

PEKING
UNIVERSITY

北京大学院士文库

核裂变物理学



北京大学出版社

北京大学院士文库

核 裂 变 物 理 学

胡 济 民 著

北 京 大 学 出 版 社

北 京

图书在版编目(CIP)数据

核裂变物理学/胡济民著. —北京:北京大学出版社,1999.6
(北京大学院士文库)

ISBN 7-301-04093-8

I. 核… II. 胡… III. 裂变-核物理学 IV. 0571.43

中国版本图书馆 CIP 数据核字(1999)第 17834 号

书 名: 核裂变物理学(北京大学院士文库)

著作责任者: 胡济民 著

责任编辑: 王 艳

标准书号: ISBN 7-301-04093-8/TL·0002

出版者: 北京大学出版社

地 址: 北京市海淀区中关村北京大学校内 100871

网 址: <http://cbs.pku.edu.cn/cbs.htm>

电 话: 出版部 62752015 发行部 62559712 编辑室 62752021

电子信箱: zpup@pup.pku.edu.cn

排 版 者: 北京高新特公司激光照排中心

印 刷 者: 北京大学印刷厂

发 行 者: 北京大学出版社

经 销 者: 新华书店

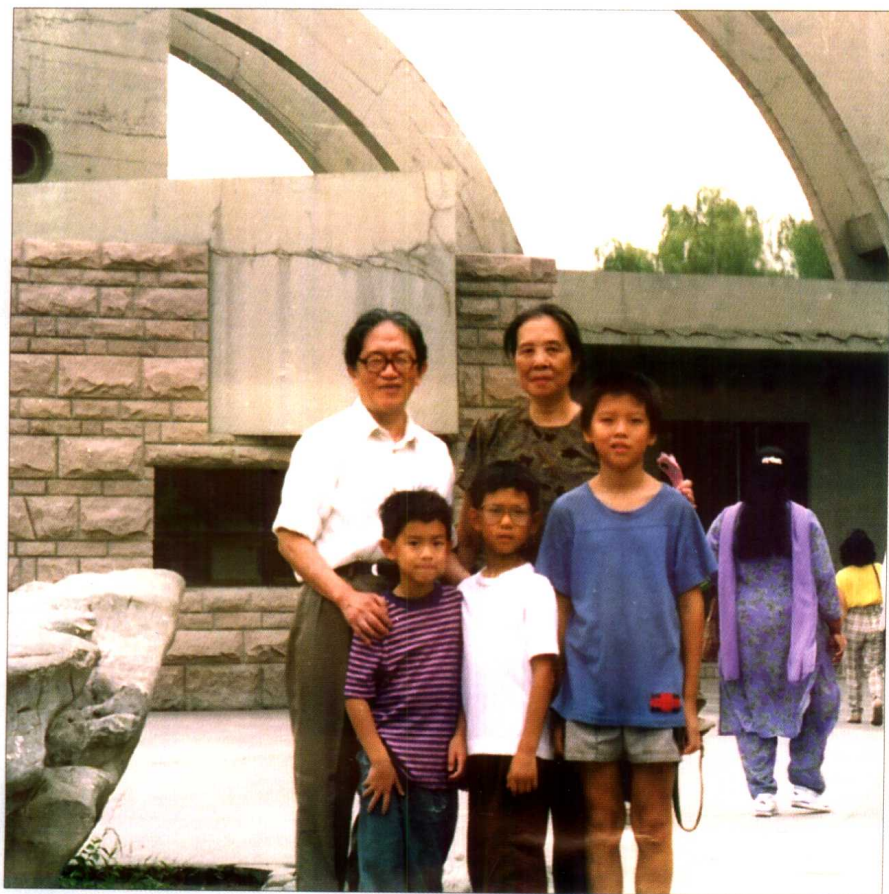
787×1092 16 开本 21.125 印张 325 千字

1999 年 6 月第一版 1999 年 6 月第一次印刷

定 价: 43.00 元



1980 年胡济民院士访问 Berkeley 分校



胡济民院士与夫人钟云霄教授及孙子们在动物园

北京大学资源集团出版基金资助出版

谨以此书献给北京大学校庆 100 周年

《北京大学院士文库》编委会名单

主 任：陈佳洱

副主任：王义道

委 员：（按姓氏笔画为序）

王 选 甘子钊 巩运明

侯仁之 赵亨利 姜伯驹

徐光宪 翟中和

序

最近,北京大学出版社告诉我,北京大学资源集团设立出版基金,资助出版一套《北京大学院士文库》,为北京大学的中科院院士和工程院院士每人出一本学术专著或学术论文集,以记载他们为祖国的科学技术事业所作出的贡献。北大出版社邀我为这套书写个序。

考虑到我较长时间在中国科学院工作,为科学家树碑立传,把他们的伟业记载下来并留传给后人,自然是我应该大力支持的事情。同时,我也曾在北大学习过,这些院士中有的就是我过去的老师,他们对我精心培育的情景,使我终生难忘;有的曾是我的同学或同事,我们之间有着非常深厚的友谊,他们为科学事业无私奉献的精神,给我留下了极为深刻的印象,至今历历在目。无论从工作上考虑还是从师生、同事情义出发,我都愿意为这本书写个序。

我认为,北京大学出版社出版《北京大学院士文库》这套书,是一件非常有意义的事。

首先,《北京大学院士文库》将为我国科学技术文献宝库增添新的内容。北京大学是我国一所著名的高等学府,也是世界上一所有影响的大学。它不仅为国家培养了大批栋梁之材,而且为国家提供了大批重要的科技成果,成为我国一个重要的科学中心。在这所大学里聚集了一批我国最著名的专家和学者,其中仅就自然科学而言,就有中科院院士和工程院院士 30 人。他们中既有学识渊博、造诣精深、蜚声中外的老专家、学者,也有一批成绩卓著,近年来为祖国科学技术事业作出过重大贡献的中年学者。他们在我国科学技术发展史上占有重要的地位,是我国科技大军中的中坚力量。现在,北大出版社把他们的科学技术著作收集起来,集中出版,无论是他们当年成名之作,还是新发表的学术专著和学术论文,都将为我国科

学技术文献宝库增添重要的内容。

其次,《北京大学院士文库》还将为我国科学技术事业的发展提供宝贵的经验。这套学术文库不仅完整地记载了这些学术大师的发明和创造,而且还生动地描绘了他们在不同历史时期为科学事业奋斗的历程。他们以亲身的经历,丰富的史料,独特的见解,深奥的思想,总结了科学技术发展的规律。例如,科学家最需要什么样的支持,在什么样的条件下最容易出成果等。这里既有成功的经验,也有失败的教训;既有成功的喜悦,也有受挫的苦恼。有的院士还从他们的切身感受出发,对我国科技人才的培养,科技体制的改革提出了很好的建议。这些都为我们科技管理部门和科技管理工作,特别是为我国制定有关的科技政策,提供了很好的经验和借鉴。

第三,《北京大学院士文库》不仅是一套科学技术著作,而且是一套富有教育意义的人生教科书。这套文库详细地记载了这30位科学家的学术成就,也如实地记载了他们的人生经历。他们不仅学问好,而且人品好。他们的一生是在爱国主义旗帜下,为科学事业奋斗的一生。他们通过自己的勤奋努力,走了一条成功之路。他们的成功经验无论对年轻人,还是对一切有志于献身科学事业的人,都有极好的教育意义。

最后,我向这30位院士为祖国科技事业作出的贡献表示衷心的感谢!对《北京大学院士文库》的出版表示热烈的祝贺!也希望能有更多的科学家的学术著作和传记问世,因为科学是推动我们社会发展的强大动力。

中国科学院院长

周光召

1996年10月

序

北京大学出版社决定编辑出版《北京大学院士文库》，这件事情很有意义，我非常赞成。

从世界高等教育的发展看，教师是大学的核心，他们构成学校的基调。世界一流大学都具有很强的教师阵容，拥有一批世界公认的学术权威和知名学者。正是他们能够培养出世界公认的优秀人才。其中一部分毕业生能够成为当代世界政治、经济、文化、科学领域里的杰出代表。同时，他们能够取得重大的科研成果，特别是在基础研究方面，能取得具有划时代意义的科研成果。

在中国科技、教育界，院士是最高学术水平的象征。他们对国家科学技术的发展起着相当重要的作用。北大是拥有院士最多的大学，北大人一直为此而自豪。北大的几十位院士可分为两部分，一部分是老院士，他们在中国科学院成立之初就因为各自取得的成就而成为最早的一批院士（当时称学部委员）。这些老院士德高望重、学风严谨、蜚声国内外，为北大乃至中国的科学技术和文化事业的发展作出了奠基性贡献。他们当中有理科的王竹溪、叶企孙、江泽涵、许宝騄、周培源、胡宁、段学复、饶毓泰、黄昆、张青莲、黄子卿、傅鹰、汤佩松、李继侗、张景钺、陈桢、乐森珩等教授。北大的盛名，在很大程度上是与这些堪称大师的第一代院士的名字联系在一起的。这一长串院士名单，奠定了北大在中国学术界、科学界的地位。谈起他们，像我这样的后辈无不怀有敬仰之情。他们像一块块强力磁铁，吸引着一代代中华学子到燕园求学，在他们的教诲、指导、影响下，新中国急需的大批优秀人才源源不断地从北大培养出来，成为社会主义建设的栋梁之材。当院士文库推出的时候，这些老院士当中已有不少人离开了我们，但他们为北大、为国家建立的功勋，他们的英名将永远为人们铭记！

北大的学术生命是长青的，继第一批院士之后，80年代、90年代，北大又一批理科教师，其中许多是建国以后培养出来的，成为中

国科学院院士和中国工程院院士,他们可以说是北大那些与新中国风雨同舟、不畏清贫、不怕艰险、为教育和科学事业执着奉献的中年教师的代表,是今日北大的骨干依靠力量、学术中坚。

人类就要进入 21 世纪,北大也即将迎来建校 100 周年,当此世纪交替之际,北大雄心勃勃地提出:到 21 世纪初叶建成世界一流的社会主义大学。这是一个需要为之付出极其艰苦努力的、振奋人心的目标。以院士为代表的一流教师队伍是我们实现这一目标在学术上的最重要依托。有这样一支老年、中年教师队伍,再加上我们正在迅速成长起来的生气蓬勃、富有想象力和创造力、奋发向上、成为北大未来希望所在的青年教师,我们的目标是一定能够达到的。

院士们的工作成就,有很多都是在相当困难的条件下取得的,他们的奋斗精神和他们的成果一样,都是我们建设世界一流大学的宝贵财富和源泉。为院士出版文集,将他们的代表性学术成果或成名之作结集出版,是对院士们成就的肯定,也将使人们从他们的奋斗足迹中,得到某种启迪和鼓舞。院士文库将为我校的学术宝库增添重要的内容,成为哺育青年学生成长的极好教材。

北大出版社的决定得到了北大资源集团的热情支持,他们出资建立北大资源集团出版基金,资助院士文库的出版。我作为北大校长和一个院士、一个教师,要向北大出版社和北大资源集团为学术专著的出版和学校建设所作的努力表示敬意!

北京大学校长
中科院院士

陈佳洱

1997 年 1 月

前 言

原子核裂变作为利用原子能的基础,在核物理学中备受人们的注意。核裂变也是核体系的一种极端复杂的运动形态。在二十多年前,由于核数据计算的需要,我才开始注意各种裂变现象和理论,此后陆续做了些工作。关于裂变的研究,是在技术物理系原子核理论教研室王正行、郑春开等以及重离子研究所包尚联、樊铁栓等的多年合作以及历届研究生努力工作中完成的,特别是和我妻子钟云霄的长期合作,完成了大部分的研究工作。这里,也要感谢中国核数据中心、国家教委博士点基金和中国自然科学基金对这些研究工作经费上的支持。

在编写《原子核理论》一书时,在第二卷专门编写了原子核裂变一章,对有关核裂变的知识,做了有选择的介绍。但是由于篇幅的限制,许多重要方面,未能逐一论列;总希望能把重要的实验和理论知识以及一些史实收集编成一书。感谢北京大学出版社提供了这样一个机会。

在本书的写作过程中,也得到我妻子钟云霄的鼓励与协助,并帮助我整理了全部书稿。

核裂变的研究是一个长期的任务,希望本书的出版将有利于进一步开展裂变研究工作,并对其他感兴趣的读者也有所帮助。

作者 胡济民

内 容 简 介

核裂变是核科学的一个重要方面。研究核裂变不仅对国防建设与经济建设有重大意义,而且对原子核内部运动的深入了解也有极大帮助。

本书是作者在 20 多年来对核裂变物理做了许多研究工作的基础上写成的。它比较全面、系统地介绍了核裂变物理学的研究现状、各种理论与模型,并引用了大量的实验事实与理论相比较。由于人们对核裂变的了解,还远没有达到完善的地步,因此作者在介绍核裂变理论模型时,也常对理论发展方向做些推测,提出了需要继续深入研究的问题。

本书内容深入浅出、理论比较系统全面,所用公式均有说明或详细推导,适合于核科技研究人员参考和研究生阅读。

目 录

第一章 核裂变的发现	(1)
§ 1.1 发现核裂变的前奏——人工放射性与中子核反应	(1)
§ 1.2 铀的困惑与裂变的发现	(3)
1.2.1 罗马实验室的开创性工作	(3)
1.2.2 德国和法国实验室的后续工作	(5)
1.2.3 深刻的科学洞察力和精密的实验最终导致裂变的发现	(7)
§ 1.3 核裂变的机制	(9)
§ 1.4 链式反应的实现	(12)
§ 1.5 核裂变研究的意义与内容	(17)
参考文献	(19)
第二章 裂变位能曲面	(20)
§ 2.1 形变参量的选择	(20)
2.1.1 用球坐标描写的形变参量	(20)
2.1.2 用柱坐标描写的形变参量(Funny Hills 参量)	(22)
2.1.3 小形变的描述——轴对称椭圆	(23)
2.1.4 卵形线(Cassinian Ovaloids)	(24)
2.1.5 非轴对称形状	(25)
§ 2.2 液滴模型的位能曲面	(25)
§ 2.3 有限力程模型	(30)
§ 2.4 转动核的裂变位垒	(35)
§ 2.5 位能曲面的壳修正理论	(36)
§ 2.6 位能曲面的微观计算	(49)
参考文献	(56)
第三章 惯性及耗散	(58)
§ 3.1 液滴模型计算动能	(58)
3.1.1 无旋液滴的方法	(58)

3.1.2 Werner-Wheeler 方法	(60)
§ 3.2 耗散函数的经典模型	(61)
3.2.1 一体模型	(61)
3.2.2 二体模型	(64)
§ 3.3 质量张量的微观计算	(65)
§ 3.4 转动惯量的微观理论	(69)
§ 3.5 核的能级密度	(71)
参考文献	(77)
第四章 裂变几率	(78)
§ 4.1 自发裂变	(78)
4.1.1 关于自发裂变的实验状况	(78)
4.1.2 自发裂变半衰期的理论计算方法	(81)
§ 4.2 重离子放射性衰变与冷裂变	(87)
4.2.1 重离子放射性的发现	(87)
4.2.2 模型理论简况	(88)
4.2.3 冷裂变现象	(90)
§ 4.3 激发核的裂变几率	(91)
4.3.1 实验情况	(91)
4.3.2 裂变道理论	(93)
4.3.3 裂变几率的统计公式(Bohr-Wheeler 公式)	(94)
§ 4.4 裂变同质异能素 ^[17]	(100)
4.4.1 裂变同质异能素的发现与测定	(100)
4.4.2 双峰位垒的穿透几率与共振	(102)
4.4.3 裂变同质异能态的核谱	(107)
§ 4.5 位垒参数的确定	(111)
4.5.1 同质异能态的半衰期	(111)
4.5.2 裂变同质异能素产生的激发曲线	(114)
4.5.3 低激发能裂变截面的拟合	(119)
§ 4.6 理论与实验的比较	(125)
4.6.1 关于位垒参数计算与拟合值的比较	(125)
4.6.2 Th 异常和位能曲面第三谷	(127)
参考文献	(131)

第五章 裂变后现象	(133)
§ 5.1 裂变的全过程	(133)
§ 5.2 碎片的质量和电荷分布的测定方法	(134)
5.2.1 放射化学方法	(135)
5.2.2 测定质量的物理方法	(135)
5.2.3 测定电荷的物理方法	(137)
§ 5.3 裂变碎片的质量分布	(138)
5.3.1 铀系区	(138)
5.3.2 较高激发能的铀系核裂变	(144)
5.3.3 比 Es 更重的核的裂变质量分布	(146)
5.3.4 Ra—Ac 核素的裂变质量分布	(148)
5.3.5 裂变质量数 $A_f = 213 \sim 200$ 核的质量分布	(150)
§ 5.4 裂变碎片的电荷分布	(155)
5.4.1 总体电荷分布 $Y(Z)$	(155)
5.4.2 同质量数碎片的电荷分布	(158)
§ 5.5 裂变碎片动能	(163)
5.5.1 裂变总动能的分布及其平均值	(163)
5.5.2 碎片动能与质量的关系	(170)
5.5.3 规定碎片质量的碎片动能分布	(177)
§ 5.6 裂变碎片的角分布	(180)
5.6.1 低能粒子引起的裂变碎片的角分布	(182)
5.6.2 光致裂变的碎片角分布	(184)
5.6.3 高激发态裂变的碎片角分布	(187)
5.6.4 垒下熔合裂变的碎片角分布	(190)
§ 5.7 裂变中子与 γ 射线	(191)
5.7.1 裂变瞬发中子	(192)
5.7.2 裂变瞬发 γ 射线	(204)
5.7.3 裂变缓发中子及 γ 射线	(207)
参考文献	(210)
第六章 裂变动力学	(212)
§ 6.1 原子核裂变的动力学方程和裂变碎片总动能的计算	(212)
§ 6.2 朗之万方程及其应用	(214)

§ 6.3	Fokker-Planck 方程	(216)
§ 6.4	一维 Fokker-Planck 方程和 Smoluchowski 方程	(220)
6.4.1	一维 Fokker-Planck 方程	(220)
6.4.2	Smoluchowski 方程及其解	(222)
§ 6.5	裂变几率的近似计算方法	(224)
6.5.1	Bohr-Wheeler 公式	(224)
6.5.2	Kramers 公式	(227)
§ 6.6	裂变后的能量分布与质量分布	(231)
参考文献		(235)
第七章	裂变的理论模型	(236)
§ 7.1	裂变的微观理论	(236)
7.1.1	HF 近似及时间有关 HF(TDHF)近似	(236)
7.1.2	Hartree-Fock-Bogoliubov 方法(HFB 方法)	(241)
§ 7.2	裂变的统计模型	(245)
§ 7.3	裂变的模式理论	(250)
7.3.1	质量分布与裂变模式	(250)
7.3.2	多模式裂变的其他证据	(254)
7.3.3	裂变的模式理论	(261)
参考文献		(268)
第八章	其他裂变现象	(269)
§ 8.1	重离子裂变	(269)
8.1.1	裂变碎片的质量分布与动能分布	(270)
8.1.2	裂变与粒子发射	(271)
8.1.3	线性动量转移	(274)
§ 8.2	多重裂变	(276)
8.2.1	轻粒子发射的几率	(276)
8.2.2	粒子的动能分布	(280)
8.2.3	轻粒子的角分布	(283)
8.2.4	轻粒子发射与其他裂变变量的关联	(284)
8.2.5	稀有的裂变事件	(288)
8.2.6	轻粒子释放机制	(289)
§ 8.3	轻核的裂变	(291)