

理论物理研究领域的结构和动态

——基于Physical Review D 期刊的科学知识图谱分析

□ 陈嘉勇 / 北京邮电大学图书馆 北京 100876
北京师范大学管理学院 北京 100875
房熊俊 / 北京师范大学物理学系 北京 100875
王勳勉 / 暨南大学管理学院 广州 510632

摘要: 文章针对Physical Review D于2000-2010年间刊载论文的科学文献数据进行分析,对论文的前沿术语、关键词、学术机构、被引作者、被引文献和被引期刊等实体绘制研究前沿及其知识基础的科学知识图谱,从定量和定性的角度揭示国际上理论物理研究领域的结构和动态,发现理论物理研究领域的重要文献、机构、作者、期刊情况。

关键词: 理论物理, Physical Review D, 科学知识图谱, 研究前沿, 知识基础
DOI: 10.3772/j.issn.1673—2286.2012.03.012

1 引言

物理学自从20世纪初期建立了广义相对论和量子论以后,进入了一个高速发展的时期。特别是近十年来,随着暗能量理论的提出、弦论的发展以及对大一统理论的期待,理论物理学发展速度较快。

Physical Review D (以下简称PRD)是物理学领先的学术刊物,主要涵盖基本粒子物理学、场理论、引力和宇宙学等研究领域,它目前是半月刊,每期分作D1和D15两部分: D1刊主要关注于高能物理及其实验、粒子和场的唯象理论、宇宙射线、弱相互作用以及量子色动力学的应用; D15刊主要关注于广义相对论、量子引力和量子宇宙学、粒子天体物理、规范场论以及弦论的发展。

本文选取物理学顶级学术期刊PRD的刊载论文作为研究对象

并进行可视化分析,探求物理学近10年的最新发展情况和趋势。

通过美国科学情报研究所的Web of Knowledge平台,笔者从Web of Science数据库所包含的科学引文索引数据库中获取了PRD 2000年至2010年间刊载的24931篇论文的题录数据,进行科学知识图谱^[1]分析和研究,形象地演示理论物理的前沿及发展趋势。我国物理学研究人员可以更好地了解世界物理学的研究动向,立足于本国的实际,将中国物理学研究推向前进。

2 理论基础和数据来源

科学技术的发展是连续的,现有的各个学科之间都是彼此联系、相互交叉、相互渗透的。科学知识具有显著的积累性、继承性,任何新的学科或技术都是在原有学科或技术的基础上分化、衍生出来的,

都是对原有学科或技术的发展。

各学科及其研究领域的研究成果由学术论文(科学文献)来直接体现,论文由大量的专业术语组成,论文的形成和专业术语的组合都与科学文献自身所属的研究领域和引用的参考文献有着莫大的关系。论文阐述着某学科研究领域的科学观点、方法或实验,任何一项科学研究和任何一篇论文都必须在前人成果的基础上吸收前人的经验,引用的参考文献是前人科学观点、方法或实验的象征^[2]。论文之间的相互引用是由科学发展规律和研究活动规律所决定的,并且已成为科学规范之一,被自然科学、社会科学与人文科学所接受并在实践中遵守。

在科学发展的历史长河中,各学科及其研究领域的发展过程是科学家发表论文的接力赛,他们站在前人的肩膀上,从前人手中接过

接力棒,然后在向科学的大道上向前奔跑,以传给后人。在科学的大道上,我们可以关注某位科学家及其论文,更需关注其同道中人以及他们之间的关系,从而探索学科发展的轨迹。各研究领域的科学家倾向于积极引用前人最新发表的论文,并且同样以发表论文的方式来体现自己最新的研究成果,积极引用和发表的论文体现着某研究领域的结构和动态。

科学文献数据记录了论文本身的特性和引用的参考文献记录,具有揭示科学发展情况的重要价值。科学文献数据中记录论文本身特性的部分主要包括:标题、作者、刊名、作者单位、基金类型、机构类型、年份、地区等;引文部分包括被引参考文献的引文记录。每个属性都有它在时间、语义或结构这三个层次和视角上独特的价值,单独分析某个属性或综合分析多个属性都能挖掘出相应的、潜在的、有价值的模式^[2]。

本文研究所用的数据来源于美国科学情报研究所的Web of Knowledge平台中的Web of

Science数据库所包含的科学引文索引(SCI)数据库。笔者于2011年2月8日以PRD为出版物名称在SCI数据库中获取到PRD从2000年至2010年间,即从61卷第1期至82卷第12期刊载的共25762篇论文(引文)及1015390条有效的被引参考文献。PRD这10年的数据能够代表性地追踪基本粒子物理学、场理论、引力和宇宙学等研究领域。由于Web of Science引文数据库的数据完整,格式规范,所以批量导出的文献数据无需进行进一步处理即可被CiteSpace识别和分析。因此,本研究仅以24931篇引文为分析对象,其中包括若干关键词、作者、机构、国家、被引作者、被引期刊和1015390条被引参考文献,旨在揭示近10年来理论物理研究领域的研究前沿和知识基础。

3 Physical Review D研究前沿分析

运用CiteSpace对PRD刊载论文的名词短语、关键词、期刊、作者及其所属国家和机构进行共现分

析,以揭示其研究前沿。

3.1 研究前沿术语分析

前沿术语是指随时间的发展某学科领域与新趋势与突变密切相关的名词短语(如专业术语),其候选词是从标题、摘要、标引词等属性中抽取的名词短语。根据节点的大小(频次)可以揭示研究前沿。

研究前沿术语的出现频次和中介中心性(Betweenness Centrality, BC),体现了在学术前沿研究中该术语的应用广度和深度。根据中心性可以挖掘出在整个网络中起重要连接作用的词,中心性体现了一个词在整个网络中作为媒介的能力,也就是占据两个节点之间的最短路径的能力。一个术语占据这样的位置越多,说明它在整个网络中对网络的连接作用和控制作用也越强。

我们从图1和表1中得到以下结论:

(1) standard model(标准模型)作为图中最大的节点,表明标准模型的研究已经成为了物理学理

表1 PRD的中心性前20名的前沿术语(2000-2010)

	BC	Term	Freq		BC	Term	Freq
1	0.25	field-theory	453	11	0.06	black holes	873
2	0.21	systems	364	12	0.06	energy density	284
3	0.18	standard model	2045	13	0.05	initial condition	265
4	0.14	gravity	1028	14	0.04	inflation	622
5	0.11	matter	644	15	0.04	cosmological perturbations	379
6	0.11	einstein gravity	78	16	0.03	perturbations	519
7	0.09	extra universe	1306	17	0.03	hierarchy	504
8	0.09	string theory	681	18	0.03	gauge theory	418
9	0.09	quantization	213	19	0.03	compactification	233
10	0.08	scalar field	1238	20	0.03	b-	215

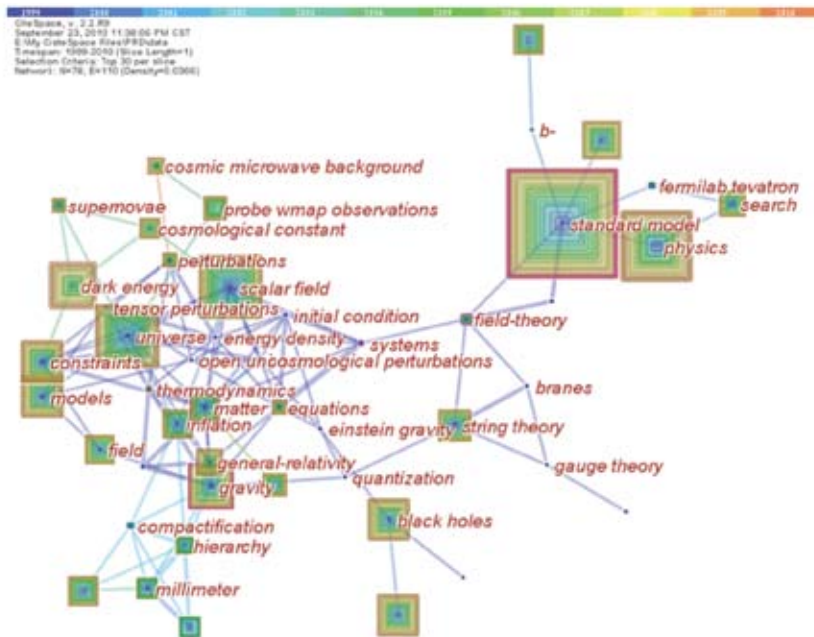


图1 PRD前沿术语的科学知识图谱 (2000-2010)

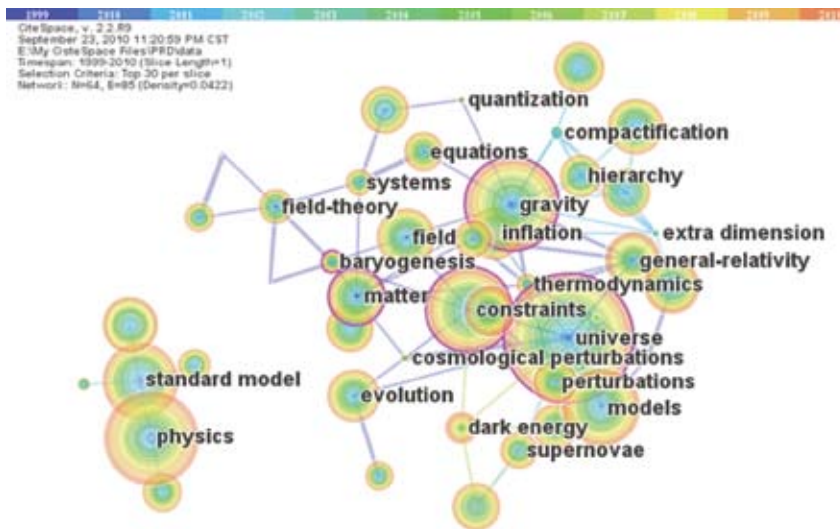


图2 PRD关键词共现的科学知识图谱 (2000-2010)

论研究的一个重要基础和方法,在理论物理一系列的研究方向中,标准模型在各个研究方向中都有重要的应用,包括在粒子物理、宇宙学、弱电相互作用等领域,都存在自己独特的标准模型,而许多推广性和延伸性的研究和结论都是建立在一定的标准模型上的,可以说,标准

模型具有特别重要的作用,存在高度的聚焦性。

(2) extra universe (额外宇宙)、scalar field (标量场)、gravity (引力) 和 black holes (黑洞) 作为接下来几个较大的节点,说明了在当今理论物理方向,对于宇宙的探索以及对引力和黑洞的研

究一直都是一个热点。而在处理这些问题时常常会用到场论的方法来分析,一般运用较多的是最简单的一种场:标量场。把问题在标量场下研究清楚了,才能更好地推广到更深的层次。

(3) field-theory (场论)、systems (系统) 作为两个出现频次不高但中心性较高的词,合理地体现了它们的重要作用。物理学,尤其是理论物理学的分析,一般都要用到场论的知识,在某一系统中讨论问题。它们作为知识图谱的重要连接点,恰当地反映出了理论物理研究的一些共性。

3.2 关键词共现分析

关键词是文献内容的缩影和作者学术思想与学术观点的凝练。在CiteSpace生成的关键词共现的科学知识图谱中,共选择出了64个关键词节点及1274条节点连线,如图2所示。

universe (宇宙) 是最大的节点,排在之后的是 standard model (标准模型)、gravity (引力)、constraints (约束) 等。这几个关键词节点相对较大,这几个词在近十年中的频次一直保持较高的水平。另外从中心性来看,universe (宇宙)、gravity (引力)、matter (物质)、constraints (约束) 是中心性较高的几个词,这说明这几个词在该期刊中的关键词共现中起到了关键的中心连接作用。

我们从图2和表2中得到以下结论:

(1) universe (宇宙) 作为图中最大的节点,表明PRD所刊载的论文高度集中在研究“宇宙”这一领域,表明该期刊特征明显,也表明

表2 PRD中心性前20名的关键词(2000-2010)

	BC	Keyword	Freq		BC	Keyword	Freq
1	0.19	universe	1306	11	0.04	evolution	648
2	0.19	gravity	1028	12	0.04	perturbations	519
3	0.12	matter	644	13	0.03	field	688
4	0.11	constraints	949	14	0.03	general-relativity	682
5	0.11	baryogenesis	319	15	0.03	dark energy	403
6	0.08	field-theory	453	16	0.02	inflation	622
7	0.08	extra dimension	198	17	0.02	hierarchy	504
8	0.05	systems	364	18	0.02	cosmological perturbations	223
9	0.05	thermodynamics	355	19	0.02	quantization	212
10	0.05	compactification	233	20	0.01	standard model	1043

了当今宇宙学是理论物理研究的重中之重。同时从universe(宇宙)这一节点看,与其直接相连的包括了general-relativity(广义相对论)、gravity(引力)、perturbation(微扰)、dark energy(暗能量)等几个较大的关键词节点,这些都在一定程度上反映出了当今宇宙学研究过程中的热点问题:①现今研究宇宙学的工具全世界公认的就是广义相对论,从图中可以看出,研究者主要运用广义相对论为基本工具与场论、微扰论、热力学等相结合来解决宇宙研究问题。②在宇宙范围内,引力是最重要的一种相互作用形式,因此,引力成为宇宙学研究的一个最重要方向,在图中可以看出,gravity(引力)这一节点是除了宇宙学之外最大的节点。③宇宙诞生过程中,微扰对于今后宇宙的发展起到了很大的作用,因此,对于这一课题的研究也相当深入。④暗能量作为21世纪的一个重大新兴课题^[5],对于研究宇宙的结构和相互作用有着重要的作用。此外,有几个词节点不大,但起到了关键的连接作用,如extra dimension(额外

宇宙)、thermodynamics(热力学)等。它们既是研究不同问题的关键连接,同时也有可能在今后发展成为一个热点方向。

(2) gravity(引力)节点周围聚集了compactification(紧化)、hierarchy(层级)、general-relativity(广义相对论)、thermodynamics(热力学)、inflation(膨胀)等内容,反映出gravity(引力)的研究热点和方法:①在引力的研究中,广义相对论是一个重要的工具。在广义相对论的观点中,把传统的“引力作为一种力”的观点完全翻新为了“引力是一种几何效应”,这是物理学上的一次伟大的突破。②在引力的研究中,经常采用几何的方法,于是compactification(紧化)、hierarchy(层级)等数学微分几何中常用来处理几何拓扑的概念就被引进来成为时空拓扑分析的工具,只有有了这些数学工具,才能够进行理性的分析和进一步的发展。③thermodynamics(热力学)包括了许多内容,主要包括黑洞热力学,以及宇宙的一些热效应。霍金在创立了黑洞热力学的基本理论之后,

黑洞热力学已经成为一个重要的热点研究方向,很多科学家认为,研究黑洞及其热力学有助于理解时空构成和奇点等重要问题^[6]。④inflation(膨胀)一词伴随着近年来宇宙的大爆炸理论和暴涨理论,而有了广泛的应用。

(3) matter(物质)节点周围聚集了field(场)、field-theory(场论)、baryogenesis(重子相变)等内容,还包括了cosmological perturbations(宇宙微扰论)等关键词节点,反映了对于物质的研究热点:①自从19世纪提出场论的观点以来,场作为一种特殊的物质逐渐成为物理学家研究问题的共同基础和目标,以其以此为基础发展出来的场论,也成为一个重要内容,包括电磁场、引力场、规范场等。②在关于物质的讨论中,有关于物质产生和消灭的理论近几年才得到长足发展。传统观点认为物质是守恒的,但最新的理论研究表明随着时空的变化,特别是在变化的弯曲时空中,由于存在重子的相变,因此所产生的物质的变化也成为一个讨论热点。

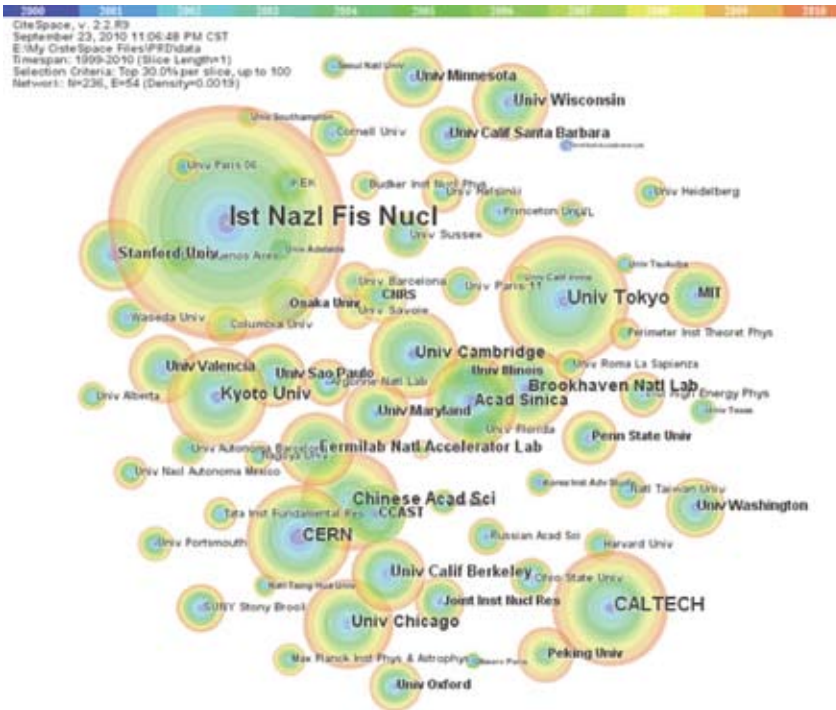


图3 PRD机构合作的科学知识图谱 (2000—2010)

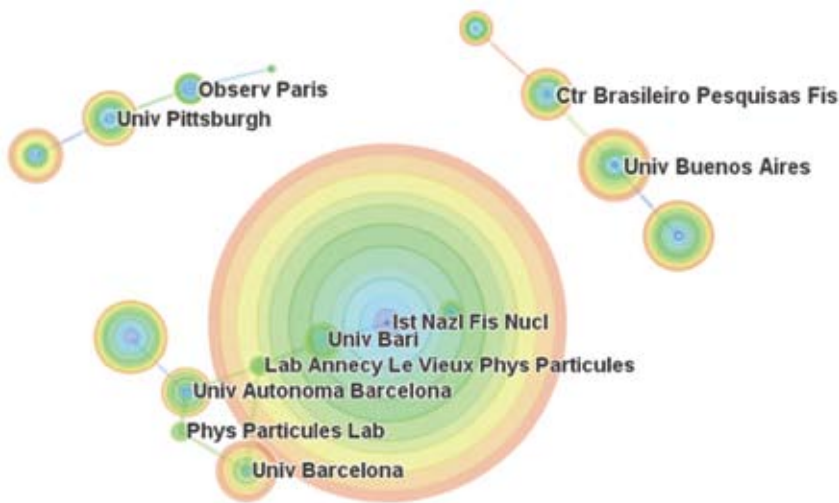


图4 PRD机构合作较频繁的科学知识图谱 (2000—2010)

(4) standard model (标准模型) 作为一个相对独立的节点,体现了标准模型在物理研究中一个相对独立的作用。但是标准模型出现的频次很大,说明这一相对独立的概念在理论物理研究的基础中起到

了较大的作用。

图3中的一些节点虽然较小,但却应该引起我们的关注,它们很可能在未来的5到10年内成为重要的研究前沿,如quantization (量子化)和supernova (超新星)等内容。

3.3 机构合作分析

论文作者所属的学术机构数据隐藏着机构之间的合作模式。在CiteSpace生成的机构合作的科学知识图谱中,共选择出了236个机构节点及1518条节点连线,如图3所示。

虽然节点连线有一定的数量,但是仍没有形成明显的国际合作网络,仅仅在某些国家内有一定的合作,通过Google Earth生成的机构合作图如图4所示。

从图3、图4和表3可以看出,在机构合作分析中,排名第一的是Ist Nazi Fis Nucl,其论文频次在前20位机构的频次总量中占到了12.6%,处于一定的领先地位。第二梯度(频次占比超过5%)包括了Univ Tokyo、CALTECH、CERN、Chinese Acad Sci、Kyoto Univ等。

我们从图3和表3中分析得到,美国作为政治上和经济上的超级大国,在理论物理研究方面也占据着强势地位。中国及台湾地区进入排名前20的均为国家所有的中心科研院所,而美国进入排名的均为大学和实验室。这充分体现了两国不同的国情,中国还处于发展阶段,需要集中科研力量,因此很明显可以看出中国科学院在政府的扶植下有较大的成绩,而美国处于发达阶段,科研人员不会集中在国家实验室,而会分布在各个大学,因此这造成了美国众多大学都有较强的科研实力,但一所一般的大学其实力不如中国科学院。

4 Physical Review D 知识基础分析

表 3 PRD频次前20名的机构 (2000-2010)

Institute	Freq	Institute	Freq
1 Ist Nazl Fis Nucl (国立原子所)	780	11 Fermilab Natl Accelerator Lab (费米国家加速中心)	264
2 Univ Tokyo (东京大学)	430	12 Univ Wisconsin (威斯康星大学)	258
3 CALTECH (加州理工大学)	394	13 Univ Calif Berkeley (加州大学伯克利分校)	249
4 CERN (欧洲核子中心)	343	14 Stanford Univ (斯坦福大学)	244
5 Chinese Acad Sci (中国科学院)	340	15 Univ Maryland (马里兰大学)	243
6 Kyoto Univ (京都大学)	338	16 MIT (麻省理工学院)	234
7 Univ Chicago (芝加哥大学)	310	17 Univ Valencia (巴伦西亚大学)	229
8 Univ Cambridge (剑桥大学)	307	18 Univ Sao Paulo (圣保罗大学)	225
9 Acad Sinica (台湾中央研究院)	299	19 Univ Minnesota (明尼苏达大学)	212
10 Brookhaven Natl Lab (布鲁克海文实验室)	299	20 Univ Washington (华盛顿大学)	208

运用CiteSpace对PRD刊载论文的参考文献记录分别进行作者共引分析、文献共引分析和期刊共引分析,以揭示其知识基础。

4.1 作者共引分析

作者共引频次越高,则作者学

术相关性越强。在CiteSpace生成的作者共引的科学知识图谱中,共选择出295个作者节点及15731条节点连线,如图5所示。

通过作者共引分析,我们可以得知本领域作出了巨大贡献的科学家,以及该领域形成的学术团体。从图5和表4中分析,发现这些作者

大致可以分为下列几个方向:

(1)首先是对传统的经典广义相对论及其经典量子化,包括黑洞热力学及量子黑洞这一主流领域。这一领域包括了Witten、Hawking、Weinberg等人,他们主要的贡献在于进一步发展经典的广义相对论,并试图对其进行量子化;建立了黑洞热力学,使得热力学成为宇宙研究中的一个普适方法。

(2)另一主流领域是粒子及其场论,特别是关于粒子的标准模型、Higgs子等相关内容的讨论。这一领域包括Arkanihamed、Ellis、Barger、Randall等人,他们的主要贡献在于发展了粒子物理的标准模型,发展了场论等相关方面。

(3)我们还可以注意到还有几个领域,一个是Maldacena,他主要的研究领域为量子引力方面,特别是有关于弦论的研究。有关弦论(String)和圈量子(Loop)现在已经成为当今理论物理研究的一个重要前沿。另一个是Spiegel,他主要的研究领域在于宇宙微波背景辐射,以及暗物质暗能量等问题。

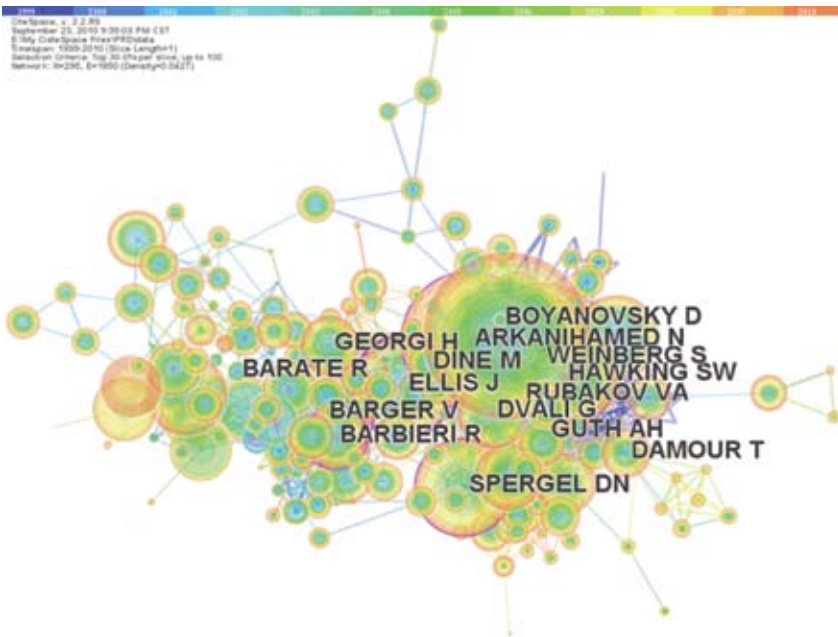


图5 PRD作者共引的科学知识图谱 (2000-2010)

表4 PRD频次前10名的被引作者 (2000-2010)

	Author	BC	Freq		Author	BC	Freq
1	WITTEN E	0.04	2380	6	ELLIS J	0.35	1432
2	WEINBERG S	0.08	2140	7	SPERGEL DN	0.12	1420
3	ARKANI-HAMED N	0.15	1955	8	BARGER V	0.17	1413
4	RANDALL L	0.01	1616	9	MALDACENA J	0.03	1328
5	HAWKING SW	0.08	1563	10	THOFT G	0.01	1278

这类问题在最近十余年成为科学界所讨论的重大问题,也是科学发展的一个重要研究方向。

4.2 文献共引分析

文献共引分析一般被人们期待着比作者共引分析能揭示更多的详细模式,因为文献共引分析中的被引参考文献比作者共引分析中的作者携带着更丰富的信息。文献共引网络中的聚类本质应该比作者共引网络中的相对更容易识别,且能更清楚地解释。

在CiteSpace生成的文献共引

的科学知识图谱中,共选择出837个被引参考文献节点及12536条节点连线,如图6所示,图中每个节点表示一篇文献,圆圈的厚度与相应年份的引文数成正比。圆圈外包围的紫色环则代表中心性较大的文献,环的厚度和中心性的值成比例。

根据聚类算法,CiteSpace自动识别了若干个聚类,下文将对其中最大的8个聚类进行分析,如表5所示。表中标出了聚类的编号(C#)、聚类中包含的节点个数(n)、测定聚类分离度的指标(Silhouette),以及从研究前沿的论文标题中抽取出来标注聚类的术语(由TFIDF和

LLR两种方法计算)。

根据表5的分析,我们将图6进行聚类标注,如图7所示。

通过表5我们可以看出,主要分为八个聚类,这其中包括:高红移及其相关问题,特别是在超新星爆发中的高红移问题;膜宇宙以及宇宙的膜背景问题;horava-lifshitz理论及黑洞引力解问题;QCD及粒子的衰变问题;中微子问题及太阳中微子的测量;暗物质、暗能量及其湮灭;物质方程及引力宇宙的求解问题;双子黑洞及其合并问题。

此处我们节选了位于前列的被引文献,如表6所示,因为排名靠前的被引文献在科学历史的发展中起到了重要的作用。一个时期引用某篇文献的中心性和频次,不但反映了知识基础,也充分证明了被引文献的重要程度。

这些重要的文献,有的因为文献被引频次很高,也有的是由于在文献共引中存在较高的中心性。研究表明,共引频次高的文献所引导的领域在近十年来有着高速发展。这些理论物理的领域包括了宇宙的大爆炸模型及暗物质暗能量、量子宇宙学、基本粒子的标准模型、场论的新发展等。

包括宇宙大爆炸及暗物质暗能量这一知识重点的共被引文献最多,包括了Wilkinson Microwave

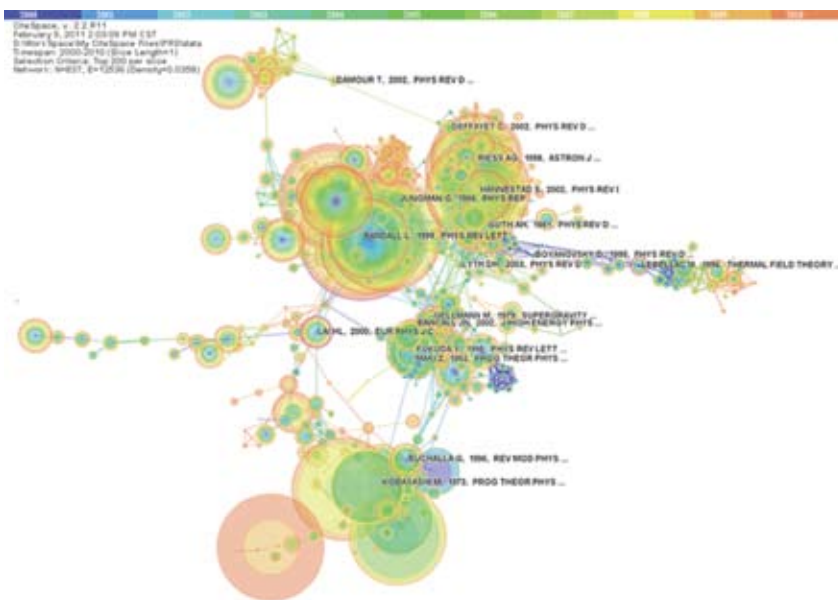


图6 PRD文献共引的科学知识图谱 (2000-2010)

表5 聚类大小前10名的聚类

	C#	n	Silhouette	Title Terms(TFIDF)	Title Terms (LLR)
1	57	69	0.529	(20.63) high redshift (20.3) lensing statistic (20.3) high redshift supernovae (19.13) scalar field model (18.45) distinct classe	quintessence (807.95*) dark energy (262.3*) scalar field cosmology (122.78*)
2	74	55	0.685	(18.19) -singular brane-world cosmology (17.79) radion stabilization (17.64) randall-sundrum compactification (17.34) newtons law (17.34) brane background	brane (449.56, 1.0E-4) brane world (395.28, 1.0E-4) cosmological perturbation (194.06, 1.0E-4)
3	7	41	0.317	(22.49) horava-lifshitz theory (21.81) horava gravity (21.23) projectability condition (21.03) black hole solution (20.55) horava-lifshitz gravity	horava-lifshitz gravity (903.17, 1.0E-4) horava gravity (197.36, 1.0E-4) detailed balance (170.05, 1.0E-4)
4	26	37	0.629	(17.77) qcd factorization (17.77) pv decay (17.34) k pi decay (16.01) pi decay (15.85) k pi,	decay (119.7, 1.0E-4) k pi decay (104.72, 1.0E-4) factorization approach (83.75, 1.0E-4)
5	40	37	0.735	(14.95) neutrino data (20.95) solar neutrino (20.37) neutrino factory (14.04) single right-handed neutrino dominance	neutrino oscillation (336.57, 1.0E-4) solar neutrino problem (275.14, 1.0E-4) neutrino (239.38, 1.0E-4)
6	44	35	0.901	(20.29) dark matter annihilation (19.59) gamma-ray signature; (19.59) excesse (18.88) galactic center (18.76) capture	dark matter annihilation (545.87, 1.0E-4) dark matter (402.58, 1.0E-4) pamela (195.67, 1.0E-4)
7	58	31	0.797	(19.52) palatine (17.77) quadratic theory (17.77)dirac-born-infeld modification (17.77) godel-type universe (17.64) matter lagrangian	gravity (546.96, 1.0E-4) palatini (128.69, 1.0E-4) gravity cosmology (114.81, 1.0E-4)
8	79	30	0.969	(25.17) merger (23.86) binary black hole merger (23.69) black-hole binary (22.72) binary (22.68) binary black hole	binary black hole merger (190.63, 1.0E-4) gravitational wave (150.45, 1.0E-4) gravitational self-force (126.93, 1.0E-4)

Anisotropy Probe (WMAP) Three Year Results: Implications for Cosmology, Inflationary Universe: A Possible Solution to the Horizon and Flatness Problems, Constraining Dark

Energy with Type Ia Supernovae and Large-Scale Structure, Supersymmetric Dark Matter, Observational Evidence from Supernovae for an Accelerating Universe and a Cosmological

*Constant*等重要文献。第一篇^[7]主要阐述宇宙微波背景辐射(WMAP),这一结果后来成为膨胀宇宙和暗能量存在性的一篇基础文献;第二篇^[8]提出了暴涨宇宙;第三篇^[9]综合考虑了在暗能量问题中

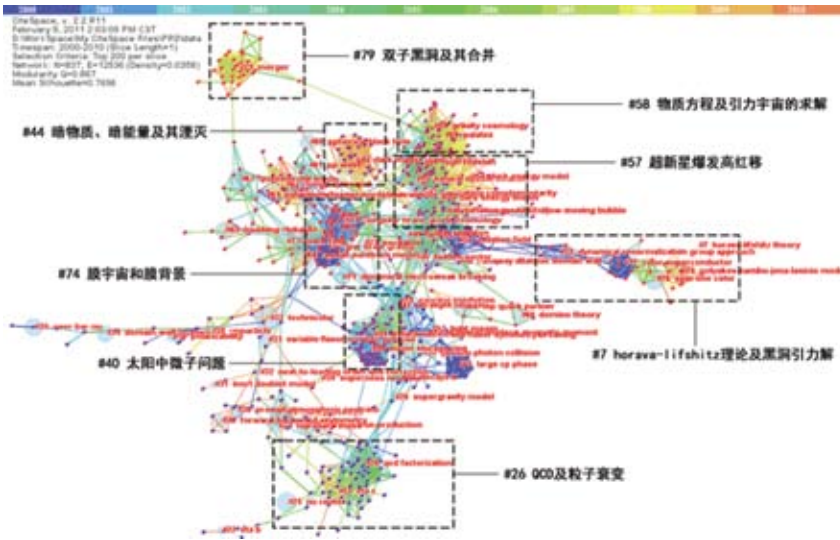


图7 聚类标注的PRD文献共引的科学知识图谱 (2000—2010)

的几个重要问题, 包括1a型超新星和宇宙的大尺度结构; 第四篇^[10]提出暗物质的超对称性; 最后一篇文章^[11]给出了对暴涨宇宙和宇宙常数的一些观测证据, 这在实验上支持这一系列理论起到了重要的基石作用, 强大地促进了这一方向的前进和发展。

关注于量子引力的被引文献较少, 只有 *Phenomenology, Astrophysics, and Cosmology of Theories with Submillimeter Dimensions and TeV Scale Quantum Gravity* 一篇^[12]。其主要

表6 PRD中心性前14名的被引参考文献 (2000—2010)

Title of Cited Reference	Journal	Author	Year	BC	Freq
Wilkinson Microwave Anisotropy Probe (WMAP) Three Year Results: Implications for Cosmology	ASTROPHYS J SUPPL S	SPERGEL DN	2003	0.45	917
Baryogenesis Without Grand Unification	PHYS LETT B	FUKUGITA M	1986	0.43	276
Remarks on the Unified Model of Elementary Particles	PROG THEOR PHYS	MAKI Z	1962	0.36	255
Phenomenology, Astrophysics, and Cosmology of Theories with Submillimeter Dimensions and TeV Scale Quantum Gravity	PHYS REV D	ARKANIHAMED N	1999	0.24	401
Focus Points and Naturalness in Supersymmetry	PHYS REV D	FENG JL	2000	0.22	126
Inflationary Universe: A Possible Solution to the Horizon and Flatness Problems	PHYS REV D	GUTH AH	1981	0.18	383
Gravitation and Cosmology: Principles and Applications of the General Theory of Relativity	GRAVITATION COSMOLOG	WEINBERG S	1972	0.17	283
Constraining Dark Energy with Type Ia Supernovae and Large-Scale Structure	ASTROPHYS J I	PERLMUTTER S	1999	0.15	797
Supersymmetric Dark Matter	PHYS REP	JUNGMAN G	1996	0.12	342
Black Holes at the Large Hadron Collider	PHYS REV LETT	DIMOPOULOS S	2001	0.1	160
Global QCD analysis of parton structure of the nucleon: CTEQ5 parton distributions	EUR PHYS J C	LAI HL	2000	0.1	293
Observational Evidence from Supernovae for an Accelerating Universe and a Cosmological Constant	ASTRON J	RIESS AG	1998	0.08	817
Violations of the equivalence principle in a dilaton-runaway scenario	PHYS REV D	DAMOUR T	2002	0.08	117
The Large N limit of superconformal field theories and supergravity	ADV THEOR MATH PHYS	MALDACENA J	1998	0.07	932

原因是量子引力理论,无论是弦论(包括弦宇宙)还是圈量子以及圈量子宇宙学,现在都还处于发展的初期阶段,在理论上过于超前,既没有实验观测上的支持,又没有过多的学者关注并投身于此项研究,因此造成了这一领域的被共引文献不多的局面。但我们注意到,量子引力由传统的宇宙学逐渐引向微观领域,科学家们试图先建立微观高能下的量子引力理论,再运用于宇宙学研究。因此这篇文献能够拥有较高的中心性,达到0.24,以及较高的被引频次(401)。

对场论的研究一直是物理学关心的重大问题,这里 *Focus Points and Naturalness in Supersymmetry*、*Violations of the equivalence principle in a dilaton-runaway scenario*、*The Large N limit of superconformal field theories and supergravity* 等文献均关注场论及其相关问题上。第一篇^[13]讨论了超对称问题,超对称成为对称性这一基本问题的一个重大后继者。第二篇^[14]讨论了伸缩子在某些条件下等效原理的失效问题。等效原理是构建广义相对论的基本原理,如果这一原理在某些情况下失效,物理学又将迎来新一轮的理论革命。第三篇^[15]讨论了超共形场和超引力中对于大N数的限制,这表明,超共形场论等纯场论的基本方法正在更广泛地运用于理论物理特别是宇宙学的研究。

对于微观世界的粒子研究,这里有三篇文献具有重要意义:*Baryogenesis Without Grand Unification*、*Remarks on the Unified Model of Elementary Particles*和*Global QCD analysis of parton structure of the nucleon*:

CTEQ5 parton distributions。这里既有总结性的文章,总结了基本粒子的非标准模型^[16];又有前沿研究,如关于重子的产生^[17]和对核子的整体QCD分析方法^[18]。它们都说明粒子物理学既是一个有传统的领域,也是一个充满活力,能够提出并发展新理论的阵地。

最后我们注意到, *Black Holes at the Large Hadron Collider* 这篇文章的重要性,它的中心性和频次都不算太高,分别为0.1和160,但这篇文章^[19]提出了人造黑洞的可能性,即在大型强子对撞机中实现人造黑洞。这个想法很超前,并在最近于欧洲核子中心超大型对撞机LHC上进行了一系列的实验。这个方向虽然不是太大的热点,但未来有可能成为一个主要的研究方向。

4.3 期刊共引分析

期刊是论文的载体,通过期刊共引分析,同样可得知期刊的学术相关性,同时还能了解PRD的知识基础的主要来源期刊。1015390条被引文献分别来自若干个期刊和其他类型文献,包括专著、报告和网页等。在CiteSpace生成的期刊共引的科学知识图谱中,共选择出了170个期刊及10787条期刊间的连线,如图8所示。

高被引的期刊主要来自物理学的核心期刊,如表7所示。值得关注的是 *PHYS REV D*、*PHYS REV LETT*、*PHYS LETT B*、*NUCL PHYS B*、*J HIGH ENERGY PHYS*、*PHYS REP* 等被引的频次排名前20%的期刊所被引的次数占所有期刊被引总次数的80%有余,符合二八定律。其中 *PHYS REV D* 期刊引用自己的次数高达23859次,排在第一。

PHYS REV D 期刊主要涉及

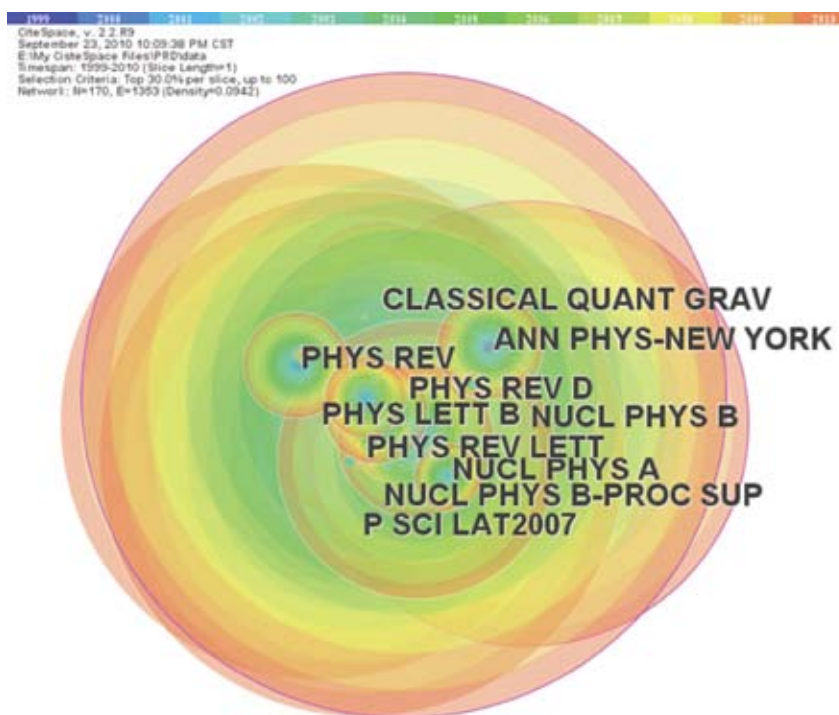


图8 PRD期刊共引的科学知识图谱(2000—2010)

表7 PRD中心性前20名的被引期刊(2000-2010)

	Cited Journal	BC	Freq		Cited Journal	BC	Freq
1	PHYS REV D	0.16	23859	11	REV MOD PHYS	0.04	4044
2	NUCL PHYS B	0.12	16619	12	NATURE	0.04	2395
3	CLASSICAL QUANT GRAV	0.11	6288	13	ASTROPHYS J I	0.03	4414
4	PHYS REV LETT	0.09	19603	14	PHYS REP	0.03	8363
5	PHYS LETT B	0.07	19253	15	MON NOT R ASTRON SOC	0.03	3211
6	P SCI LAT2007	0.06	231	16	PHYS LETT A	0.03	1561
7	NUCL PHYS B-PROC SUP	0.05	3566	17	PROG THEOR PHYS	0.03	3956
8	PHYS REV	0.05	4232	18	ASTROPART PHYS	0.03	1547
9	ANN PHYS-NEW YORK	0.05	4117	19	MOD PHYS LETT A	0.03	4059
10	NUCL PHYS A	0.05	2607	20	J PHYS G NUCL PARTIC	0.02	2815

广义相对论、宇宙学、量子引力、粒子物理学、场论等领域,这些领域作为理论物理研究的前沿,具有一定的高度性和独立性,因此,该期刊引用自己的次数排名第一成为一件很自然的事情。而且由于理论物理研究具有一定的独立性,涉及此领域的期刊较少,造成了被引次数排名前列的较少期刊占有了期刊总的被引次数的大部分,以至于满足二八定律。

研究发现,处于期刊共引前列的其他期刊所研究的领域与PHYS REV D所研究的领域有所重合,它们作为著名的有较大影响力的期刊,是能够拥有较大期刊共引频次的原因。包括PHYS REV LETT作为PRD的母刊,登出较有影响力和发展前景的文章^[20],这其中包括了大量的PRD期刊文章;再如NUCL PHYS B主要涉及有关粒子物理的研究,而CLASSICAL QUANT GRAV主要涉及经典及量子广义相对论,

它们都是PHYS REV D的重要研究领域。也有的期刊是因为影响因子较高,被大家所关注而拥有较高的共引因子,如REV MOD PHYS、NATURE等,不过很容易发现,由于不是这一领域的专门期刊,它们的期刊共引中心性并不高。

5 结论与展望

通过研究可以发现,近十年来,Physical Review D上的论文紧紧围绕理论物理前沿的重大理论和实践问题,编发了一批高质量的论文。Physical Review D相关的研究热点主要集中于对构成宇宙的基本物质和宇宙运行的基本规律的研究,包括“中微子”、“粒子的衰变和产生”、“黑洞及相关问题”、“暗物质和暗能量”、“超新星爆发及其观测”、“膜宇宙”等方面在这十年中得到了长足的发展。伴随着哈勃卫星对深空宇宙的观测及

射电望远镜的广泛运用,以及高能粒子加速对撞器的建设,人类对宇宙及物质的基本组成和基本规律的探索将越来越深,我们将迎来一个理论物理高速发展的时期。从文献共引分析看出,宇宙微波背景辐射、暗能量、暴涨宇宙等是大家所关注的重点问题。可以预见的是,随着人类对物理学认知的不断加深和观测水平的不断进步,这些问题将一直成为我们所要解决的重要问题。

运用科学知识图谱初步揭示2000-2010年间PRD的研究前沿及其知识基础,提供了一种新的研究思路和方法。关于理论物理研究领域的结构和动态还需要进一步分析和总结,本文只选取单一的PRD一种期刊,数据来源有其局限性。有待其他研究者在相关学科的基础上,使用多种期刊数据对自然科学领域知识的结构和动态行进一步的研究。

参考文献

- [1] CHEN C. CiteSpace II: Detecting and visualizing emerging trends and transient patterns in scientific literature [J]. Journal of the American Society for Information Science and Technology, 2006, (3):359-377.
- [2] GARFIELD E. Citation Indexes for Science: A New Dimension in Documentation through Association of Ideas [J]. Science, 1955, 122(3159):108-111.
- [3] PERSSON O. The Intellectual Base and Research Fronts of JASIS 1986-1990 [J]. Journal of the American Society for Information Science, 1994, 45(1):31-38.
- [4] PRICE D J. Networks of scientific papers [J]. Science, 1965, (149):510-515.
- [5] SAHNI V. Lecture Notes in Physics [M]. Berlin: Springer, 2005: 141-179.
- [6] YEOM D. Reviews and perspectives on black hole complementarity [EB/OL]. [2011-08-20]. <http://arxiv.org/abs/0901.1929>.
- [7] SPERGEL D N, BEAN R, DORÉ O. Wilkinson Microwave Anisotropy Probe (WMAP) Three Year Results: Implications for Cosmology [J]. Astrophysical Journal Supplement, 2007, 170(2):377-408.
- [8] GUTH A H. Inflationary Universe: A Possible Solution to the Horizon and Flatness Problems [J]. Physical Review D, 1981, 23(2):347-356.
- [9] PERLMUTTER S, TURNER M S, WHITE M. Constraining Dark Energy with Type Ia Supernovae and Large-Scale Structure [J]. Physical Review Letters, 1999, 83(4):670-673.
- [10] JUNGMAN G, KAMIONKOWSKI M, GRIEST K. Supersymmetric Dark Matter [J]. Physics Reports, 1996, 267(5):195-373.
- [11] RIESS A G, FILIPPENKO A V, CHALLIS P. Observational Evidence from Supernovae for an Accelerating Universe and a Cosmological Constant [J]. The Astronomical Journal, 1998, 116(3):1009-1038.
- [12] ARKANI-HAMED N, DIMOPOULOS S, DVALI G. Phenomenology, Astrophysics, and Cosmology of Theories with Submillimeter Dimensions and TeV Scale Quantum Gravity [J]. Physical Review D, 1999, 59(8):086004.
- [13] FENG J L, MATCHEV K T, MOROI T. Focus Points and Naturalness in Supersymmetry [J]. Physical Review D, 2000, 61(7):075005.
- [14] DAMOUR T, PIAZZA F, VENEZIANO G. Violations of the equivalence principle in a dilaton-runaway scenario [J]. Physical Review D, 2002, 66(4):046007.
- [15] MALDACENA J. The Large N limit of superconformal field theories and supergravity [C]// AIP Conference Proceedings, 1999, 484:51-63.
- [16] FUKUGITA M, YANAGIDA T. Baryogenesis Without Grand Unification [J]. Physics Letters B, 1986, 174(1):45-47.
- [17] MAKI Z, NAKAGAWA M, SAKATA S. Remarks on the Unified Model of Elementary Particles [J]. Progress of Theoretical Physics, 1962, 28:870-880.
- [18] LAI H L, HUSTON J, KUHLMANN S. Global QCD analysis of parton structure of the nucleon: CTEQ5 parton distributions [J]. The European Physical Journal C, 2000, 12(3):375-392.
- [19] DIMOPOULOS S, LANDSBERG G. Black Holes at the Large Hadron Collider [J]. Physical Review Letters, 2001, 87(16):161602.
- [20] LAZARUS D. Essay: Reflections on physical Review Letters [J]. Physical Review Letters, 2008, 101(5):050001.

作者简介

陈嘉勇，毕业于北京师范大学管理学院信息管理系情报学专业，现任北京邮电大学图书馆信息咨询部学科馆员，主要研究方向为管理信息系统、科学计量学。E-mail: chenjiayong@bupt.edu.cn

房熊俊，北京师范大学物理学系博士研究生。

王勳勉，暨南大学管理学院硕士研究生。

Structure and Dynamics of Specialties of Theoretical Physics - A Mapping Knowledge Domains Analysis in Journal of Physical Review D

Chen Jiayong / Beijing Normal University, Beijing, 100875
Fang Xiongjun / Beijing Normal University, Beijing, 100875
Wang Xumian / Jinan University, Guangzhou, 510632

Abstract: This paper maps research front and intellectual base on Journal of Physical Review D (from 2000 to 2010) according to research-front concepts, keywords, institutes, cited references and cited journals. The mapping knowledge domains can reveal the structure and dynamics of specialties of theoretical physics in the world, and discover the pivotal works, institutes, people and journals of the knowledge domain of theoretical physics.

Keywords: Theoretical physics, Physical Review D, Mapping knowledge domains, Research front, Intellectual base

(收稿日期: 2011-08-26)