

1336
526
高等师范学校交流讲义

量子力学

張宗燧編

高等教育出版社

量 子 力 学

張宗燧編

高等教育出版社出版

北京琉璃廠一七〇號

(北京市書刊出版業營業許可證出字第〇五四號)

上海集成印刷廠印刷 新華書店總經售

書號 13010·5 開本 850×1168 1/32 印張 69/16 字數 154,000

一九五六年九月上海第一版

一九五六年九月上海第一次印刷

印數 1--7,000

定價(8) 羊 0.75

高等学校交流讲义說明

高等学校交流讲义,是各校比較成熟的自編讲义,主要在供教学参考,以提高講課、实验和实习的質量。它的出版过程,是各校向高等教育部推荐編寫得較好的讲义,交有关出版社出版,新華書店内部發行的。交流讲义的内容,因限於編者的水平和出版社的編輯力量,可能还存在某些缺点或錯誤。为了進一步提高讲义的質量,从而遴选其中比較优秀的作为試用教科書或教学参考書出版,欢迎使用讲义的学校和讀者多多提出补充修正的意見(按讲义內讀者意見表填寫),直接寄給出版社,以备修訂时参考。

中華人民共和國高等教育部

3601/1



本書是师范学院物理專業用的講義，綜合性大學物理專業亦可參考。內容主要採取自 Д. И. Блохинцев 著“量子力學原理”一書的前半本及書末的結論，另外補充了一些分析力學及量子論方面的資料。為了使本書更適合於我國學生的水平，書中還添了一些數學上的註，並將表面理論，氫分子及氦原子的討論等等加以簡化。

序

这本讲义是为师范学院物理系理論物理課而寫的，就內容而言，對於綜合性大学物理專業量子力学課，是不敷应用的。

这本讲义內容的絕大部份取自布洛欣采夫(Д. И. Блохинцев)的“量子力学原理”一書，这本书的系統很好，一方面沒有过多的計算，过多的数学，以致疏忽了量子力学中主要思想的討論，另一方面也沒有过分地將理論抽象化，使學習發生困难。这本讲义也採取了它的系統。

但是这本讲义与布洛欣采夫的書比較，不同处还是很多的，例举如下：

(i) 数学的導算寫得較詳細一些。又补充了一些数学上的註解，以免学生为了这些問題而去查其他書籍。

(ii) 加入了一章“分析力学”，又加入了一章“量子論”。

(iii) 布洛欣采夫書的后半本的材料沒有採入。

(iv) 將布洛欣采夫書最后一章(即該書的結論，討論有关的哲学問題)的內容提前來討論，与測不准原理同时討論。

(v) 將表示理論大大地簡單化。

(vi) 引入一章討論 n 維空間的矢量及作用於此空間的矢量上的算子——矩陣。

这些改变的目的是顯然的，即是要使教材符合於我國目前师范学院师生的水平，並与师范学院物理專業其他課程適当地联接起來。例如(i)，(iii)，(v)是为了第一个目的，(ii)，(vi)是为了第二个目的。由於布洛欣采夫書的后半部材料沒有採入，而同时量

子力学所引起的哲学問題又是必須學習的，所以把該書最后一章提前來講。

有一些章節，初学时或許有困难，同时重要性也不特出，因此当學習这些有困难时，或当教学过程中感觉時間不敷时，建議作適當的精簡。这些章節在目錄及正文中都已經註明 * 号。

最后，編者願意对審查这本講義的同志，表示最高度的敬意。当然，这本书經過審查及修改后，依然可能有未注意到的錯誤。这些錯誤的責任顯然是編者的。希望各兄弟师范学校的教学同志在看到这本講義的任何缺点时，不吝批評，使得它能有所改進。

編者謹識

目 錄

序	5
第一章 分析力学(經典力学)	7
§ 1. 拉格朗日方程式	7
§ 2. 哈密頓函数 正則运动方程式	15
第二章 量子論	22
§ 3. 量子論的需要	22
§ 4. 量子論概要	24
第三章 德布罗意波 波的物理意义	37
§ 5. 德布罗意波	37
§ 6. 德布罗意波的物理意义	42
§ 7. 統計性的解釋 仪器的作用	52
第四章 算子 力学量与算子的关系	61
§ 8. 力学量相当於算子 算子的性質及本征函数	61
§ 9. 質点的力学量	75
第五章 运动方程式	82
§ 10. 态随时间的变化	82
§ 11. 力学量随时间的变化	87
*§ 12. 电子在外界电磁場中的情形	93
第六章 几个应用	100
§ 13. 諧振子問題	100
§ 14. 在有心力場中电子的运动	106
§ 15. 双原子分子的能級	121
§ 16. 隧道效应	125
第七章 波矢量 表示理論	130
§ 17. 波矢量 矩陣	130
*§ 18. 表示理論	134

第八章 电子的自旋	141
§ 19. 电子自旋及电子自旋磁矩	141
*§ 20. 自旋角动量与机械角动量的合併	156
第九章 量子态的变躍 原子的發光	164
§ 21. 量子态变躍的理論	164
§ 22. 光的吸收及放射	170
*第十章 微擾理論	177
*§ 23. 微擾理論	177
*§ 24. 微擾理論的例	180
*第十一章 氫原子及氫分子	183
*§ 25. 同样質点所構成的系統的波动方程式	183
*§ 26. 氫原子的初步討論	187
*§ 27. 氫分子的初步討論	189
附錄	194
一、电子在晶体面上的衍射	194
二、傅里叶積分理論	196
三、厄密函数 H_n 的性質	199
四、勒雄特耳函数 P_l 的一些性質	201
五、氫原子的斯塔克效应 反常塞曼效应	202
复習提綱	207

高等学校交流讲义說明

高等学校交流讲义,是各校比較成熟的自編讲义,主要在供教学参考,以提高講課、实验和实习的質量。它的出版過程,是各校向高等教育部推荐編寫得較好的讲义,交有关出版社出版,新華書店内部發行的。交流讲义的内容,因限於編者的水平和出版社的編輯力量,可能还存在某些缺点或錯誤。为了進一步提高讲义的質量,从而遴选其中比較优秀的作为試用教科書或教学参考書出版,欢迎使用讲义的学校和讀者多多提出补充修正的意見(按讲义內讀者意見表填寫),直接寄給出版社,以备修訂时参考。

中華人民共和國高等教育部

3601/1

本書是师范学院物理專業用的講義，綜合性大學物理專業亦可參考。內容主要採取自 Д. И. Блохинцев 著“量子力学原理”一書的前半本及書末的結論，另外補充了一些分析力学及量子論方面的資料。为了使本書更適合於我國學生的水平，書中还添了一些数学上的註，並將表面理論，氫分子及氦原子的討論等等加以簡化。

目 錄

序	5
第一章 分析力学(經典力学)	7
§ 1. 拉格朗日方程式	7
§ 2. 哈密頓函数 正則运动方程式	15
第二章 量子論	22
§ 3. 量子論的需要	22
§ 4. 量子論概要	24
第三章 德布罗意波 波的物理意义	37
§ 5. 德布罗意波	37
§ 6. 德布罗意波的物理意义	42
§ 7. 統計性的解釋 仪器的作用	52
第四章 算子 力学量与算子的关系	61
§ 8. 力学量相当於算子 算子的性質及本征函数	61
§ 9. 質点的力学量	75
第五章 运动方程式	82
§ 10. 态随时间的变化	82
§ 11. 力学量随时间的变化	87
*§ 12. 电子在外界电磁場中的情形	93
第六章 几个应用	100
§ 13. 諧振子問題	100
§ 14. 在有心力場中电子的运动	106
§ 15. 双原子分子的能級	121
§ 16. 隧道效应	125
第七章 波矢量 表示理論	130
§ 17. 波矢量 矩陣	130
*§ 18. 表示理論	134

第八章 电子的自旋	141
§ 19. 电子自旋及电子自旋磁矩	141
*§ 20. 自旋角动量与机械角动量的合併	156
第九章 量子态的变躍 原子的發光	164
§ 21. 量子态变躍的理論	164
§ 22. 光的吸收及放射	170
*第十章 微擾理論	177
*§ 23. 微擾理論	177
*§ 24. 微擾理論的例	180
*第十一章 氫原子及氫分子	183
*§ 25. 同样質点所構成的系統的波动方程式	183
*§ 26. 氫原子的初步討論	187
*§ 27. 氫分子的初步討論	189
附錄	194
一、电子在晶体面上的衍射	194
二、傅里叶積分理論	196
三、厄密函数 H_n 的性質	199
四、勒雄特耳函数 P_l 的一些性質	201
五、氫原子的斯塔克效应 反常塞曼效应	202
复習提綱	207

序

这本讲义是为师范学院物理系理論物理課而寫的，就內容而言，對於綜合性大学物理專業量子力学課，是不敷应用的。

这本讲义內容的絕大部份取自布洛欣采夫(Д. И. Блохинцев)的“量子力学原理”一書，这本书的系統很好，一方面沒有过多的計算，过多的数学，以致疏忽了量子力学中主要思想的討論，另一方面也沒有过分地將理論抽象化，使學習發生困难。这本讲义也採取了它的系統。

但是这本讲义与布洛欣采夫的書比較，不同处还是很多的，例举如下：

(i) 数学的導算寫得較詳細一些。又补充了一些数学上的註解，以免学生为了这些問題而去查其他書籍。

(ii) 加入了一章“分析力学”，又加入了一章“量子論”。

(iii) 布洛欣采夫書的后半本的材料沒有採入。

(iv) 將布洛欣采夫書最后一章(即該書的結論，討論有关的哲学問題)的內容提前來討論，与測不准原理同时討論。

(v) 將表示理論大大地簡單化。

(vi) 引入一章討論 n 維空間的矢量及作用於此空間的矢量上的算子——矩陣。

这些改变的目的是顯然的，即是要使教材符合於我國目前师范学院师生的水平，並与师范学院物理專業其他課程適当地联接起來。例如(i)，(iii)，(v)是为了第一个目的，(ii)，(vi)是为了第二个目的。由於布洛欣采夫書的后半部材料沒有採入，而同时量

子力学所引起的哲学問題又是必須學習的，所以把該書最后一章提前來講。

有一些章節，初学时或許有困難，同时重要性也不特出，因此当學習这些有困难时，或当教学过程中感觉時間不敷时，建議作適當的精簡。这些章節在目錄及正文中都已經註明 * 号。

最后，編者願意对審查这本講義的同志，表示最高度的敬意。当然，这本书經過審查及修改后，依然可能有未注意到的錯誤。这些錯誤的責任顯然是編者的。希望各兄弟师范学校的教学同志在看到这本講義的任何缺点时，不吝批評，使得它能有所改進。

編者謹識

第一章 分析力学(經典力学)

§ 1. 拉格朗日方程式

(a) 力的式子 能量守恒定律

在力学中,我們已經學到一个質点的运动方程式:

$$m \frac{d^2 \mathbf{r}}{dt^2} = \mathbf{F}, \quad (1)$$

式中 $\mathbf{r}$ 和 $\mathbf{F}$ 都是向量。用分量寫出,得

$$m \frac{d^2 x_1}{dt^2} = F_1, \quad m \frac{d^2 x_2}{dt^2} = F_2, \quad m \frac{d^2 x_3}{dt^2} = F_3.$$

($x_1, x_2, x_3 = x, y, z$)

当 F 为 $-\nabla V$ 时,亦即

$$F_i = -\frac{\partial}{\partial x_i} V(x_1, x_2, x_3) \quad (2)$$

时,得

$$\sum m \frac{d^2 x_i}{dt^2} \frac{dx_i}{dt} dt = -\sum \frac{\partial V}{\partial x_i} \frac{dx_i}{dt} dt = -\sum \frac{\partial V}{\partial x_i} dx_i = -dV.$$

積分得

$$\sum_{i=1}^3 \frac{1}{2} m \left(\frac{dx_i}{dt} \right)^2 + V = \text{常数}. \quad (3)$$

这便是能量守恒定律。

對於一羣質点,我們也有能量守恒定律。一羣質点的运动方程式为

$$m^{(1)} \frac{d^2 \mathbf{r}^{(1)}}{dt^2} = \mathbf{F}^{(1)}, \quad m^{(2)} \frac{d^2 \mathbf{r}^{(2)}}{dt^2} = \mathbf{F}^{(2)}, \dots; \quad (4)$$

(7)

以上各式分別代表各个質点的运动方程式。

$$\left. \begin{aligned} \text{令 } m^{(1)} &= m_1 = m_2 = m_3, \\ m^{(2)} &= m_4 = m_5 = m_6, \text{ 等等,} \\ q_1 &= x_1^{(1)}, q_2 = x_2^{(1)}, q_3 = x_3^{(1)}, \\ q_4 &= x_1^{(2)}, q_5 = x_2^{(2)}, q_6 = x_3^{(2)}, \text{ 等等,} \\ F_1 &= F_1^{(1)}, F_2 = F_2^{(1)}, F_3 = F_3^{(1)}, \\ F_4 &= F_1^{(2)}, F_5 = F_2^{(2)}, F_6 = F_3^{(2)}, \text{ 等等,} \end{aligned} \right\}$$

那末, (4) 便变为

$$m_\mu \frac{d^2 q_\mu}{dt^2} = F_\mu, \quad \mu = (1, 2, 3, \dots) \quad (5)$$

当 F_μ 等只为 $q_1, q_2, \dots$ 等的函数(即物体所受力只与它們的位置有关系), 而且適合

$$F_\mu(q_1, q_2, \dots) = - \frac{\partial}{\partial q_\mu} V(q_1, q_2, \dots) \quad (6)$$

时, 我們便得了

$$m_\mu \frac{d^2 q_\mu}{dt^2} = - \frac{\partial V}{\partial q_\mu}.$$

由此得

$$\sum m_\mu \frac{d^2 q_\mu}{dt^2} \frac{dq_\mu}{dt} dt = - \sum \frac{\partial V}{\partial q_\mu} \frac{dq_\mu}{dt} dt = - \sum \frac{\partial V}{\partial q_\mu} dq_\mu = -dV.$$

積分得

$$\sum \frac{1}{2} m_\mu \left(\frac{dq_\mu}{dt} \right)^2 + V = \text{常数}, \quad (7)$$

这就是一羣質点的能量守恆定律。因此我們常常假定 F_μ 適合 (6) 式。

用 x 等代替 q 等, (6) 式可改寫为

$$F_1^{(1)} = - \frac{\partial V}{\partial x_1^{(1)}}, \quad F_2^{(1)} = - \frac{\partial V}{\partial x_2^{(1)}}, \quad F_3^{(1)} = - \frac{\partial V}{\partial x_3^{(1)}}.$$

同时, (7) 式变为

$$\sum \frac{1}{2} m^{(i)} \left(\frac{d\mathbf{r}^{(i)}}{dt} \right)^2 + V(\mathbf{r}^{(1)}, \mathbf{r}^{(2)}, \dots) = \text{常数}.$$

(b) 廣义坐标

在以上我們用了笛卡兒坐标,但是在某些問題中,我們需要其他的坐标,例如極坐标等等。我們当然可以利用兩種坐标的关系,將(1),(5)式用極坐标寫出。現在我們討論用一般性的坐标后的运动方程式,这样的討論可以使我們將來在具体問題中,知道如何选择適當的坐标而立刻獲得所需的运动方程式。另一方面,我們可以在此學習一般性的力学原則。为簡單起見,称一般性的坐标为廣义坐标。

令我們所选择的坐标 $Q_1, Q_2, \dots$ 与以前的 $q_1, q_2, \dots$ 有以下的关系:

$$Q_\lambda = f_\lambda(q_1, q_2, \dots, q_{3n}). \quad (8)$$

(n 为質点数, $\lambda = 1, 2, \dots, 3n$)

如果只討論一个質点在平面中的运动, q_1, q_2 是質点的坐标 x, y , Q_1, Q_2 可以是質点的極坐标 r, θ 。

有一个較(8)式更廣泛的情形,就是

$$Q_\lambda = f_\lambda(q_1, q_2, \dots, q_{3n}, t);$$

此处 f_λ 中明顯地包含着時間 t 。这个情形在我們教程中不加討論。

由(8)式,可以求得

$$q_\mu = F_\mu(Q_1, Q_2, \dots, Q_{3n}). \quad (9)$$

在一般情形下,由(8)式不一定能得(9)式,而我們只討論可以由它求得(9)式的(8)式,換句話說,即只討論这样一种情形,在这种情形下, Q_λ 可以表为 q_μ 等的函数,同时 q 等可以表为 Q 等的函数。現在先討論动能的形式。由(8),(9),得

$$dQ_1 = \frac{\partial f_1}{\partial q_1} dq_1 + \frac{\partial f_1}{\partial q_2} dq_2 + \dots + \frac{\partial f_1}{\partial q_{3n}} dq_{3n} = \sum_\mu \frac{\partial f_1}{\partial q_\mu} dq_\mu,$$