

高等学校教学用书

# 原子物理学

YUANZI WULIXUE

第二卷 第二分册

Э. В. 史包尔斯基著  
卢鹤绂等译



人民教育出版社

高等学校教学用书



# 原子物理学

YUANZI WULIXUE

第二卷 第二分册

Д. В. 史包尔斯基著  
卢鹤绂等译

人民教育出版社

本書系根据苏联国立技术理論書籍出版社 (Гостехиздат) 出版的史包尔斯基 (Э. В. Шпольский) 著的“原子物理学” (Атомная Физика) 第二卷的 1951 年版譯出。原書經苏联高等教育部审定为高等学校教学参考書。

第二卷中文譯本暫分为两个分册出版。第二分册包括第十八章至第二十四章及附录, 內容講解原子核物理及宇宙射綫。

翻譯工作的分配情况如下: 江仁寿譯第十八及十九章; 盧鶴紱譯第二十、二十二、二十三章及附录; 許国保譯第二十一章; 謝希德譯第二十四章。

## 簡裝本說明

目前 850×1168 毫米規格紙張較少, 本书暫以 787×1092 毫米規格紙張印刷, 定价相应减少 20%。希鉴諒。

# 原 子 物 理 学

## 第二卷 第二分册

Э. В. 史包尔斯基著

卢鶴紱等譯

北京市书刊出版业营业許可証出字第 2 号

人民教育出版社出版(北京景山东街)

上海市印刷四厂印裝

新华书店上海发行所发行

各地新华书店經售

統一書号 K13010·672 开本 787×1092 1/32 印張 15 7/16

字數 371,000 印數 23,901—35,900 定价 (6) 册 1.36

1959 年 10 月第 1 版 1962 年 2 月上海第 7 次印刷

# 目 录

## 第十八章 原子核的一般特性

§ 237. 某些預备知識.....	325	§ 244. 結合能量.....	358
§ 238. 核的自旋.....	332	§ 245. 結合能量的半經驗公式.....	367
§ 239. 核的自旋和統計法.....	335	§ 246. 基本粒子.....	374
§ 240. 核的磁偶極矩.....	339	§ 247. 氦核.....	377
§ 241. 核的四極電矩.....	349	§ 248. 氦核的理論.....	381
§ 242. 核的場和半徑.....	350	§ 249. 核力對於自旋的依賴.....	388
§ 243. 核的中子-質子構造.....	354	§ 250. 核力的本質.....	389

## 第十九章 核物理学的实验方法

### A. 快速粒子的观测和計数方法

§ 251. 粒子計数法.....	397	查.....	406
§ 252. 快速粒子徑迹的照相。中子的偵			

### B. 带电粒子的加速器

§ 253. 靜电發电机.....	411	.....	421
§ 254. 迴旋加速器.....	414	§ 256. 同步加速器及穩相加速器.....	430
§ 255. 电子的加速。电子迴旋加速器.....		§ 257. 綫型加速器.....	435

## 第二十章 核反应

§ 258. 核反应的一般特征.....	439	§ 264. 核俘获粒子.....	462
§ 259. 反应能的确定.....	442	§ 265. 能級的寬度及共振.....	464
§ 260. 能量守恒定律及动量守恒定律的 同时应用.....	445	§ 266. 中子所致的核反应.....	471
§ 261. 有效截面.....	450	§ 267. 質子及氦核所致的反应.....	474
§ 262. 組合核.....	453	§ 268. $\alpha$ 粒子所致的反应.....	481
§ 263. 核作为量子力学的体系.....	457	§ 269. 超高能的核反应.....	484
		§ 270. 核的光致裂变.....	489

## 第二十一章 放射性

### A. 放射性变化的規律

§ 271. 放射过程的一般特性.....	492	§ 274. 遞次变化的理論.....	501
§ 272. 放射蜕变的簡單定律.....	494	§ 275. 放射性的單位.....	508
§ 273. 放射蜕变定律的統計性.....	497	§ 276. 热效应.....	509



§ 277. 放射族.....	512		
<b>B. 放射性輻射与物質的相互作用</b>			
§ 278. $\alpha$ 粒子的射程.....	516		530
§ 279. $\beta$ 粒子的射程和能量.....	523	§ 282. 正电子的性質和狄喇克理論	533
§ 280. $\gamma$ 射綫的吸收和散射.....	527	§ 283. 电子偶的形成.....	536
§ 281. 在 $\gamma$ 射綫的吸收中正电子的产生			

### C. 放射变化的类型

§ 284. $\alpha$ 蜕变.....	542	§ 290. 正电子放射性与 $\bar{\nu}$ 俘获.....	564
§ 285. 伴随 $\alpha$ 蜕变的 $\gamma$ 射綫。原子核能級.....	545	§ 291. 簡單的和复杂的 $\beta$ 能量譜.....	569
§ 286. $\beta$ 蜕变.....	549	§ 292. 稳定的同量异位素.....	571
§ 287. $\beta$ 射綫譜.....	550	§ 293. $\gamma$ 輻射.....	572
§ 288. 中微子.....	553	§ 294. $\gamma$ 射綫的内变换.....	577
§ 289. 容許的和禁戒的 $\beta$ 过程.....	561	§ 295. 同質异能的跃迁.....	584

## 第二十二章 中子

§ 296. 中子的發現.....	590	§ 300. 慢中子的吸收及散射.....	605
§ 297. 中子的質量、自旋及磁矩.....	592	§ 301. 中子衍射.....	614
§ 298. 中子源.....	596	§ 302. 中子的一些光学性質.....	622
§ 299. 快中子的衍射性散射.....	599		

## 第二十三章 原子核的分裂与原子能的利用

§ 303. 重原子核分裂的發現.....	625	§ 310. 超鈾元素.....	648
§ 304. 原子核分裂的理論.....	631	§ 311. 核的鏈式反应.....	654
§ 305. 分裂的激活能.....	635	§ 312. 減速剂的应用。核反应器(鍋爐).....	658
§ 306. 自發分裂.....	640	§ 313. 鈾的产生。核能的应用.....	664
§ 307. 实现分裂的各种方法.....	641	§ 314. 在大自然中核能的作用.....	668
§ 308. 核分裂的产物.....	643		
§ 309. 在分裂中解放的中子.....	645		

## 第二十四章 宇宙射綫

§ 315. 引言.....	676	§ 321. 簇射.....	706
§ 316. 基本的实验数据.....	677	§ 322. 高速粒子和物質的相互作用.....	710
§ 317. 地球磁場对初級宇宙射綫的作用(地磁效应).....	685	§ 323. 級联簇射的形成.....	713
§ 318. 电离能量損失.....	694	§ 324. 軟性和硬性部分.....	716
§ 319. 用威耳孙云室和照像片观测高速带电粒子.....	697	§ 325. 介子.....	718
§ 320. 正电子的發現.....	704	§ 326. $\mu$ 介子的性質.....	722
		§ 327. $\mu$ 介子寿命的測量.....	726
		§ 328. 介子和核的相互作用.....	733

§ 329. $\pi$ 介子的發現.....	735	§ 333. 其它类型的介子.....	743
§ 330. 在实验室的加速器中 $\pi$ 介子的人 为制造.....	739	§ 334. 初級宇宙射綫和原子核相互作用 时所产生的現象.....	747
§ 331. 带电 $\pi$ 介子的質量和寿命...	741	§ 335. 宇宙射綫的起源.....	751
§ 332. 中性介子.....	744		

## 附 录

VII. 某些积分的計算.....	754	XII. 态的宇称(偶性).....	773
VIII. 两个电荷間相互作用的靜电能... .....	755	XIII. 輕核質量表.....	777
IX. 似穩态及虛能級.....	759	XIV. 同位素表.....	781
X. 相对論电子的冲量守恒.....	766	XV. 重要的原子常数.....	807
XI. 偶極和四極輻射.....	769	XVI. 門捷列夫的元素周期表.....	812

## 第十八章 原子核的一般特性

### § 237. 某些預備知識

熟悉了原子的电子壳的构造之后，讓我們来研究原子核。在本节中我們將簡短地供給在后面所有叙述中所經常需要的有关原子核性質的一些初步知識。这里所提到的許多問題在后面几节中将較詳細地討論。

穩定的和放射性的核 在現時知道的核超过 1000 种以上，其差別或者是本身电荷不同，或者質量不同，或者二者都不同。这样数目的核中約有三分之一是穩定的，其余是放射性的。我們把放射性的核称作不穩定的核，它們發生着自發蜕变（即由內在原因作用下进行的蜕变）而轉变为别的核。伴随着核的放射性蜕变，是正电子或負电子的抛出（ $\beta$  蜕变），或是  $\alpha$  粒子（即氦的核）的抛出（ $\alpha$  蜕变）。隔离的放射物按照指数定律而蜕变，即

$$N = N_0 e^{-\frac{t}{\tau}}$$

式中  $N$  是到  $t$  时刻还未蜕变的核数， $N_0$  是在  $t=0$  时候的核数， $\tau$  是一定放射物所特有的時間間隔常数，在此間隔中核数减小到  $\frac{1}{e}$ 。这个規律是放射性蜕变的統計結果：某放射物的个别核在極其不同的时刻發生轉变；可能指出的只是它們的平均寿命。計算指明（參看 § 272），核的平均寿命恰等于  $\tau$ 。然而，尋常被标出的不是平均寿命，而是所謂半衰期（即半蜕变期） $T$ ，此即核数减少一半所需時間。已知的放射核的半衰期漲落在从  $10^{-8}$  秒到  $10^9$  年

的寬闊的範圍內。

核的电荷 核的重要特征之一是它的电荷。我們知道，核的电荷  $Z$ ，以电子电荷  $e$  的絕對数值为單位来表示，是正的并等于元素的原子序数。对于少数原子核，曾利用  $\alpha$  粒子散射的研究来完成核电荷的直接測定。可是在大多数情形中，核电荷的測定是借助于莫塞萊定律。这条定律，在倫琴射綫的特性光譜中某一定譜綫的頻率与等于核电荷  $Z$  的原子序数之間，形成一直綫的关系。

現時已知的核有带电荷从 1 到 98 的。再者只在最近年內，周期表中下列空着的位置(表 XXXIX<sup>①</sup>)才被填滿。

表 XXXIX

核 电 荷 $Z$	元 素 名 称	化 学 特 性
43	鐳 Tc	VII 組元素, 类似錳
61	釷 Pm	稀土元素
85	釷 At	鹵素, 类似碘
87	釷 Fr	鹼性金屬, 类似鉍

此表所載的所有元素，在天然中并不存在，曾經利用核的反应人为地获得和收集了这些元素的很少量。元素釷也是以放射性鈾族的稀有中間产物的形式而出現。

由于近时許多發現，周期系統扩展到鈾 ( $Z=92$ ) 以外了。正和在周期系統中填补空白位置的那些元素的情形一样，用了人工方法获得了原子序数大于 92 的一系列元素；由于它們在鈾后的特殊地位，这些元素称为超鈾元素。到目下为止 (1951 年)，具有核电荷从 93 到 98 的元素已被發現了。用人工获得釷 ( $Z=94$ ) 以

① 在某些出版的門捷列夫表中，在数目 43 和 61 之下，直到現在还碰着好像在自然界存在的元素名字“鐳”( $Z=43$ ) 和“釷”( $Z=61$ )。事实上，具有所述名字的那两个元素的“發現”是錯誤的。



后，曾在鈾礦（即瀝青礦）中發現極微量的釷（大約在有 1 份釷礦物質量  $10^{14}$  份中）；除此以外，超鈾元素在天然中是不存在的。它們都是強烈放射性的，因此在地球的地質歷史時期中已“死亡”了。獲得更高原子序數直到  $Z=125$  的那些更超鈾元素，在理論上是可能的（參看 § 306）。

核的質量 核的第二個極其重要的特征是它的質量。到目前為止，已知原子核質量的接近整數（稱為質量數  $A$ ），是位於從  $A=1$  到  $A=244$  之間的范围內。

同位素 跟同一個  $Z$  相對應的， $A$  的數值有幾個。具有一定電荷的核能夠以幾個同位素的形式而存在。

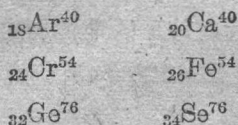
一般地講，這樣的同位素中，有一部分是穩定的，其餘是放射性的。穩定同位素的總數約有 300，超過 700 的已知同位素是放射性的。同位素——穩定的和放射性的——的全部名單列在本書之末（參看附錄 XIV）。

同位素原子量的測量，現代利用改善的質譜儀來進行（參看第一卷 §§ 14—16），其準確度達到小數點以下四位或五位。這樣準確測定的同位素質量和整數相差甚為微小（在所謂質量的物理標尺中，氧同位素  $O^{16}$  的質量定為恰好等於 16）。同位素質量和整數相接近，指出核是由質量差不多相同的單位所構成。

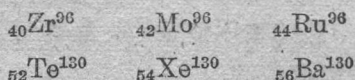
所以關於已知核成分的一般討論，只要把它的質量數和電荷數一同標出來就夠了。我們將在大多數情形中，把原子的化學符號連同質量數和電荷數標出來。這個符號常附加兩個數字，其中之一標記原子序數，另一數字標記質量數；例如  ${}_8O^{18}$  表示原子序數為  $Z=8$  而質量數為  $A=18$  的氧。第一數字寫在左邊，為了避免和化學習慣上標記分子中原子數所必需的數字相混。

同量異位素 除了同位素的核具有相同的核電荷  $Z$  和不同的質量數  $A$  以外，還有一些核具有不同的  $Z$  和相同的  $A$ 。這種核

称为同量异位素。在一对同量异位素都是稳定的那些情形中，它们的核电荷一般相差两个单位。例如，



亦有三种稳定同量异位素成为一组的，例如，



如果对某种稳定同位素来说，有一种同量异位素，前者的  $Z$  跟后者的  $Z$  相差一，则后者常是放射性的并转变为稳定的同量异位素。例如氧的稳定同位素  ${}_{8}\text{O}^{17}$  具有同量异位素  ${}_{9}\text{F}^{17}$ 。但后者是  $\beta$  放射性的并转变为  ${}_{8}\text{O}^{17}$ 。在附录 XIV 的表中可找到很多类似的例子。作为少有的例外，亦有成对和甚至成三种一组的核电荷相差为 1 的稳定同量异位素。关于这一点的其它数据和理论考虑，参阅 § 292。

同质异能素 在放射性核之间亦有这样的核，它们具有同一的电荷  $Z$  和同一的质量数  $A$ ，即有完全等同的成分，可是有不同的半衰期。这种核称为同质异能的。例如，溴同位素  ${}_{35}\text{Br}^{80}$  发生  $\beta$  蜕变，其半衰期为 18 分，它有半衰期为 4.4 小时的同质异能素  ${}_{35}\text{Br}^{80}$ 。近时已知约有 70 对同质异能的核<sup>①</sup>。

核的成分 现时已确定无疑，一切的核只是由两种质量近乎相等的基本粒子所组成的，即是由质子（它是氢的核，带正电，其电荷的绝对值等于电子的电荷）和不带电的中子所组成的。一个核内的质子数等于原子序数（核电荷数） $Z$ ，而中子数  $N$  等于质量数  $A$  和核电荷数  $Z$  之差，即  $N = A - Z$ 。依赖于这两种基本粒子数

① 把“同质异能素”这个名词给予这种核，是仿照化学中所熟悉的具有相同成分而性质不同的分子。

之間的比值，一定的核具有較大或較小的穩定程度。因此，既可以講穩定核的穩定性，也可以講放射核的穩定性。如果某些核內所含的質子數和中子數的比值，最適合于穩定的條件，那末，在悠遠的宇宙尺度的時期中，當現今存在的諸化學元素發生之時，這些核的發生和保存的幾率顯然是最大的。如果另一些核內所含的質子數和中子數的比值比較不適合，但仍滿足穩定性的要求，那末後一些核的發生的量較小。所以一定元素的某一穩定同位素的含量百分數，即所謂同位素的丰度，可以作為核穩定性的量度。

在簡圖 296 中，橫軸表示質子數  $Z$ ，縱軸表示中子數  $N = A - Z$ 。在此圖中，用黑圓圈表示穩定同位素，白圓圈表示放射性同位素。顯然，所有同位素應位於一條豎直線上，所有同量異位素位於一些斜直線上，在斜綫頂上所寫的数字等於  $N + Z$ ，即等於質量數  $A$ 。在此圖中，清楚地看出，穩定的核（黑圈）形成一條狹窄的“條紋”。這就是說，當質子數一定時，它們和中子相結合而形成穩定核的可能性是有限的。數目最多的穩定同位素是：錫有 10 個，銣有 9 個。一切同位素——穩定的和放射性的——都位於兩條直綫  $A - Z = Z$  和  $A - Z = 2Z$  之間。其中第一條直綫相當於核內質子數等於中子數那種組織。由圖可見，質量數不大的穩定同位素緊接地集於這條綫上。由此得出，當質子數小時，最大的穩定性是由質子數等於中子數的那些核所表征。 $A$  愈大，則核內中子數愈超過質子數。

在圖 297 中，把簡圖的起首部分表明得更詳細。這裡表示出關於穩定同位素的丰度，不穩定同位素的放射性類型以及它們的半衰期等數據。須注意，當中子數過多時（對於穩定性而言），核是放射性的，它放射負電子（ $\beta^-$  放射性）；中子數不足時，核亦是放射性的，它放射正電子（ $\beta^+$  放射性）。在這兩種情形中，放射過程的結果，使核穩定性所必需的中子數和質子數的比值得以恢復。

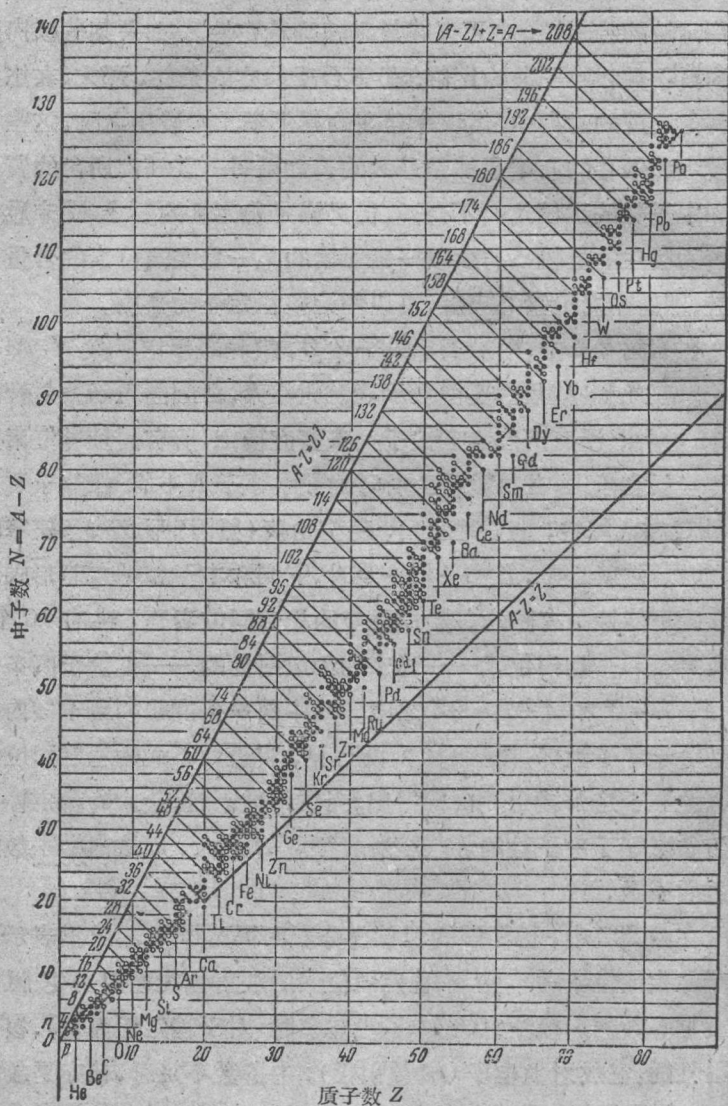


圖 296. 稳定的和放射性的同位素。





## § 238. 核的自旋

核的最重要特征,除了电荷及質量以外,还有它的自旋,即它的本征动量矩。核自旋的存在,已由光譜方法証实。前文(十五章)講过了,所謂光譜綫的“精細結構”即二重性、三重性以及一般的多重性,是电子自旋的存在所引致。在單价电子的原子这个最簡單情形中,依賴着軌道矩和自旋矩的相互方位,能級  $p, d, f, \dots$  中每一級分裂为二,結果主系的綫是簡單的二重的,而其它系的綫是复杂的二重的。

在1928年,苏联物理学家 A. H. 捷列宁和 J. H. 多勃列佐夫曾經指出,利用具有高度分辨本领的光譜仪器和具有特殊构造来給出極細譜綫的光源,則鈉的二重綫  $D_1$  和  $D_2$  之中的每条綫也分裂为两条相近的綫。前文(參看圖 277) 講过了,鈉二重綫的产生

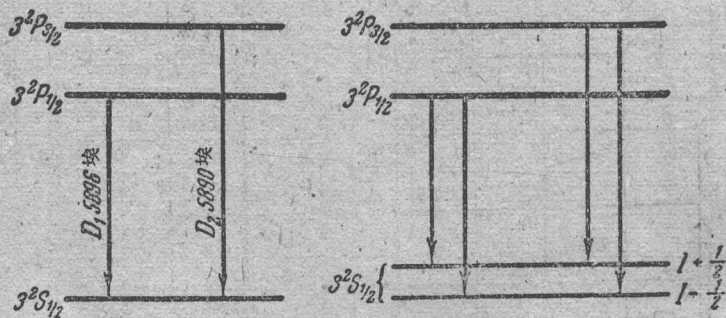


圖 298. 說明鈉  $D$  綫的精細結構和超精細結構的簡圖。

是由于鈉的被激能級  $3^2P_{1/2}$  和  $3^2P_{3/2}$  和正常能級  $3^2S_{1/2}$  之間的跃迁,这就是說,波長为 5895.930 埃的分綫  $D_1$  是跃迁  $3^2S_{1/2} \rightarrow 3^2P_{1/2}$  所引起的,而波長  $\lambda = 5889.963$  埃的分綫  $D_2$  則是由于跃迁  $3^2S_{1/2} \rightarrow 3^2P_{3/2}$ 。二重綫間的距离等于 6 埃。准确的測量表明了綫  $D_1$  又是由相距为 0.023 埃的两个分綫所組成的,而綫  $D_2$  分裂为相距

0.021 埃的二条分綫。因此，这个分裂大約綫  $D_1$  和  $D_2$  之間距离 300 分之一。所以它形成譜綫的超精細构造。

显然，超精細构造不能用电子自旋来解释，因为后者仅說明能級  $3P$  分裂为两个子能級  $3^2P_{1/2}$  和  $3^2P_{3/2}$ ，因而所能說明的只是两条分綫  $D_1$  和  $D_2$  这个現象而已。两条分綫中每条分綫的再分裂，其解释自然是在电子的軌道矩和自旋矩之外，还須考虑核的自旋。在圖 298 中，有两个簡圖說明綫  $D_1$  的超精細构造的产生。左边簡圖給出关于二重綫  $D_1$  和  $D_2$  在考虑到电子的軌道矩和自旋矩下的通常說明。右边簡圖說明綫  $D_1$  的超精細分裂。在鈉的基态中軌道矩等于零 ( $S$  型的态)，而电子的自旋矩等于  $\frac{1}{2}$ 。現在注意核的自旋，因不知它的数量，讓我們暫时用  $I$  来标示<sup>①</sup>，而以  $F$  标示跟所有矩之和相等的原子总矩。为了計算总矩  $F$  須利用向量圖，又因在鈉基态中电子所引起的矩等于  $\frac{1}{2}$ ，故矩  $F$  将等于  $I + \frac{1}{2}$  或  $I - \frac{1}{2}$ 。所以，考虑了核的自旋，基能級就分裂为量子数  $I \pm \frac{1}{2}$  的两个子能級。被激能級  $3^2P_{1/2}$  亦分裂为两个子能級，但由于这个分裂比較基能級的分裂显著地小<sup>②</sup>，可以不考虑它。我們由是获得关于綫  $D_1$  的超精細分裂的解释，如圖 298 中右边簡圖所表示的。

$\text{Na}^{23}$  的核自旋矩  $I$  的数值可用下法从超精細结构中分綫强度的比值求得。按照强度法則 (§ 234)，在由合并子級的項  $3^2P_{1/2}$  到分裂两子級的基态  $3^2S_{1/2}$  这种跃迁中所發生的譜綫，其强度之比，等于分裂子級的統計权重之比。統計权重，即子級在磁場中所分裂的分量数目，一般是等于  $2F+1$ 。因为在本情形中

① 此处和以后，“矩”即指矩的量子数。矩的絕對值是  $\sqrt{I(I+1)} \frac{h}{2\pi}$ 。

② 根据准确的測量， $3^2P_{1/2}$  級的分裂大約为基級  $3^2S_{1/2}$  的分裂的 10 分之 1。

$$F = I \pm \frac{1}{2},$$

那末,統計权重之比,以及强度之比,就应等于

$$\frac{2\left(I - \frac{1}{2}\right) + 1}{2\left(I + \frac{1}{2}\right) + 1} = \frac{2I}{2(I+1)}.$$

当  $I = \frac{1}{2}$ , 这个比将是 1:3; 当  $I = 1$ , 它等于 1:2; 当  $I = \frac{3}{2}$ , 它等于 1:1.67; 最后,当  $I = 2$ , 这个比等于 1:1.5。实验表明了,綫  $D_1$  的超精細结构的分綫强度之比等于 1:1.7。由此得出,  $\text{Na}^{23}$  的核自旋等于  $\frac{3}{2}$ 。这个数值亦曾被 C. D. 福里斯研究一次电离鈉的譜綫超精細结构的一些实验所证实。

对于很多的原子,超精細结构已被研究过了。这个结构如何的复杂,可从圖 299 看出。此圖所表示的是关于稀土元素鐳借助于高度分辨本领的仪器所获得的譜綫照相。超精細结构的研究虽然不是测定核自旋的唯一方法,但是一个很有效的方法。其它方

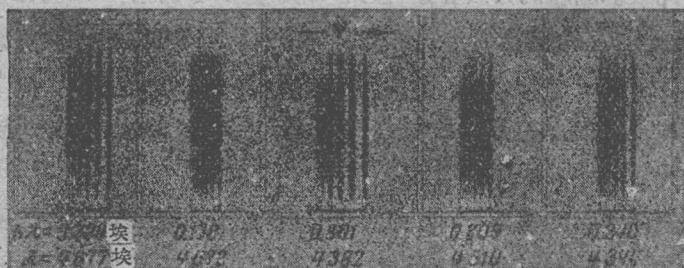


圖 299. 鐳的譜綫的超精細构造。

法将在以后几节中討論。为了以后討論的方便,这里提出(表 XL)关于核自旋数值的一些例子(其中有些是用其它方法测定的)。



表 XL

元素和同位素	質子數	中子數	$I$	元素和同位素	質子數	中子數	$I$
中子	0	1	$1/2$	${}_4\text{Be}^9$	4	5	$3/2$
質子	1	0	$1/2$	${}_5\text{B}^{11}$	5	6	$3/2$
${}_1\text{D}^2$	1	1	1	${}_6\text{C}^{12}$	6	6	0
${}_2\text{He}^4$	2	2	0	${}_7\text{N}^{14}$	7	7	1
${}_3\text{Li}^6$	3	3	1	${}_7\text{N}^{15}$	7	8	$1/2$
${}_3\text{Li}^7$	3	4	$3/2$	${}_8\text{O}^{16}$	8	8	0
				${}_9\text{F}^{19}$	9	10	$1/2$

## § 239. 核的自旋和統計法

在 § 215 中已經指出，在自然界存在着两种粒子类型。电子和一般具有半数自旋的粒子遵守泡利原則和費米統計法。描述恒等的这种类型粒子的系統的态的波函数是反对称的——每对粒子互換时，波函数改变它的符号；在一整套量子数所决定的态中只能發現一个粒子。在另一方面，光子和一般具有整数自旋的基本粒子遵守玻色-爱因斯坦統計法。具有同样的这种类型粒子的系統是由对称的波函数来描述，对于这种粒子，从泡利原則所引出的限制不成立；那就是說，在一定的量子态中可有任何数目的粒子。

我們已經知道，質子和中子具有半数的自旋。所以二者遵守費米統計法。关于复杂的核，則有一个規則，根据它，凡由奇数粒子組成的核（亦即具有奇数質量数的核）遵守費米統計法，而具有偶数質量数的核則遵守玻色-爱因斯坦統計法。例如，核  $\text{He}^4, \text{O}^{16}, \text{N}^{14}$  遵守玻色-爱因斯坦統計法，而核  $\text{He}^3, \text{Li}^7$  等遵守費米統計法。核的电荷在这方面不起作用，重要的只是核內的基本粒子的总数，即質子數和中子數之和。

上面所表述的規則可最簡單地証明如下。設我們有两个核，其中每一个是由  $Z$  个質子和  $N$  个中子所組成的。組成这两个核