§ 9-3 线状导体系·····	187
例题·····	189
§ 9-4 电流系的能量·····	199
§ 9-5 导体之间的电磁力·····	202
§ 9-6 单位体积的电磁自由能·····	203
例题·····	206
第十章 真空中的平面电磁波 ·····	208
§ 10-1 真空中的麦克斯韦方程组·····	208
§ 10-2 标势·····	208
§ 10-3 传播方程·····	210
§ 10-4 平面波的定义·····	211
§ 10-5 矢量 $\vec{A}$ 、 $\vec{E}$ 和 $\vec{B}$ 的横向性·····	212
§ 10-6 A_y 和 A_z 的传播·····	212
§ 10-7 平面波的场 $\vec{E}$ 和 $\vec{B}$ ·····	214
§ 10-8 坡印廷矢量和能量的传播·····	215
例题·····	218
第十一章 单色平面电磁波 ·····	220
§ 11-1 单色平面行波·····	220

§ 11-2 线偏振的单色平面行波	220
§ 11-3 椭圆或圆偏振的单色平面行波	223
例题	226
波的复数表示法, 波矢	
§ 11-4 单色平面波的复数表示法	228
§ 11-5 单色平面波的矢量分析算符	229
§ 11-6 单色平面电磁波的结构	231
例题	233
第十二章 金属上的反射, 驻波	238
§ 12-1 理想金属中的电场和磁场	238
§ 12-2 金属附近电场的研究	239
§ 12-3 金属附近磁场的研究	241
平面波在理想金属上的反射	
§ 12-4 反射定律	243
§ 12-5 正入射波的反射	245
§ 12-6 入射波和反射波的叠加, 驻波	247
例题	249
§ 12-7 驻波模	252
例题	257
第十三章 电介质的宏观研究	262
§ 13-1 极化矢量	262
§ 13-2 标势	262
§ 13-3 极化电荷	263
§ 13-4 电场矢量和 $\vec{D}$ 矢量	264
§ 13-5 场线的折射	265
§ 13-6 与金属接触的电介质	268
§ 13-7 单位体积的电自由能	269
线性电介质	
§ 13-8 线性电介质的定义和性质	272
§ 13-9 线性的和各向同性的电介质	275
例题	276

第十四章 反射和折射	288
§ 14-1 电介质中的麦克斯韦方程组	288
§ 14-2 线性的和各向同性的电介质的情况	289
§ 14-3 电磁波在线性、均匀和各向同性的介质中的传播	290
§ 14-4 笛卡儿定律	291
§ 14-5 $\vec{E}$ 、 $\vec{D}$ 和 $\vec{B}$ 的连续性关系	293
§ 14-6 正入射时的反射系数和透射系数	293
§ 14-7 线性电介质中的坡印廷矢量	296
§ 14-8 正入射时的反射本领	297
例题	298
第十五章 电介质的微观研究	302
§ 15-1 极化的机理	302
§ 15-2 宏观电场	304
例题	306
§ 15-3 局部电场	306
§ 15-4 球形体积 Σ 中局部场的计算	307
例题	309
§ 15-5 电子和离子极化率	311
§ 15-6 偶极子极化率的研究	311
§ 15-7 克劳修斯-莫索提关系式	316
§ 15-8 电介质的电滞	317
第十六章 色散和吸收	319
§ 16-1 电子极化介质的折射率	319
§ 16-2 群速度和相速度	322
例题	326
§ 16-3 变化状态中偶极子极化的研究	327
§ 16-4 电子极化介质的复介电常数	330
§ 16-5 电介质中的能量耗损	333
§ 16-6 电介质的复折射率	336
例题	338
第十七章 磁化介质的宏观研究	339

§ 17-1	磁化强度矢量	339
§ 17-2	矢势	339
§ 17-3	磁化电流	340
§ 17-4	磁场矢量 $\vec{B}$ 和磁激发矢量 $\vec{H}$	342
§ 17-5	场线的折射	343
§ 17-6	单位体积的磁自由能	346
§ 17-7	线性的和各向同性的磁介质	348
	例题	351
第十八章	磁化介质的微观研究	355
	顺磁性	
§ 18-1	电子的轨道磁矩	355
	例题	357
§ 18-2	朗之万顺磁性的研究	359
	例题	361
§ 18-3	斯特恩-革拉赫实验	363
§ 18-4	电子的动量矩和磁矩	366
§ 18-5	原子或离子的动量矩和磁矩	368
§ 18-6	顺磁原子和离子的例子	369
§ 18-7	二能级系统的顺磁性的研究	371
	例题	374
	抗磁性	
	例题	376
§ 18-8	朗之万抗磁性公式	377
§ 18-9	抗磁磁化率	379
	例题	380
	铁磁性	
§ 18-10	概要, 居里温度	382
§ 18-11	初始磁化和饱和磁化	383
§ 18-12	磁滞回线	385
§ 18-13	铁磁理论的综述	388
附录 I:	电学和磁学单位	389

附录 II: 数学专业班 P 和 P' 的教学大纲	392
附录 III: 数学专业班 M 和 M' 的教学大纲	399
索引	401

狭义相对论

第一章 相对论运动学

§ 1-1 经典运动学的回顾

1. 事件

两个观察者观察发生在实际几何仿射空间($\mathcal{O}$)中的同一点的某一事件(光信号或粒子的发射,两个粒子的碰撞).他们以一维仿射空间($\mathcal{T}$)中的同一点 τ (时刻)表示这一事件.他们每个人都有一由空间坐标系(点 O 和基矢 $\vec{i}, \vec{j}, \vec{k}$)和时间坐标系(时间原点 Ω 和时间基矢)构成的参考系.对于每个观察者来说,一个事件的坐标就是他的空间坐标系中 M 的坐标 x, y, z 和他的时间坐标系中 τ 的坐标 t .

2. 两事件之间的时间间隔

设有两事件分别发生在点 (M_1, τ_1) 和 (M_2, τ_2) .这两个观察者与这两个事件分别具有相同的($\mathcal{T}$)的坐标点:一个为 τ_1 ,另一个为 τ_2 .时间间隔 $T = \tau_1 \tau_2$ 和 $T' = \tau_1 \tau_2$ 在这两个观察者看来是一样的.

根据经典运动学,连系两个事件的时间间隔与观察者无关,也就是与所选择的参考系无关.这就是说时间是绝对的.

3. 同时发生的两个事件之间的距离

对于一个观察者来说,如果连系两个事件的时间间隔为零,这两个事件就是同时的.而且对于所有的观察者它们的时间间隔都是零.对于一个观察者同时发生的两个事件,对于所有的观察者都是同时的.

当两个观察者选定了空间坐标系 $(O\vec{i}\vec{j}\vec{k})$ 和 $(O'\vec{i}'\vec{j}'\vec{k}')$ 时,

$\overrightarrow{M_1M_2}$ 的分量分别为 X, Y, Z 和 X', Y', Z' . 如果 M_1 和 M_2 是同时发生的两个事件 ($T=T'=0$) 所在的位置, 则按照经典运动学, 距离 $\overrightarrow{M_1M_2}$ 对于这两个观察者都是一样的.

4. 伽利略变换

我们认为在 $(XYZT)$ 和 $(X'Y'Z'T')$ 之间存在着一个线性映射 $\mathcal{L}$, 它具有如下的性质:

a) $T=T'$, 不论 $X'Y'Z'T'$ 如何 (见 1-1-2 节);

b) 当 T 和 T' 都等于零时, 有 $X^2+Y^2+Z^2=X'^2+Y'^2+Z'^2$ (1-1-3). 若在 $(X'Y'Z'O')$ 和 $(XYZO)$ 之间作相应的变换, 这种变换保持长度不变, 这就是等距变换.

假定观察者 (O') 的运动是以恒定的速度矢量 $\vec{V}$ 相对于观察者 (O) 的平动 (见图 1-1), 而且这两个观察者适当地选择了空间坐

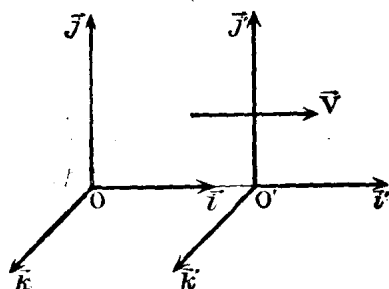


图 1-1

标系 $(O\vec{i}\vec{j}\vec{k})$ 和 $(O'\vec{i}'\vec{j}'\vec{k}')$, 使它们的基矢两两彼此平行, 此外, $\vec{i}$ 和 $\vec{i}'$ 都与 $\vec{V}$ 平行.

对于同时发生的两个事件有

$$X=X', Y=Y', Z=Z'.$$

此外, 不论 X', Y', Z' 如何, 都有 $T=T'$. 因此, 可以用下面的矩阵形式来定义这种线性关系 $\mathcal{L}$.

$$\begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \\ T \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & a \\ 0 & 1 & 0 & b \\ 0 & 0 & 1 & c \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X' \\ Y' \\ Z' \\ T' \end{bmatrix}.$$

在时间 T' 内, O' 点相对于观察者 (O) 的位移是零; 相对

于观察者(O)则有

$$X=VT', \quad Y=0, \quad Z=0.$$

因此,

$$VT'=aT' \Rightarrow a=V,$$

$$0=bT' \Rightarrow b=0,$$

$$0=cT' \Rightarrow c=0.$$

结果可以表示成

$$\begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \\ T \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & V \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X' \\ Y' \\ Z' \\ T' \end{bmatrix}$$

这就是伽利略变换.

如果(O)和(O')的参考系 ($\mathcal{R}$) 和 ($\mathcal{R}'$) 的空间坐标系在时刻 $t=0$ 时重合, 而且这两个观察者的时间原点也相同, 则同一事件的坐标 (x, y, z, t) 和 (x', y', z', t') 之间的关系为

$$\begin{bmatrix} x \\ y \\ z \\ t \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & V \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x' \\ y' \\ z' \\ t' \end{bmatrix}.$$

$$\text{也就是 } \begin{cases} x = x' + Vt', \\ y = y', \\ z = z', \\ t = t', \end{cases}, \quad \text{反过来 } \begin{cases} x' = x - Vt, \\ y' = y, \\ z' = z, \\ t' = t. \end{cases}$$

对于($\mathcal{R}$)中的观察者, 坐标为 (x, y, z, t) 的粒子的速度矢量的分量为 $\frac{dx}{dt}, \frac{dy}{dt}, \frac{dz}{dt}$. 对于($\mathcal{R}'$)中的观察者, 它们是 $\frac{dx'}{dt'}, \frac{dy'}{dt'}, \frac{dz'}{dt'}$. 由于 $t=t'$, 所以有

$$\begin{aligned}\frac{dx}{dt} &= \frac{dx'}{dt} + V, \\ \frac{dy}{dt} &= \frac{dy'}{dt}, \\ \frac{dz}{dt} &= \frac{dz'}{dt},\end{aligned}\quad \text{即 } \vec{v} = \vec{v}' + \vec{V}.$$

§1-2 迈克耳孙实验

由于光的传播在这些实验中起着重要的作用，我们先来简要地回顾一下光的一些性质：

—光在真空中的速度 c 是一个恒量，等于 299,790 千米/秒（精确到 0.5 千米/秒）；对于所有辐射这个值都是一样的；它与发射源的速度无关；

—当光掠过物体时，光波的传播不受影响。

结论： c 的值是各向同性的和均匀的。

迈克耳孙实验装置

光源 S 是单色的。一块平行平面玻璃片 G (其 F 面轻度地镀有

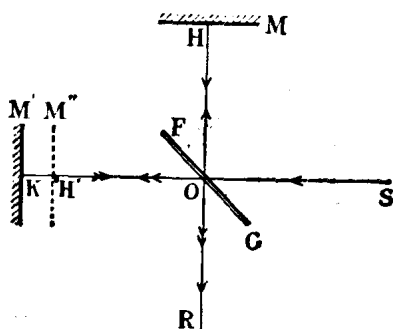


图 1-2-1

银) 与 OS 方向成 45° 倾角 (见图 1-2-1)。两个平面反射镜 M 和 M' ，一个与 OS 平行放置，另一个竖直放置。

光线 SO 的一部分先被 F ，然后被 M 反射，再穿过 G 沿 OR 方向射出。 SO 未被 F 反射的部分穿过 G 被 M' 反射，然后又被 G 反射沿着

R 射出 (我们忽略了由于透过玻璃片 G 引起光线 HO 和光线 SO 的移动)。