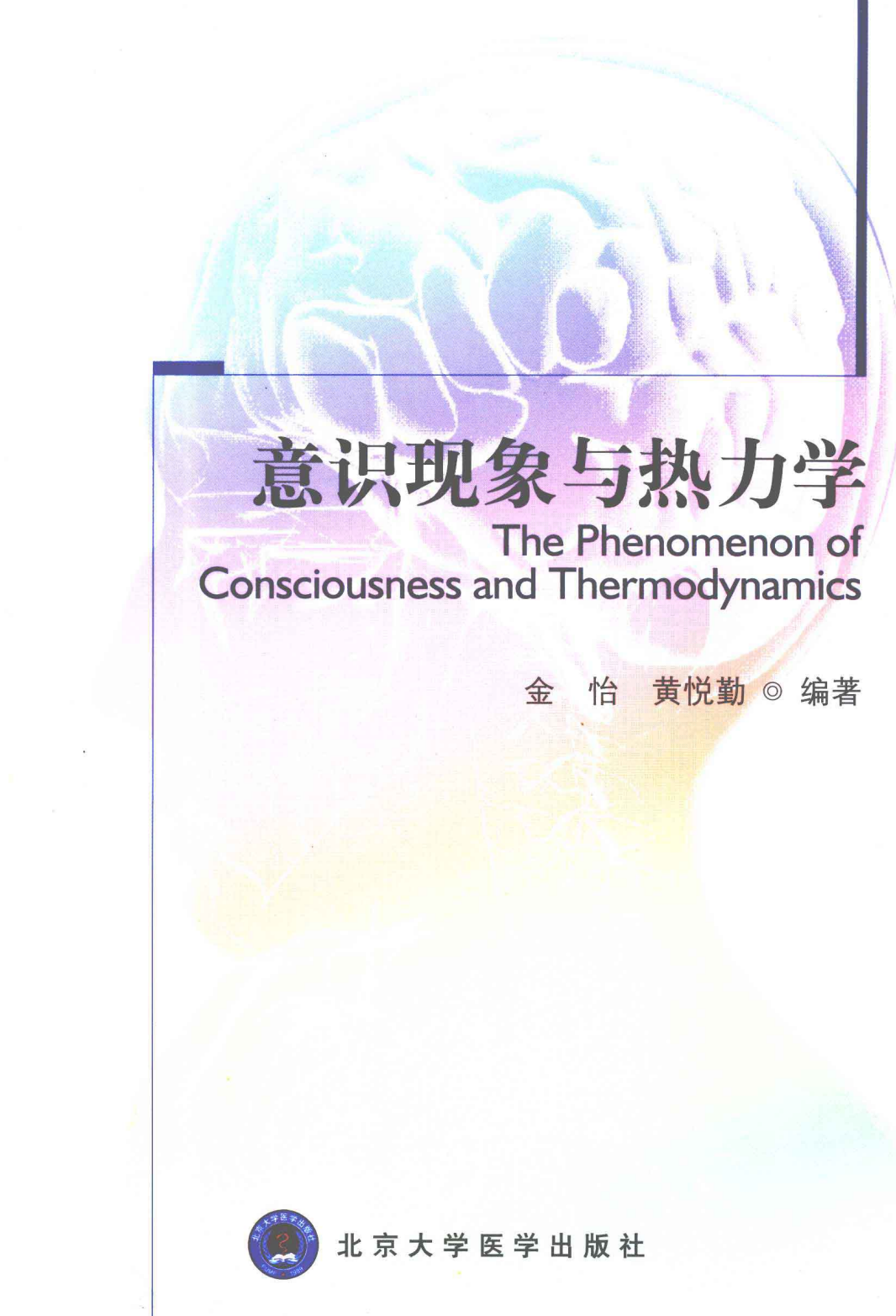




意识现象与热力学

The Phenomenon of Consciousness and Thermodynamics

金 怡 黄悦勤 ◎ 编著



北京大学医学出版社

意识现象与热力学

The Phenomenon of Consciousness
and Thermodynamics

编 著：金 怡 黄悦勤

学术秘书：程 辉

北京大学医学出版社

YISHI XIANXIANG YU RELIXUE

图书在版编目 (CIP) 数据

意识现象与热力学/金怡, 黄悦勤编著. —北京: 北京大学医学出版社, 2011. 9

ISBN 978-7-5659-0205-5

I. ①意… II. ①金… ②黄… III. ①意识—研究
IV. ①B842. 7

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2010) 第 110676 号

意识现象与热力学

编 著: 金 怡 黄悦勤

出版发行: 北京大学医学出版社 (电话: 010-82802230)

地 址: (100191) 北京市海淀区学院路 38 号 北京大学医学部院内

网 址: <http://www.pumpress.com.cn>

E - mail: booksale@bjmu.edu.cn

印 刷: 北京瑞达方舟印务有限公司

经 销: 新华书店

责任编辑: 药 蓉 责任校对: 金彤文 责任印制: 张京生

开 本: 880mm×1230mm 1/32 印张: 4.5 插页: 1 字数: 122 千字

版 次: 2011 年 9 月第 1 版 2011 年 9 月第 1 次印刷 印数: 1-1500 册

书 号: ISBN 978-7-5659-0205-5

定 价: 29.00 元

版权所有, 违者必究

(凡属质量问题请与本社发行部联系退换)

北京大学

医学科学出版基金

资助出版

自序

荷兰图案艺术家艾雪 (M. C. Escher, 1898—1972) 曾有一幅著名的平版印刷作品“画手”，画的是左右两只手彼此相互描绘。作品借助视错觉，表现现实中逻辑互斥的两个不可能事件。意识产生于脑，千百年来，人类却穷思竭虑，试图通过意识活动本身来寻找意识如何由脑而生的答案。这一循环思路在认知上与“画手”十分类同。三十年前当笔者有志于从事生物精神病学研究时，家父也曾诙谐地质问：“以你一个糊涂的脑子如何能找出糊涂的原因所在？”由意识解释意识也许是人类永远无法实现的梦想。但由于意识现象实在玄妙不过，纵然违背逻辑人们也不愿放弃追求。

历史上投身意识研究的学者不计其数，按照各自的认识深浅在不同领域内对意识作了不同的描述和猜测。从神话、宗教到心理学，从颅相学、脑功能分区到脑成像定位，无不体现了人类寻求意识答案的轨迹。受到神经元学说、功能主义哲学以及进化论的影响，近代研究一般倾向于把意识作为脑的重要功能来看待，大脑似乎就是为了意识而存在，意识产生的过程本身，比如神经网络的传递也变得具有某种“意识性”，神经元似乎“知道”如何形成意识。但是，所有这些学说都不能从根本上解释意识形成过程的科学必然性。

近二十年来，笔者主要从事精神疾患的临床和基础研究。借助各类脑成像技术，尤其是定量脑电图测量，我们发现精神疾患出现各类广义意识障碍时常伴随脑热力学参数的改变，比如脑皮质葡萄糖代谢降低、局部血流灌注下降或脑电低频节律性增加会导致精神疲惫或抑郁；反之，代谢增加、血流提高或脑电节律紊乱则可引起激越、焦虑，甚至幻觉、妄想。而当有效地纠正这些参数之后，临床症状也通常随之改善。热力学是物质世界不可违

背的物理学定律之一，据此，笔者假设脑的最终功能是寻求器官自身的系统稳定性，意识则很可能是脑稳定性恢复过程中的附带现象。如果属实，意识的生物学特性则可能从脑热力学的计算中间接获得。当然，要全面论证这一假设还需要大量的实验工作。

理论物理学家、量子力学奠基人薛定谔在 20 世纪初曾预言近代生物学必然进入两个热门领域：一是分子生物学，二是生物热力学。一个世纪之后的今天，分子生物学的影响力几乎无所不在，它对生物学乃至整个人类社会的推动力已经超出了当时的想象，将生物学理论和实践都带入了全新的领域。从脱氧核糖核酸（DNA）结构的建立到人类基因谱的全面解读；从基因重组到整体克隆技术的完善，无不体现出这位杰出科学家的超人智慧。

生物热力学所涉及的哲学思想更为深刻，阐述更为抽象，因此以实证手段来验证这一科学命题也变得更为困难。与分子生物学相比，生物热力学的魅力至今未被认识。本书旨在抛砖引玉，激发年轻学者大胆挑战陈见，开拓新的学术领域。

本书内容虽是笔者多年思考、研究的学术课题，但最终问世出版则有赖于北京大学精神卫生研究所黄悦勤教授的一再鼓励以及与各方的协调、撮合。北京大学医学出版社长期致力于科学普及与提高工作，对本书的出版给予慷慨资助与认真编校，深表感谢。北京大学精神卫生研究所程辉博士作为本书的学术秘书，极尽心力，几经修订得以成文，在此一并叩谢。

金 怡

目 录

第一章	意识和脑研究历史简介	/1
第二章	神经元学说和神经系统构造	/20
第三章	百家意识论	/40
第四章	热力学和耗散结构	/49
第五章	动力系统的自我组织	/59
第六章	脑的能量状态及其生存机制	/69
第七章	神经元整合活动的生存意义和认知功能出现的巧合	/76
第八章	神经元时空同步化的知觉编码	/90
第九章	精神疾病及其脑电图变化	/114
第十章	神经科学展望和总结	/130
参考文献		/133

意识和脑研究历史简介

科学按照简单而不是人为的定律发展。

——Steven Weinberg

人类所面临的所有科学难题中恐怕没有比意识更难以捉摸了，我们最熟悉的莫过意识，但最不可思议的也是意识。究竟什么是意识？

意识定义的内涵是那个你知我知、朝来暮往、无所不及、不可尽述的“东西”。言其大端，说的无非是觉悟、知觉、知识、思想、观念等精神现象，但其外延则见仁见智。除了常识和宗教，不同的学科也有不同的定义。哲学强调意识的抽象属性以及意识和存在的相对关系，心理学则注重意识的构成、发生、发展、功能、状态等具体特征，而医学关心的是意识范围、清晰程度之类与生命相关的现象。近代神经科学通过对中枢神经系统的研究试图在生物学水平上对意识进行解释。归纳起来，意识的研究大致可看成是回答复杂和简单两类问题。“复杂问题”是关于意识经验的形成，比如动感、色彩、声音、体感、情绪以及自我对此作出反应的主观体验。这是一个极为抽象的命题，哲学界为此争论不休达数千年之久，至今没有结论。而“简单问题”则是研究那些具体意识成分及其对应的生物学过程，比如观察信息区分、整合、情绪、注意等相关的神经活动。笔者认为意识的“复杂问题”与“简单问题”虽然有关，但“复杂问题”本身不是科学命题。科学应该

解答的是意识的“简单问题”，即那些可定量的、具体的意识成分的活动规律。正如天体物理学研究的是星系、黑洞、光速等具体问题而不是抽象的“天”；生物学观察的是基因、物种、代谢等具体现象而不是抽象的“生命”。至于是否有朝一日，在充分认识了各种具体现象之后会对意识的“复杂问题”、天体物理学的“天”，或生物学的“生命”等抽象概念作出概括的科学解答也未可知，但至少在现有认识阶段以着重于具体问题的科学研究为宜。因此本文除了宏观地复习哲学对意识的探讨以外，主要希望借助现有科学的成就和认识能力，在“简单问题”的范围内讨论意识现象，而不去深究严格的意识定义。

哲学关于意识的争辩无非是存在和经验的关系，何者为先？一般而言，唯物主义强调存在的客观性，经验只反映现实的存在。唯心主义则主张意识的第一性，物质依赖意识而存在。由于历史的缘故和国内教育体系的特殊性，过去几十年间，哲学教育具有意识形态观点的倾向性。如今当我们一起探讨意识命题时，不妨暂时放弃意识形态领域的差异，对各家学派观点作冷静的取舍。

在物理科学中，唯物主义自然有其无与伦比的优势，但就整个科学系统而言，深邃的唯心主义思辨也同样不乏可取之处。英国经验主义哲学家伯克利（George Berkeley, 1685—1753）有句名言：“被感知的方为存在（To be is to be perceived）。”抽象的存在无需依赖意识，但现实的存在都是具体的物质形态。由于物质本身的相对物理学属性，同一现实实体，根据观察（感知）的不同而有不同的存在形态，即所谓仁者见仁，智者见智。“一尺之棰，日取其半，万世不竭（《庄子·天下篇》）。”这是古代中国名家经典思想之一，通俗地描述了数列极限的概念。然而就“棰”而言，万世之后棰的属性已不复存在，剩下的细碎颗粒无异于粉碎后的桌、椅、门、窗。在这个意义上，存在只和测量、观察有关。当测量、观察手段和时空改变之后，被测量、观察的事物也随之改变。高倍显微镜下钻石的现实性在原子水平等同于煤块。

在次原子或更小的尺度下，所有物质形态的差异随之消失。假设将笔者和一罐阿米巴变形虫分别置于两个超级粉碎机中搅成次原子匀浆，可以断言，此刻两者再无区别。一般认为，分子是保持物质原有属性的最小颗粒。推而广之，高级事物也应有其最小存在（功能）形态，比如细胞之于组织、组织之于器官、个体之于社会等。所以，在讨论意识时首先需要确定观察对象的范围，如何界定命题对于研究成败至关重要；其次是文化的传承和干扰。人对于事物的认识，除了直接观察和研究，很大程度上取决于历史和文化对同一或同类事物的看法；知识可以启迪新的认识，谬误则可干扰正确的认识。意识研究更是如此。迷信、宗教、哲学、文学、科学无不对此产生影响。例如古希腊的经院教条一直延续到中世纪，两千年间创造了那个时期的文明，但同时极大地制约了科学观念的形成和发展。没有文艺复兴，很难想象之后发生在欧洲大陆的科学和工业革命。西方现代哲学思想奠基人笛卡尔（René Descartes, 1596—1650）就生活在这一时期，他的哲学思想深刻影响了之后的几代欧洲人，开拓了所谓“欧陆理性主义”哲学，也为近代科学奠定了坚实的思想基础。

16至18世纪的科学革命标志了对古希腊以来的传统教条的否定，在物理学、化学、天文学、生物学、人类解剖学等诸多领域建立了全新的观念，之后的工业革命则在农业、制造业、采矿业、交通运输以及工程技术领域内创造了前所未有的突破，两百年来社会财富和人口因此持续增长。这两项革命从根本上变革了社会经济和文化的面貌。然而，近代科学和工业的巨大成就很可能造成思维模式的故步自封，阻碍科学在更广阔领域的开拓和发展。例如，唯物主义还原论（reductionism）作为一种哲学观点，强调把高级存在形态还原为低级存在形态进行分析、研究。它认为事物的每一种现象都可看成是更低级、更基本的现象的集合体或组成物，即“ $2=1+1$ ”，因而可以用低级运动形式的规律代替高级运动形式的规律。由还原论派生而来的方法论就是对研究对象不断进行分析，恢复其最原始的状态，化繁复为简单。这一逻辑法

则在科学研究中应用十分广泛，生物学中的还原论表现得尤为明显。但当我们把意识这一高度复杂的现象当做科学研究对象时，还原论却显得单薄无力。而且越还原，似乎离题越远。高度复杂系统具有冗余和突现的特性，总体复杂性高于各组成部分之和，即“ $1+1>2$ ”。因此简单还原论不可能在系统高度充分认识复杂系统的全部特性。解剖一只白蚁不可能从根本上理解整个巢穴的筑造原理；科学家罗列的所有细胞和亚细胞构造及其功能，也不可能在系统高度解释意识现象。意识显然不是脑部某区域的独立功能现象，也不是单个神经元之间往来的结果，更不是 DNA 的直接作为。越来越多的研究发现，意识是中枢神经系统大规模整合突现的产物，而还原后的细胞单元在整个意识形成过程中反倒无足轻重。遗憾的是整体科学思想受到历史和现时文化的制约，依然无法从还原论的桎梏中摆脱出来。所以本文在探讨脑意识这一命题时，希望借助于历史和文化的轨迹，重新审视现代科学在意识研究中的局限性。

第一节 文化对心-物划分的影响

一、古代神话

毋庸置疑，古希腊文明对西方文化的形成和发展有着巨大的影响，而最具影响力的是其文学，确切地说是希腊神话。多数学者认为希腊神话应被视为世界上最伟大的文学经典之一。其影响之深远，波及现代社会的各个领域。古希腊人对人类灵魂现象的好奇，在其神话中留下许多不朽的文学篇章。这对后起的哲学和心理学影响至深。著名心理学家弗洛伊德（Sigmund Freud，1856—1939，图 1-1）直接借助希腊神话对人类心理现象进行描述，比如 Electra 恋父情结和 Oedipus 恋母情结（图 1-2）。Electra 是 Agamemnon 国王和 Clytemnestra 皇后的女儿。因其母亲和情人谋杀了她的父亲，所以 Electra 和她的兄弟 Orestes 策划

报复他们的母亲。Oedipus是底比斯的国王。神话讲述的是他应了预言杀死父亲，娶了母亲，以及因此而造成他所辖城市和家庭灾难的故事。瑞士精神科医生荣格（Carl Gustav Jung，1875—1961）也引用希腊神话来说明他的原型人格的理论。他认为这些原型是所有人共同的精神结构的表现形式。他相信丰富的希腊神话正是来源于对这些基本心理构造的观察。



图 1-1 弗洛伊德



图 1-2 Electra 恋父情结和 Oedipus 恋母情结

古希腊时期，人的灵魂被视为神所赋予的礼物。Pandora 是 Zeus 神指定 Hephaistos 用泥土捏造的第一个女人并赋予其美貌和狡诈。在 Pandora 与愚夫 Epimetheus 成亲时，她打开了 Zeus 预赠的魔魂礼盒，释放出千万个罪恶的阴魂，之后便瘟疫般传遍了全人类。希望之神 Elpis 是唯一的幸存者，使其日后得以拯救人类的苦厄。

相比之下，中国古代神话颇为零乱，仔细探究，关于灵魂的看法与西方传说也有异曲同工之妙。女娲的名字在传说中出现最早。《楚辞·天问》有一问是：“女娲有体，孰制匠之？”这是因为女娲是人间第一人，所以不免要这样问了。根据汉朝武梁祠的石刻画像，女娲的形象是人首蛇身。中国古本字典《说文》里，对女娲的注解为：“神圣女，化育万物者也。”《太平御览》中有以下一段介绍：“俗说天地开辟，未有人民，女娲抟黄土制作人，剧务力不暇供，乃引绳以泥中，举以人。”之后，女娲运用她的法力和神通，轻吹一口仙气，为这些泥偶注入了灵魂，于是成就了活人。

古代那个时期虽然不可能脱离神灵来系统研究意识，神话对于意识也不可能有明确的定义和解释，但在这些文化遗迹中已经可以清晰地看出古人对意识现象的感悟和在心-身之间所作的界定。这为早期哲学的心-物二元论奠定了思想基础。

二、经典哲学

人类不乏对意识的关注。长期以来，意识这一命题始终归在哲学范畴之下，直到近百年心理学家和神经科学家才开始尝试给予科学的解答。

谁都知道什么是意识，那就是你每晚熟睡后消失，清晨醒来后复得的东西。这是人人皆知的现象，但千百年来耗费了人类无数的智慧，对其本质却至今没有精确的答案。在回顾科学历史之前不妨先浏览一下哲学对意识的注解。

古典希腊哲学指的是公元前 6 世纪至公元 5 世纪出现在希腊本

土以及地中海沿岸，特别是小亚细亚西部、意大利南部的哲学体系，又称古希腊罗马哲学，是西方哲学最初发生和发展的阶段。古典希腊哲学虽然没有直接关于意识或心-身关系的辩论，但那个时代伟大思想家的学说却大大扩展了人类意识范围本身，他们不但在很多方面影响了宗教的发展，而且为现代哲学与现代科学铺设了道路。从早期穆斯林哲学到文艺复兴，从启蒙运动到现代普通科学无不体现出早期希腊哲学的影响。公元前 400 年，



图 1-3 希波克拉底

希腊哲学家、西方医学之父希波克拉底（Hippocrates，公元前 460—公元前 370，图 1-3）就明确地将癫痫描述为脑部疾患而不是神的诅咒。他确信智慧和情绪也产生于大脑。

柏拉图（Plato，公元前 387—公元前 335）认为大脑统领智慧并且是人体最为神圣的部分。其弟子亚里士多德（Aristotle，公元前 384—公元前 322）却认为大脑是心脏供血的冷却装置。罗马名医、哲学家伽林（Galen，129—200）对羊、猴、狗、猪等动物进行脑解剖研究后指出，小脑主管肌肉，大脑处理感觉信号。伽林对西方医学影响至深，研究涉及解剖学、生理学、药理学和神经病学等诸多领域。他的学说反映了经验主义和理性主义的双重哲学思想。

法国哲学家笛卡尔（图 1-4）真正开创了近代西方哲学。笛卡尔是一个哲学禀赋极高的思想家，他的见解深受新物理学和新天文学的影响。固然，他也保留了经院哲学中许多残余，但是他并不接受前人的说教，而是另辟蹊径，努力缔造一个全新的哲学



图 1-4 笛卡尔

体系。这一体系受惠于科学，同时又反馈于科学，为近代科学拓宽了思路。他对坐标系的贡献就是一个例证，后被誉为解析几何之父。他对意识的见解则是他的哲学体系的核心。

哲学上，笛卡尔的重要贡献是其怀疑论，代表作是《方法论》（1637）和《沉思录》（1642）。从对各种感觉的怀疑入手，他说：“此时我是否可以怀疑我正穿着晨衣坐在炉火旁边呢？答案是可以，因为有时候我实际赤身睡在床上，可

我却梦见了我在这里。并且，精神病患者往往有幻觉，所以我也可能处在同样状况。”他接着又说：“不过梦这东西好像画家，带给我们实际事物某个侧面的写照，至少按梦的各个组成要素来讲是如此。你可能梦到带翅膀的马，但是那无非因为你见过翅膀和马。”他认为对事物抽象属性的认识，包括其广延性、大小和数目之类，比较确实，不像对于个别具体事物的信念那么容易怀疑。比如算术和几何学讨论的不是个别事物而是抽象的概念，因此就比物理学和天文学确实；对梦中对象来讲也适用，梦里的对象在数目和广延性方面与真实对象没有区别。然而，即便对于算术和几何，他仍有怀疑之处：“说不定每当我来数一个正方形的边数或算二加三的时候，神就叫我出错。当然把这种不仁归给神理不该当，但是难保没有一个神通广大、狡猾欺诈的恶魔，用尽它的巧计聪明来蒙骗我。假使真有这样的恶魔，说不定我所见的一切事物不过是错觉，恶魔就利用这种错觉当做陷阱，来骗取我的轻信。”

从这一思辨中可以看出，在笛卡尔的体系中两件事物不容置疑，一是做梦的自我，二是神。当“我”要把一切事物都想成是

虚假的时候，这个进行思维的“我”必然是某种东西。“我思故我在（I think, therefore I am）。”这条真理在他看来十分牢靠、十分确实，怀疑论者的任何假定都无法推翻它。笛卡尔将其视为哲学中的第一原理，是笛卡尔哲学的核心。“我思故我在”是说精神比存在确实，而“我”的精神又比旁人的精神确实。因此，出自笛卡尔的一切哲学，包括以后英国的经验主义，都把物质看成是“我”对于精神的理解，通过思维推理才可以认识的东西。因此“思维”一词在笛卡尔论述中意义极其广泛，包括怀疑、理解、设想、肯定、否定、意欲、想象和感觉，这与今天讨论的意识一词十分接近。同时思维又是精神的本质，所以精神必定永远存在，即使熟睡时也如此。“我”是思维的载体，思维本身不具备物质属性，所以不需要场所。精神全然不同于肉体，比肉体容易认识；纵然没有肉体，精神也照样存在。这就是哲学上心-身二元论（dualism）的核心思想。笛卡尔的怀疑论奠定了近代实证科学的基础，而他的心-身二元论却阻碍了科学对意识的研究。

有趣的是，笛卡尔怀疑一切，但对神的真实性却坚信不疑。他自然有他自圆其说的理由，由于其内容与本文关系不十分密切，所以暂且不予展开作更深入的讨论。但无论如何，读者对他的双重标准难免有所失望。

采用以上这段冗长的描述实出无奈，因为笛卡尔的历史地位实在重要。但这段描述之乏味，纯粹出于笔者拙劣的翻译技巧，这对于笛卡尔本人却是极为不公平的。笛卡尔是历史上少见的擅长文字的哲学家。他的文章素以清晰、睿智、高雅著称，历史上除柏拉图之外几乎无人匹敌。就如《傲慢与偏见》之于小说，他的《方法论》引言被誉为哲学著作中无与伦比的开场白。

与笛卡尔哲学对立的是唯物主义思想体系，认为所有实体和概念都是物质的一种构成或者表达；所有的现象包括意识，都是物质相互作用的结果。在意识与物质之间，物质决定了意识，而意识则是客观世界在人脑中的生理反应。因此，物质是唯一事实上存在的实体。作为理论体系，唯物主义属于一元本体论。作为

对现实世界的一种解释，它与唯心主义相对立。唯物主义又与原子论、还原论密切关联，认为某一水平上可描述的真实实体和现象一定可以还原为更基本的实体和现象，并在对应水平上予以描述。

唯物主义独立起源于哲学史上“轴心世纪”的欧亚各国。战国时期思想家荀子反对天命、鬼神迷信之说，肯定“天行有常，不为尧存，不为桀亡”，即自然运行法则不以人的意志为转移，主张“明于天人之分”，认为天有“天职”，人有“人分”，提出“制天命而用之”的思想。同期古代印度发展了最早的原子论学说。米利都学派创始人泰利斯（Thales，公元前624—公元前546）是希腊唯物主义的代表人物，他主张以自然过程为参照对自然现象作合理解释。在解释地震现象时，他认为地球可能是浮在水面上，水的波动造成地震，与神灵无关。

17、18世纪盛行于欧洲的机械唯物主义将唯物论推至极端，视世间各种现象为物质颗粒间简单或复杂的组合以及物物之间力的交互作用，即使生命和意识现象也不例外。代表人物是法国哲学家拉美特利（La Mettrie，1709—1751）。他所代表的机械唯物主义彻底拒绝笛卡尔的心-物二元论，认为人不过是一台机器，意识现象是物质的脑的直接产物，人格特征则受制于物质环境的机械作用。

共产主义奠基人马克思将黑格尔的唯心主义辩证法与费尔巴哈的唯物主义融为一体，创立了辩证唯物主义，强调存在决定意识，意识亦可反作用于存在。应用于社会学，他开创了一个崭新的历史唯物主义学说，认为抽象的社会意识形态，包括文学、艺术、科学、宗教、伦理，都取决于社会物质存在形式，即社会各阶级间的相互关系。在这一派哲学体系中，存在和意识是统一体的对立面，彼此互为因果。辩证唯物主义在社会学领域固然有其长处，但就意识-存在关系讨论的本身并无新意。承认意识是存在的对立面，实际是承认了意识的非物质性和独立性，这又落入了不同意义上的二元论圈套。