

中国科学哲学论丛

■ 李醒民 张志林 / 主编

ZHONGGUO KEXUE ZHIXUE LUNCONG

ZHONGGUO KEXUE ZHIXUE LUNCONG

万小龙 / 著

# 范·弗拉森的 量子力学哲学研究

量子力学作为一门严密的物理学，不仅是当代许多重大科学理论和领先高新技术的基础理论源，对其中的科学解释和哲学反思也是20世纪科学哲学的主要思想源之一。美国普林斯顿大学哲学系教授范·弗拉森的量子力学哲学思想以及在此基础上形成的量子力学模态解释学派就是活跃在近20年世界物理学哲学领域的一种颇具生命力的思潮。

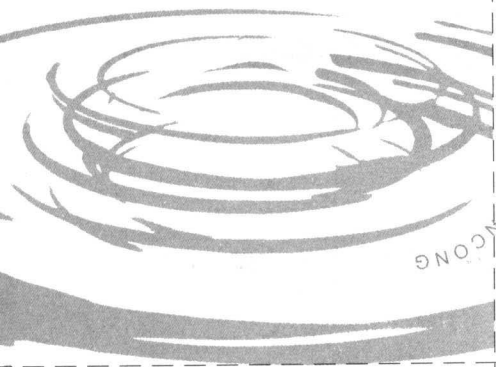
中山大学出版社

中国科学哲学论丛

■ 李醒民 张志林 / 主编

ZHONGGUO KEXUE ZHIXUE LUNCONG

ZHONGGUO KEXUE ZHIXUE LUNCONG



万小龙 / 著

# 范·弗拉森的 量子力学哲学研究

中山大学出版社

· 广州 ·

版权所有 翻印必究

图书在版编目 (CIP) 数据

范·弗拉森的量子力学哲学研究/万小龙著. —广州: 中山大学出版社, 2006. 1

(中国科学哲学论丛/李醒民, 张志林主编)

ISBN 7-306-02652-6

I. 范… II. 万… III. 量子力学—物理学哲学—研究 IV. 0413.1-02

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2005) 第 059683 号

---

责任编辑: 李海东

封面设计: 大象

责任校对: 何凡

责任技编: 黄少伟

出版发行: 中山大学出版社

编辑部电话 (020) 84111996, 84113349

发行部电话 (020) 84111998, 84111160

地 址: 广州市新港西路 135 号

邮 编: 510275

传 真: (020) 84036565

印 刷 者: 广州市番禺市桥印刷厂

经 销 者: 广东新华发行集团

规 格: 787 mm × 960 mm 1/16 14.75 印张 240 千字

版次印次: 2006 年 1 月第 1 版 2006 年 1 月第 1 次印刷

定 价: 29.00 元

---

本书如有印装质量问题影响阅读, 请与承印厂联系调换

本书所涉及课题先后得到

国家社会科学基金项目“量子力学哲学研究”(03CZX003)

教育部人文社会科学重点研究基地(山西大学)重大项目

“当代物理学前沿的哲学问题”(02JAZJD720012)

资助

## 内容提要

本书对量子力学解释史作了简明的总结，对范·弗拉森的建构经验论和量子力学哲学的关系作了比较，重点系统而力求翔实地介绍范·弗拉森对量子测量、量子概率和量子关联的模态解释，同时讨论了国内物理学哲学界和科学哲学界的相关观点。最后基于对范·弗拉森的量子力学哲学的全面理解和与其他主要解释理论的比较，提出一些独创性的观点：①全同粒子聚合显示了量子实在呈相对可分离的整体性；②全同粒子间的不可区分性是对个体性问题和同一性问题的深化。

## 作者简介

万小龙，男，1964年4月出生于江苏常州，物理学学士，科学哲学博士。曾分别就读于苏州大学、华中科技大学、武汉大学和巴黎 École Polytechnique。现为华中科技大学哲学系教授，博士生导师，逻辑与科技哲学学科负责人，主持国家社科基金项目“量子力学哲学研究”(03CZX003)，参与教育部人文社会科学重点研究基地（山西大学）重大项目“当代物理学前沿的哲学问题”(02JAZJD720012)。

# 科学哲学的论域、沿革和未来

——“中国科学哲学论丛”新序

李醒民 张志林

科学哲学（philosophy of science）是对作为一个整体的科学（知识体系、研究活动、社会建制）及其分支学科进行反思和批判的哲学学科。科学哲学的研究范围和边界虽然难以精确划定，但是我们依然可以大致勾勒它的四个论域或内涵，尽管其间难免有诸多交叉和重叠。

**PS1 即科学哲学元论。**它涉及科学哲学的根本性论题，是科学哲学的“形而上学”层次，与科学知识本身相距较远。例如，科学的目的、目标、对象、价值、范围、限度、划界、方法、预设、信念等。

**PS2 即科学哲学通论。**它涉及科学哲学的普遍性论题，与科学知识整体的关系密切。例如，科学的事实、问题、概念、原理、理论结构，科学的发现和发明、证明和辩护、说明和诠释、语言和隐喻，科学的发展、进步、革命，科学中的机械论和有机论、还原论和活力论、进化论和目的论、因果性和几率性、连续性和分立性，对科学的经验主义、理性主义、现象主义、工具主义、物理主义、操作主义、历史主义、约定主义、整体主义、后现代主义的解读等。

**PS3 即科学哲学个论。**它是科学各门分支学科中的哲学问题。例如，物理学、生物学、系统论、信息论、复杂性科学中的哲学问题等。

如果说以上三个论域大体属于科学哲学内论的话，那么 **PS4**

范·弗拉森的量子力学哲学研究

则可以称为**科学哲学外论**。它的主要研究对象是科学活动和科学建制的本性以及科学与外部世界——自然界、社会、人——的错综复杂的关系。例如，科学的规范结构和精神气质，科学的起源，科学的社会文化功能，科学与人生和人的价值，科学与政治、经济、文化、艺术、哲学、伦理、宗教的内在关联和外在互动，等等。

科学哲学的历史沿革源远流长。在这里，我们愿把近代科学诞生之前的科学哲学称为**前科学哲学**。它可以分为两个时期——**萌芽时期**和**溟濛时期**。萌芽时期的科学哲学有一个早慧的、天才的开端，留基伯和德谟克利特的原子论、毕达哥拉斯和柏拉图的数的和谐、亚里士多德的形式逻辑和四因说、欧几里得和阿基米德的演绎系统化理想等，自始至终影响着科学思维和科学发展。溟濛时期的科学哲学贯穿在整个中世纪：它像科学一样，也是从古希腊思想的高峰跌落下来，步履维艰地沿着通向近代知识的斜坡匍匐进行。中世纪的科学哲学并非像人们想像的那样是千年暗夜，它与科学相伴，在神学的一统天下愚拙而执拗地蒸馏和沉淀着。托马斯·阿奎那经院哲学的理性主义和宇宙图式，格罗斯泰斯特的归纳、证实和否认学说，罗吉尔·培根倡导的实验方法，邓斯·司各脱的批判哲学和求同法，奥康姆的差异法、“剃刀”原则、重视直观和证据的认识论，奥特库尔的尼古拉的怀疑论、因果性概念、同一和矛盾原则，比里当及其巴黎学派的自然哲学和经验科学精神，等等，都成为近代科学哲学的不可多得的精神遗产和思想元素。

与近代科学相比照，近代科学哲学也可以称为**古典科学哲学**或**经典科学哲学**。弗兰西斯·培根和笛卡儿分别代表了经典科学哲学的经验论传统之翼和理性论传统之翼。伽利略、开普勒、牛顿则在两翼之间保持了必要的张力，并将其付诸创造实践，在科学探索过程中予以锤炼。他们三人不仅是经典科学的奠基人，而且也是经典科学哲学的建构者。法国百科全书派、洛克、莱布尼兹、休谟、康德都是经典科学哲学当之无愧的里程碑，约翰·赫谢耳、孔德、休厄尔、J. S. 穆勒则使经典科学哲学更加系统化和体系化。

19世纪末和20世纪初，伴随着经典科学的危机和现代科学革命的酝酿，**前现代科学哲学**应运而生，大放异彩。除了德国哲人科学家群体（赫兹、亥姆霍兹、基尔霍夫、玻尔兹曼等）的杰出贡献外，以马赫、彭加勒、迪昂、奥斯特瓦尔德、皮尔逊为代表的**批判学派**则是其创造者和



集大成者。这个学派是由哲人科学家形成的“无形学院”，它的科学统一思想、历史-批判风格、对直觉和思维经济以及科学美的推崇、进化认识论、科学的人文主义（新人文主义）和人文的科学主义（新科学主义）、诸多后现代意识（观察渗透理论、不充分决定论、判决实验不可能、归纳法不切实际、方法和理论多元化、科学中的语言翻译和诠释、关系实在论、主体间性、科学发明即是直觉选择等）以及要素论、约定论、整体论、能量论、感觉论，成为现代科学哲学的源头（马赫的经验论和彭加勒的约定论是其“活水”）和后现代科学哲学的引酵，同时也确实孕育和哺育了现代科学。

现代科学哲学的桂冠，理所当然地落在逻辑实证论或逻辑经验论及其分析哲学和语言哲学的头上。其中坚人物石里克、卡尔纳普、莱欣巴赫、维特根斯坦、艾耶尔等在对科学的逻辑和语言分析方面贡献卓著、有目共睹，在科学哲学的历史上树立起一座永恒的纪念碑。但是，逻辑经验论坚持极端的科学主义立场，拒绝历史主义和形而上学的维度，缺乏整体论的观点和广阔的兴趣与视野，漠视科学发现和科学进步的研究，排斥多元主义的方法论，这样就不免背离了批判学派的思想菁华。其结果，逻辑经验论不仅加重了科学文化和人文文化的分裂，而且也导致了哲学与科学的疏离——批判学派的哲学与科学水乳交融及其前瞻性和勃勃生机在它那里消失得无影无踪了。造成这种后果的原因其实倒很简单：逻辑经验论的代表人物虽然有良好的科学素养和扎实的哲学功底，然而他们毕竟没有哲人科学家那样的科学创造实践和科学发明体验。

在这里，很有必要对**爱因斯坦的科学哲学**大书一笔。爱因斯坦可以说是历史上的和他所处时代的科学哲学遗产的优秀继承者，尤其是他从批判学派那里直接汲取了丰富的思想营养和独到的学术理路，加上他对自己科学活动和成果的反思，致使他这位20世纪最伟大的科学家也成为20世纪最伟大的科学哲学家。爱因斯坦的科学哲学是熔温和经验论、科学理性论、基础约定论、意义整体论、纲领实在论于一炉的多元张力哲学，与之相辅相成的探索性的演绎法、逻辑简单性原则、臻美取向和形象思维等科学方法又锦上添花，从而在科学哲学的历史上谱写了最壮丽的华章。

20世纪50年代和60年代，以波普尔的批判理性主义和证伪主义、库恩的历史主义和范式论、拉卡托斯的研究纲领等为先导，后现代科学

范·弗拉森的量子力学哲学研究

哲学昂然登上历史的舞台。奎因、弗耶阿本德、罗蒂、范·弗拉森等都先后引领过潮流。尽管他们有意或无意地继承了批判学派的某些后现代意向，但是却恣意地把它们推向极端乃至危险的边沿——这在他们的反基础主义、反本质主义、反理性主义、无政府主义方法论、文化相对主义中表现得尤为淋漓尽致。不过，后现代科学哲学中也有警世之言和时代的睿智，值得批判地予以借鉴。

21 世纪的科学哲学向何处去？我们不是预言家，不好就此妄加评论和断言。但是，这并不妨碍我们尝试做一些大胆的猜测。在未来较长的一段时期内，科学哲学大概会回归批判学派的旨趣和进路，在与现代科学哲学和后现代科学哲学保持必要的张力中为自己开辟前进的道路。这里有两个指路标。其一是**宏观综合视野**：通过跨学科的研究和多维度的透视，发掘科学思想、科学方法、科学精神的人文价值和**精神底蕴**，揭示科学的文化蕴蓄和文化意义，从而彰显科学的智慧之神韵，促进科学文化和人文文化的汇流和整合——这是**科学哲学外展或科学文化哲学**的路向。其二是**微观分析视野**：立足于各门科学的肥沃土壤，着眼于科学家（尤其是哲人科学家）的创造活动和思想淀积，在缜密分析和精心提炼的基础上生发出鲜活的科学哲学——这是**科学哲学内生**的路向。在这两个路向，科学哲学家的开掘还十分有限，在诸多领域只不过刚刚开始。因此，科学哲学不仅有伟大的过去，也有充实的现在和光明的未来。

**科学哲学在中国**的历史相当单纯。在五四新文化运动时期（1914—1937），科学哲学曾经有过一段颇为辉煌的时期，此后由于救亡、战乱和特殊的政治生境，它不幸长期处于萧条乃至沉寂状态。直至20世纪70年代末和80年代初，它才伴随着改革开放的春风吹绿神州大地。在近25年的执著奋进和顽强抗争中，科学哲学既作为思想启蒙的一支劲旅影响了转型时期的中国社会和中国人，也作为蓬勃发展的哲学学科跻身于中国乃至世界学术之林。1979年创刊的《自然辩证法通讯》就是其最好的见证，25卷杂志忠实地记载了新时期科学哲学在中国的坎坷经历和坚实足迹。科学哲学在中国已由80年代的引进评论阶段进入90年代以来的问题研究阶段，我们企望21世纪它在方法和范式上有所创造。但是，加强问题意识，淡化体系建构，始终应该作为我们的研究导向——这也是即使在以评介为主的80年代，仍有不少学术佳作和思想成果问世的原因。

由于多位热心人士的力促，在中山大学出版社的慷慨赞助和鼎力支

持下，“中国科学哲学论丛”在中止了三年有半之后，像烈火中的凤凰一样，在充满馨香的氛围中复生了。我们期待她能不断接纳科学哲学（包括部分自然哲学、技术哲学、科学思想史、科学社会学）的力作，成为中国科学哲学学人和学子的思想创新的竞技场和精神漫游的休憩园。我们不奢望她能够万寿无疆，但却祝祷她天长日久。为此，我们愿以下述诗句恭迎她斐然出场：

凤凰涅槃复生还，馨火焚烧若等闲。  
留得雄文乾坤在，太阳神殿献祭坛。

2005年岁末于京、穗

# 量子力学哲学研究的新成果<sup>①</sup>

——记万小龙对范·弗拉森“量子哲学”的解读  
(代序)

万小龙博士是我们武汉大学外国哲学博士点所培养的优秀生之一，我从1996年开始招博，他是我所带的第一个科学哲学博士。《范·弗拉森的量子力学哲学研究》（中山大学出版社2006年版）这本书是在他的博士论文基础上精心修改而成的。我想，在这里交待一下他选题、研究和写作的背景看来是比较恰当的。我们这个博士点在科学哲学、分析哲学方面有“江天骥传统”，它强调把握西方“狭义的科学哲学”的脉络，要对最有代表性的学派、人物、著作及思想进行细致研究，要保持客观、中肯、不失真。我认为，范·弗拉森正好是继劳丹之后的又一位最重要的科学哲学家，他的建构经验论在科学实在论与反科学实在论之争中独树一帜。因此，选择范·弗拉森的科学哲学为题是符合“江天骥传统”的，或者说是能保持本博士点特色的连续性的。这是第一方面的考虑。

诚如库恩《必要的张力》所指出的，继承传统与发扬、革新传统是相互依存、相互促进的两个方面。由于我本人是学理科的，喜欢结合经验科学背景来做科学哲学，这是我的个人特点。因此，我在第二方面的考虑则是，要结合学生不同的背景知识（专业背景）因材施教，提倡“分科化的科学哲学”，主张

<sup>①</sup> 本书属于教育部人文社会科学重点研究基地（山西大学）重大项目“当代物理学前沿的哲学问题”的成果（批准号为02JAZJD720012）。

范·弗拉森的量子力学哲学研究

将“狭义的科学哲学”所提供的通用原理（取其合理内核），分别用于物理学哲学、生物学哲学、经济学方法论和计算机科学哲学等等。现在的情况是，范·弗拉森的量子力学哲学出现在科学哲学与现代科学的交叉点上，他的模态解释在量子力学解释群中也独树一帜。另外，万小龙的本科就读于苏州大学物理系，硕士阶段师从殷正坤教授（殷正坤早在20世纪80年代末就成名于《量子历程》及《西方科学哲学教程》）研究物理学哲学。综合这些背景信息，我的结论是，万小龙非常适合于范·弗拉森的量子力学哲学研究这一选题。万小龙欣然接受了我的建议（我不强制）。

万小龙也是我所主持的两个科学哲学项目的主要成员，他思想活跃，并且极有创见。我们把课题组称为自己的“量子哲学共同体”，万小龙是一员干将。我分给他的任务是，以范·弗拉森为基点，继续研究量子力学的基本哲学问题。这两个项目是：项目1，物理学哲学研究（国家社会科学基金，2000年获准，2004年8月通过国家鉴定，评为优等）；项目2，当代物理学前沿的哲学问题（教育部山西大学基地重大项目，2003年获准，正在进行中）。我本人所做的工作主要有：量子革命前后物理思想史的研究（如撰写《玻恩传》、《海森堡传》等，研究由量子工程师、量子数学家与量子哲学家各自提出的三种研究纲领的互动关系及其在量子革命中的作用）；在量子力学哲学方面，我把注意力集中于辩证法因素的发掘上，如N. 玻尔互补性的逻辑与辩证法，海森堡关于“潜在是物理实在新型式”（可能与现实的中间物）的思想，M. 玻恩关于“量子世界是因果与机遇联合统治”的思想，D. 玻姆关于“偶然性出现在多种原因、可能趋势的交叉点上”、“即使真空也充满着全息运动”的整体论思想，等等。其中每一种具体的辩证法都有各自的优点与局限性。这两年我也为“规范场的哲学意义”而操心，有时甚至感到焦虑。我仍坚信宇宙基本相互作用的奥秘深藏于数学规律，尤其是基本对称性之中（即使表现上的“对称性破缺”仍是深层规律的内在对称性局部的不完全的反映）。说“上帝”是“优秀的几何学家”和“科学美学鉴赏家”并没有错，只不过这个“上帝”就是自组织的宇宙本身。基本对称性是宇宙所固有的，从认识角度讲，“因为美，可见（很可能）真”，从本体角度看却是“因为真，所以（很可能）美”，毕达哥拉斯主义、宇宙计算机主义必须与科学实在论相结合才能落到实处。

与万小龙共处，我真切地体会到“后生可畏”！2003年暑，我与他一起在教育部分山西大学基地做课题，历时一个半月，他一口气构思了关于量子力学哲学问题的八篇论文，如今已经全部兑现，正式发表。他精力充沛，雄心勃勃，信心十足，最可贵的是说到做到。顺便说一下，他的“量子姐姐”成素梅教授（那是“量子哲学共同体”对她的昵称）也是这样。相形之下，我觉得自己对于在难度系数高的战线上连续作战来说，多少有点精力不济、力不从心了。应当说，今后的希望寄托在他们身上了！

若要问万小龙在研究风格上的主要特色是什么？我以为，如果放在科学哲学学术圈内来看，则可以说他的特点是在对当代物理学艰深问题有较深入了解的基础上的精密细致的逻辑分析与语义分析技巧。诚然，他教过数理逻辑，但这里主要并不是指他会解“两个演算”的习题。“擅长于逻辑分析”决不是一句空话。毛泽东说得好，对所论矛盾不真正了解，就不可能有中肯的分析。万小龙对量子力学的要害问题是有深入了解的，因此就可能有中肯的分析。假如有一位哲学家对“波粒二象性”在物理实验中究竟具体指称什么一无所知，那末他的“逻辑与语义分析”越“精密细致”，在过于注重实证的科学家眼里就越显得可笑，毫无价值可言。

我们的“量子哲学共同体”通过激烈的争论与讨论，形成许多共识。在量子力学诠释问题上所达成的一致意见，按照我的概括是，应当持科学哲学上的多元主义方法论的立场。尽管每一种合理的诠释应当对整个论域一概地正确，然而仍可能采取不同视角，在不同意义上进行正确解释。几乎每一种解释都像盲人摸象能摸到局部真理，但整合之后才可能有完全真理。其中哥本哈根正统解释仍不失为各种不同解释的基本参照系。万小龙在本书中重点分析了正统解释、统计解释、多世界解释与隐变量理论这几种最典型诠释的优缺点，尔后引出范·弗拉森独特的模态解释的主要作用与特征。

通过激烈争论，我们的“量子哲学共同体”一致认识到将正统诠释中科学成分与哲学成分混淆起来是不对的。按照我的概括，应当澄清的是：测不准关系与玻恩几率诠释（或称统计诠释），本身属于科学成分，为各派所共有。那正是倡导者获得诺贝尔奖的依据。惟有把“测不准性”与“几率性”看成单个粒子天生的不确定性所致，这种理解方式（哲学

范·弗拉森的量子力学哲学研究

理念)才为哥本哈根诠释所特有。万小龙在本书中原则上接受了这一理念,并且在某些方面区分得更加精细化。例如,他对玻恩(1)、玻恩(2)与玻恩(3)及(4)作了辨别:(1)玻恩对波函数的原始几率陈述——在1926年提出,因此未能考虑1927年的测不准关系,错把微观粒子当作经典粒子处理;(2)玻恩对量子统计的单粒子内禀几率解释——量子几率是描述单个体系的,量子力学是关于单个过程的完备理论;(3)玻恩规划——对系统在一定的状态中作一完美测量的结果,对应于可观察量值的概率表达式;(4)玻恩统计解释——现在量子力学教科书中符合玻恩规则的波函数诠释之称。他的结论是,玻恩(3)、(4)是对形式体系的物理诠释,而玻恩(2)的内禀几率解释才属于哥本哈根的哲学解释内容。

在对量子力学基础所做的分析中,万小龙还提出了两点独到的想法:一是通过逻辑分析,得出量子力学的标准数学形式是内在的自洽的,并与正统物理诠释相协调,然而由标准数学形式加上正统诠释所构成的整体量子力学却是不完备的。他把科学理论的整体分成五层结构:由下而上分别是经验、经验陈述、物理理论陈述、逻辑数学陈述直至形上学陈述,缺少任何环节在理路上都会显得不顺畅,都得补上。二是运用历史分析得出,若要使之完备化,必须将玻恩几率这种关于代数关系的解释转换成相应的空间关系解释。

范·弗拉森把量子力学哲学研究概括为三个要害问题,即量子测量、量子概率和量子关联问题。而范·弗拉森关于量子力学的哲学思想,其核心内容就在于对量子测量的模态解释。万小龙在对范·弗拉森的观点进行梳理、解读、再分析的基础上,系统地阐发了自己的新见解。

“量子哲学”第一个要害问题是量子测量疑难。这一问题千头万绪,一般情况下很难把思路理清。作者按玻恩-冯·诺意曼主线对测量的解释问题加以展开,这样就能收到“快刀斩乱麻”的效果。正统解释有两个版本,一是哥本哈根的,二是冯·诺意曼的(两者在根本上是一致的。可惜作者对此未作任何分析)。按照冯·诺意曼版本,正统解释=量子力学标准形式(以冯的五个公理为基础,包括可疑的第五公理即投影假设)+冯·诺意曼解释规则(即本征态-本征值的关联)。薛定谔波动方程被认为是量子力学特有的因果律,因为它能根据系统的初态给出相互作用之后系统的耦合态。可是,玻恩规则仅能给出作为测量结果的可观察量

的值的概率。于是，在测量之后系统的态与可观察量的值之间两头脱节，这就是著名的测量疑难。冯·诺意曼引入本征态 - 本征值关联的解释规则（即当且仅当系统  $Y$  处于与其中可观察量  $B$  相应的一个本征态时，可观察量  $B$  才有值  $b$ ），正是为了在系统的耦合态与可观察量值之间设法建立联系。然而，由薛定谔方程决定的测量仪器与被测系统在相互作用之后的耦合态，仍不等同于人通过仪器测量到的可观察量的值（仪器指针的确定读数）。为了进一步消解两头脱节，冯·诺意曼又引进了著名的投影假设（假定正是人的观察行动即对仪器的“最后的一瞥”，才导致耦合态投影到其中之一的本征态，其态的变化的概率正是波恩概率）。可是，冯·诺意曼的测量解释并未真正消解矛盾，反而激化了矛盾。因为它将人的主观作用这一非物理因子引入了解释之中，这正是任何真正意义的科学解释所难以容忍的。

范·弗拉森区分了量子力学中非（即非严格）决定论的两种可能形式：（1）给定初态  $W$ 、输入特性  $In$ ，通过测量， $In, W \rightarrow W', Out$ 。终态  $W'$  被（薛定谔方程）完全决定，然而输出特性  $Out$  却是概率性的。（2）给定初态  $(In, W)$ ，输出特性  $Out$  被完全决定，终态  $W'$  则是概率性的。范·弗拉森否定了（2），即整个冯·诺意曼的非决定论方案，即抛弃了投影假设，又抛弃了本征态 - 本征值对应规则（而用玻恩确定概率的规则替代之）。并且他另辟蹊径，为真正解决测量疑难，开拓了第一种非决定论的可能性。于是引出了关于量子测量的模态解释。按照模态解释， $In$  和  $Out$  分别表示初态与终态中可观察量的值（值态）， $W$  和  $W'$  则分别表示相应的动力学态（初态与终态）。通过测量， $In, W \rightarrow W', Out$ ，初态  $W$  向终态  $W'$  演化完全由薛定谔方程决定（没有非因果跳变）。 $W'$  与值态  $Out$  之间的关系本来就是统计概率关系（满足玻恩概率规则）。概括地说，范·弗拉森方案的要点是：假定整个物理情态包括两种情况，一是动力学态无论是否作测量，它总是按薛定谔方程作因果决定性的演化；二是值态，它是测量仪器的指针作显示。新解释的关键在于认定动力学态与值态间的转变，本不该错将概率性蕴涵的或然关系误用实然陈述来描述。所谓模态解释，其实只不过是范·弗拉森用精确的数学和逻辑语言对测量过程作了重塑，恢复其本来面目而已。因此，量子力学的全部预言照旧可以再现，分毫不差。范氏把这种模态解释的思想推广处理整个量子力学和其他科学实验问题，这样才确定了他的建构经验论。目前国内学



术界对范·弗拉森的研究很少能达到这一深度。

“量子哲学”第二个要害问题的是量子概率与经典概率的实质性区别问题。我们武大外国哲学博士点历来有研究概率归纳逻辑及概率的多种解释的氛围，这本来就是“江天骥传统”的一个不可分割的组成部分。江天骥教授是国内引进概率归纳逻辑的第一人（讲座1984年，专著1987年）。此后，我与任晓明、朱志方撰写或参编过一系列归纳逻辑著作，如《机遇与冒险的逻辑——归纳逻辑与科学决策》（三人合著，1996年）、《当代归纳逻辑探赜》（任晓明，1993年）、《归纳逻辑导引》（参编，1992年）、《归纳逻辑与人工智能》（参编，1995年）等。很自然地，万小龙能够轻松自如地通过梳理范·弗拉森的思想而把握量子概率的真谛。

玻恩在1925年提出波函数的原始几率解释时，顺利通过了原子散射等实验检验，量子概率与经典概率的本质区别尚未凸显。然而，双缝干涉实验却突现了量子概率的特异性，因为双缝干涉图样决不是两个单缝衍射图样的简单叠加。有一种现在很流行的概率的解释方法，是保留玻恩将概率直接相关于态函数，但强调这时概率不是直接地合成而是通过概率幅来合成。量子力学的态叠加原理实质上是针对概率幅的叠加，它既非玻恩原始解释中的概率直接叠加，也非统计力学中的经典力学量叠加。据此，双缝等实验就得到合理解释。另一种是范·弗拉森解释：经典概率是直言式的无条件概率，量子概率则是假言式、蕴涵式的条件概率。在这样的限制下，量子概率仍能使用与经典概率相同的运算规则。此两种方案从不同角度揭示了量子概率的本质。范·弗拉森还在澄清莱欣巴赫的严格频率解释及波普尔倾向解释的含混之处后，整合了两者的优点，创立了概率的模态频率解释。

“量子哲学”第三个要害问题是量子关联，即EPR关联及全同粒子问题。爱因斯坦等人著名的EPR论文（1935年）揭示了由量子力学理论的内在逻辑可以导出量子远程关联的存在性，这是与常识相悖的。范·弗拉森创造性地用“可观察量”代替EPR原文中的“实在”，结果拯救了EPR推理，表明原推理仍然有效，量子远程关联应当成立。即使放弃投影假设仍然如此。范·弗拉森细致分析了多种可能的哲学解释（机遇、巧合、同格、前定和谐、逻辑同一和共因），并一一加以排除。最后的结论是可以定性为纯统计性关联。我的看法是，量子远程关联从某种意义上更接近于自然界（量子世界）本身的“前定和谐”。这种整体同步效