

# 大学物理学基础

## III

量子物理学与统计物理学

M. Alonso E. J. Finn 合著

梁宝洪 译

人民教育出版社

# 大学物理学基础

第三卷

量子物理学与统计物理学

[美] M. Alonso 合著  
E. J. Finn

梁宝洪译

人民教育出版社

1981

211

## 内 容 简 介

本书根据 Addison-Wesley Publishing Company 出版的、[美] M. Alonso 和 E. J. Finn 合著《大学物理学基础》第三卷译出（1968年第一版，1978年第9次印刷本）。这套书共三卷。第一卷论述力学和热力学；第二卷论述场和波（包括电磁学、光学和声学）；第三卷论述量子物理和统计物理。

本书可作高等学校理工科普通物理学课程教学参考书。

2432/12

### 大学物理学基础

#### 第三卷

量子物理学与统计物理学

M. Alonso

[美] E. J. Finn 合著

梁宝洪 译

\*

人民教育出版社出版

新华书店北京发行所发行

沈阳市第一印刷厂印装

\*

开本850×1168 1/32 印张21.75字数 540,000

1981年8月第1版 1983年3月第1次印刷

印数 00,001—10,500

书号 13012·0643 定价2.75元

## 前 言

本书是《大学物理学基础》这套书的第三卷，即最后一卷。这套书的目的是，向理工科大学生提供关于物理学的统一的、合乎逻辑的阐述。这套书是导论性的、大学生水平的，着重阐述构成物理学核心的基本概念：守恒定律、粒子与场的相互关系、物质的原子观点。我们在引进物理学概念时，力图使学生能够清楚地理解其理论意义，认清其实验基础，注意理论和实验之间的密切联系。我们也力求培养学生能够熟练地运用数学来表达这些概念。这三卷书的内容相当于两学期的普通物理课程，加上一(或二)学期的现代物理学课程。第一卷论述力学和引力相互作用。第二卷讨论电磁相互作用和波。第三卷讨论量子物理学和统计物理学(包括热力学)。虽然这三卷书是密切联系的，并且有逻辑的顺序，但每一卷自成体系，能够单独使用。第三卷尤其如此。本卷包括现代物理学导论课程中通常讲述的大部分题材。

各门科学的课程表都受到很大的压力，要求包括那些比传统课题更加相关的新题材。我们期望这套书能够通过提高学生对物理概念的理解水平和对物理概念应用于具体情况的能力，而减轻这种压力。这将使目前在大学生课程表中开设的许多中间课程得以提高。传统的大学生课程，力学、电磁学和现代物理学将从这种提高之中获益最大。这样，学生将在比以前更高的知识水平上完成他的大学生学业。这对于那些就此结束正式教育的人来说，是有重要意义的。而且，这将有助于开设研究生水平的、较新的(也许是更令人兴奋的)课程。在其他学科中，大学一、二年级的比较新近的基本教科书中，有同样的趋势。

本卷的第一部分叫做量子物理学。量子概念是今日物理学的要素。遗憾的是，导论性普通物理学课程中只对玻尔概念和波粒二象性作出简要介绍，往往推迟学生接触量子力学及其应用的时间。在传统上，只有主修物理学和化学的学生才学习量子力学，而且很少是在四年级之前学习。然而，对于主修物理学和化学的学生来说，在他们的课程安排中应当尽可能早地获得量子概念的应用知识，以便他们在后继的大学生课程中利用这些知识。“大学物理学委员会”强烈赞同这种措施。目前生物学和工程学方面的趋势，要求这些领域中的学生也对固体物理和分子结构有基本的了解。因此，我们仔细地向学生介绍了量子力学，介绍的方式虽然是初等的，但使学生能够把量子力学应用于不同的情况。

第一章介绍量子概念的基础。接着在第二章中介绍必要的量子力学基础知识，在这里我们着重讨论，怎样由势能函数的形状和波函数的一般性质，求出关于一个系统的物理信息。在第三至第九章中，应用量子力学的概念和方法来分析原子、分子、固体、原子核和基本粒子。

在本卷的第二部分，即统计物理学部分，我们利用统计方法讨论大块物质的性质。和量子力学一样，统计物理学是一个基础牢固的、强有力的工具，应尽可能早地介绍给学生。在第十章中讨论了经典统计力学之后，在第十一章中根据统计的观点阐述热力学，然后在第十二章中把热力学应用于理想气体和实在气体。我们坚信，这是向学生介绍热力学概念时所应遵循的最适当的方法。本卷最后(第十三章)简要地介绍量子统计法。

由于许多学生现在在普通物理课程中学习相对论的基本概念，所以在附录中讨论了狭义相对论。(在这套书的卷I和II中对相对论有较详细的讨论。)在附录中还讨论了几个附带的课题，例如群速度和粒子的探测方法。

我们把数学的要求保持在一般微积分课程所包括的论题范围

之内。对于理解物理概念的主要进程来说并非必需的那些数学计算，我们往往或者省略，或者归入习题部分。这类计算的一个例子，是求薛定谔方程的某些解(这种计算有时是很烦琐的)。

基本原理的许多应用，以及少数比较高深课题的讨论，以例题的形式给出。编写本书时，注意到使学生初读时可以跳过这些例题。第二次读时，学生应考虑教师选定的那些例题。教师可以在适当的时候讨论这些例题，或者有选择地建议个别学生学习这些例题。书中某些节可以略去，而无损于连续性。每章末尾的习题按照该章内容的顺序排列，少数较难的习题放在最后。大量的各种习题可供教师选择，以适合学生的能力。因此，适当选择本书的材料，教师能够使本书适合于一或二学期的课程，同时既给学生提出问题，又给他解决问题的动力。

.....

Washington, D. C.

1968年1月

M. Alonso

E. J. Finn



# 单 位 及 符 号 表

量	符 号	单位名称 及代号	与基本单位的关系 MKSC      MKSA
长度	$l, s$	米(m)	m
质量	$m$	千克(kg)	kg
时间	$t$	秒(s)	s
速度	$v$		$ms^{-1}$
加速度	$a$		$ms^{-2}$
角速度	$\omega$		$s^{-1}$
角频率	$\omega$		$s^{-1}$
频率	$\nu$	赫兹(Hz)	$s^{-1}$
动量	$p$		$m \cdot kg \cdot s^{-1}$
力	$F$	牛顿(N)	$m \cdot kg \cdot s^{-2}$
角动量	$L$		$m^2 \cdot kg \cdot s^{-1}$
转矩	$\tau$		$m^2 \cdot kg \cdot s^{-2}$
功率	$W$	焦耳(J)	$m^2 \cdot kg \cdot s^{-2}$
功率	$P$	瓦特(W)	$m^2 \cdot kg \cdot s^{-3}$
能量	$E_k, E_p, U, E$	焦耳(J)	$m^2 \cdot kg \cdot s^{-2}$
温度	$T$	开(K)	$m^2 \cdot kg \cdot s^{-2} / \text{粒子}$
扩散系数	$D$		$m^2 \cdot s^{-1}$
热导系数	$K$		$m \cdot kg \cdot s^{-3} \cdot K^{-1}$
粘滞系数	$\eta$		$m^{-1} \cdot kg \cdot s^{-1}$
杨氏模量	$Y$		$m^{-1} \cdot kg \cdot s^{-2}$
体积弹性模量	$\kappa$		$m^{-1} \cdot kg \cdot s^{-2}$
切变模量	$G$		$m^{-1} \cdot kg \cdot s^{-2}$
转动惯量	$I$		$m^2 \cdot kg$
引力场	$\mathcal{G}$		$m \cdot s^{-2}$
引力势	$V_{\mathcal{G}}$		$m^2 \cdot s^{-2}$
电荷	$q, Q$	库仑(C)	C
电流	$I$	安培(A)	$s^{-1}C$
电场	$\mathcal{E}$		$m \cdot kg \cdot s^{-4} \cdot C^{-1}$
电势	$V$	伏特(V)	$m^2 \cdot kg \cdot s^{-2} \cdot C^{-1}$
电流密度	$j$		$m^{-2} \cdot s^{-1} \cdot C$
电阻	$R$	欧姆( $\Omega$ )	$m^2 \cdot kg \cdot s^{-1} \cdot C^{-2}$
电感	$L$	亨利(H)	$m^2 \cdot kg \cdot C^{-2}$
电容率	$\epsilon_0$		$m^{-3} \cdot kg^{-1} \cdot s^2 \cdot C^2$
电极化强度	$\mathcal{P}$		$m^{-2} \cdot C$
电介质位移	$\mathcal{D}$		$m^{-2} \cdot C$
磁场	$\mathcal{H}$	特斯拉(T)	$kg \cdot s^{-1} \cdot C^{-1}$
磁导率	$\mu_0$		$m \cdot kg \cdot C^{-2}$
磁化强度	$\mathcal{M}$		$m^{-1} \cdot s^{-1} \cdot C$
起磁场	$\mathcal{H}$		$m^{-1} \cdot s^{-1} \cdot C$
磁通量	$\Phi_{\mathcal{H}}$	韦伯(Wb)	$m^2 \cdot kg \cdot s^{-1} \cdot C^{-1}$
电偶极矩	$p$		$m \cdot C$
电四极矩	$Q$		$m^2 \cdot C$
磁偶极矩	$M$		$m^2 \cdot s^{-1} \cdot C$
磁四极矩	$Q$		$m^3 \cdot s^{-1} \cdot C$
电容	$C$	法拉(F)	$m^{-2} \cdot kg^{-1} \cdot s^2 \cdot C^2$

## 轉 換 因 數 表

<p><b>時間：</b></p> <p>1 s = <math>1.667 \times 10^{-2}</math> min            = <math>2.778 \times 10^{-4}</math> h            = <math>3.169 \times 10^{-8}</math> 年</p> <p>1 min = 60 s = <math>1.667 \times 10^{-3}</math> h            = <math>1.901 \times 10^{-6}</math> 年</p> <p>1 h = 3600 s = 60 min            = <math>1.141 \times 10^{-4}</math> 年</p> <p>1 年 = <math>3.156 \times 10^7</math> s            = <math>5.259 \times 10^6</math> min            = <math>8.766 \times 10^5</math> h</p> <p><b>長度：</b></p> <p>1 m = <math>10^2</math> cm = 3.28 ft            = <math>6.214 \times 10^{-4}</math> mi</p> <p>1 mi = 5280 ft = 1.609 km</p> <p>1 in = 2.540 cm</p> <p>1 Å = <math>10^{-8}</math> cm = <math>10^{-10}</math> m            = <math>10^{-4}</math> μ</p> <p>1 μ = <math>10^{-6}</math> m</p> <p>1 AU(天文單位) = <math>1.496 \times 10^{11}</math> m</p> <p>1 光年 = <math>9.46 \times 10^{16}</math> m</p> <p>1 秒差距 = <math>3.084 \times 10^{16}</math> m</p> <p><b>角：</b></p> <p>1 rad = 57.3°</p> <p>1° = <math>1.74 \times 10^{-2}</math> rad</p> <p>1' = <math>2.91 \times 10^{-4}</math> rad</p> <p>1" = <math>4.85 \times 10^{-8}</math> rad</p> <p><b>面積：</b></p>	<p>1 m<sup>2</sup> = <math>10^4</math> cm<sup>2</sup> = <math>1.55 \times 10^{-6}</math> in<sup>2</sup>            = 10.76 ft<sup>2</sup></p> <p>1 in<sup>2</sup> = 6.452 cm<sup>2</sup></p> <p>1 ft<sup>2</sup> = 144 in<sup>2</sup> = <math>9.29 \times 10^{-2}</math> m<sup>2</sup></p> <p><b>體積：</b></p> <p>1 m<sup>3</sup> = <math>10^6</math> cm<sup>3</sup> = 10<sup>3</sup> 升            = 35.3 ft<sup>3</sup> = <math>6.1 \times 10^4</math> in<sup>3</sup></p> <p>1 ft<sup>3</sup> = <math>2.83 \times 10^{-2}</math> m<sup>3</sup> = 28.32 升</p> <p>1 in<sup>3</sup> = 16.39 cm<sup>3</sup></p> <p><b>速度：</b></p> <p>1 ms<sup>-1</sup> = <math>10^2</math> cm·s<sup>-1</sup> = 3.281 ft·s<sup>-1</sup></p> <p>1 ft·s<sup>-1</sup> = 30.48 cm·s<sup>-1</sup></p> <p>1 mi·min<sup>-1</sup> = 60 mi·h<sup>-1</sup>            = 88 ft·s<sup>-1</sup></p> <p><b>加速度：</b></p> <p>1 m·s<sup>-2</sup> = <math>10^2</math> cm·s<sup>-2</sup>            = 3.281 ft·s<sup>-2</sup></p> <p>1 ft·s<sup>-2</sup> = 30.48 cm·s<sup>-2</sup></p> <p><b>質量：</b></p> <p>1 kg = 10<sup>3</sup> g = 2.205 lb</p> <p>1 lb = 453.6 g = 0.4536 kg</p> <p>1 amu = <math>1.6604 \times 10^{-27}</math> kg</p> <p><b>力：</b></p> <p>1 N = <math>10^5</math> dyn = 0.2248 lbf(磅力)            = 0.102 kgf(千克力)</p> <p>1 dyn = <math>10^{-5}</math> N = <math>2.248 \times 10^{-8}</math> lbf</p> <p>1 lbf = 4.448 N = <math>4.448 \times 10^5</math> dyn</p> <p>1 kgf = 9.81 N</p>
---	--



压力(压强):

$$1 \text{ N} \cdot \text{m}^{-2} = 9.265 \times 10^{-6} \text{ atm}$$

$$= 1.450 \times 10^{-4} \text{ lbf} \cdot \text{in}^{-2}$$

$$= 10 \text{ dyn} \cdot \text{cm}^{-2}$$

$$1 \text{ atm} = 14.7 \text{ lbf} \cdot \text{in}^{-2}$$

$$= 1.013 \times 10^5 \text{ N} \cdot \text{m}^{-2}$$

$$1 \text{ bar} = 10^5 \text{ dyn} \cdot \text{cm}^{-2}$$

能量:

$$1 \text{ J} = 10^7 \text{ erg} = 0.239 \text{ cal}$$

$$= 6.242 \times 10^{16} \text{ eV}$$

$$1 \text{ eV} = 10^{-6} \text{ MeV} = 1.60 \times 10^{-12} \text{ erg}$$

$$= 1.07 \times 10^{-9} \text{ amu}$$

$$1 \text{ cal} = 4.186 \text{ J} = 2.613 \times 10^{16} \text{ eV}$$

$$= 2.807 \times 10^{10} \text{ amu}$$

$$1 \text{ amu} = 1.492 \times 10^{-10} \text{ J}$$

$$= 3.564 \times 10^{-11} \text{ cal}$$

$$= 931.0 \text{ MeV}$$

温度:

$$\text{K} = 273.1 + ^\circ\text{C}$$

$$^\circ\text{C} = \frac{5}{9} (^\circ\text{F} - 32)$$

$$^\circ\text{F} = \frac{9}{5} ^\circ\text{C} + 32$$

功率:

$$1 \text{ W} = 1.341 \times 10^{-3} \text{ hp (马力)}$$

$$1 \text{ hp} = 745.7 \text{ W}$$

电荷:\*

$$1 \text{ C} = 3 \times 10^9 \text{ 静库仑}$$

$$1 \text{ 静库仑} = \frac{1}{3} \times 10^{-9} \text{ C}$$

电流:\*

$$1 \text{ A} = 3 \times 10^9 \text{ 静安培}$$

$$1 \text{ 静安培} = \frac{1}{3} \times 10^{-9} \text{ A}$$

$$1 \mu\text{A} = 10^{-6} \text{ A}, 1 \text{ mA} = 10^{-3} \text{ A}$$

电场:\*

$$1 \text{ N} \cdot \text{C}^{-1} = 1 \text{ V} \cdot \text{m}^{-1} = 10^{-2} \text{ V} \cdot \text{cm}^{-1}$$

$$= \frac{1}{3} \times 10^{-4} \text{ 静伏特} \cdot \text{cm}^{-1}$$

电势:\*

$$1 \text{ V} = \frac{1}{3} \times 10^{-2} \text{ 静伏特}$$

$$1 \text{ 静伏特} = 3 \times 10^2 \text{ V}$$

电阻:

$$1 \Omega = 10^6 \mu\Omega$$

$$1 \text{ M}\Omega = 10^6 \Omega$$

电容:\*

$$1 \text{ F} = 9 \times 10^{11} \text{ 静法拉}$$

$$1 \text{ 静法拉} = \frac{1}{9} \times 10^{-11} \text{ F}$$

$$1 \mu\text{F} = 10^{-6} \text{ F}, 1 \text{ pF} = 10^{-12} \text{ F}$$

磁场:

$$1 \text{ T} = 10^4 \text{ 高斯}, 1 \text{ 高斯} = 10^{-4} \text{ T}$$

磁通量:

$$1 \text{ Wb} = 10^8 \text{ 麦克斯韦},$$

$$1 \text{ 麦克斯韦} = 10^{-8} \text{ Wb}$$

起磁场:

$$1 \text{ A} \cdot \text{m}^{-1} = 4\pi \times 10^{-3} \text{ 奥斯特}$$

$$1 \text{ 奥斯特} = 1/4\pi \times 10^3 \text{ A} \cdot \text{m}^{-1}$$

---

\* 在所有情况下, 3 实际表示 2.998, 9 表示 8.987

# 目 录

## 第一 部分

### 量子物理学

<b>第 1 章 量子物理学基础</b> .....	3
1.1 引论 .....	3
1.2 电磁辐射 .....	4
1.3 黑体辐射 .....	6
1.4 光电发射 .....	11
1.5 辐射被自由电子散射 .....	14
1.6 光子 .....	18
1.7 定态 .....	23
1.8 定态的实验证明 .....	28
1.9 辐射与物质的相互作用 .....	32
1.10 粒子和场 .....	36
1.11 粒子和波包 .....	41
1.12 关于位置和动量的海森伯测不准原理 .....	42
1.13 关于时间和能量的测不准关系 .....	47
<b>第 2 章 量子力学</b> .....	58
2.1 引论 .....	58
2.2 波函数和几率密度 .....	59
2.3 薛定谔方程 .....	62

2.4	势阶 .....	65
2.5	势箱中的粒子 .....	70
2.6	谐振子 .....	78
2.7	能级和波函数的一般情况 .....	82
2.8	势垒穿透 .....	88
2.9	对称性、波函数和宇称 .....	96
2.10	含时薛定谔方程 .....	99
2.11	跃迁几率和选择定则 .....	103
2.12	量子力学的形式理论 .....	106
<b>第3章</b>	<b>单电子原子</b> .....	121
3.1	引论 .....	121
3.2	氢原子 .....	122
3.3	氢的光谱 .....	128
3.4	角动量的量子化 .....	130
3.5	有心力(转力)作用下单电子的波函数 .....	135
3.6	塞曼效应 .....	146
3.7	电子自旋 .....	150
3.8	角动量相加 .....	153
3.9	自旋-轨道相互作用 .....	155
<b>第4章</b>	<b>多电子原子</b> .....	167
4.1	引论 .....	167
4.2	氦原子 .....	167
4.3	不相容原理 .....	177
4.4	原子的电子结构 .....	180
4.5	$LS$ 耦合 .....	184
4.6	具有一个或两个价电子的原子 .....	192
4.7	X射线谱 .....	197
<b>第5章</b>	<b>分子</b> .....	205
5.1	引论 .....	205
5.2	氢分子离子 .....	206

5.3	双原子分子的分子轨函数	215
5.4	某些双原子分子的电子组态	219
5.5	多原子分子	227
5.6	共轭分子	234
5.7	分子转动	239
5.8	分子振动	242
5.9	分子中的电子跃迁	250
5.10	结束语	253
<b>第6章</b>	<b>固体</b>	260
6.1	引论	260
6.2	固体的类型	261
6.3	固体的能带理论	273
6.4	固体的自由电子模型	277
6.5	周期结构中电子的运动	282
6.6	导体、绝缘体和半导体	293
6.7	电导率的量子理论	300
6.8	固体中的辐射跃迁	306
<b>第7章</b>	<b>核结构</b>	316
7.1	引论	316
7.2	同位素、同中子异荷素、同量异位素	317
7.3	原子质量单位	320
7.4	原子核的性质	321
7.5	核结合能	328
7.6	核力	334
7.7	氦核的基态	337
7.8	低能中子-质子散射	339
7.9	壳层模型	348
7.10	核辐射跃迁	357
<b>第8章</b>	<b>核过程</b>	369
8.1	引论	369

8.2	放射性衰变	369
8.3	$\alpha$ 衰变	376
8.4	$\beta$ 衰变	381
8.5	核反应	391
8.6	核裂变	401
8.7	核聚变	408
8.8	元素的起源	412
<b>第9章</b>	<b>基本粒子</b>	<b>424</b>
9.1	引论	424
9.2	粒子系谱	425
9.3	粒子和反粒子	427
9.4	粒子的不稳定性	434
9.5	守恒定律	446
9.6	不变性、对称性和守恒定律	454
9.7	共振态	467
9.8	基本粒子是什么?	473

## 第二部分

### 统计物理学

<b>第10章</b>	<b>经典统计力学</b>	<b>488</b>
10.1	引论	488
10.2	统计平衡	489
10.3	麦克斯韦-玻耳兹曼分布律	491
10.4	温度	499
10.5	热平衡	505
10.6	对于理想气体的应用	507

<b>第 11 章 热力学</b> .....	520
11.1 引论 .....	520
11.2 粒子系统的能量守恒 .....	521
11.3 多粒子系统; 功 .....	522
11.4 多粒子系统; 热 .....	524
11.5 热力学第一定律 .....	525
11.6 过程的图示 .....	528
11.7 一些特殊过程 .....	533
11.8 熵和热力学第二定律 .....	535
11.9 熵和热 .....	541
11.10 用熵来讨论过程 .....	545
<b>第 12 章 气体的热性质</b> .....	557
12.1 引论 .....	557
12.2 理想气体的物态方程 .....	557
12.3 实在气体的物态方程 .....	560
12.4 理想单原子气体的热容 .....	569
12.5 理想多原子气体的热容 .....	571
12.6 能量均分原理 .....	578
<b>第 13 章 量子统计法</b> .....	586
13.1 引论 .....	586
13.2 费密-狄喇克分布律 .....	586
13.3 电子气 .....	590
13.4 费密-狄喇克统计法对金属中电子的应用 .....	594
13.5 玻色-爱因斯坦分布律 .....	596
13.6 光子气 .....	599
13.7 固体的热容 .....	605
13.8 量子统计法中的理想气体 .....	610
13.9 三种统计法的比较 .....	613
<b>附录</b> .....	621
I. 相对论性力学 .....	621

II. 碰撞 .....	626
III. 群速度 .....	632
IV. 一些有用的积分 .....	634
V. 斯特令公式 .....	635
VI. 拉格朗日未定乘子 .....	635
VII. 粒子的探测方法 .....	636
<b>单数习题答案</b> .....	<b>648</b>
<b>索引</b> .....	<b>657</b>

## 第一部分 量子物理学

物理学的基本目的之一,是分析物质的基本成分的性质,以及由于这些基本成分的相互作用而在它们之间发生的过程。这些基本成分(叫做基本粒子)是电子、质子、中子(以及其它),它们组合而形成原子核、原子和分子。原子核、原子和分子又组合而形成大块物质。虽然基本粒子的运动服从动量、角动量与能量的守恒原理,但是分析这种运动所需的构架,在若干方面不同于在经典力学(或牛顿力学)中为分析宏观运动而发展的那种构架。这种更精辟的理论,叫做量子力学。我们首先必须很好地了解量子力学,才能着手讨论原子、分子和核。幸而原子和分子基本上是带正电的核与带负电的电子之间的电磁相互作用的产物。这样,把电磁学定律与量子力学定律结合起来,我们就能够讨论原子和分子,而不必求助于其它不大了解的力。同样的方法也可用于气体、液体和固体。另一方面,原子核基本上是一种新型的力即所谓强相互作用(或核相互作用)的产物。由于强相互作用尚未很好地了解,所以对它的分析要困难得多。因此,本书对原子核的讨论必然带有较多的描述性质。

也许,现代物理学中最活跃、最令人兴奋的领域,就是基本粒子的研究。在这些粒子之间观察到的相互作用,要求我们除强相互作用之外,还要引进另一种力。这种力叫做弱相互作用。另有一种力,即引力相互作用,是所有的相互作用之中最弱的,就物质的基本结构而论,这种相互作用起着较小的作用。

四种相互作用的相对值为:

强相互作用

1



电磁相互作用	$10^{-2}$
弱相互作用	$10^{-13}$
引力相互作用	$10^{-38}$

涉及基本粒子的过程要求采用一种新的、有些不同于量子力学的表述形式,叫做量子场论。然而,这个理论过于复杂,本书不予讨论。