



粒子物理学 国际发展态势分析

刘小平* 朱相丽 李泽霞 黄龙光 李乃畅

中国科学院国家科学图书馆 北京 100190

*通讯作者, E-mail: liuxp@mail.las.ac.cn

[摘要] 通过对1999—2008年间粒子物理学领域的科研论文和专利成果的定量分析, 结合定性调研, 表明粒子物理学研究主要集中美国、德国、日本、意大利、俄罗斯、中国、瑞士、法国、英国和印度这10个国家。目前, 粒子物理学的三大前沿是高能前沿、强度前沿和宇宙前沿。未来的发展趋势是利用三大前沿解决粒子物理学面临的10大科学挑战问题。

[关键词] 粒子物理学 科学计量分析 专利分析

1 引言

粒子物理学又称为高能物理学, 是物理学的一个分支学科, 研究比原子核更深层次的微观世界中物质的结构性质, 和在很高能量下这些物质相互转化的现象, 以及产生这些现象的原因和规律。随着研究的深入, 粒子物理研究的内容也在深化。粒子物理学是当代物理学发展的前沿之一, 将改变人们对自然的基本理解。粒子物理研究挑战人类的预想, 激励和推动着人类知识向着最基本的层面发展。粒子物理学以实验为基础, 同时又基于实验和理论的密切结合。

粒子物理学进行的物质微观结构的研究是各学科研究的基础。物质微观研究的成果和每一项进展在物理、化学、材料科学、生物、医学、农业等都有重大应用。粒子物理学实验的深入研究需要依靠高能量的加速器, 而高能量的加速器往往需要采用大量的先进技术, 如超导、精密机械、自动控制、计算机等的快速发展, 这些技术往往会在较短时间内对整个社会的高技术发展起到很大的推动作用。

随着2008年欧洲核子研究中心(CERN)的大型强子对撞机(LHC)的启动, 美国费米国家实验室的正负质子对撞机Tevatron停止运行, 世界最高能量的加速器研究已从

美国转移到欧洲, 粒子物理学研究正面临一个崭新的时代, 一个令人振奋的发现时代。为了抢占先机, 世界各国相继都在制定符合自己国情的发展战略与规划。2006年7月, CERN委员会向全世界宣布了欧洲粒子物理学研究战略。该战略是CERN迈出的重要一步, 它制定了一个推动欧洲引领全球不断进步的粒子物理学研究纲要。CERN通过这项战略将确保欧洲在粒子物理学领域与其他地区的合作与领导地位。2008年9月, 《欧洲天体粒子物理战略》发布, 标志着欧洲为谋求该领域的领导地位跨出了重要一步。2006年, 加拿大制定了未来10年粒子物理学发展远景。2008年, 在美国能源部和国家科学基金会的要求下, 美国粒子物理项目优化小组制定了美国未来10年粒子物理学发展战略规划。2009年, 英国制定了未来20年粒子物理学发展路线图。2009年, 日本高能加速器研究机构制定了未来5年发展路线图。在我国国务院发布的《国家中长期科学和技术发展规划纲要(2006—2020)》中, 明确指出21世纪物理学面临着粒子物理理论、统一所有作用力的理论、暗物质、暗能量等重大科学问题的重大挑战, 并将探索物质深层次结构和宇宙大尺度物理学规律列为八大科学前沿问题之一, 将粒子物理学研究的重要性提到了一个非常重要的位置。本文主要从文献计量的角度分析粒子物理的发展态势。



2 粒子物理学研究论文产出发展趋势

2.1 数据来源及方法

本研究采用ISI的INSPEC数据库作为分析数据源。利用关键词设计检索策略¹，选择1999-2008年10年的数据作为分析资料，数据采集时间为2009年11月，共检索到与粒子物理研究相关的论文为46 871篇。利用美国Thomson公司开发的分析工具TDA (Thomson Data Analyzer)进行分析。

2.2 论文数量的年度变化趋势

1999-2008年，有关粒子物理学的论文数量相对稳定，变化不大，趋于下降。1999年到2001年期间论文数量呈小幅上升的趋势，到2001年达到峰值，表明在1999-2001年期间，粒子物理研究活动相对比较活跃。2001-2005年，文献发表的数量一直在下降，但在其后又有波动式上升的趋势(见图1)。这一趋势只是研究论文发表的情况，与研究活动间存在一定的时滞(滞后)，因此研究活动的变化趋势要略早于论文发表的情况。

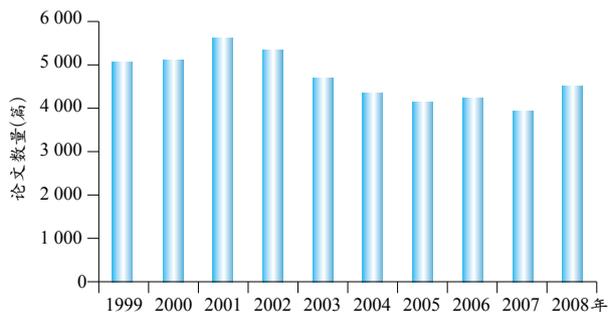


图1 1999-2008年粒子物理研究论文的年度变化趋势

2.3 论文学科分布

根据ISI Web of Science对期刊的学科领域分类，1999-2008年期间INSPEC收录的粒子物理学相关的论文学科分布排名前10的领域分别是：物理、数学、力学、工程学、仪器仪表、计算科学、天文学和天体物理学、

光谱学、化学，以及教育和教育研究。此外，部分论文还涉及了光学、热动力学和电化学等学科领域。但是绝大多数还是集中在物理领域，占99.24%。数学、力学、工程学和仪器仪表也是粒子物理学研究涉及的主要领域(见图2)。可见目前粒子物理学的交叉研究处在理论和应用双向突破的阶段。

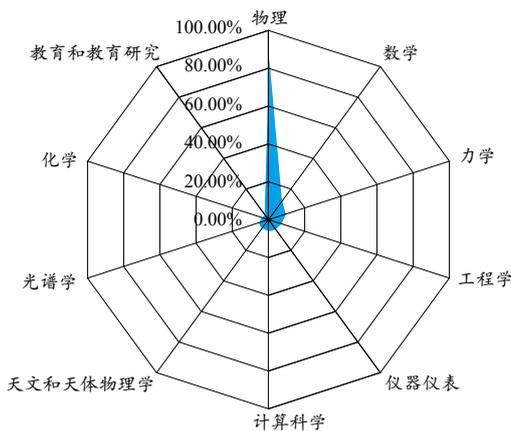


图2 1999-2008年粒子物理学研究论文的主要学科分布

2.4 主要国家发文量对比

在现有数据基础上，对不同国家的发文情况进行了分析。可以看出，论文发表数量排名前10位的国家(以下简称Top10国家)，发表的论文数量占发文总量的75.6%，而其他国家的发文量只占24.4%，表明粒子物理学研究相对集中在这10个国家：美国、德国、日本、意大利、俄罗斯、中国、瑞士、法国、英国和印度(见图3)。美国的

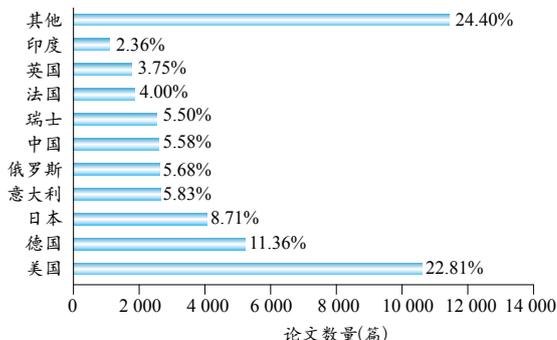


图3 粒子物理学研究主要国家发文量对比

¹ CI = ("Particle physic*" or "high energy physic*" or "flavor physic*" or "Particle astrophysic*" or "Neutrino physic*" or "Higgs" or "bosons" or "fermion" or "quark" or "lepton" or "graviton" or "gluon" or "baryon" or "hadrons" or "meson" or "muon") and py = 1999-2008 使用受控词检索是为了滤去与主题不相关的文献，增加结果的相关性。



论文数量占绝对优势, 1999–2008年间共发表10 689篇文章, 占世界发文总量的22.81%。从一定程度上可以看出美国在粒子物理学研究领域的科研活动相当活跃, 并且具有相当强的研究实力。德国和日本的发文数量分别位居第2、第3位, 分别占总发文量的11.36%和8.71%。中国的发文数量排第6位, 共发表2 616篇文章, 占发文总量的5.58%, 位于意大利和俄罗斯之后。

2.5 Top10国家发文量随时间变化的趋势

从图4可以看到一个有趣的现象, 美国发文量的年度变化趋势与发文总量的年度变化趋势相一致。可见, 美国的研究产出的状况会影响该领域研究的整体表现。同时, 中国和意大利的发文量呈明显增长的趋势。另外, 法国在2006年之后, 发文量呈增长趋势。其他国家在粒子物理学研究方面的产出都表现出下降趋势。

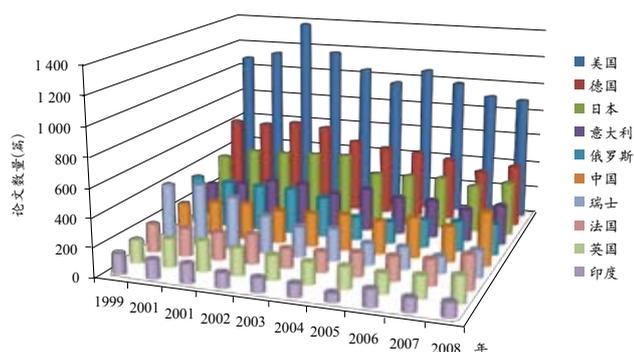


图4 Top10国家粒子物理学发文量随时间变化的趋势

从Top10国最近3年所发表的论文占其10年全部论文的比例(见图5)来看, 中国近3年的发文量占总发文量的35.2%, 在所有国家中所占比例最高, 呈现出增长的趋势。此外, 法国所占的比例也较高, 为31.99%, 超过30%。意大利和印度紧随法国之后, 所占比例为29.98%和28.97%, 未达到30%, 呈下降趋势。从总体来看, 粒

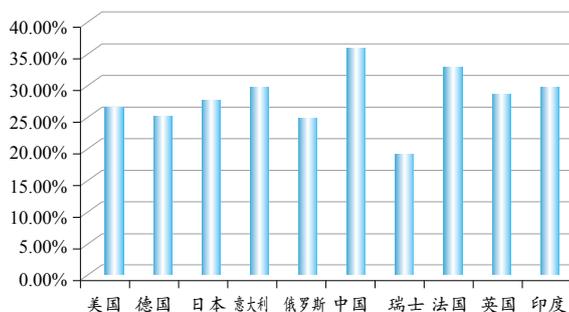


图5 Top10国粒子物理学发文量近3年论文占总发文量的比例

子物理学的论文产出, 除中国表现出略微上升的趋势外, 其他国家都表现出下降趋势。

2.6 主要研究机构

世界粒子物理学发文量排名前10的研究机构包括: 欧洲核子研究中心、中国科学院、美国费米国家实验室、德国电子同步加速器研究所、俄罗斯核研究联合所、美国布鲁克海文国家实验室、日本高能加速器研究机构、美国洛斯阿拉莫斯国家实验室、日本京都大学、美国康奈尔大学和北京大学(见表1)。

从国家分布来看, 这10个机构中有4个是美国的, 有2个是日本的, 有2个是中国的, 德国和俄罗斯各1个。中国机构除中国科学院以外, 北京大学以第10名的身份跻身前10, 共发表文章255篇。

表1 粒子物理学研究论文发表排名前10的机构

研究机构	国家	发文量
欧洲核子研究中心	瑞士	1 819
中国科学院	中国	1 210
费米国家实验室	美国	797
德国电子同步加速器研究所	德国	621
核研究联合所	俄罗斯	585
布鲁克海文国家实验室	美国	576
高能加速器研究机构	日本	422
洛斯阿拉莫斯国家实验室	美国	384
京都大学	日本	306
康奈尔大学	美国	283
北京大学	中国	255

2.7 中国机构分析

1999–2008年间, 中国发表粒子物理学论文最多的前10个机构分别是: 中国科学院、北京大学、清华大学、华中师范大学、河南师范大学、辽宁师范大学、山东大学、南开大学、南京大学和南京师范大学(见表2)。中国科学院(包括中国科技大学)在粒子物理学的成果产出

表2 中国粒子物理学发文数量排名前10的机构

机构	发文量
中国科学院	1 210
北京大学	255
清华大学	124
华中师范大学	72
河南师范大学	63
辽宁师范大学	51
山东大学	49
南开大学	42
南京大学	37
南京师范大学	35



表3 粒子物理学研究10年来排名前20的主题词

排名	主题词	论文数量
1	quantum chromodynamics	10 086
2	standard model	4 328
3	meson hadronic decay	4 271
4	fermion systems	3 933
5	B mesons	3 901
6	chiral symmetries	3 463
7	quark models	3 269
8	spontaneous symmetry breaking	3 235
9	Higgs bosons	3 218
10	quark mass	3 097
11	CP invariance	3 009
12	high energy physics instrumentation computing	2 864
13	heavy ion-nucleus reactions	2 726
14	quark-gluon plasma	2 725
15	perturbation theory	2 667
16	lattice field theory	2 568
17	flavour model	2 401
18	quark confinement	2 223
19	meson mass	2 204
20	electromagnetic decays	2 189

遥遥领先于其他机构，特别是中国科学院高能物理研究所和中国科技大学表现出非常强的实力。10年来，中国科学院的粒子物理学论文数量占到中国粒子物理学论文总量的46%。北京大学、清华大学分别位列第2和第3。

2.8 主题词分析

对于主题词的分析可以大致反映一个领域的总体发展特征。鉴于此，我们分析了1999—2008年粒子物理学研究成果所涉及的主题词。我们采用Inspec数据库中的控制词作为主题词的分析源。控制词是指来自Inspec叙词表，用来表达或描述文章的主要概念的关键词或词组。在Inspec叙词表里的控制词，它们的标点符号、拼写和专有名词都已经被专业人员进行了规范化。表3为文献中排名前20位的主题词及主题词涉及的文献数量。从主题词分布来看，10年来，粒子物理学研究主要集中在量子色动力学、标准模型和介子强子态衰变、费米系统、B介子、手征对称、夸克模型、自发对称性破缺、希格斯玻色

表4 1999—2008年粒子物理学研究最受关注主题词和新出现主题词

年份	最受关注主题词(Top Technology Terms)	新出现主题词(New Technology Terms)
1999	quantum chromodynamics; standard model; spontaneous symmetry breaking	quantum chromodynamics; standard model; spontaneous symmetry breaking
2000	quantum chromodynamics; standard model; flavour model	C++ language; energy level crossing; optical links; electron-proton scattering; minimisation
2001	quantum chromodynamics; quark models; standard model	plasma inertial confinement; vacuum apparatus; nuclear decay theory; particle beam fusion accelerators; phase transitions; Runge-Kutta methods; distributed programming; software portability; spontaneous emission; accelerator-based transmutation; mesh generation
2002	quantum chromodynamics; quark models; standard model	vacuum (elementary particles); nuclear phase transformations; deeply virtual Compton scattering
2003	quantum chromodynamics; meson hadronic decay; standard model	Kosterlitz-Thouless transition; radiofrequency spectra; heavy tau leptons
2004	quantum chromodynamics; standard model; meson hadronic decay	Doping; muon colliders; dressed states; XML; Higgs physics; alpha-particle effects; Berry phase
2005	quantum chromodynamics; fermion systems; meson hadronic decay	rotational-vibrational energy transfer; large-scale systems; pentaquarks; Corbino effect; electromagnetic wave propagation; light interference
2006	quantum chromodynamics; fermion systems; meson hadronic decay	cosmic acceleration; noncommutative field theory; Andreev-reflection; CeCoIn5; coexisting order parameters; d-wave pairing; generalised Blonder-Tinkham-Klapwijk formalism; heavy fermion superconductor; junction impedance; minimal Joule heating; multiple bands; multiple order parameters; pairing mechanism; point-contact spectroscopy; pulsed measurement techniques; single crystals; system-on-chip
2007	quantum chromodynamics; fermion systems; meson hadronic decay	muon sources; benchmark testing; infrared imaging; Newton-Raphson method; seismometers; superconducting devices
2008	quantum chromodynamics; fermion systems; meson hadronic decay	Bookkeeping; records management; audio-visual systems; automation; decomposition; interplanetary magnetic fields; Mach number; oscilloscopes; plasma drift waves; plasma electrostatic waves



子、夸克质量、CP破坏效应、高能物理超级计算、重离子核反应、夸克-胶子等离子体、摄动理论、晶格场论、味模型、夸克禁闭、介子质量和电磁衰变等相关问题。

表4列出了根据Inspec控制词和增加的控制词的出现频次分析得到的粒子物理学研究主题每年最受关注的主题词(Top Technology Terms)和新出现的主题词(New Technology Terms)。从最受关注的主题词来看,量子色动力学是10年间一直备受关注的研究热点之一。标准模型在2005年之前是最受关注的研究主题,但是到了2005年之后,费米系统(fermion systems)和介子强子态衰变成为最受关注的主题。

从新出现的主题词来看,每年都有新的主题出现,而且在粒子物理研究热点中,与计算机技术和方法相关的主题词不断出现,如在2000年出现了C++语言,2001年出现了Runge-Kutta方法、分布式程序设计,软件的可移植性、网格生成等,2004年又出现了XML,2006年出现了单片机,2008年出现了语音视频系统。可见计算能力的提高推动了粒子物理学研究的发展,反之粒子物理学的深入研究也促进了计算机技术和方法的提高。

另外,2001年和2006年是新研究点出现较多的两年。2001年新出现的主题包括惯性约束等离子体,真空设备,核衰变理论,粒子束聚变加速器,自发发射,以加速器为基础的嬗变等。2006年则新出现了宇宙加速,非对易场论,Andreev-反射,重费米子超导材料钢化合物CeCoIn₅,并序参量,d波配对,Blonder-Tinkham-Klapwijk形式化,重费米子超导体,连接阻抗等研究主题。2008年的新热点包括自动控制、行星际磁场、马赫数、等离子体漂移波以及等离子体静电波等。

3 从专利角度分析粒子物理学的变化趋势

3.1 数据来源与分析方法

本次分析利用ISI的Derwent Innovation Index(DII)专利数据库作为源数据库,按照数据的入库时间检索并下

载了1999-2008年粒子物理学专利2 640件²,运用TDA和Aureka分析工具,分析了1999-2008年粒子物理学专利数量、专利受理机构、专利权机构以及粒子物理学的引用;比较了粒子物理学专利的产出与影响、技术演化、技术领域分布的特点。

3.2 粒子物理学领域专利总体布局分析

3.2.1 粒子物理学专利数量的年度变化

本项分析是基于专利的优先权年进行的。从图6专利的年度分析来看,1999-2006年专利数量的变化不大,2002、2004、2005和2006数据分别为346、349、347和349条,分别占总量的12.5%左右。专利数量的年度分布均匀与粒子物理学更多处在探索理论和实验物理阶段有关,相关的技术还在探索阶段。

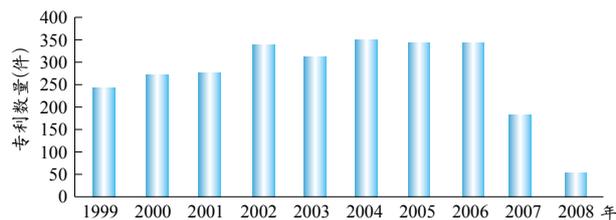


图6 专利数量的年度分布

2007和2008年专利数量有所降低,可能是统计的时间比较近,数据不够完整造成的,但也应该予以充分的关注。

3.2.2 粒子物理学研究的总体布局

利用Aureka对粒子物理领域的总体布局进行了分析,得到了粒子物理学的专利分析地图。图中的每个点代表一件专利,图中的文字为主题聚类(基于数据集的题名和摘要进行聚类)的结果。图中的等高线代表单位面积专利的数量,等高线越密,代表的专利数量越多,反之亦然。从图7可以看出,粒子物理学相关的专利可以根据主题聚为20多个类。主要涉及的研究内容有:加速器体系(线性加速器)、X射线探测器、电子束的产生、探测方法、蛋白质分析等。

²检索式为: TS=(("Particle accelerator") OR ("Linear Accelerator") OR (cyclotron) OR ("Large Hadron Collider") OR ("Compact Muon Solenoid") OR ("Super Photon ring-8 GeV") OR ("beta particle accelerator") OR ("Alpha Magnetic Spectrometer") OR ("High Energy Accelerator") OR (Tevatron) OR ("European Synchrotron Radiation Facility") OR ("Advanced Light Source") OR ("Canadian Light Source") OR ("Dortmund Electron Test Accelerator") OR ("Electron Stretcher Accelerator") OR ("Synchrotron") OR ("Large Electron-Positron Collider") OR (Geiger counter) OR ("A Large Ion Collider Experiment") or "Higgs" or "bosons" or "fermion" or "quark" or "lepton" or "graviton" or "gluon" or "baryon" or "hadrons" or "meson" or "muon" or "Isospin" or "Particle physic*" or "high energy physic*" or "flavor physic*" or "Particle astrophysic*" or "Neutrino physic*"). 检索日期: 2009年12月6日。

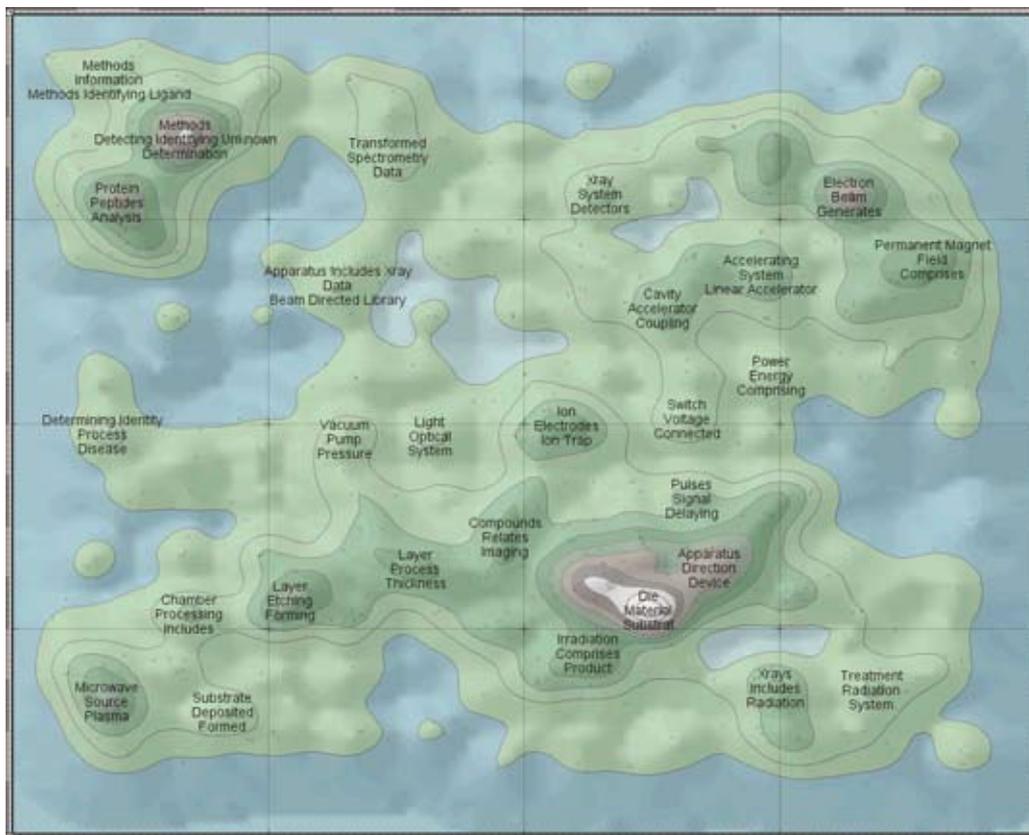


图7 粒子物理学总体的研究布局图

3.2.3 技术领域变化情况

利用TDA分析工具，对2004—2007年专利的最受关注的技术领域和新出现的技术领域进行了分析(表5)。

2004年最受关注的技术领域集中在质谱，等离子体的操纵与约束，仪器设备相关；

2005年最受关注的技术领域集中在粒子加速器，放射/超声治疗(包括磁场)医疗器械，粒子加速器(环形)；

2006年最受关注的技术领域集中在质谱，仪器设施相关，离子反应装置，等离子体的操纵与约束；

2007年最受关注的技术领域集中在等离子体、充气

管的利用，等离子体技术、加速器技术，仪器设施相关，治疗设施。

近期的新出现领域涉及到了航空器；硅电子，磁场，磁层，汽车制造与装备，蛋白质组分，制冷，图像识别，通讯，治疗器械等领域。

3.3 专利布局分析

3.3.1 受理粒子物理学专利申请最多的前10个专利机构

根据对粒子物理学专利申请受理组织的统计分析，受理粒子物理学专利最多的机构是日本特许厅，其受

表5 2004—2007年粒子物理学专利的技术领域变化

年份	最受关注的技术领域	新的技术领域
2007年	等离子体、充气管的利用，等离子体技术、加速器技术，仪器设施相关，治疗设施	航空器，硅电子，磁场，磁层的一般性和特性，汽车制造与装备
2006年	质谱，仪器设施相关，离子反应装置，等离子体的操纵与约束	蛋白质组分，制冷，图像识别，通讯，治疗器械
2005年	粒子加速器，放射/超声治疗(包括磁场)医疗器械，粒子加速器(环形)	半导体负电阻效应，电子电路的计算模拟，电路模拟，地震勘探，逻辑电路结构设计，电路板布线，电子元件，等离子轰击设备
2004年	质谱，等离子体的操纵与约束，仪器设备相关	场效应晶体管，NMR光谱，等离子体分离，医疗器械



理的专利占专利总量的40%。其次是美国专利与商标局(32%)，第三位是德国专利局(6%)，第四位为中国知识产权局(5%)，第五位为韩国专利局(4%)(见表6)。

表6 受理粒子物理学专利申请最多的前10个专利机构组织

排名	专利机构	专利数
1	日本特许厅(JP)	1 050
2	美国专利与商标局(US)	841
3	德国专利局(DE)	168
4	中国知识产权局(CN)	128
5	韩国专利局(KR)	110
6	欧洲专利局(EP)	77
7	英国专利局(GB)	73
8	俄罗斯专利局(RU)	67
9	法国专利局(FR)	62
10	加拿大专利局(CA)	36

3.3.2 粒子物理学领域专利申请最多的机构分析

(1) 粒子物理学专利申请量前10位机构分析

粒子物理学领域专利申请最多的前10个机构中有7家日本公司、两家美国公司和一家德国公司(见表7)。

表7 粒子物理学领域专利申请最多的前10个机构

序号	机构/企业	所属国家	专利数(件)
1	日立公司	日本	94
2	三菱电子公司	日本	80
3	住友重工公司	日本	66
4	东芝公司	日本	60
5	西门子医疗解决方案美国有限公司	美国	57
6	日本JSR公司	日本	51
7	日本国立放射医学研究中心	日本	44
8	东京电子有限公司	日本	41
9	美国美光技术有限公司	美国	37
10	德国布鲁克·道尔顿公司	德国	32

(2) 粒子物理学专利申请量前5位机构的技术领域分布

通过对申请量排名前5位的机构进行分析，发现其技术领域都集中在粒子加速器、放射/超声治疗(包括磁场)医疗器械这两方面(表8)。

表8 粒子物理学专利申请最多的前5个机构的技术领域分布

排名	机构名称	最受关注的技术领域
1	日立公司	粒子加速器(环形)，放射/超声治疗(包括磁场)医疗器械，热、辐射和炉疗仪器
2	三菱电子公司	粒子加速器(环形)，粒子加速器，放射/超声治疗(包括磁场)医疗器械
3	住友重工公司	粒子加速器(环形)，粒子加速器，其它和技术(同位素分离)
4	东芝公司	粒子加速器(环形)，粒子加速器，粒子加速器(线性)
5	西门子医疗解决方案美国有限公司	放射/超声治疗(包括磁场)医疗器械，粒子加速器(线性)，X射线疗法

3.4 粒子物理学领域专利涉及的技术领域分析

3.4.1 粒子物理学专利的技术焦点分布

1999-2008年2 640条专利中有1 227条专利标注了技术焦点，占专利总量的46.4%，它们分布在16个领域，以无机化学、有机化学、仪器与测试、聚合物和生物技术为主要领域(见图8)。

3.4.2 粒子物理学领域的技术领域分析

一项专利可能属于不同的技术类别，对应不同的IPC分类号，但其中有一个最主要的基本专利号与该专利相对应。通过对粒子物理学领域的主IPC分类号进行分析(表9)，可以看出该领域的专利主要所属的技术领域

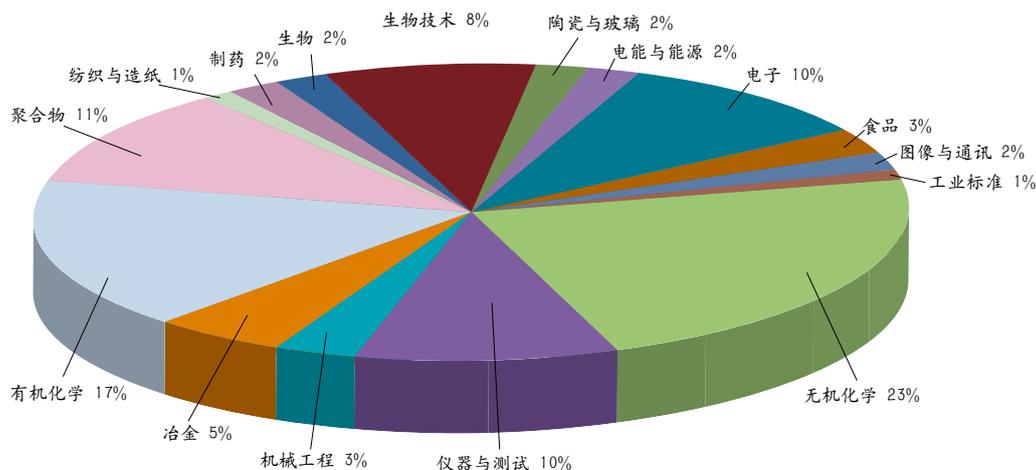


图8 粒子物理学专利的技术焦点分布



表9 1999—2008年粒子物理学专利申请数量最多的前10个方向

序号	IPC类	含义
1	A61N 0005/10	X射线治疗法, γ 射线治疗法, 粒子照射疗法
2	G01N 0027/62	通过测试气体的电离, 通过测试放电, 例如阴极发射
3	G01T 0001/00	X射线辐射、 γ 射线辐射、微粒子辐射或宇宙线辐射的测量
4	G21K 0001/00	辐射或粒子的处理装置, 如聚焦、慢化
5	H01J 0049/34	动态分光仪
6	H05H 0007/00	各种加速器包含的各种装置的零部件
7	H01L 0021/02	半导体器件或其部件的制造或处理
8	H05H 0009/00	线性加速器
9	G21G 0001/00	用于以电磁辐射、微粒辐射或粒子轰击的方法转变化学元素的装置, 例如, 生产放射性同位素
10	H01J 0049/02	粒子分光仪或粒子分离管

情况。

对前10个技术方向进行归纳, 可以看出粒子物理学的专利主要集中于粒子的产生(气体的电离、电极发射), 粒子的测试(微粒子的辐射或者宇宙射线的测量), 与各种粒子相关的仪器(加速器、粒子分光仪)和各种粒子的应用(X射线、 γ 射线、粒子照射疗法)。

4 国际会议信息反映的粒子物理学研究方向

国际会议通常比期刊信息能更快地反映科学共同体和决策层的所想和所为, 在一定程度上能够反映国际关注的研究前沿与发展方向。本报告对2007—2009年召开的与粒子物理学有关的国际会议信息进行收集和分析, 结果表明, 国际关注的粒子物理研究方向主要涉及: (1)味物理; (2)物质与反物质的不对称; (3)中微子物理; (4)暗物质、暗能量; (5)超高能宇宙射线; (6)粒子物理辐射的影响、医学物理应用等方面的研究; (7)超越标准模型的物理学; (8)与粒子物理学相关的装置发展和应用, 包括LHC、对撞机、万亿电子伏加速器等; (9)高能核物理计算。

5 粒子物理学研究的国际前沿与发展趋势

5.1 粒子物理学研究的国际前沿问题^[1-3]

本文通过调研全球大型粒子物理学计划, 欧洲、美国、英国、加拿大、日本和我国与粒子物理学、粒子天体物理学有关的路线图、战略与计划, 归纳总结了粒子

物理学研究的国际前沿问题与发展趋势。

物质微观结构的探索永远是物理学的前沿, 是带动各学科发展的最重要的研究方向。综述欧洲、美国、英国、加拿大、日本等国致力于解决的科学挑战问题, 21世纪粒子物理学还有许多悬而未解的问题需要研究:

(1)粒子质量的起源是什么? 希格斯玻色子是否存在? 如果希格斯粒子存在, 在哪里? 如果希格斯粒子不存在, 那么对称性破缺的机制是什么? 是否存在额外维空间?

(2)夸克、轻子是基本组元吗? 夸克、轻子只有三代吗? 自然界是否存在新粒子?

(3)自然界是否存在新的物理定律? 是否存在超越标准模型的新理论?

(4)什么是暗物质?

(5)什么是暗能量?

(6)能否把自然界所有的力统一为一种力? 引力可能统一吗? 引力量子化需要吗? 可能吗? 如何实现引力量子化?

(7)为什么今天宇宙中只有物质而没有反物质? 反物质到哪里去了? 为什么宇宙中物质—反物质是不对称的?

(8)中微子的质量和特性是什么? 中微子能给我们什么启示? 中微子在宇宙演化中的作用是什么?

(9)宇宙是如何形成的? 如果宇宙大爆炸理论是对的, 那么大爆炸之前是什么?

(10)超对称粒子是否存在? 超对称理论的发展和被实验的证实?

5.2 粒子物理学研究的发展趋势^[4]

宇宙大尺度观测已达到130亿光年。但是我们没有看到宇宙的“边”, 宇宙往大的方向延伸是无限的! 宇宙小尺度观测, 已经可以看到千万亿分之一厘米(10^{-19} 厘米), 也没寻到“头”, 还可往小走。宇宙往小的方向延伸也是无限的。

粒子物理学未来的发展趋势是, 最微小的粒子与最大的宇宙, 即微观和宏观世界的两个前沿研究逐步结合在一起, 出现很多新兴交叉学科, 如粒子天体物理、粒子宇宙学、中微子天体物理等等。粒子物理学、天文学和宇宙学交叉发展, 联手解决面临的难题, 最终揭示新的物理规律。粒子物理学在2006年被美国国家高能物理顾问专家组重新定义为“物质、能量、时间和空间的科



学”，非常准确，反映了学科交叉的时代特征。

未来5年、10年或者20年，粒子物理实验研究的发展趋势是用高能前沿、强度前沿和宇宙前沿来解决上述粒子物理学面临的十大科学问题(见图9)，每个领域在未来5年或者10年都有重大科学发现的机遇。

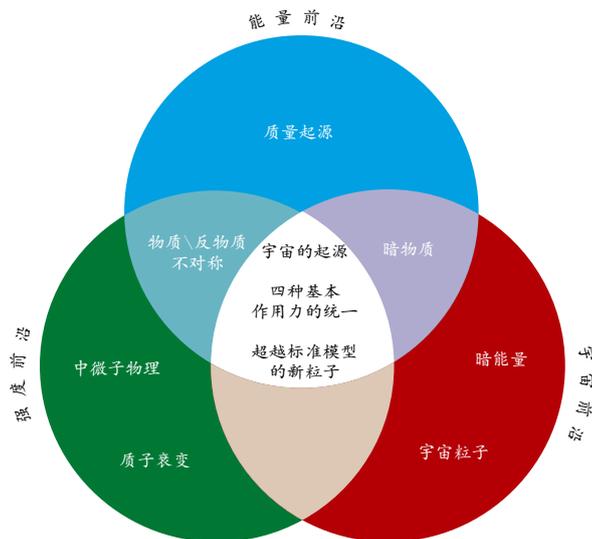


图9 粒子物理学研究的发展趋势

来源：http://www.er.doe.gov/hep/files/pdfs/P5_Report%2006022008.pdf

5.2.1 能量前沿

能量前沿加速器中的物理实验，将在粒子及其相互作用方面做出重大发现。它们将研究关于宇宙的物理性质的关键问题：粒子质量的起源是什么？新的对称性质的存在，对称性破缺的机制是什么？空间额外维度是否存在，寻找希格斯粒子和超越标准模型的新粒子，探索新物理现象。高能前沿使用世界上能量最高的加速器，一是美国费米实验室的Tevatron对撞机，在LHC运行之前曾是世界上最高能量的对撞机，随着CERN的LHC的运行，Tevatron对撞机已经停止了运行，但是在未来几年，继续对Tevatron多年积累的数据进行处理，有可能产生许多新发现；二是CERN的LHC，能量为7TeV+7TeV的质子-质子对撞机(1TeV=1000GeV)；三是国际高能物理学界正在努力研制的国际直线对撞机，单束能量在500GeV到1TeV；四是未来的轻子对撞机。

5.2.2 强度前沿

(1)中微子物理

中微子物理是当今粒子物理、天体物理与宇宙学的交叉与热点，是探索超越粒子物理标准模型的新物理的突破口之一。目前，国际中微子物理实验的前沿是精确测量中微子混合角 θ_{13} ，其重要性体现在 θ_{13} 是中微子物理中两个最基本的未知参数之一，其数值的大小对判断物理学重要理论模型具有重大意义，将决定未来中微子物理实验的发展方向。

在未建成中微子工厂前，通过增加质子加速器流强来增加中微子流强的办法进行长基线中微子振荡实验。如正在运行的日本的K2K实验，日本超级神冈探测器(Super-K)计划；美国的MiniBooNE, MINOS和SciBooNE实验研究，美国阿贡国家实验室正在设计新的更大探测器——NOvA探测器。

由于中微子工厂预期的流强比现有的普通加速器产生的中微子流强大100倍，因此长距离测量中微子振荡可成为比较现实的事情。从现有的技术储备及基础看，正在对中微子工厂做研究的有美国、欧洲的CERN和日本。

基于中微子工厂考虑的超长基线中微子振荡实验也许在时间上还太远，不确定性较大。目前国际上的新热点是利用反应堆产生的反中微子进行重要参数 θ_{13} 的测量。利用核反应堆产生的中微子进行实验研究包括：(1)法国的Double Chooz；(2)韩国的Reno；(3)我国的大亚湾反应堆实验；(4)美国阿贡实验室的高能物理部计划搞一些新的实验，利用核反应堆产生的中微子研究电子中微子振荡，希望找到最后剩下的中微子振荡之谜，以便将来研究中微子中的CP对称破坏。

(2)高精度测量

高精度测量使用高亮度加速器和高精度探测器获得高统计性的精确测量的数据，精确检验标准模型，探索超越标准模型的新现象。高精度测量的研究有两个要求：(1)高统计事例→高亮度加速器+高性能探测器；(2)小系统误差→高性能探测器。欧洲核子研究中心的LHC，日本的KEK与J-PARC，美国斯坦福直线加速器中



心的B介子工厂，北京改造后的正负电子对撞机BEPCII和意大利Φ工厂都属于这样的设施。

5.2.3 宇宙前沿

以地面为基础和以空间为基础的暗物质、暗能量研究提供了颇具吸引力的机会。另外，粒子天体物理以宇宙作为实验室，与加速器实验互为补充，探索物理学的基本定律。空间的高能粒子和宇宙微波背景辐射研究两个宇宙前沿领域为暗物质和暗能量研究提供了重要的科学机遇。

美国是宇宙前沿的领导者，将支持以空间为基础的联合暗能量任务(JDEM)和以地面为基础的大型巡天望远镜计划(LSST)。阿尔法磁谱仪也将于2010年7月升空，利用强磁场和精密探测器来探测宇宙空间的反物质和暗物质。

“宇宙无限大，粒子无穷小，时间无限长”。人类对时空领域的探索将永无止境，永不停息！

6 结论

通过对1999—2008年间粒子物理学领域的科学论文和专利的定量分析，我们发现粒子物理学领域研究具有以下特点：

(1)粒子物理学研究主要集中在10个国家：美国、德国、日本、意大利、俄罗斯、中国、瑞士、法国、英国和印度，这10个国家1999—2008年发表的粒子物理学论文数量占发文总量的75.6%。

(2)国际上粒子物理学研究成果产出最多的前10个机构包括：欧洲核子研究中心、中国科学院、美国费米国家实验室、德国电子同步加速器研究所、俄罗斯核研究联合所、美国布鲁克海文国家实验室、日本高能加速器研究机构、美国阿拉莫斯国家实验室、日本京都大学、美国康奈尔大学和北京大学，发文量占总发文量的15%。

(3)近10年来，大家关注的热点研究问题包括：量子色动力学、标准模型和介子强子态衰变、费米系统、B介子、手征对称、夸克模型、自发对称性破缺、希格斯

玻色子、夸克质量、CP破坏效应、高能物理超级计算、重离子核反应、夸克-胶子等离子体、摄动理论、晶格场论、味模型、夸克禁闭、介子质量和电磁衰变等。

(4)2007—2009年召开的与粒子物理学有关的国际会议表明，国际关注的粒子物理研究方向主要涉及：味物理；物质与反物质的不对称；量子色动力学；中微子物理；暗物质、暗能量；超高能宇宙射线；粒子物理辐射的影响、医学物理应用等方面的研究；超越标准模型的物理学；与粒子物理学相关的装置发展和应用，包括大型强子对撞机、对撞机、万亿电子伏加速器等；高能物理和核物理计算。

根据综合定性调研和文献计量学定量分析，提出以下几点建议，希望能够对我国粒子物理学的发展有所借鉴：

(1)加强整体规划，绘制我国粒子物理学发展路线图在我国2006年发布的《国家中长期发展规划》中，虽然将粒子物理理论、统一所有作用力的理论、暗物质、暗能量等作为重大科学问题，并将探索物质深层次结构和宇宙大尺度物理学规律列为八大科学前沿问题之一，但截至目前为止，我国还没有公布更加详细的发展规划和路线图。因此，建议面向世界科学前沿，结合我国的国情，认真制定我国粒子物理学的发展战略，加强粒子物理学领域发展的整体规划，以促进粒子物理学领域的理论和实验研究。

(2)坚持自主研发与国际合作并进
无论从科学的动力，还是从高技术发展的动力，我国都应积极地推动粒子物理研究的发展。

一方面我国要积极发展国内的研究基地，如2008年改造完成后的BEPC II、广东大亚湾核反应堆、西藏羊八井国际宇宙线观测站，坚持自主研发，发展“我国占主导地位”的国际合作。

另一方面，要积极参与国际上的重大合作。粒子物理学研究依靠的大科学装置的建造费用非常昂贵，由于受经费的限制，我国不可能建造所有的研究基地，建造能量最高的大型加速器超出了我国的承受能力。因此，



为了争取研究机会,抓住发展机遇,我国需要积极参与大型国际合作。我国应该加强规划和组织,坚持“有所为,有所不为”,增加投入,重点搞好LHC实验,搞好阿尔法磁谱仪(AMS02)等实验,并积极部署大型直线对撞机的国际合作。

(3) 积极为其他学科提供先进手段和大型平台

我国的粒子物理学研究在发展自身的同时,还应该积极为其他学科提供先进手段和大型平台,例如同步辐射装置、散裂中子源、自由电子激光等等,带动其他学科的发展。

参考文献

- [1] The International Review of UK Physics and Astronomy Research. http://www.iop.org/activity/policy/Projects/International_Review/ [2009-10-12].
- [2] Theoretical Physics. http://www.nsf.gov/funding/pgm_summ.jsp?pims_id=5626&org=PHY&from=home [2009-9-15].
- [3] UK Particle Physics roadmap. 2009-09-25.<http://www.scitech.ac.uk/resources/pdf/PPAPReport.pdf> [2009-10-23].
- [4] US Particle Physics: Scientific Opportunities A Strategic Plan for the Next Ten Years. 2008-05-29.http://www.er.doe.gov/hep/files/pdfs/P5_Report%2006022008.pdf [2009-10-25].

International Development Trend Analysis of Particle Physics

Liu Xiaoping*, Zhu Xiangli, Li Zexia, Huang Longguang, Li Naichang

National Science Library, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100190

*Corresponding author, E-mail: liuxp@mail.las.ac.cn

[Abstract] By analyzing articles and patent in particle physics from 1999 to 2008, combined with qualitative research, this paper describes the international development trend of particle physics. The results show that particle physics research mainly distribute on the United States, Germany, Japan, Italy, Russia, China, Switzerland, France, Britain and India. The three frontiers of particle physics is energy frontier, intensity frontier, cosmic frontier. The future development trend of particle physics is to solve ten scientific problems.

[Keywords] particle physics, scientometrics, patent analysis

科学新闻

电场驱动的氧化铈氧化还原反应

二氧化铈为萤石结构,晶格氧活性较高,容易迁移形成氧空位,因此氧化铈释放氧和吸收氧较容易发生,被广泛用作处理汽车尾气的三效催化剂。但氧化铈工作的过程发生四价铈和三价铈之间的转变,相变温度一般很高(>600 K)。中科院物理研究所北京凝聚态物理国家实验室(筹)白雪冬和王恩哥研究组与合作者对氧化铈相变的微观动力学过程进行了研究,他们在常温环境下对氧化铈薄膜施加偏压,原位观察到从二氧化铈到三氧化二铈的还原过程,撤掉电场,又被氧化生成二氧化铈,表明该相变过程可逆并能循环进行。研究显示,氧化铈的氧化还原过程即是氧空位形成和迁移过程,平衡态下氧化化学势是温度和氧分压的函数。当施加偏压时,新的平衡态由氧化化学势和电势共同决定。施加偏压可降低氧脱离晶格的势垒,形成氧空位并驱动氧空位迁移。相关研究论文发表在2010年3月31日 *Journal of the American Chemical Society*, 132(12):4031—4502上。

鸡躯体性别由细胞自主决定

在哺乳动物性别决定模型中,胚胎在性别决定基因启动性腺分化前是不存在性别差异的。虽然这一模型被认为适用于所有的脊椎动物,但是并未完全确认。英国爱丁堡大学Michael Clinton研究小组利用3只侧向雌雄同体鸡(自然界中少见的一种动物两侧分别表现出雌雄性状的现象),研究了鸟类性别决定机制。他们发现雌雄同体鸡是真正的雌雄嵌合体,表明雌性和雄性鸟体细胞可能具有固有的性别决定机制。为验证这一假说,他们将相反性别的胚胎的中胚层进行移植,得到了雌雄嵌合体性腺。与哺乳动物混合性别嵌合体不同,鸡的混合性别嵌合体中,供体细胞被排除在受体性腺功能结构之外。如,将雌性组织移植到雄体中,参与发育睾丸的供体细胞仍然保留着雌性特征并表达雌性功能的标志物。这些研究证明鸟类体细胞具有固有的性别,即其性别分化是细胞自身控制的。相关研究论文发表在2010年3月11日 *Nature*, 464 (7286):237—242上。