

文章编号: 1007-4627(2000)01-0019-03

21 世纪核物理发展前沿探讨

王顺金^{1,2}

1 (兰州重离子加速器国家实验室原子核理论中心, 甘肃 兰州 730000)

2 (兰州大学现代物理系, 甘肃 兰州 730000)

摘 要: 评述了对下个世纪核物理发展前景的两种看法, 详细分析了 21 世纪核物理学将发生的巨大变革, 以及核物理学家面临的新挑战与新机遇.

关键词: 发展前景; 巨大变革; 新挑战; 新机遇

中图分类号: O571 文献标识码: A

在世纪之交, 各门学科的学者们都十分关心下个世纪本门学科的发展前景, 预测它的研究前沿, 以便规划自己的科研方向. 本文仅就原子核物理学的发展前景, 谈谈作者个人的看法.

1 两种看法

对下个世纪核物理学的发展前景, 存在着两种相反的看法: 悲观的看法与乐观的看法. 悲观的看法认为 21 世纪是核物理学不再受重视的世纪, 是核物理学家没有多少大事可干的世纪. 乐观的看法则认为 21 世纪是核物理学在广度和深度两方面开辟新领域的世纪, 是核物理学家面临新发现的世纪.

这两种看法都有其根据. 悲观看法的论据是:

(1) 美苏核对抗的消失, 使核科学社会地位下降, 经费锐减, 核物理研究处境困难; (2) 21 世纪将是生物学的世纪, 生物学将取代物理学成为社会的宠儿; (3) 近 30 年来, 核物理学没有大的进展, 表明核物理学已发展到了尽头, 不会再有激动人心的发现. 乐观看法则持相反的论据: (1) 美苏核对抗消失, 中国核大国地位上升, 两禁一裁给中国核科学家提出了新的挑战, 中国政府将加强核科学研究; (2) 21 世纪生物学是否能取代物理学的社会地位尚有待观察, 但是物理学在自然科学中的领导地位是由自然科学知识结构所决定的, 是长期的, 下个世纪也不会改变; (3) 近 30 年来核物理学经历了量的

积累与发展, 孕育着下个世纪质的飞跃.

本人以前曾持有某些悲观的看法, 但是经历过几年的调研与思考, 现在则持乐观的看法.

2 21 世纪核物理学面临巨大变革

30 多年来, 核物理学发展的量的积累, 孕育着 21 世纪研究领域的巨大变革^[1].

2.1 在广度方面的变革

20 世纪的核物理, 基本上是通常条件下(即以自然界提供的原子核为研究对象)的核物理, 21 世纪的核物理将是极端条件下的核物理. 极端条件包括人工创造的原子核的高温、高密度、高自旋(超形变)和极端同位旋条件等.

在同位旋极端条件下, 核物理的研究领域将扩大 20 倍, 从过去自然界提供的 300~400 种核素扩大到人造的 6 000~8 000 种核素. 这些人工合成的核素是远离 β 稳定线的、不稳定的、具有放射性的核素, 构成了核物理学的新的研究领域, 将导致核物理学各个分支领域的更新:

(1) 有效相互作用 核子-核子之间的核力作为 QCD 的夸克之间的剩余相互作用, 强烈地依赖于核的状态. 远离核具有丰富多彩的核态, 因而提供了研究有效核力的条件. 例如, 在远离核中存在超强的对力会导致超强的超流.

(2) 核结构 本世纪核结构研究有两项工作获

收稿日期: 1999-11-18

作者简介: 王顺金 (1937-), 男, 博士生导师, 从事原子核理论的研究.

得诺贝尔奖, 一项是 Mayor-Jensen 的壳层模型, 另一项是 Bohr-Mottelson 的集体运动模型. 远离核的研究表明有壳层效应趋于消失的迹象, 这就对传统的壳模型提出了挑战. 同时, 对远离核的研究还发现原子核中存在几个集团及其集体运动(如剪切运动和 Borromean 环运动), 这就超越了 Bohr-Mottelson 发现的原子核作为整体几何体的集体运动.

(3) 核反应 在核素种类扩大了 20 倍的情况下, 两体核反应体系的组合原则上可扩大 400 倍. 这些新的核反应体系将会导致新的反应类型与反应机制的发现. 特别是天体演化过程中决定元素合成的一些关键核反应, 只有通过远离核才能在地球上实现. 因此, 远离核参与的核反应研究将给天体核物理学提供关键而稀缺的数据, 数据的精确化与更新有可能改变 Bethe、Fowler 等人的理论结论.

现今核能的开发与利用, 都是基于过去关于稳定核的结构、反应与衰变的知识. 对远离核的结构、反应与衰变的研究将可能提供新的核燃烧链的知识, 使人们产生核能开发与利用的新的构思.

(4) 核衰变 几千种不稳定的远离核将提供极为丰富的核衰变种类, 从中可以发现全新的衰变模式, 如双质子衰变和重核发射就是近年的重要发现.

2.2 在深度方面的变革

在 20 世纪的大部分时间里, 对核现象的理解与描述是基于量子核子动力学, 近 20 多年才发展出量子强子动力学. 下个世纪的核物理学将进入一个新的层次, 从核子动力学经过强子动力学进入夸克-胶子动力学, 即从夸克和胶子的层次描述与理解强子和核的结构与性质.

当前, 一些粒子物理学家认识到, 粒子物理学的发展应分两路: (1) 新粒子、新的基本相互作用和新的基本理论的发现, 这一路的研究应当由粒子物理学家来承担; (2) 量子色动力学(QCD) 及标准模型的检验与发展, 这一路的研究主要归属核物理学. 产生上述认识的原因是: 检验 QCD 与标准模型的最好实验室是原子核, 而 QCD 的进一步发展是一个量子多体问题, 特别是 QCD 真空是一个空前复杂的多体问题. 经验表明, 粒子物理学家善于新粒子和新的基本相互作用的发现, 而核物理学家

则善于多体系统规律的研究. 因此, 21 世纪的核物理学家主要担当着检验与发展 QCD 和标准模型的任务, 把核物理学建立在 QCD 和标准模型的基础之上.

一个类比可以让人更信服上述论点: 21 世纪 QCD 和标准模型在强子物理和核物理中的应用, 十分类似于 20 世纪量子力学和量子电动力学(QED) 在原子、分子物理和固体物理中的应用. 量子论在凝聚态物理中的应用取得了光辉的成就, 培育出许多诺贝尔奖得主, 引发了技术革命, 促进了社会的巨大发展. 谁能说 QCD 在原子核物理学中的应用不会像前者一样产生巨大的影响呢?

量子论在凝聚态物理中应用的成功经验告诉人们, 由于多体系统的复杂性, 从第一原理即 QED 出发计算凝聚态的性质是难于实现的, 而基于量子多体理论的第一原理的模型理论或等效理论却在凝聚态物理的发展中起着重要的作用. 与此类似, 由于原子核作为夸克、胶子的多体系统和 QCD 真空的复杂性, 从 QCD 和标准模型第一原理出发求解强子和原子核问题的道路将是漫长而困难的, 必须经过基于 QCD 的等效理论这一中介阶段. 从这个意义上说, 改造强子动力学使之更符合 QCD 精神, 或者建立简化的符合 QCD 精神的夸克等效理论, 将是解决强子和原子核问题的一个重要阶段. 因此, 基于 QCD 的核物理应当包括基于 QCD 的强子动力学和夸克等效理论.

基于 QCD 解决核物理问题的困难在于: (1) 作为夸克、胶子多体系统的复杂性; (2) QCD 真空的复杂性; (3) 由于强作用, 上述两个问题耦合在一起, 必须用非微扰方法加以处理.

解决上述问题的关键是从众多自由度中提取出少数起主要作用的相关的自由度, 同时正确巧妙地描述与处理真空. 在约化自由度、提取相关自由度方面, 物理学已经积累了一些行之有效的经验准则可供使用, 其中主要的有:

(1) 基于自由度冻结与否的能量标度准则和时间标度准则 按照这一准则, 可以把运动模式分为硬模与软模、快变与慢变和高频与低频, 分别采取不同的处理方法, 突出相关模式而粗略处理非相关模式.

(2) 基于 Hilbert 空间按量子数约化的动力学对称性准则^[2, 3] 按照这一准则, 特定的动力学对称

性把整个 Hilbert 空间分成一系列物理子空间, 使复杂的问题可以在相关的物理子空间内求解.

(3) 基于多体系统的层次结构的集团展开或多体关联展开准则. 例如, 介子结构与真空背景中的价夸克的二体关联结构相联系, 而重子则与真空背景中的价夸克的三体关联结构有关.

在正确而巧妙地描述与处理 QCD 真空方面, 问题的关键在于从极其复杂的真空结构中提取出与物理问题相关的组态成分, 而且把这些相关结构与强子结构恰当地耦合起来^[4]. 近年来, 人们用瞬子组态对真空的简化描述所取得的某些进展, 就是这方面的一个很好的例子.

在基于 QCD 的核物理方面, 杨立铭教授有一些深远的想法^[4]. 他主张先从基于 QCD 的等效哈密顿量出发, 引进物理上的相似变换, 把裸夸克变换成物理夸克(即组分夸克), 用物理夸克去构造强子的组态, 同时把强子运动模式与真空耦合起来. 这一构思的实现是艰巨的, 但前景是诱人的.

基于 QCD 研究强子结构的有力工具之一, 是量子系统的动力学对称性理论. 强子结构虽然复杂, 但由于强子有好的量子数, 在夸克层次上很可能存在着某种动力学对称性, 这就使得复杂的强子

问题可以在一个相对小的物理子空间内讨论.

动力学对称性理论发源于核物理中的 Elliott $SU(3)$ 转动模型(1958) 和粒子物理中的 Gell-Mann $SU(3)$ 夸克模型(1961); 在 70~80 年代, 动力学对称性理论在核物理中得到了巨大发展, 出现了以相互作用玻色子模型(IBM) 为代表的原子核集体运动的动力学对称性理论. 在这方面, 杨立铭教授在原子核集体运动及其动力学对称性的微观基础的研究中做出了重要的贡献^[5,6]. 近年来, 他又打算把这种方法推广于强子结构的研究之中^[4].

3 结论

在 21 世纪, 物理学在自然科学的知识结构中的基础和领导地位不会丧失; 生物学能否在 21 世纪取代物理学而成为社会最重视的学科尚有待分晓. 物理学, 特别是核物理在促进生物学的发展中将起重要的作用. 核物理本身在广度和深度两方面都面临巨大的变革, 在新的研究领域中, 挑战与机遇共存, 核物理学家面临激动人心的新发现. 总之, 在 21 世纪, 核物理前景光明, 核物理学家大有作为.

作者恭贺杨立铭教授八十寿辰, 祝他健康长寿.

参 考 文 献

- [1] 魏宝文, 詹文龙, 夏佳文. 兰州重离子加速器冷却储存环 HIRFL-CSR[M]. 兰州: 兰州大学出版社, 1994.
- [2] 王顺金. 量子多体理论的某些进展. 兰州大学学报(自然科学版), 1999, 35(3): 56~63.
- [3] 王顺金. 人造量子系统的理论研究与代数动力学. 物理学进展, 1999, 19(4): 待发表.

- [4] 杨立铭, 私人通讯.
- [5] Yang Liming. Microscopic Investigation of the Interacting Boson Model. Progress in Particle and Nuclear Physics, 1982, 9: 147~182.
- [6] Yang Liming, Zhou Zhining. Microscopic Investigation of IBM and IBFM. Nucl Phys, 1984, A421: 229C~248C.

New Frontiers of Nuclear Physics in 21st Century —— a Preview

WANG Shun-jin^{1,2}

1 (Center of Theoretical Nuclear Physics, National Laboratory of Heavy Ion Accelerator of Lanzhou, Lanzhou 730000, China)

2 (Department of Modern Physics, Lanzhou University, Lanzhou 730000, China)

Abstract: Different opinions about prospects of the development of nuclear physics in the 21st century are displayed, and indicating great opportunities and challenges faced by nuclear physicists in the future are analyzed in detail.

Key words: new frontier; deep change; great challenge; opportunity