序　言

物理实在论是一门研究物理实在及其意义（物理现象的本性）的学问。它不仅涉及物理学基础研究的一切方面，而且涉及数学、逻辑、语言与认知心理的方方面面，它跟本性哲学、认识哲学、语言哲学与意义哲学有着直接的依存关系。

洪定国教授曾于 1979—1981 年师事著名量子物理学家与科学思想家戴维·玻姆教授，进行对物理哲学的系统研究，曾著有《物理学理论的结构与拓展》（科学出版社，1988 年）及《戴维·玻姆的科学思想与方法》（光明日报出版社，1990 年）。在本著作中作者总结了他以往多年在物理学哲学领域的研究工作。

物理实体是物理经验的理论抽象，它的实在性从来是哲学争论的焦点。为探讨这个问题，洪定国教授建构一种寓于正常思维习惯与科学家正常研究程序之中的进化哲学。他强调，常人从幼儿意识发端就开始逐步形成的、在直觉与逻辑中寻找平衡的思维习惯，是常人的认知基础，思维关于经验的"形下"逻辑操作与关于实体本性把握的"形上"理性直觉之间的交替作用，对于常识实体观念的形成起着关键作用。物理科学承认常识实体观念的本体论意义，并以此为自身探究的起点，把实体形上学观念向日常经验不能直接感知的、既广袤又精细的领域拓展，在高层次上建立起以诸如电子、质子、电磁场之类的物理实体为其要素的种种实在观。然

需要全本请访问 www.ertongbook.com

而,物理实在观不是一成不变,而是不断进化的。任何层次的实在观都不可能免除科学进一步发展对它的质疑，从而摆脱不了被进一步修正的命运。因此，在物理实体的实在性问题上认识论与本体论之间的冲突，始终在无穷的认知序列中发生和解决。

现代科学与现代哲学在各自的发展中，缺乏应有的沟通手段和愿望，致使哲学家与物理学家关于物理实在及其意义的态度与理解存在着众多的深刻分歧。作者认为，如果物理学工作者能更多地了解哲学,以具备现代哲学素质 哲学工作者能更多地了解物理学,理解量子力学、相对论等等以及数学物理公式的内涵,那么，他们之间的沟通当可能建立，而交流的愿望也会自然产生。按照这种思想构起的框架,《物理实在论》分为三大篇 第一篇从大脑、意识、语言和逻辑出发,引进到自然科学实在论与物理学语言,为物理学工作者提供了必要的哲学背景。第二篇涉及经典物理学、量子物理学和宇宙学的内容及其物理实在的观念，从历史出发追溯了这些观念的发展过程。这一篇的第六章‘ 量子物理学世界 ’详细地介绍和讨论了本世纪最为激动人心的物理认识论的争论、探索和进展。这一部分含有迄今认识论上的一些著名难题的症结，也是作者前期工作的功力所注。本书的第三篇把讨论引进到当代物理学前沿的概念和构思,和第二篇一道,提供了一个比较完整的物理学实在的概念、结构和发展过程,为哲学工作者进入物理实在论准备了必要的背景。

这是一部饱含哲理而又深入物理实际的著作。它以整个物理发展史、物理学前沿的最新进展和有关物理学哲学的众多探索为基础,史实准确,知识深广 引用的文献新而丰富,列出参考著作 74 部、论文集 218 篇,其中大部分是 70 年代以来国际学术界的重

要论著。

应当说,物理实在论的探讨是无穷的开拓,需要一代代“哲学一物理学家”的持续努力。洪定国教授的这部著作为这种努力提供了一部厚实的参考，并为初探者提供了引导。物理学知识在发展中必然要更新，著作中的相应部分当随之而变。但是物理学的历史和从中探求出的规律和认识论的线索则是确定的知识。这些知识及向前的展望,作为作者著述的立足点,使本书赋有了更强的学术时效。

北京天文台研究员、中国科学院院士　王绶琯

1995 年 12 月于北京

前　言

本书是中华哲学、社会科学基金赞助课题《量子力学、相对论与认识论》的最终研究成果。课题的展开不仅牵涉到物理科学基础的一切方面,而且涉及到数学、逻辑学、语言学、心理学和哲学的方方面面。从本质上来说，扩展后的主题是对于哲学家和物理学家关于物理实在及其意义的态度和理解的一种探询。因此，本书定名为《物理实在论》。

我曾经把‘实在的本性,以及以物理学理论的形式对实在所作反映的本质’作为自己的研究纲领。依我看,物理学的发展应视为一种过程,这过程不仅是历史的,而且是一种综合理解。就某些方面而言，这种理解类似于物理学所追求的目标。我是 1980－1981 年在英国伦敦大学伯克贝克学院进修访问期间，把这思想付诸实施的。

记得 1981 年 6月一个星期三的下午，我在伯克贝克学院图书馆偶然读到 A. Hooker 的长篇论文《Metaphysics and Modern Physics》,很受启发和鼓舞,当即产生了一个把我的上述思想写一本书的念头,回到系里整理思绪,顿时觉察到,一个完全的物理学理论应是一个四维体系，即理论基本概念的操作定义，理论的数学结构,理论的形上学解释和理论的历史延拓。当时,我很兴奋,未经预约就跑到隔壁玻姆教授办公室同他谈了自己的打算。他对于我

需要全本请访问 www.ertongbook.com

对物理学作形上学探究很感兴趣并表示支持。转身在他办公室的黑板上方写上 metaphysics(形上学)一个大字说:"形上学是处理事物第一原理(涉及本体论与宇宙学)的哲学分支。人们并不知道实在的最终本性，所以，许多现代哲学家和科学家都反对研究形上学。殊不知，形上学是任何人都回避不了的。问题是对形上学应采取一种正确的、开放的态度。"他又在黑板的下方并排写上 ontology(本体论)epistemology(认识论)和 methodology(方法论)三个大字,分别用线跟 metaphysics 相连，向我详细阐明了它们之间的关系。玻姆的这番教诲对我后来的工作有着潜在的影响。在那以后的四个月时间里,我埋头于写作。英文手稿"The Structure of Physical Theories and Their Unfoldment"曾得到玻姆教授和海利博士的逐节逐章校正,他们为这本书稿撰写了前言,高度评价我的工作的主要成就:"是把物理学的整个发展置于一个统一的脉络之中,而且考虑了各种理论彼此相关的演变过程,从而给人以洞察力,去观察以前物理学实际上是怎样做的，未来的物理学将如何以更加系统化的方式做下去。这种整体观点能使人们更好地理解科学的一般活动,以及这种活动是怎样实现它的目标的"。这个英文文稿是科学出版社 1988 年出版的《物理学理论的结构与拓展》一书的前身。

我之所以在这里比较详细地记述这段往事，是因为我把眼前的课题看作我原先工作的一种深化和延拓并且,我把这一研究当作对于尊师玻姆教授的永久纪念（他因心脏病复发，不幸于 1992 年 10 月逝世,终年 74 岁)。

自量子力学问世之日始,人们对于它的认识论意义,一直存在严重分歧,玻尔和爱因斯坦卷入并领导了前期的历史大论战,结果是物理学主流离弃了爱因斯坦,走向只顾研究物理纯技术(数学的

与实验的）问题的道路。只有为数不多的对量子力学标准观点不满意而持实在论观点的理论物理学家和物理哲学家，坚持不懈地探索量子力学基础问题。他们的努力导致了 EPR 实验付诸实施。由于贝尔不等式的否定性实验结果，展示了量子现象的非定域相关性，使得物理学界和科学界再次掀起了对于量子力学的认识论蕴涵的新探索热。

跟量子力学相比较,相对论的问世给传统观念带来的冲击,不算是十分巨大的。诚然，以统一的四维时空取代分离的三维空间和一维时间,确实是时空观念的一次大飞跃;以四维时空度规场取代引力场,更是时空观念的一个根本性转变。但是,它们毕竟分别只是‘真空光速不变’和‘引力质量和惯性质量等价’两个简单‘原理”的逻辑推论。

反映实在本性的理论,内涵是无限丰富的,从中可以演绎出远离理论所赖以建立的有限简单经验事实的无穷个“理论现象”来。如果在现实中真的创造出这些理论现象所需要的条件,那么,它们真的有可能转变成现实。量子力学与相对论就是这样的理论。现在,它们已经繁衍出原子物理学、分子物理学、原子核物理学、粒子物理学、等离子体物理学、凝聚态物理学、天体物理学等许许多多分学科。可以毫不夸张地说,20 世纪现代物理学在拓宽物理学经验领域方面所取得的全部成就，都是这两个伟大物理学理论的直接或间接的胜利。

然而，量子力学与相对论是两个独立的、自洽的物理学理论，它们具有截然不同的概念体系和数学结构。可是，在广大的经验领域内,这两个理论又是能合作相处的,而且,在探索我们宇宙的演化方面,它们合作得相当出色,当然,其中需要经典物理学有关

学科的适时参与。事实上，标准的热大爆炸宇宙学是关于宇宙演化的一种综合性科学理论。在这理论中，宇宙的总体膨胀由引力(即度规场)主宰 但演化的大部分细节则主要是由热力学统计物理学,流体力学,原子物理学,核物理学以及高能粒子物理学支配。可是，量子力学与相对论并非在一切场合与条件下都证明是彼此相容的。在极端的物理条件下，这两者会导致尖锐的冲突。

大家知道,现行物理学有三个分别主要应用于宏观、宇观和微观领域的重要物理常数，即狭义相对论中的真空光速 c,广义相对论中的引力常数 G,和量子力学中的普朗克常数 h。普朗克常数刻画了微观客体物理量的非连续性特征。例如，每个光子的能量是普朗克常数乘以光子频率 $E=h\nu$ 基本粒子的自旋角动量是 $\hbar=(h/2\pi$的整数倍(玻色子)或半整数倍(费米子)。利用量纲分析，不难从这三个常数 c、G和 $\hbar$ 推导出基本时间、基本长度和基本质量来，分别称为普朗克时间、普朗克长度和普朗克质量。在克·厘米·秒制中，它们的量值是：

$$T_p=\sqrt{G\hbar/c^5}=5.4\times10^{-44}\text{秒}$$

$$L_p=\sqrt{G\hbar/c^3}=1.6\times10^{-33}\text{ 厘米}$$

$$M_p=\sqrt{c\hbar/G}=2.2\times10^{-5}\text{克}$$

现代物理学家普遍认为，它们分别为现行物理学所不可及的时间间隔下限、空间长度间隔下限和基本粒子质量上限。它们离地球上现代实验技术所能达到的领域都是极其遥远的。例如，利用激光对撞锁模术可测得的时间精度为 10^{-14}秒 用高能电子束作为质子内部结构探针所探查到空间距离的精度为 10^{-14}厘米。它们分别与普朗克时间和普朗克长度竟相差 30和 19个数量级！如果把

普朗克质量换成能量,它相当于 10^{19} Gev，美国原打算兴建的超导超对撞机所能达到的能量只是 4×10^{4} Gev,与普朗克能标相差 15 个数量级！（克林顿政府已决定终止这项耗资近百亿美元的巨大工程。然而，欧洲联盟正筹划着类似的工程。日本与美国有参与意向。）

当接近或超越普朗克标度时，仅仅从克服理论内在困难考虑，现行的量子力学和相对论也不能再正当地使用了，出路只能是建立一个既包容又超越现行量子力学和相对论的新物理学。无疑，这其中所涉及的认识论问题是极其深刻的。

使用现代数学的纤技术,试图在规范场论的构架内,建立一个在普朗克标度上成立的单一物理学，是理论物理学界一项极为艰难却具有空前诱惑力的理论工程，吸引了一批极富形上学想像力和数学才能的理论工作者为之奋斗。他们很自然地把这一事业同探索宇宙创生(起源)奥秘和实在极终本性连系在一起。然而,我不认为持这一还原论睿智物理洞见的卓越物理学家们，具有足够宽广的哲学胸怀。

在这个序言里,我不打算、也不可能全面提及跟量子力学和相对论基础研究相关的各个方面。但是，仅从这里已经提及的几个侧面考察,就不难发觉,在物理学与哲学之间,存在着斩不断的内在联系。比方说，成功理论的秘诀何在？意义又是什么？它们为何会有尽头？出路又在哪里？这些问题都深深关联于一个理论的认识论地位问题,需要有现代物理学和现代哲学的双重思考,才能作出非平庸的、有意义的回答。我特别提请读者注意这样一个重要事实 摆脱经院思辨哲学的桎梏,是开创近代自然科学的先决条件之一 伽利略一牛顿创立的观察、实验与数学相结合的物理学实

证方法,开辟了物理科学自主发展的道路 现代物理学又把物理学概念的操作定义以及程式(formalism) 提到了前所未有的高度。表面上看,这些发展似乎加速了物理科学与哲学的分离,使物理科学越来越难于为哲学家所驾驭和理解。但实际上，这些发展乃是物理科学进步和成熟的一种表现，存在着深刻的哲学动因。我一贯主张，从物理学观念与理论的自身合理拓展中揭示其中的哲学真谛；主张兼收并蓄各家哲学思想,以发展物理学与哲学的伙伴关系。

在 20 世纪里，不仅物理科学经由量子力学和相对论“现代化”了,而且哲学经由语言哲学也‘现代化’了。语言哲学以语言本身(特别以哲学语言,科学语言和日常语言)为对象采用逻辑的和概念的分析手段，以清除思辨哲学中的混乱和解释科学语言或日常语言的意义为己任，把哲学研究水平提高到了新高度。但我不认为,语言哲学彻底澄清了哲学中的认识论问题,完全消解了哲学的本体论问题。在经验、意义和本体之间仍然有着不可穷尽层次的相依关系。

人的意识由对于自身和外部世界存在意义的顿悟而觉醒，在……→意义→意向→新意义→新意向→……的无限流程中演化发展。这种演化遵循着‘优存劣汰’的自然选择法则,培育出意识的本性,即力求理解主客体共建的经验世界中所呈现的一切事物的意义,以洞察实在的本性。

物理学家(个体和群体)所追逐的目标,即物理实在的本性,表现出具有意义层出不穷的性质。因此，我将从多层次远近透视中探寻量子力学与相对论的内涵。我不仅注意到为关联经验信息的“死的”量子力学和相对论,实际上只是一些遵从物理学共同体主

体间性原则的一些仅具操作意义的算法系统；我还尤其重视个体物理学家所理解的、包含相关观念体系的“活的”量子力学和相对论。因为，人们关于物理实在的每一新意义的发现，总是个体物理学家创造性思维的结果，或者说，创造性的洞见，即意识与本体的直接‘撞击”,总是发生在个体思维之中的。

全书共分三篇九章，外加序言（中国科学院院士王绶琯先生撰写）、前言和跋。前言阐述本书的写作动机、主导思想和整体构思。

第一篇总论含四章，第一章人脑与意识，第二章语言与认知，第三章语言与逻辑，它们构成了认知科学的基础，是对物理科学进行哲学剖析的理论前提；第四章自然科学与物理学语言，是前三章基本思想的定向演化，又是后续各篇章物理学专论的导引，起着承前启后的作用。第二篇含三章，第五章经典物理学世界，阐述经典物理学的本体思想和数学结构；第六章量子物理学世界，阐述量子物理学的数学结构和本体思想；第七章天体物理学与现代宇宙学基础，把我们的视野推向宇宙及其演化。第三篇含二章，第八章群论、拓扑、纤维丛与规范场论，介绍纤维丛技术及其在统一场论中的应用；第九章量子引力及其它，介绍现代物理学前沿的新观念和新构思。最后是一个阐述永恒主题的跋。在这里，我们将返回到生命世界、脑机理、人、社会与自然的广泛联系中来,说明我们所探究的隐秘实在及其意义是一个不断深化着的、无所不包的、不可分割的整体。

中国科学院北京天文台王绶琯研究员（中国科学院院士）、中国科学院研究生院理论物理与粒子物理教授汤拒非(已故)、《自然辩证法通讯》杂志社李伯聪教授、李醒民研究员、中国科学院自然科学史研究所董光璧研究员、北京大学物理系黄湘友教授、复旦大

需要全本请访问 www.ertongbook.com

学社会科学基础部肖巍副教授和我的同事沈清火副教授，阅读过本书部分或全部原稿,提出了很好的意见,王绶琯先生为本书撰写了序言。在此，我向他们表示衷心的感谢。

十多年来，中国科学院院士钱学森教授一直关心我所独立从事的基础研究工作，并对之寄予很大期望。对于他给予的关心与鼓励,我同样表示衷心的感谢。

第一篇　总论

本篇探讨意识、语言与科学的认知基础。这三者具有同一性，但它们之间有宝塔式关系：意识是语言与科学的基础，而科学又以语言为基础。

第一章从大脑的生理结构与心理功能入手，对于脑意识的发端及其认知基础作系统考察。笔者将阐明：脑意识这个高级生命现象，总包含着发展中的两个相反相成方面：一是“自我”从感觉材料(果)猜测超验实在(因)的直觉判断，相信“感觉复合”背后有个“自在之物”；这种从不同层次上分析与整合感知材料所得到的结果，推断出本体实在的可能结构与形式，属于“形上学”(metaphysics——取其广义)；二是从作为不同层次的感知整合物的观念实在(因)推导出各种条件下的可能感知(果)，这种推理是在“自我”中业已确立的逻辑格局中所进行的演绎推理，具有确实性和可操作性特征，属于“形下学”(physics　取其广义)。脑意识的“形上”方面是人脑机体的生命所在，是脑活动的本质方面。虽然在“形下”方面，电脑(包括人工智能)可以被电脑专家设计得远远优胜于人脑，但电脑绝无“形上”的悟性思维和自我意识。所以，电脑注定是不能驾驭与超越人脑的。

语言是人际间表达与沟通思想的工具。由于语言的开发，个体意识得以汇集成群体意识，从而有人类意识的演变和发展。第

二章对个体意识和群体意识之间的辩证关系进行剖析，并考察本体实在、经验实在和观念实在等三个基本范畴，进而从概念分析角度阐述语言的意义及其在认知中的作用。

第三章对语言作逻辑分析。就其可逻辑操作而言，语言的这种形式化处理，属于形下学范畴。但是，哥德尔不完全性定理表明：关于语言的纯形下学处理导致形上学的不可避免性。这就是说，存在一类数学真理是纯形式算法系统所不可证明与证伪的。这种数学真理的确认，要靠“形上”的直觉洞见。大凡新的数学体系的创立，都参与有“形上”的直觉洞见。

第四章致力于自然科学的认知基础，从经验科学的本质要素入手，在考察自然科学的基本特征和演化机制的基础上，进而对物理科学的基础作系统的考察。我们看到：物理量的操作定义已经把物理性质的数结构与相关经验的算术关系融为一体了。这就决定了以物理测量为基础的物理科学不仅应该是一个逻辑的体系，而且必然要采取数学的表达形式。现代物理学把物理概念的操作定义及其理论的数学程式提高到了前所未有的高度，这是物理科学的成熟与进步的表现。但是，片面强调物理科学的“形下”研究，甚至完全抹杀物理科学的“形上”研究的观点，并非是有远见卓识的。因为，物理学共同体意识的本性在于力求理解物理经验世界中所呈现的一切事物的意义，以洞察物理实在的本性。因此，物理科学中的“形下学”与“形上学”是应该有机结合的。我们从物理现象的描述、物理现象的说明和物理实体的实在性这三者鼎立关系来说明这种结合何以是有机的、辩证的和发展的。

第一章　人脑与意识

常言道"脑是思维的器官,人认识外界事物是通过脑的思维实现的。"然而,要充分理解这句话,绝不是一件平凡的事。究竟脑为何物？什么叫做思维？什么叫做认识？脑为何能思维？认识与脑活动又是怎样一种关系？……这些问题集中起来，就是紧密联系在一起的所谓身一心问题(the soma-mind problem)与主客体问题(the subject-object problem)。前者是现代脑科学家，包括脑神经内外科专家,神经生理学家和心理学家,所探究的课题 后者则是古今哲学家们孜孜不倦探索求解的永恒主题。

本章将从人脑结构谈起,进而探讨脑意识的发端,从中引出脑意识的本质特征及活动机理。最后，从几个不同侧面对于人脑和电脑(即电子计算机与人工智能)的殊同进行比较,以深化我们对于人脑及其功能的认识。

§1－1　人脑的结构[①]

人脑是一个极为复杂的结构和极为精细的组织。图 1－1是

①本节材料主要取自于 R. Penrose, *Emperor's New Mind*, Chapt.9, Oxford Uni. Press,1989。

人脑的顶部、侧部、底部和纵断面结构示意图。脑顶的大部分卷绕着的、像粥一样的部分叫做大脑，它从中间分隔成左、右两个大脑半球，前后不清晰地分为前叶、顶叶、颞叶和后叶。大脑后叶的下方有左、右两个半毛球，称为小脑。大脑和小脑有较薄的灰色物质外表层与较大的白色物质内部区域。这些灰色物质区域分别叫做大脑皮质与小脑皮质。白色物质由神经纤维组成，它们把信号从脑的一部分传送到另一部分。许许多多形状怪异的不同结构隐藏在大脑中部的下方。它们是：沟通左、右大脑半球的胼胝体，对长期记忆负责的海马，起着神经信息处理中心和中继站作用的丘脑，由情感坐落处的下丘脑和部分脑神经网组成的上脑干，以及由脑神经网，脑桥和延髓组成的脑干。作为个体的脑组织，按离开脊柱远近顺序又可分为前脑、中脑和后脑三个部分。在胚脑早期发育

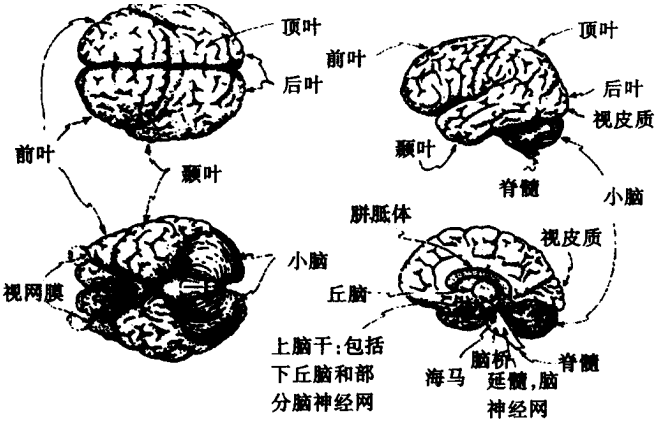


图 1－1　人脑结构示意图

中人们发现在脊柱终端按此逆序先后隆起这三个区域。末端的那个发育中的前脑，很快地长出两个鳞茎状隆起物。左右各一个，生

长成两个大脑半球。发育成熟的前脑不仅包含有大脑，还包含有胼胝体、丘脑、下丘脑、海马以及许多名称怪异的其它部分。脑神经网有一部分，即所谓脑神经中枢，在中脑内另一部分是沟通小脑的，在后脑内。从演化角度上讲，前脑是‘最新近’的，后脑是‘最古老’的。

在细胞水平上，脑与神经系统的最小单元是神经元(即神经细胞)。不同类型的神经元，有不同的功能。在细节外观上差异很大，但是它们的构成却具有共性。图 1－2 是典型的神经元示意图。它有一个呈星状带萝卜形的中心球泡，叫做体，其中包含着细胞核和细胞质。从体往一端伸展，是一条长长的神经纤维(人体内有的神经纤维竟长达几个厘米)叫做轴突，它是细胞的传输线。轴突上可能长出许多分叉的小分支来，它们的终端称为突触节。体常常沿着各个方向长出一些短分支，呈树状，叫做树突。在树突上

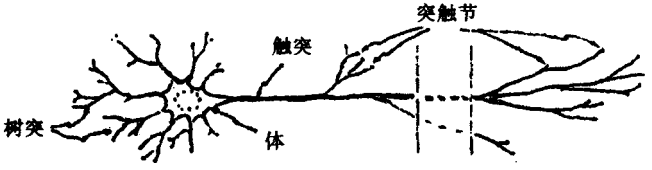


图 1－2　神经元示意图

可能还有带有突触节的分支，称作树突突触节。输入信号直接进入体还是沿树突进入体内，取决于发放信号的(另一神经元的)突触节是依附于体还是依附于树突。整个神经元是一个自在的独立的单位。有一个细胞膜把体、轴突、突触节、树突等等全都包纳起来。神经信号在神经纤维(即轴突)中的传输是一个物理、化学与生物过程，真是美妙极了！一条神经纤维基本上是一条柱形管，管内含氯化钠(即食盐)与氯化钾的混合液，以后者为主。所以，管内

需要全本请访问 www.ertongbook.com