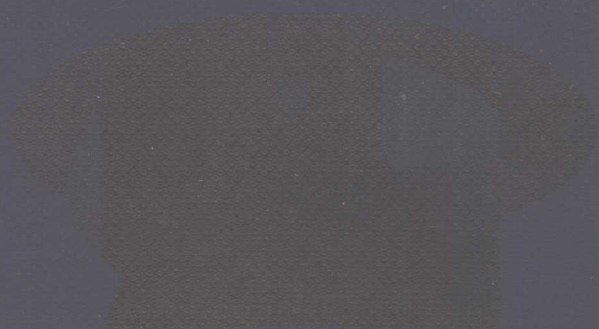




量子·空间
物理·大陆



图书在版编目(CIP)数据

粒子·空间·细胞·大脑/唐孝威等著. —南宁:广西科学技术出版社, 2004. 5
ISBN 7-80666-306-1

I. 粒... II. 唐... III. 科学技术-文集
IV. G301-53

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2004)第 095961 号

粒子·空间·细胞·大脑

唐孝威 等著

*

广西科学技术出版社出版

(南宁市东葛路 66 号 邮政编码 530022)

广西新华书店发行

广西民族印刷厂印刷

(南宁市明秀西路 53 号 邮政编码 530001)

*

开本 890mm×1240mm 1/16 印张 24.25 插页 1 字数 765 000

2004 年 5 月第 1 版 2004 年 5 月第 1 次印刷

ISBN 7-80666-306-1

定价:38.00 元

Q·0

本书如有倒装缺页,请与承印厂调换

前言

自古以来,人类就想了解深奥的自然之谜,其中包括物质的结构、宇宙的演化、生命的起源和思维的本质。粒子、宇宙、生命和思维一直是人类探索自然的前沿。

唐孝威院士是新中国培养的一位科学家,他的科学生涯是绚丽多彩的。1949年中华人民共和国成立时他进入大学学习,大学毕业后就参加我国原子能事业的创业,他研制过仪器,勘探过铀矿,监测过环境。其后他长期在国防科研基地从事我国国防科学研究,并做出了重大贡献。在此之后,他又在多种学科领域进行基础研究和应用研究,他曾经先后从事粒子、空间、细胞和大脑的实验研究,以及相关的实验技术的研究。

在粒子研究方面,他进行过非加速器粒子物理实验,还曾经参加丁肇中教授领导的马克-杰实验和 L3 实验的国际合作,马克-杰组在实验上发现传递强相互作用力的基本粒子——胶子, L3 组在实验上证实自然界存在三代中微子。在空间研究方面,他进行过我国卫星空间辐射测量,后来又参加阿尔法磁谱仪(AMS)国际合作实验,探寻空间反物质和暗物质。在细胞研究方面,他进行过细胞运动和细胞分裂的实验,曾经总结活细胞内部的运动定律,还提出活细胞内部分子涨落的概念。在大脑研究方面,他进行过工作记忆的实验以及脑功能成像的研究,曾经总结脑区激活与相互作用的定律,还提出脑内信息加工量子化的概念。在实验技术方面,他曾经对多种核探测器进行过研究。

本书是从他的以及他和同事们合作的、在国内外学术刊物上发表过的400多篇科学论文中,选择有代表性的、与上述五个方面有关的一部分科学论文汇编而成。读者可以从中了解他们在粒子、空间、细胞、大脑和技术方面进行实验探索的情况,并且得到有关领域的一些科学知识。

本书分为五个部分,即粒子研究、空间研究、细胞研究、大脑研究和实验技术。粒子研究部分包括粒子物理学和原子核物理学方面的工作。空间研究部分包括空间粒子物理学方面的工作。细胞研究部分包括细胞生物学方面的工作。大脑研究部分包括脑科学和心理学方面的工作。实验技术部分包括核探测器方面的工作。在每个部分的前面,都加一个引言,对所选各篇论文逐一作简明的注释。在每个部分中,论文按发表年代排列。

此外,书中还编入唐孝威院士的简历作为附录。

2004年5月

目

录

CONTENTS

4

粒 子

引言	3
MEASUREMENT OF THE PANOFSKY RATIO BY THE METHOD OF GAMMA-GAMMA COINCIDENCES A. F. Dunaitsev, V. S. Pantuev, Yu. D. Prokoshkin, Tang Syao-wei and M. N. Kha- chaturyan	9
级联簇射的研究 唐孝威	11
在氢和氘中寻找正的单电荷重粒子 王朝俊 何景棠 张英平 郑志鹏 唐孝威	17
DISCOVERY OF THREE-JET EVENTS AND A TEST OF QUAN- TUM CHROMODYNAMICS AT PETRA MARK-J Collaboration	23
MEASUREMENT OF CHARGE ASYMMETRY IN $e^+ e^- \rightarrow \mu^+ \mu^-$ MARK-J Collaboration	28
GAMMA-RAY ENERGY SPECTRUM FROM ORTHOPOSITRONI- UM THREE-GAMMA DECAY Chang Tianbao, Tang Hsiao wei and Li Yaoqing	33
SEARCH FOR HEAVY NEUTRINOS IN ELECTRON CAPTURE	

Tang Xiaowei (唐孝威), Liu Nianqing (刘年庆)	37
SEARCH FOR AXIONS IN ORTHOPOSITRONIUM DECAY	
Tang Xiaowei (唐孝威)	40
相对论性氧原子核二分裂事例的观测 郑蒲英 唐孝威	43
EXCLUSIVE MEASUREMENT OF A QUARTERNARY FRAGMENTATION EVENT OF RELATIVISTIC OXYGEN NUCLEUS IN EMULSION Tang Xiaowei (唐孝威), Sun Shurong (孙淑荣) and Zheng Puying (郑蒲英)	
45	
MEASUREMENT OF PHOTON POLARIZATION FROM THE THREE-PHOTON ANNIHILATION OF ORTHOPOSITRONIUM	
J. B. Ye, B. Z. Yang, X. W. Tang and Q. Zhu	47
EXPERIMENTAL STUDY OF 3-PHOTON ANNIHILATION OF POSITRONS AND ELECTRONS Tang Xiaowei (H. W. TANG 唐孝威)	
50	
A DETERMINATION OF THE PROPERTIES OF THE NEUTRAL INTERMEDIATE VECTOR BOSON Z^0 L3 Collaboration	
58	
A PRECISION MEASUREMENT OF THE NUMBER OF NEUTRINO SPECIES L3 Collaboration	
69	
ULTRA-HIGH SENSITIVE STUDY OF THE IDENTITY OF β^- RAYS WITH ATOMIC ELECTRONS Tang X. W., Wu Y. G., Zhang S., Chen Q. W. and Xie X. Q.	
81	

空 间

引言	85
SEARCH FOR FOSSIL TRACKS FORMED BY COSMIC NUCLEARITES IN METEORITES Cui Huanhua (崔浣华), O. Eugster, Ke Wei (柯巍), P. Le Coultre, Tang Xiaowei (唐孝威)	
87	
用卢瑟福背散射方法研究陨石中的超重核块 刘世杰 谢葆珍 吴越 唐孝威	
89	
STUDY OF NUCLEAR TRACKS IN EMULSION CARRIED BY	

CHINESE SATELLITE

Chinese High Energy Emulsion Collaboration	91
SEARCH FOR ANTIHELIUM IN COSMIC RAYS AMS Collaboration	95
PROTONS IN NEAR EARTH ORBIT AMS Collaboration	104

细 胞

引言.....	119
DISCUSSION ON THE FORCE FOR CHROMOSOME MOVEMENT	
DURING ANAPHASE Tang Xiaowei (唐孝威)	125
The SALTATORY MOVEMENT AND THE BROWNIAN MOVE-	
MENT OF PARTICLES IN LIVING CELLS Tang Xiaowei	128
花粉管生长和内部颗粒运动的定量测量 唐孝威 刘国琴 杨焰	
郑文莉 吴碧初 聂大同	130
活细胞内胞质微粒拟布朗运动的研究 唐孝威 孙大业 聂大同 申彤	135
活细胞内细胞器转动理论 唐孝威	138
FRACTAL PROPERTY OF THE CYTOSKELETON IN THE LIVING	
CELLS Tang Xiaowei, Liu Jinbo and Wu Bichu	140
花粉管胞质颗粒运输的流动轨道系统 阎隆飞 唐孝威 刘国琴	144
DISCUSSION ON THE CHROMOSOME OSCILLATION DURING	
METAPHASE Tang Xiaowei	147
EXPERIMENTAL STUDY OF MOLECULAR FLUCTUATION IN	
THE LIVING CELLS Tang Xiaowei, Liu Jinbo and Wu Bichu	150
MITOTIC DYNAMICS Tang Xiaowei (唐孝威)	153
INTRACELLULAR MOTION BASED ON MOLECULAR MOTORS	
Tang Xiaowei (唐孝威)	159
MOLECULAR FLUCTUATION IN LIVING CELLS Tang Xiaowei (唐孝威)	164
EFFECTS OF HIGH STATIC MAGNETIC FIELDS ON GROWTH	
AND DEVELOPMENT OF YOUNG RATS Zhu Guoqing, Zhang Huixiu,	
Zhang Jingxing, He Yanlong, Wang Min, Chen Jinglin, Liu Xiaoning,	

Liu Zhimin and Tang Xiaowei	170
MESHWORK SUPPORTED FLUID FILM MODEL OF CELL MEMBRANES	
Tang Xiaowei (唐孝威)	174
HYPOTHESIS OF INTRACELLULAR SIGNALING BASED ON	
THE CYTOSKELETON NETWORK Tang Xiaowei (唐孝威) ,	
Ding Mingxiao (丁明孝)	176
关于膜蛋白侧向限制扩散的讨论 唐孝威	178
QUANTITATIVE STUDY OF SALTATORY MOVEMENT OF IN-	
TRACELLULAR PARTICLES IN THE LIVING CELLS	
Tang Xiaowei (唐孝威) , Wang Xin (王昕) and Yang Ning (杨宁)	181
DOMAINS OF LOCALIZED MOVEMENT OF INTRACELLULAR	
PARTICLES IN THE LIVING WATER-MOLD CELLS	
Tang Xiaowei (唐孝威) , Wang Xin (王昕) and Yang Ning (杨宁)	185

大 脑

引言	191
SHORT-TERM MEMORY AND ITS BIOPHYSICAL MODEL	
Wang Wei, Zhang Kai and Tang Xiaowei	196
短时记忆的生物物理学模型 张凯 王炜 唐孝威	200
视空间和听觉数字记忆的混合广度 张达人 江雄 唐孝威	205
短时系列记忆实验的新的定量分析方法 唐孝威 陈湘川 张达人	210
视空间定位的短时记忆的超广度研究 陈湘川 张达人 唐孝威	214
ENCODING AND RETRIEVAL PROCESSES IN SHORT TERM	
MEMORY Zhang Daren (张达人) , Tang Xiaowei (唐孝威) ,	
Chen Xiangchuan (陈湘川) and Wan Jun (万俊)	219
脑内信息加工的不连续性假说 唐孝威 孙复川	224
视、听双重记忆原序报告成绩下降的可能的原因 张达人	
唐孝威 陈湘川 谢恒	226
CENTRAL EXECUTIVE OF WORKING MEMORY Zhang	

Daren (张达人) and Tang Xiaowei (唐孝威)	231
基于 PET 实验的脑功能的知因假说 唐孝威	238
脑激活定律 唐孝威	239
选择性注意的统一模型 唐孝威 郭爱克	241
论脑内信息加工的模式转变 唐孝威	243
突触可塑性的数学公式 唐孝威	247
脑激活水平和主观体验强度的定量关系 唐孝威 孙复川	249
意识的计算神经科学研究 汪云九 唐孝威 Wu Jianyong (吴建永) 周昌乐	252
老年性痴呆病人早期记忆损害的检测方法 陈湘川 解恒革 张达人 王鲁宁 陈隆隆 唐孝威	258
神经元簇的层次性联合编码假设 唐孝威 吴义根 单保慈 曾海宁	263

实验技术

引言	269
π^- STAR DETECTOR A. F. Dunaitzev, Yu. D. Prokoshkin and Tang Syao-wei	274
可控制脉冲供电计数管 (I) 唐孝威	282
INVESTIGATION OF SELF-QUENCHING STREAMER DIS- CHARGE Tang Hsiao-Wei, Du Yuan- Tsai and Sun Xiao-An	294
两维漂移室的结构和性能 前后向漂移室组	304
EXPERIMENTAL STUDY OF SELF-QUENCHING STREAMER DISCHARGE Li Zhongzhen (李忠珍) and Tang Xiaowei (唐孝威)	311
L3 强子量能器第一个模块正比室的研制 王孟奇等	315
THE PERFORMANCE OF AN L3 HADRON CALORIMETER PROTOTYPE MODULE WITH BGO C. Chen, et al.	320
PROPORTIONAL CHAMBERS FOR THE BARREL HADRON CALORIMETER OF THE L3 EXPERIMENT L3 Collaboration	333
SEMIEMPIRICAL LAW OF THE NON-PROPORTIONALITY OF PROPORTIONAL CHAMBERS Tang Xiaowei	345
SOME PROPERTIES OF THIN GAP GAS CHAMBERS H. Hofer, et al.	349

重离子轰击过的 MoS_2 表面的扫描隧道显微镜观测	翟鹏济等	354
INVESTIGATION ON GAS DISCHARGE OF PROPORTIONAL AND LIMITED PROPORTIONAL MODES	Tang Xiaowei	358
A NUCLEAR DETECTOR WITH SUPER-HIGH SPATIAL RESO- LUTION	Tang Xiaowei, Yao Junen and Zhai Pengji	366
ELECTROMAGNETIC CALORIMETER WITH THIN GAP WIRE CHAMBERS	C. Chen, et al.	368
附录一 英汉关键词		375
附录二 唐孝威院士简历		378

粒子

引 言

对物质微观世界的探索是自然科学研究的一个重要方面。在自然界中存在强相互作用、电磁相互作用、弱相互作用和引力相互作用四种相互作用力,存在夸克、轻子以及传递相互作用力的各种粒子。

目前在粒子物理理论方面用标准模型来描述粒子间相互作用的规律。在标准模型中,强相互作用的理论是量子色动力学,电磁相互作用和弱相互作用则由电弱统一理论来描述。在粒子物理实验方面,正在对标准模型进行定量的实验检验,并精确确定其中的基本参量,同时也在探索超出标准模型的新的物理现象。

本书粒子研究部分的论文包括两方面工作,一是测量粒子特性,二是探寻新粒子。

下面按所选论文发表先后,对各篇论文依次作简短的注释。论文的内容有: π^- 介子实验,级联簇射,探寻超重氢,胶子三喷注, μ^- 角分布,三光子 γ 谱,重中微子,探寻轴子,氧核二分裂,氧核四分裂,隐参量检验,三光子湮灭,中间玻色子,中微子代数和 β 射线本性。

1.1 π^- 介子实验

1959年发表的“用 $\gamma-\gamma$ 符合方法测量潘诺夫斯基比值”(MEASUREMENT OF THE PANOFSKY RATIO BY THE METHOD OF GAMMA-GAMMA COINCIDENCES)一文(本书第9页~第10页)报道了质子吸收 π^- 介子的实验。

这个实验的目的是研究 π 介子与核子的相互作用。停止的 π^- 介子被质子俘获,产生两种反应,一种是产生 π^0 介子和中子,其中 π^0 介子又衰变为两个 γ 光子,另一种是产生单能光子和中子。这两种反应概率的比值通常被称为潘诺夫斯基比值。由于这两种反应放出的 γ 光子的能量不同,前人的实验中多是测量这两种反应放出的 γ 光子的能谱,从而定出这个比值。其中有些实验虽然所用的测量方法完全相同,但是得到的结果相差很大。

这篇论文设计了一种新的实验方法来测量这个比值。因为在前一种反应中同时放出两个以相反方向飞行的 γ 光子,而在后一种反应中只放出单个 γ 光子,所以可以用 γ 计数器望远镜和 $\gamma-\gamma$ 符合方法分别记录这两种反应放出的 γ 光子。

在680 MeV同步回旋加速器上引出 π^- 介子束后,使它们停在液氢靶中,用 γ 计数器望远镜和 $\gamma-\gamma$ 符合方法测量上述两种反应的计数,从而求得两种反应概率的比值。这个实验测得的潘诺夫斯基比值,与由光子产生 π 介子的反应的数据和 π 介子-核子散射的数据推算出的理论预期值相符。

1.2 级联簇射

电磁级联簇射实验的目的是研究高能电子和光子与物质的相互作用。高能电子或光子在介质中产生电磁级联簇射,即入射高能光子在介质中产生高能正、负电子对,高能正、负电子在介质中行进时又产生轫致辐射,即高能光子,轫致辐射的高能光子在介质中行进时再产生正、负电子对……如此继续发展下去,就形成电磁级联簇射。随着穿入介质层深度的增加,簇射粒子(即次级电子和光子)的数目增加而平均能量降低,到一定深度的介质处,次级电子、光子的总数达到最大值,然后因为次级电子、光子的平均能量进一步降低,电磁级联过程就中止了。

前人曾经进行过测量电磁级联簇射的实验,但大多数实验是用宇宙线粒子进行的。在这些实验中,原始粒子的能量测量得不准确,所以实验结果不能和理论作精确的比较。在当时,用加速器上产生的单能电子束进行的电磁级联簇射实验只有一个,而这个实验中只测量次级粒子的能量损失,没有测量级联簇射中次级粒子的数目。

1961年发表的“级联簇射的研究”一文(本书第11页~第16页)报道了用单能电子束进行的电磁级联簇射实验,实验中测量级联簇射中次级粒子的数目随簇射发展深度的变化,即级联簇射曲线。

在680 MeV同步回旋加速器上,用 γ 光子束、铅转换片和偏转磁场,形成能量可调的单能电子束。实验上测量了单能电子束在铅和铜两种介质中的电磁级联簇射曲线,并与蒙特卡罗方法模拟的结果进行比较。在实验数据的基础上,给出了描述电磁级联簇射曲线的一些简单而实用的经验公式。还提出了测量高能电子和光子能量的几种新方法。

1.3 探寻超重氢

1977年发表的“在氢和氘中寻找正的单电荷重粒子”一文(本书第17页~第22页)报道了探寻可能存在于地球物质中的稳定的、带正的单电荷的重粒子的实验。在当时,在地球物质中寻找分数电荷重粒子的实验很多,但寻找整数电荷重粒子的实验还很少。

如果存在稳定的带正的单电荷的重粒子,它们会俘获电子而形成类氢原子,这个实验也是探寻可能存在于地球物质中的稳定的超重氢。因为这种超重氢的化学性质类似氢原子,所以实验中先由水和重水制备氢和氘样品,再在这些样品中寻找超重氢。

这个实验在电磁分离器上通过测量粒子的荷质比来寻找重粒子。在实验中用吸收法来排除杂质本底,用特制的薄窗正比计数管记录单个粒子,并且测量粒子的能量。实验扫描了重质量的区域,给出了天然水中正的单电荷重粒子浓度的上限值。

1.4 胶子三喷注

在高能正负电子对撞产生强子的事例中有喷注现象,即正负电子对撞产生强子,末态强子飞行方向的分布往往不是各向同性,而是集中在几个立体角很小的区域内,像是从正负电子碰撞点喷射出来的几束粒子注,因此称为喷注。

在高能正负电子对撞反应中,可以见到末态背靠背的两束强子喷注,称为二喷注现象。这个现象可以这样解释:正负电子湮灭形成微观火球,它衰变为一对正反夸克对;夸克产生后很快转化为许多强子,新形成的强子沿着原来夸克的运动方向,集中在立体角很小的区域内飞出,就表现为强子喷注。

三喷注现象是正负电子湮灭产生一对正反夸克对,其中夸克又辐射出一个胶子的过程。胶子产生后,和夸克类似,转化为许多强子。这些强子也沿着原来胶子的运动方向飞出,集中在立体角很小的区域中,表现为另一个喷注,因此除了由夸克、反夸克形成的两个喷注之外,还出现第三个喷注。

1979年发表的“三喷注事例的发现和 PETRA 对撞机上检验量子色动力学”(DISCOVERY OF THREE-JET EVENTS AND A TEST OF QUANTUM CHROMODYNAMICS AT PETRA)一文(本书第23页~第27页)报道了在佩特拉(PETRA)对撞机上用马克-杰探测器发现胶子三喷注的实验。马克-杰探测器的特色是可以测量包括中性强子和带电强子在内的强子能流和角分布。实验上获得了许多强子事例,用“扁度”方法进行分析,在能流图上明确地显示出三喷注的图像。

这个实验在分析三喷注现象时,首先要求每个好的三喷注事例中能量守恒而且动量平衡,否则事例是没有意义的。其次,仅仅从个别有三喷注形状的事例,还不足以确定它们是不是胶子喷注,必须对大量的事例进行分析,才能作出有统计意义的结论。此外,还要求把实验得到的事例率和事例形状与包括了胶子辐射在内的量子色动力学理论进行定量的比较。

这个实验对大量的三喷注事例的详尽分析表明,三喷注实验的结果和量子色动力学理论的预期值符合,确证了这个现象来自硬胶子的辐射,从而首次揭示了胶子喷注的存在。

1.5 μ^- 角分布

在正负电子对撞实验中,正负电子对撞前, e^- (负电子)有其运动方向,而 e^+ (正电子)的运动方向与之相反。 e^+e^- 湮灭后产生 $\mu^+\mu^-$ 对, μ^+ 和 μ^- 是背对背飞出的。但 μ^- 是朝 e^- 运动方向的同一侧飞出多一些呢?还是朝 e^- 运动方向相反一侧飞出多一些呢?这就是实验上测量 μ^- 角分布的前后不对称性要回答的问题。

把 μ^- 和 e^- 运动方向同一侧飞出的事例称为朝前事例,把 μ^- 和 e^- 运动方向相反一侧飞出的事例称为朝后事例。当正负电子对撞的总能量低时,因为电磁力起主要作用,朝前事例数和朝后事例数相同,所以 μ^- 角分布没有前后不对称性。但是按照电弱统一理论,当正负电子对撞的总能量提高后,弱作用力会有贡献,弱力和电磁力发生干涉效应。因为在弱作用中宇称是不守恒的,所以朝前事例数和朝后事例数就不一致,产生了 μ^- 角分布的前后不对称性。测量 μ^- 角分布的前后不对称性就可以检验电弱统一理论。

1982年发表的“ $e^+e^- \rightarrow \mu^+\mu^-$ 中电荷不对称性的测量”(MEASUREMENT OF CHARGE ASYMMETRY IN $e^+e^- \rightarrow \mu^+\mu^-$)一文(本书第28页~第32页)报道了用马克-杰探测器测量 μ^- 电荷不对称性的实验。在马克-杰探测器中安装了端盖部 μ^- 子室,保证了前后向区域对于 μ^- 子的接收度。在实验中用探测器的两种磁场极性,收集了同等数量的数据。

这个实验观测到在正负电子对撞总能量提高后,正负电子对撞产生的 μ^- 子电荷不对称性的现象。在当时, Z^0 和 W 粒子还没有发现, μ^- 子电荷不对称性现象的发现为电弱统一理论提供了实验证据。

1.6 三光子 γ 谱

电子偶素是由正、负电子组成的特殊原子,相当于在氢原子中的质子被正电子所取代。因为电子偶素是由带电轻子组成的单纯系统,所以它是检验量子电动力学理论的一个理想的实验系统。

正态(即三重态)电子偶素衰变为三个 γ 光子,这种衰变称为三光子湮灭或三光子衰变。三光子湮灭产生的三个 γ 光子的角度和动量有许多种可能的组合方式。用量子电动力学理论可以计算 γ 光子的能谱,若三个 γ 光子中任取一个 γ 光子,这 γ 谱是连续分布的,最小能量是0,最大能量是511 keV。

1985年发表的“在正态电子偶素三光子衰变的 γ 射线能谱”(GAMMA-RAY ENERGY SPECTRUM FROM ORTHOPOSITRONIUM THREE-GAMMA DECAY)一文(本书第33页~第36页)报道了测量三光子 γ 谱的实验。实验中用一个 ^{22}Na 放射源置于很轻的气凝硅胶中,作为正态电子偶素的源,这样可以减少散射 γ 射线。用具有精确时间道进行事例选择的一个高纯锗 γ 谱仪,对三光子 γ 谱进行了精密测量。此外,还用平衡过滤片对 γ 谱的低能段进行测量,最后得到了连续的 γ 谱的全谱。

这个实验测量的结果排除了由统计考虑的相空间理论谱,而与量子电动力学理论计算的结果符合得非常好。

1.7 重中微子

在原子核的 β 衰变中,原子核发射 β 射线,并有一定的概率同时放出一个 γ 射线。这个过程与 β 射线在外面介质中产生的轫致辐射不同。因为 γ 射线是在原子核衰变时放出的,所以称为内轫致辐射。

有的原子核会俘获原子内层轨道的一个电子,转变为另一种原子核,同时放出一个中微子,这个过程称为原子核的轨道电子俘获。和其他类型的 β 衰变一样,在原子核的轨道电子俘获中,也会有一定的几率放出一个 γ 射线,这称为伴随轨道电子俘获的内轫致辐射。伴随轨道电子俘获过程发射的内轫致辐射的 γ 射线具有连续能谱。

在20世纪80年代,国外有一个实验组宣称在氚 β 衰变实验中发现了质量为17 keV的重中微子。1986年发表的“在电子俘获中寻找重中微子”(SEARCH FOR HEAVY NEUTRINOS IN ELECTRON CAPTURE)一文(本书第37页~第39页)设计了一种新的实验方法,并进行了这方面的实验研究。这个实验通过测量伴随原子核的轨道电子俘获过程发射的内轫致辐射的 γ 射线能谱来寻找重中微子。由于

不测量 β 能谱而测量 γ 能谱,这个实验避免了测量低能 β 射线时 β 能谱易于发生畸变的困难。

如果在轨道电子俘获过程中存在轻中微子和重中微子的混合,而且反应能量足够大,可以发射重中微子,那么伴随轨道电子俘获过程发射的内轫致辐射 γ 能谱,将会包括发射轻中微子成分的内轫致辐射谱和发射重中微子成分的内轫致辐射谱两部分。根据轻中微子和重中微子混合的百分比,这两部分各占一定的比例。

这个实验表明,在测量到的伴随轨道电子俘获过程发射的内轫致辐射 γ 能谱中,并没有重中微子混合的迹象,否定了国外实验组关于存在重中微子的结论。根据实验结果给出了一定质量范围内重中微子混合强度的上限值。

1.8 探寻轴子

在粒子物理理论中曾有人尝试引入一种赝标中性玻色子,称为轴子,来说明强相互作用中 P 和 CP 守恒(P 是粒子的内禀宇称,C 是粒子的电荷共轭宇称)。在 20 世纪 80 年代,国外有一个实验组宣称在实验中发现了质量为 250 keV 的轴子。

1987 年发表的“在正态电子偶素衰变中寻找轴子”(SEARCH FOR AXIONS IN ORTHOPOSITRONIUM DECAY)一文(本书第 40 页~第 42 页)设计了一种新的实验方法进行这方面的研究。这个实验通过分析正态(即三重态)电子偶素衰变的 γ 能谱来寻找轴子。

如果轴子的质量小于两倍电子质量,它们就可能在正态电子偶素衰变中产生,上述质量为 250 keV 的轴子就满足这个条件。正负电子偶素的三光子衰变产生连续 γ 能谱,而轴子产生过程则会在这连续 γ 能谱上显示出一个单能的 γ 峰。这个实验就是在正态电子偶素衰变的 γ 能谱中寻找相应于轴子产生的单能 γ 峰。

这篇论文的实验表明,在观测能区没有这样的单能 γ 峰,否定了国外实验组关于轴子存在的结论。实验给出了一定能量范围内单光子与三光子之比的上限值。

1.9 氧核二分裂

随着高能重离子加速技术的发展,已经成功地把重离子加速到相对论性能量,为研究相对论性核-核碰撞创造了实验条件。在 20 世纪 80 年代,欧洲核子研究中心把氧原子核加速到每个核子 200 GeV 的能量,用这种氧原子核照射核乳胶,可以在核乳胶中详细观测和研究相对论性氧原子核和靶原子核的相互作用。

相对论性原子核与核乳胶中的原子核碰撞,入射的原子核称为弹核,被轰击的原子核称为靶核。在碰撞中弹核和靶核都可能碎裂,弹核碎裂的结果是入射原子核裂成许多碎片,它们集中在原来弹核的运动方向上,以非常小的角度继续向前飞行。氧原子核碰撞后碎裂的碎片中有比氧原子核轻的各种原子核,如碳原子核、氮原子核(即 α 粒子)、氢原子核(即质子)等等。至于靶核的碎片,则以较大的角度和较慢的速度飞出。

1988 年发表的“相对论性氧原子核二分裂事例的观测”一文(本书第 43 页~第 44 页)报道了实验观测到的相对论性氧原子核在核-核碰撞中发生的二分裂现象。氧原子核二分裂事例的产物是一个碳原子核和一个氮原子核。

对核乳胶中径迹的测量和分析表明,这个反应是入射的氧原子核和核乳胶中一个质子碰撞发生的反应。在反应中质子以大角度散开,同时氧原子核碎裂为一个碳原子核和一个氮原子核。在这个反应中没有观测到其他的次级带电粒子。在大约 100 个相对论性氧原子核和核乳胶的相互作用事例中,观测到一个这样的二分裂事例。

1.10 氧核四分裂

1988 年发表的“相对论性氧原子核在核-核碰撞中四分裂的遍举测量”(EXCLUSIVE MEASURE-

MENT OF A QUARTEARNARY FRAGMENTATION EVENT OF RELATIVISTIC OXYGEN NUCLEUS IN EMULSION)一文(本书第45页~第46页)报道了实验观测到的相对论性氧原子核在核-核碰撞中发生的四分裂现象。

在这个实验中,用欧洲核子研究中心加速器产生的每个核子能量为200 GeV的相对论性氧原子核照射核乳胶叠。核乳胶叠由每层厚度为600 μm 的核乳胶片叠合而成。氧原子核平行于核乳胶片平面入射。照射后经EMU-01合作组进行显影处理,再运回北京进行测量、分析和研究。

对核乳胶中径迹的测量和分析表明,这个四分裂反应是入射氧原子核和核乳胶中的一个质子碰撞发生的反应。反应中质子发生反冲,同时氧原子核分裂为四个氦原子核。在这个反应中没有观测到其他次级带电粒子。

这篇论文的实验中,弹核氧原子核是轻的原子核。在相对论性核-核碰撞中观测到的上述氧原子核四分裂现象,和前人在重原子核低能裂变反应中观测到的重原子核四分裂现象具有完全不同的机制。

在原子核内部,核物质可能有核子集团的组态,它们称为结团,例如在氧原子核内部核物质可能呈现碳原子核结团、氦原子核结团等结团。当相对论性氧原子核和靶核发生边缘碰撞时,氧原子核会碎裂为结团,如碎裂为一个激发态的碳原子核和一个氦原子核,其中激发态的碳原子核接着又分裂为三个氦原子核,总共产生四个氦原子核。这些氦原子核分离,并以它们原来的速度向前飞行,产物的发射角度是由氦原子核的费米运动造成的。这个实验观测到的这类碎裂事例,为氧原子核内部核物质存在结团结构提供了实验证据。

1.11 隐参量检验

量子力学的统计性是一个基本的物理问题。隐参量理论把量子力学的统计性归于存在未知的局域隐参量。前人曾经进行过一些检验局域隐参量理论的实验,例如测量来自正负电子二光子湮灭的光子相对线极化,实验结果与隐参量理论不符合。在不同的物理过程中用实验检验隐参量理论是有意义的。

1988年发表的“正态电子偶素三光子湮灭光子极化的测量”(MEASUREMENT OF PHOTON POLARIZATION FROM THE THREE-PHOTON ANNIHILATION OF ORTHOPOSITRONIUM)一文(本书第47页~第49页)报道了一个检验量子力学隐参量理论的实验。在这个实验中通过测量正态电子偶素三光子湮灭中一个光子相对于三光子平面的线极化来检验隐参量理论,用符合计数器和光子极化分析器测量光子线极化。实验测量结果和量子力学理论预期值符合,而不符合隐参量理论。

这篇论文还在正态电子偶素三光子湮灭的两个光子分别与第三个光子的夹角相等的条件下,测量三个光子相对于三光子平面的线极化随夹角的变化。实验结果也和量子力学理论预期值相符合。

1.12 三光子湮灭

电子及其反粒子正电子是自然界中最轻的带电粒子。一对低能的正负电子相遇,湮灭为电磁辐射,主要湮灭为两个光子(二光子湮灭)或三个光子(三光子湮灭)。它们是量子电动力学的基本过程,可以用正负电子与电磁场的相互作用来精确地描述。

过去由于实验技术的限制,低能的正负电子三光子湮灭的精确的实验研究还很少。现代实验技术的发展,如气凝硅胶电子偶素源、高分辨率 γ 谱仪、快电子学技术等,使得对低能的正负电子三光子湮灭过程进行精确的实验研究成为可能。

1989年发表的“正负电子三光子湮灭的实验研究”(EXPERIMENTAL STUDY OF 3-PHOTON ANNIHILATION OF POSITRONS AND ELECTRONS)一文(本书第50页~第57页)报道了低能正负电子三光子湮灭的实验。除前面已经提到的三光子 γ 谱和光子线极化的测量外,实验还测量了光子能量与角度的关联和光子的角分布,并且研究了用高分辨率 γ 谱仪测量低能正负电子三光子湮灭强度的方法。

1.13 中间玻色子

中间矢量玻色子 Z^0 粒子的质量和宽度是粒子物理标准模型的关键参量。实验上在 Z^0 粒子质量附近的能区中,细致地调节对撞机正负电子的总能量,测量 Z^0 粒子的产生率随着正负电子的总能量变化的曲线。根据实验测量得到的曲线中峰的位置,可以确定 Z^0 粒子的质量。

由这一曲线也可以确定 Z^0 粒子峰的宽度。 Z^0 粒子是不稳定的,会衰变成一对运动方向相反的正反轻子对,或衰变成夸克、反夸克对而形成强子喷注。 Z^0 粒子的各种衰变方式称为它的衰变道,各种衰变道的几率常用衰变道的分宽度来表示。

1990 年发表的“中性中间玻色子 Z^0 性质的确定”(A DETERMINATION OF THE PROPERTIES OF THE NEUTRAL INTERMEDIATE VECTOR BOSON Z^0)一文(本书第 58 页~第 68 页)报道了在莱泼(LEP)对撞机上 L3 探测器首次物理运行的实验结果。

基于 2 538 个强子事例,确定了 Z^0 粒子的质量和宽度。实验还给出了 Z^0 粒子衰变为电子对的分宽度的值,以及 Z^0 粒子衰变为 μ 子对的分宽度与衰变为强子的分宽度的比值。

1.14 中微子代数

在自然界中有几种中微子?这是粒子物理中的一个重要的问题。

Z^0 粒子是不稳定的粒子,通过 Z^0 粒子衰变的研究,可以在实验上回答在自然界中有几种中微子(也称为中微子有几代)的问题。

Z^0 粒子可以衰变为一对正反轻子或一对正反夸克。在许多衰变道中,衰变为正反中微子的道是实验上不能直接观测的,它们称为不可见的衰变道。 Z^0 粒子各种衰变道都具有一定的分宽度,它们表示衰变的几率。因为 Z^0 粒子衰变的总宽度等于强子道分宽度、带电轻子道分宽度和不可见的衰变道分宽度之和,所以在实验上测量了 Z^0 粒子衰变的总宽度、强子道分宽度及带电轻子道分宽度后,能够求出不可见的衰变道分宽度。而它又等于各种中微子道的分宽度之和。再利用标准模型算出的衰变为每一种中微子道的分宽度的值,就可以确定中微子的种类数。

1990 年发表的“中微子种类数的精确测量”(A PRECISION MEASUREMENT OF THE NUMBER OF NEUTRINO SPECIES)一文(本书第 69 页~第 80 页)报道了莱泼对撞机上 L3 实验的关于中微子种类数的实验结果。这篇论文用上述方法分析 L3 实验结果,确认自然界只有三种中微子,而没有第四种中微子。

1.15 β 射线本性

在原子核的 β 衰变中,原子核发射 β 射线。为了非常严格地证实 β 射线和原子中的电子完全相同,需要做高灵敏度的实验。前人曾经进行过基于泡利不相容原理的实验,通过对在靶中停止的 β 射线被靶原子俘获产生的特征 X 射线数目的观测,来研究 β 射线和原子中电子的等同性。

1990 年发表的“ β 射线与原子电子等同性的超高灵敏研究”(ULTRA-HIGH SENSITIVE STUDY OF THE IDENTITY OF β -RAYS WITH ATOMIC ELECTRONS)一文(本书第 81 页~第 82 页)报道了这方面一个新的实验。由于在实验中采用了高强度的 β 射线源、合适的靶材料和高分辨率的 X 射线探测器等新的实验技术,这个实验比以前人类似实验的灵敏度高七个数量级的水平,证实原子核 β 衰变发射的 β 射线和原子中电子等同。