

溪河朔源

吴以义科学史论集

吴以义 著

新星出版社 NEW STAR PRESS

本书汇编作者的18篇科学史论文，内容可分为两大类，分别论涉中国科学史和西方科学史的一些重要课题，时或有对二者从科学史实到文化精神的比较探讨。作者于科学和史学两方面俱有深湛造诣。这些追根溯源的论文，取材广博，考证详确，思想密察，断制精审。如《牛顿传略》一文，是在通读牛顿的手稿、笔记、书信、著述原本的基础上，精心结撰而成；敢说在有关牛顿的中文著作中，无出其右者。又如《医学知识在刘完素、朱震亨门人间的传递》一文，作者从大量分散的史传、笔记、地志、医籍等文献中钩稽材料，显示出深厚的史家功力，此文英文本被好几所美国大学的史学系选为研究生必读之参考文献。

ISBN 978-7-80225-484-8



9 787802 254848 >

定价：32.00元

溪河朔源

吴以义科学史论集

吴以义 著

新星出版社 NEW STAR PRESS

图书在版编目(CIP)数据

溪河溯源:吴以义科学史论集 / 吴以义著.

—北京:新星出版社,2008.7

ISBN 978-7-80225-484-8

I.溪... II.吴... III.自然科学史—文集 IV.D09-53

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2008)第 082490 号

溪河溯源:吴以义科学史论集

吴以义 / 著

责任编辑:许 彬

装帧设计:林 涛 秦 巍

出版发行: 新星出版社

出版人: 谢 刚

社 址: 北京市东城区金宝街 67 号隆基大厦 100005

网 址: www.newstarpress.com

电 话: 010-65270477

传 真: 010-65270449

法律顾问: 北京建元律师事务所

经销电话: 010-65512133

读者服务: 010-65267400 service@newstarpress.com

邮购地址: 北京市东城区金宝街 67 号隆基大厦 100005

印 刷: 山东新华印刷厂临沂厂

开 本: 960 × 1300 1/32

印 张: 10.375 字 数:273 千字

版 次: 2008 年 7 月第一版 2008 年 7 月第一次印刷

印 数: 0 001~4 000

书 号: ISBN 978-7-80225-484-8

定 价: 32.00 元

版权专有,侵权必究;如有质量问题,请与出版社联系调换。

编者前言

本书汇编吴以义先生的十八篇科学史论文，因作者远在美国，编辑方面的一些事务由我代劳，所以我想从编者兼读者的角度，作一些说明，谈一些感受。

我与以义兄是读硕士研究生时的同学，毕业后不久，他即赴普林斯顿大学，师从科学史巨子 C. Gillispie 读博士。获得博士学位后，他也就在美国定居下来。在那样高端的学术环境里，以义兄除与本师日夕过从外，还经常得与 N. Sivin、T. Kuhn、余英时等名宿相游乐。以他善学的本事，以义兄当然会从大师们那里吸纳精髓；而他的足以骄人的学术造诣，也果然得到了老师巨子们由衷的肯认和赞赏。Gillispie 八秩高龄荣休时，将自己藏书中的八百种珍本一举赠予其爱徒，仅此一事，已足令人羨煞。经济学家弗里德曼曾云：“在思想和学术的‘市场’上，同行的称赞才是真正的‘货币’。”准此以谈，则以义兄是拥有大堆金币的富翁了。而如今娱乐市场、媒体平台上无知群众对学术明星的发烧追捧，最多也只能算无量数的劣币；劣币驱逐良币固然是大势所趋，但若哪位明星自以为劣币足多，即可兑换金币，例如有妙人，假孔子自重，声称孔子生当今日，也会像他一样上电视台演说，这就未免太厚诬古人，又太不自量力了。孔子固然是“圣之时者”，但此“时”决不是现今所谓“趋时”的“时”，而是说言行与时势相当，言行根据时势来决定：“邦有道，则仕；邦无道，则可卷而怀之。”孔子生当今日，只可能“卷而怀之”，不可能与明星同乐。

本文集题名《溪河溯源》，原是集中第一篇论文的题目——《溪河溯源：医学知识在刘完素、朱震亨门人间的传递》，但我以为，用这四个字来表征以义兄整个学问的风格，来揭示集中几乎每一篇论文的性质，竟是出奇地恰当。所以不禁为想出这个书名而自鸣得意。

所谓“溪河溯源”，“河”即刘完素，以其籍隶河间；“溪”即朱震亨，以其居近丹溪。以河间、丹溪为代表的金元医学，是中国医学史上一段辉煌时期。以义兄这篇大作，将这派医学中的重要人员分为四组，穷原竟委地考释清楚医学知识在其中传递的各种不同方式。这是一篇高难度的作品，难在与所论问题相关的材料极其分散。我是说材料与“问题”相关，而不是说材料间彼此相关。材料间彼此相关，一条材料中有着另一条材料的线索，只要足够勤快，按图索骥，则罗致不难。或者不同的材料有相同的“关键词”，更可请电脑帮忙，“股沟”代替腹笥，是现代学者的一大方便。但以义兄所论的问题，材料分散在史传、笔记、地志、医籍等大量的文献中，集中起来数量可观，原始的散在则极其稀疏，彼此间的“形式相关度”极低，全要靠高度的敏锐、颖悟、博闻、强记才能将它们一一钩稽出来。成文不过两万字，然而真正是无一字无来历，无一事无出处。读时我常惊叹：“这材料怎么就到了他的手中呢？莫非是地毯式地搜查过？”“地毯式”是笨功夫，也做不到大面积；而以义兄钩稽材料、解决问题的“溯源”功夫，透出的则是学力。

以义兄治科学史，中西兼擅。二者的题材内容相去甚远，但他研究的精神与方法一以贯之。本集中关于西方科学史的，都是些大题目，论哥白尼，论牛顿，论普朗克，论德布罗意，论量子力学的诠释，论玻尔与爱因斯坦的争论，这些题目上已经做过的文章可以说很多，以义兄与众不同并且高出于众的地方，就在于——“溪河溯源”。

现代人在学校的体制里学习科学，是把科学知识当作现成的真理来接受的。即使有些概念、命题以其创始人的名字命名，那命名也成了抽象符号；即使课程中或会提到知识进展的先行阶段，那也只是账簿式的记录。思想、知识，当其创始之初的状态，当其发生、发展时的具体情况，

是完全不知的,也无要去知的意识。以这样方式习得科学知识,如果缺乏反省,事后又来谈历史,往往是乱谈;现成的“知识”会对探究这些知识的真实历史,反而起一种障碍的作用,佛家所谓“所知障”,正此之谓也。国内的科学史,无论人员遴选、课程设置、机构归属,都偏重在“科学”,而不在“历史”,或许正是这种“障”的表现。

当然,论精神实质,问题并不在于偏重“科学”、还是偏重“历史”。科学史是“史”,是要去知科学知识在历史上的形态,去知科学知识发生、发展中的种种因缘。例如,“力”的概念既是牛顿所创发,那么牛顿是受什么启发、怎么想到“力”的?“力”在牛顿那里究竟有些什么意思?牛顿是怎么论述“力”的?这些问题,只有亲炙牛顿著述的原本、手稿、笔记、书信,种种原始的档案材料后,才可能作切实的回答。以义兄《牛顿传略》一文,就是对牛顿遗传的所有第一手史料,下了通读、慎思、精择的功夫,再参考一直以来公认的牛顿研究的权威著作,而写成的。他另有《牛顿》一书,作为傅伟勋/韦政通主编的《世界哲学家》丛书之一种,2000年由台湾东大图书公司发行。我敢说,以义兄的研述是可传的,足可传诸久远,历久不磨。不管经过多少年,你要知牛顿,你就去读吴以义的这一书与一文;比起读百数十篇人云亦云、剿袭雷同,或以意为之、“想当然耳”的“成果”来,肯定强得多,时间成本可以少花,认识上则会有实实在在的收获。读它们,你能颇富历史感地、准确地、又不失完整性地接触到牛顿其人、其思,及其科学创造;所以读它们,等于一定意义上你自己在读牛顿。如果你有兴趣,发大愿,非自己读牛顿不可,吴以义的书与文正可作你摸索前行的向导,里面有足够丰富的信息和线索。我以为,以义兄在科学史其他题材上的研述,也都可以作如是观。

以义兄的著作,另有《库恩》一书,也属于《世界哲学家丛书》,1996年在台湾出版。2002年则有《海客述奇——中国人眼中的维多利亚科学》一书,在台湾三民书局出版;此书上海科学普及出版社2004年出了新版。上述《牛顿》和《库恩》二书,我很盼望在大陆也能再出新版,以便让更多的中国读者读到。目前情况下,只能用变通替代的办法:本集中《传

略》一文不妨当作《牛顿》一书的简写，而《论哥白尼革命及库恩对哥白尼的研究》则取自《库恩》，为该书的第三章，惟题目是我另取，读之，或可尝一脔肉而知全瓠。本集中《十八世纪美国人眼中的中国技术》一文，原文系英文，为便于中国读者，由袁媛小姐译为中文，我做了校订。建议能读英文的读者，还是尽力读原文为好；译文中不免有错误，自当由我负责，与作者无关。已在刊物上发表过的文章，在文末说明原载刊物的名称和时间。行文中若干处，后来情况已发生变化，如《牛顿传略》文末谓郑太朴译牛顿《自然哲学的数学原理》为“唯一”中译本，现在已又有王克迪的译本，但凡此均仍旧，不作改变，读者自可察知这是写作时间的关系。

陈克艰

2008年4月

- 1 溪河溯源：医学知识在刘完素、朱震亨门人间的传递
- 31 18世纪美国人眼中的中国技术
- 53 附(英文原文)Chinese Technology in Eighteenth-Century American Eyes
- 77 天象异常诠释异同
——科学史比较研究一例并议
- 96 北宋真、仁时期学者对天象异常的反应
- 107 论哥白尼革命及库恩对哥白尼的研究
- 139 王韬研究所提示的中国近代史的复杂性
——评忻平《王韬评传》和柯文《在传统和现代性之间》
- 156 评曾永玲著《郭嵩焘大传》
- 163 牛顿传略
- 211 经典物理学的经典
——纪念牛顿的《原理》发表三百周年
- 226 牛顿的《自然哲学的数学原理》
- 231 法拉第的《电学的实验研究》
- 235 爱因斯坦的《狭义与广义相对论浅说》
- 239 普朗克的内插方法和能量量子化
- 250 德布罗意波动概念的提出
——纪念德布罗意的《波和量子》发表六十周年
- 262 玻尔原子模型的建立
- 274 对应原理的形成以及玻尔对它的几种互异的表述
- 285 为寻求真理所付的代价
——玻尔与爱因斯坦关于量子力学的争论
- 300 计入观察者影响的认识方法

溪河溯源：医学知识在刘完素、 朱震亨门人间的传递

一、引言

本文意在讨论医学知识在一特定学派中的流传情形。

钩稽此种故事，并不仅为追寻若干医学概念或理论的发展，而实在是普通历史研究的一部分。近百年来，科技昌明，引人注目。寻本溯源，遂有科学技术史。而后治史者更注意到人类对于自然的理解和征服，即科学和技术的发展，常为描述和解释人类历史进程上不可或缺的一环，科学技术史也就成为历史研究的一个常规领域和组成部分了。

把这种观念移植到中国史研究领域，天文、算学、农学和医学首先受到重视，以其资料较为易得，脉络较为分明也。本文所拟研究的正是医学知识在一派医人中发生和流传的情形。

《四库》说医之有派起于金元^①，大抵为现代研究者所接受。这也是本文拟取此一时代为医学流派起始的一个主要考虑。但具体地划定一派的范围，或判定某人系某派，在技术上却殊非易易。一位医生在医论宗旨上可以近于一派，而在临床辨证上又可以近于另一派；至于遣药处

^① 《四库全书总目》，上海，商务印书馆，1931。《医部·医家类》，103卷，85页。

方,则情形更为复杂:如攻和补,或以为断然不能相容,以为学派划分的标准,当可使两军壁垒分明,其实不然。试诸河间易水,已见未妥,至于两派传人,则更觉牵强。细究以往医史分派原则,往往是约定俗成。如果说一定有原则的话,则是以师承线索为主,间以自身著作中的声明或同时代人的归判为辅佐参证,大略勾画范围的。本文亦拟采用此一方式。

中国传统史料于医学尚称丰富。医人以其仁心仁术而见于史籍,又以其神效奇验而为笔记杂志所记录。所积既多,则有医人生平事迹的纂集。

李濂著《医史》,收明以前医人七十二,开汇纂先河^①。陈梦雷、蒋廷锡继之,以《医术名流列传》十四卷为《古今图书集成》,上下古今,得千一百余人^②。逮至近代,资讯手段益强,乃有鸿篇巨制。李经纬《中医人物辞典》收传记六千三百余篇^③;而陈道谨、薛谓涛作《江苏历代医人志》^④,仅江苏一省,得三千余人。所有这些资料的蒐集,为医学方面的人物研究,不啻准备了条件,直是提出了要求。

所谓“人物研究”,西洋史学称之为 Prosopographical Study^⑤,常指对“一类”人的研究。分析为数颇多,具有某些共同点的人物,求其关联,以增进对一时一地社会生活的了解,是晚近颇受重视的一种做法^⑥。同任何一种史学方法一样,“人物研究”自有其适用范围,而其优劣也赖于

① 李濂,《医史》,首刊于1515年,今见清·韩应隆注录本,“国立中央图书馆”缩微胶片,首页有韩手书云是书第四卷甄权传以上为锡山姚舜咨手抄,余为姚属人抄。濂字川义,1488—1566,河南祥符人,正德进士。

② 陈梦雷、蒋廷锡,《医部全书》。是书为《古今图书集成》一部,1726年成书,有上海中华书局1934年缩印本。今有1958年台北艺文印书馆重印本,1959年北京人民卫生出版社重印本。上引《医术名流列传》在524—537卷。

③ 李经纬主编,《中医人物辞典》,上海,上海辞书出版社,1988。

④ 陈道谨、薛谓涛,《江苏历代医人志》,南京,江苏科技出版社,1985。

⑤ 其实早在1743年,这一词已在现在意义上使用;唯作为一种历史学方法,尚未大行而已。案 prosopo 含“众人”、“人群”之意,而全字则为“人群史料”之类的意思。

⑥ Prosopographical Study 的史学价值,相关问题分析见 Lawrence Stone, *The Past and the Present*, Boston, London, and Henly, 1981, Part I, 2, pp. 45—73。

运用是否恰当得法。科学史家留意此道亦久矣^①。

所谓运用适当，盖指所选方法与所研究的问题，所占有的史料的性质相当耳。以“人物研究”方法言，一是问题的实质当是讨论一个容易界定又有诸多共性的“群体”，二是相关史料当丰富而又有可以相互参校的共同涵盖方面。细检手边关于医学知识在一些学者之间流传的材料，觉得与此要求颇合。因之剪裁编排，拾遗补正，成万余言，敬以待教云。

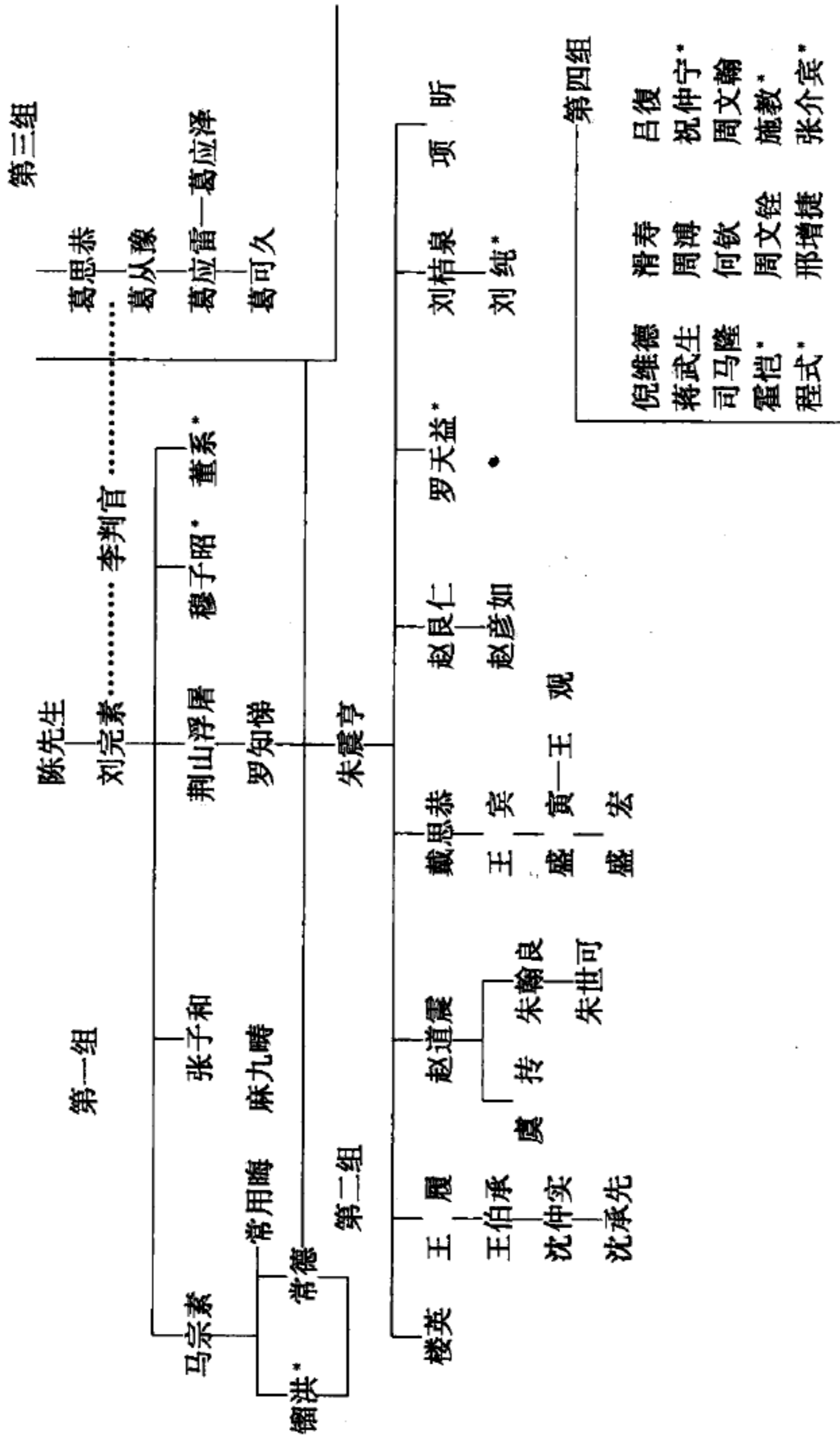
二、概述与写作计划

本文研究起点设在金人刘完素。完素创五运六气之说，运用苦寒药物，独张一帜，在医学理论上自无愧于一个起点。学者从而习之，有河间学派，以完素籍河间也。四传至朱震亨。震亨居近丹溪，稍改河间学说而益张大之。门人愈众，流传益广，蔚然一大家焉，而共祖完素。则追寻宗派流源，完素也称乎起点。因循授受传递线索检得关联密切者四十余人，其大略承继关系有如次页附表。

下文将致力于建立这一传授系统。以传授方式而言，下表所列医人大略可分为四组。第一组有刘完素和他的几位追随者。马、张、穆、董诸位均称得刘真传，而刘的学问则直接源于《内经》^②和一位神人。刘与他

① 例如 Arnold Thackray et al. *Gentlemen of Science. Early Years of the British Association for the Advancement of Science*, (Oxford and New York, Clarendon Press, 1981), 研究 19 世纪中叶英国科学团体和科学进步，正是从与 BAAS 关系密切的 23 人，530 多封信件入手的。其中 294 封“最重要的”信件，后又汇编为一册资料行世：*Gentlemen of Science. Early Correspondence of the British Association for the Advancement of Science*, ed. by Jack Morrell and Arnold Thackray, (London, Office of the Royal Historical Society, 1984.) 又如 Martin Rudwick, *The Great Devonian Controversy*, Chicago and London, The University of Chicago Press, 1985, 研究了将近一百位重要的科学家以及他们围绕地质学上一次大论战 (Devonian Controversy) 的态度，构造了上世纪中英国地质学的发展图景。论者以为这些都是“近年来具水准的人物研究”(N. Sivin 1991 年 5 月 24 日给本文作者的信)，“应当引起重视”。

② 此处与下文中，常提及《内经》。案《内经》一书，医家奉为经典，言必称之。但以目录学观念考察情形则显得很复杂，绝非“一书”可言。要而言之，《内经》有两部分，曰《灵枢》，曰《素问》。这两部分或分或合，分则有不同版本，合则有不同注本。要一一考明各人所言的《内经》是什么具体的版本为何本，常为不可能。若非转引或涉及具体内容，下文提及时均不予细考，而仅将“内经”一词作为泛指这些书或这些书之中的一部来理解。



* 带有*者文中未作细致讨论,仅罗列备考,下面两表同此例。

的追随者之间知识的传递，颇像是一组志同道合的朋友在分享其中佼佼者的经验和知识，“传授”或“继承”之说间或有之，但总的说来，其具体方式常晦暗不明。至于朱震亨起，情形丕变。震亨儒学出于正传，挟儒入医，而医人师生之礼始如儒者师生之礼。儒家的一些想法侵入医学，或医家采用儒者的种种说法做法，当发生在本文所论的时代之前很久。^①但以震亨的影响，特别是对于师生授受的传播方式的影响，仍值得严重注意。与这种发展并行不悖的是家族成员之间的传递，是为第三组。长洲葛氏，称其理论与刘完素的理论“吻合”，传递可考，于史有徵者凡五代。当然父子甚至世代为医的，绝非仅见于此，亦非初起发轫于此，而五代相传，恪守一种医论百年以上，先前并不多见，故亦值得留意。最后讨论的，是一大组相互之间并无具体关系可考的医人。其共同点在于，所有这一组中的医人，均声称是刘完素及其学说的传人。而细考其知识来源及获得途径，不外乎书。此即第四组。案年岁日久，大师们逝去日远，亲炙门下自不可能，而阅读他们的书论，揣摩体会大师们的精神，亦自然成为学派理论、观念传播的主要途径。得大师的真传已不再是少数及门弟子所垄断的令人艳慕的美事，而成为任何人都可以尝试，都可能做到的事了。这种传播方式有赖于大师们的经典著作，医论医案的编排付梓。当书籍成为传播的主要手段时，传播也不再仅仅是人与人之间的事，而主要是人与书之间的事；而一个学派如果要流传久远，最后必然要进入这种传播模式。

以下分节讨论这种传播的方式。

三、刘完素和他的朋友们

刘完素(1120?—1200)，字守真，河间人，《金史》有传。据他自己

^① 如隋许智藏之“孝子不可不知医”，见胡待，《真珠船》，三卷，《关中丛书》本，4页；真宗朝范仲淹尝言“不为良相，即为良医”，语在沈明远《寓简》，见刘祁，《归潜志》，十三卷，北京，中华书局，1983年标点本，154—155页，事见吴曾，《能改斋漫录》，十三卷，台北，商务印书馆，1966年标点本，“文正愿为良医”条，332页；比及邵辅序从正书，复言“医家奥旨，非儒不能明……为人子者不可不知医”，见张从正《儒门事亲》，郑州，河南科技出版社，1984年标点本，首2页。

说,他的学问源于《内经》:

余二十有五,志在《内经》,日夜不辍。殆至六旬,得遇天人,授饮美酒,若椽斗许,面赤若醉。一醒之后,目至心灵,大有开悟。^①

这个故事由程道济作了更细致的报导:^②

(完素)披翫《素问》一经,朝勤夕思,手不释卷。三五年间,废寝忘食,参详其理。至于意义深远,研精覃思,期于必通。一日于静室中,澄神晏坐,沈然毕虑,探索难解之义。神思杳冥,似寤寐间。有二道士者,自门而入,授先生美酒一小盏,若椽斗许,咽而复有,如此二三十次,咽不能尽。二道者笑曰:如灰饮,反吐于盏中。复授道者,倒于小葫中。道者出,恍然一醒,觉面亦酒香,杳无所据。急于内外追之,不见。而后因至心灵,大有开悟。

马宗素《素问要旨》亦记有类似故事,^③惟“道人”作“天人”。据以上引,可

① 刘完素,《素问病机气宜保命集》,《叙一》,《刘河间伤寒三书》本,上海千顷堂书局刊,未署刊行日期。是序亦见于本书《古今医统正脉全书》本,收于《百部丛书集成》。李时珍认为本书非完素作,见氏著《本草纲目》,北京,人民卫生出版社,1957年标点本,339页;其后四库诸书仍承其说,日人多纪元胤(中译本作丹波元胤,但英译作 Taki)反复辩难,细加追究,仍以刘完素作,见氏著《医籍考》(中译书名作《中国医籍考》),五十卷,北京,人民卫生出版社1956年排印本,838页。近世作者常采多纪说,如北京中医学院编,《中医各家学说讲义》,香港,医药卫生出版社,1968年,77页;李聪甫等,《金元四大医家学术思想研究》,北京,人民卫生出版社,1983年,2—3页。

② 刘完素,《素问玄机原病式》,程道济序。文见前引多纪书,五十卷,831—32页。本序不见于今版《原病式》,亦不见于比较通行的《医统正脉全书》各刊本,但见于明版《河间三书》本。程道济者,官爵次安国军节度使开国侯。记为大定二十二年,当1183年。自云与刘完素为“知交”,故得悉其中多种秘闻故事。以下引文用多纪元胤注录的明版《河间三书》本,见氏著《中国医籍考》五十卷,831—832页,并与冈西为人,《宋以前医籍考》,一,(二十三),台北,学生书局,1969排印本,82—84页注录本对校过。

③ 马宗素《素问要旨序》,见于《丽宋楼藏书志》,四十七卷,台中,广文,1968,1页。《铁琴铜剑楼藏书目录》称之为“河间刘守真先生亲传的本”,见十四卷,28页。

见刘完素的医学知识大概起于自学。异人传以美酒，因而得以洞达医术之说，“几近诞妄”。但考以近世科学发现的心理学说，似亦未可骤拒之于千里之外。尤其是程道济的记录，颇与西洋科学史上诸多故事暗合，据以推想完素的钻研精神，当无不可。

完素之学之所以给人一种全新的印象，是因为他主张用寒凉药物的医理和临床实践与当时流行已久的局方所惯用的香燥之剂恰为反对，对医学经典如《内经》也从“惟火主义”的立场作了重新诠释。所有这些，当令时人一震，名之以一派，曰河间，以完素籍焉。^①

完素的学说影响了一大批人。马宗素推崇最力：^②

宗素自幼习医术，酷好《素问》、《内经》。玉册灵文，以事先生门下，相得其意趣。……太素视如深渊，如迎浮云，莫穷其涯际。玄通隐奥，不可测量。若非刘氏，孰可发明。

由此可知马尝“事先生门下”。他的医论《伤寒医鉴》也“载河间六书中，皆秉刘完素之说”^③。但他的生平《四库》和《续文献通考》都说“无考”^④，仅《医学流源》引《历代名医图》说“金有马宗素，……是书（案指《伤寒医鉴》）又载正治反治之法，曰闻诸守真之言。”并由此推测说，“则宗素亦金人，当得亲炙于守真之门”^⑤。

① 本文注意力常在学说之如何传播。至于学说本身，师承创新，和“传播”也有很大的关系，唯限于学识与论述方案，不及细考。李聪甫等《金元四大医家学术思想研究》，（北京，人民卫生出版社，1983），从医学理论方面作了最细密的研究，本段陈述，约略从其说。

② 马宗素，《素问要旨序》。其中《素问》、《内经》并列，殊不可解，谨以常理顺其文，加书名引号而已。

③ 《四库全书总目》，一〇五卷，存目，上海，商务印书馆，1931年重印本，38页。谓：“宗素始末未详”。

④ 《续文献通考》，一百八十四卷，《经籍考》四十四卷，上海，商务印书馆，1936，4266页；并见上条注释。

⑤ 参见多纪（丹波）元胤的考证，《中国医籍考》，前引版本，《伤寒医鉴》条下，指《四库全书总目提要》误，1222页。

张子和(1156? —1229),睢州考城人,“其法宗刘守真”。^① 他对于河间的学问,以“汗、吐、下”三法发挥,“多用寒凉,然起疾救死多奇效,士大夫称焉”。^② 这些记载见于刘祁的《归潜志》。案《归潜志》于金代掌故,常称信史,^③更兼祁于书中称子和与其先人善,^④当可不疑。子和复以精医术入太医院,旋告去隐,其原因甚晦,但多数研究者相信他的个性使他不能从容官场,也有说他“医杀二妇人”。^⑤ “乃与麻知几辈日游隐水之上,讲明奥义,辨析原理,遂以平日闻见及尝试效者辑为一书,凡十四卷,名曰《儒门事亲》。”^⑥这本书使人“耳目一新”,被称为“医学中申韩”。^⑦ 书中提及刘完素,颇加称道。^⑧

与子和同游于隐水的麻知几,名九畴,莫州人。少慧,……

始以古学自力,博通五经,于《易》、《春秋》尤长。少时有恶疾,就道士学服气,数年疾遂平。又从宛丘张子和学医,子和以为能得其不传之妙^⑨。

他是极广博的人,“因经义学《易》,后喜邵尧夫《皇极书》,因学算数。又喜卜筮射覆之术,晚更喜医方,与名医张子和游,尽传其学,为文精密

① 《金史》,一三一卷,北京,中华书局,1975,2811页。

② 刘祁,《归潜志》,六卷,北京,中华书局,1983年崔文印点校本,65页,《知不足斋》本六卷,10页反面至11页正面同。

③ 《金史·完颜奴申传》,前引版本,2523页。

④ 《归潜志》,上引版本,65页:“(子和)久居陈,游余先子门,……后入太医院。”

⑤ 考证见陆文彬,《张戴人之若干医事考》,《中华医史杂志》,十一卷,1981,第四期,253页。

⑥ 《河南通志》,七十一卷,雍正十二年(1735)版,4页反面。前引《归潜志》略同,谓“旋告去,隐,然名重东州”。

⑦ 刘献廷,《广阳杂记》,一卷,功顺堂丛书本,25页。又有台北,河洛出版社1975年影印本。

⑧ 张从正(子和),《儒门事亲》,张海堂、赵法新、胡永信、刘道清点校,郑州,河南科技出版社,1984,此点校本的底本是明嘉靖辛丑三月的木刻本,附有说明,较上海,上海科技出版社,1958年排印本更善。论刘完素见于是本91页。

⑨ 元好问,《中州集》,卷己集第六,北京,中华书局,1962年排印本,292页。

巧健，诗尤奇肖，妙处似唐人。”^①因此他一面从子和学医，一面也“为润色其所著书”，^②是所谓各得其所。

又有常用晦，(1178—1251)，亦同游于隐水。^③用晦字仲明，^④《伤寒心镜》熊氏种德堂本题作“门人镇阳常惠仲明编”，由是知仲明常自视为子和传人，此点不同于知几之为子和知己焉。考其生平，则知仲明小子和几恰一代。考《伤寒心镜》医论文字，多刘完素理论之阐发，作者当“深通河间之书者也”。^⑤常用晦因与麻九畴善，而九畴受子和请润色其书；用晦得与焉，且“颇能探微旨，亲识间有谒医者，助为发药，多所全济，病家赖焉。”^⑥

当张子和同麻、常之徒游于隐水之上时，另外一位得刘完素真传的人，荆山浮屠师，正往游江南。师平生不详，事迹仅见于其弟子的传记^⑦。他最重要的弟子是罗知悌。知悌字子敬^⑧，钱塘人，世称太无先生^⑨。知悌于宋宝祐年间，服侍黄门。精于医，“以医侍穆陵，甚见宠厚。”^⑩宋亡，

① 《归潜志》，二卷，上引版本，14页。

② 同前引《河南通志》。

③ 李濂，《医史·张子和传》，前引本：“张戴人兴定中召补太医。居无何，辞去，盖非其所好也。于是退而与麻知几、常仲明辈日游隐水之上。”

④ 案种德堂本《伤寒心镜别集》题作“常惠仲明”。《四库全书总目提要》一百五卷，37页谓“仲明字义与德字相符，常仲明者，其即德欤？若然……”，是揣测语。盖因《中州集》卷己集第六前引版293页记麻九畴卒，“平山常仲明之子德，葬之小商桥，傍近赵庄。”繇是仲明与德为父子焉。案元好问尝为常用晦作墓铭，铭有序，自述与常用晦及麻九畴的交往，甚密，文在《遗山先生文集》二十四卷，阳泉山庄本，1—2页，后收入吴重熹，《九金人集》，山东海丰吴氏石莲龛汇刻本，台北，成文出版社1967年影印，当不致于误记，故择焉。惟熊氏种德堂本何以作“常惠仲明”，不得其说焉。

⑤ 汪琥，《伤寒辨注》卷首列采辑书目，书目下有简要解题文字，此盖汪琥评语也。

⑥ 元好问，《真定府学教授常君墓铭》，《遗山先生文集》，上引版卷，2页。

⑦ 参见宋濂《格致余论题解》，收于《东垣十书》，明辽简王编，王肯堂订正，武村市兵卫新刊，万治一年(1658)印。按：台北“中央图书馆”藏有此书微卷。

⑧ 史常永，《罗知悌传稿》，《上海中医药杂志》，1985年第六期，46—47页；同作者《罗知悌生平著作及“罗太无先生口授三法”考》，《中华医史杂志》，1980年，第一期，9页。但上两文注释乖舛多处，常令人困惑。

⑨ 孔行素，《静斋至正直记》，一卷，粤雅堂本，5—6页，但记事颇不合，志此备考。并见10页注④。

⑩ 陈善，《杭州府志》，九十二卷，明万历七年(1580)本，8页正面至反面。

人元都，但性高倨，“好读书史，善识天文地理艺术。”以病南归，他学医的具体经过似已不可考，但据宋濂说他“得金士刘完素之学而傍参于李杲，张从正二家”^①而戴良说他“得金刘完素之真传”^②。案宋、戴两人皆金元时学者，而于医人传记尤著，此说大致可信。细看罗知悌的经历，他之得完素之学，可能是在他滞留元都的时候。及归浙右，声名大噪。时一蜀僧，游浙而念其母，“心不可遏”，因而黄瘦倦怠。罗先以牛肉猪肚等煮糜烂与之，又以好言慰谕之，半月以上，其形气稍苏，又以桃仁承气，“一日三贴下之，皆是血块痰积方止”。又以蔬菜稀粥将息之，又半月余，“其人如故”。这一病例的治愈为罗的学生朱震亨所激赏，因录于书，并称繇此而“大悟攻击之法。”^③但罗之所以为后来学者所重视，却多半是因为他的学生朱震亨。他们的师生授受将在下一节讨论。

以上八人，时代都在金元之际，并有一些共同之处，可划称一期。八人之中，七人为北人，唯罗知悌为钱塘人，但仍游元都，居数载。本文所最关心的医学知识的来源与流传，在这一期中却都语焉不详。考其文句，于张从正，称“其法宗刘守真”，而于麻、常辈则称“日（与从正）游于隐水之上”；至于罗知悌，直是到荆山浮屠师游江南，“始传太无于杭”^④。其师承授受之意尽在，也仅在“游”，在“宗”，在“传”上。这样的分析虽说语近穿凿，但证以上引张、常、麻、罗诸人事迹，似尚不为太过。案史料的稀少固然使得我们难于进一步洞悉当时的传授细节或方式，但这种近乎草率的记载本身也是当时近乎草率的师生关系的一个侧影。

这一期中诸医人与道教的关系也值得注意。刘完素自号“通元处

① 宋濂，《故丹溪先生朱公石表辞》，《宋文宪公全集》，四部备要本（台北中华书局影印）五〇卷，15页。

② 戴良，《丹溪翁传》，《九灵山房集》，五卷，丛书集成本，上海，商务印书馆1936年重印本，10页正面。

③ 朱震亨，《张子和攻击注论》，《格致余论》，在《丹溪先生医著四种》，33页，南京，江苏广陵古籍刊行社重印，1982年。

④ 罗知悌在大都行止，主要见于孔行素上引文。但孔文未特别提及罗的医术，并称罗为“宦”，此不见于任何其他材料。志此存疑。

士”^①，又号“宗真子”，著作多道家语，所以范行准先生颇疑完素为全真教中人^②，而苦不得其的证。麻九畴“少时有恶疾，就道士学服气，数年疾遂平”。及长，作《邓州重阳观记》，记在《甘水仙源录》^③中。案金元之际，道士或道教中人行医济世，原为风尚。仅以道家为皇室成员治病见于书册而成果斐然的，三十年间凡六次^④。而进一步考察整个道教之于医学，更可见千丝万缕的联系。孙克宽先生论道^⑤，言道之为中国学术之渊藪，第一条就是“神奇医术”。这种技艺，于皇室则屡封屡赏，在民间则悬壶济世。孙先生称之为“丹鼎派”的一群人，对疾病和人体精神保有强烈的兴趣，也留下了半神半人的传说^⑥。

这一期中人之“绍其师之志，传其师之学”的方式，还在于后学编撰纂印先学的著作，马素宗之于刘完素、麻九畴之于张从正皆然。常德或常用晦亦然^⑦。稍后，书籍就要被当作头等重要的传授凭据^⑧，但在这一期内，尚看不出这种通过编纂宣扬师意的作法有什么特殊的象征性的意义^⑨。

本节的研究提示了一种新的医理、医学流派产生时的最初情景。这一期中，后学与先进之间，更多的是一种“亦师亦友”的关系。共同的观

① 前引《金史》，2811页。

② 范行准，《中国医学史略》，北京，中医古籍出版社，1986，167页。

③ 《甘水仙源录》，研究见陈铭圭《长春道教源流》，一卷，台北，艺文印书馆1974年重印，27—31页。原文在《道藏》，正统本，洞神部记传类。

④ 参见郑素春的研究：《全真教与大蒙古国帝室》，第四章，台北，学生书局，1987，102—104页。

⑤ 孙克宽，《寒原论道》，台北，经联，1977，2—3页。

⑥ 例如宋濂，《宋学士文集》，二十卷，国基版，395—396页《刘真人传》记刘思敬，号真空子，为民治病，又奉召侍〔元〕世祖。此故事时代与现本文所论时代为一，宋本稍晚人，而出入医家，亲故多名医，又多作医人传，此故事当可代表一斑。

⑦ 刘完素，《素问要旨论》元刊本注明“金刘守真撰，马宗素重编”，见《丽宋楼藏书志》四十七卷子部医家类五注录，1页；前叙麻、常辈参与《儒门事亲》的写作，又常德或常用晦参与张从正《伤寒心镜》的编写，或后重编，见于汪琬《伤寒辨注》卷首采辑书目。冈西为人《宋以前医籍考》论之甚详，见台北，进学书局1969年印本，66、497页，并参见前注引，9页注④、⑤。

⑧ 见下文王宾的例子，并见节八、九的叙述。

⑨ 书籍在传播中的作用将在下文作细致讨论。“书籍”一词在本文中未作细致分析，或为“书稿”，或为已刊行的，现代意义的“书”。之所以未作细分，是因为从史料上常难判断所谓“书”是指已刊的还是未刊的。但如果刊行与否与文意有重要关联而又多少可考的，如王仲光、戴原礼故事和葛氏《十药神方》，则在文中再加辨证。

念、兴趣，进而共同工作使得这些人得以构成区别于别人的“一群”，这是我们得以将他们归并为一类，名之为一期的主要依据。

四、朱震亨

罗知悌得荆山师之传，用攻击之法，得心应手。然性倨傲偏甚，厌与人接。朱震亨初投其门下，颇遭遇一些困难。震亨自述说：

泰定乙丑夏，始得闻罗太无并陈芝岩之言，遂往拜之。蒙叱骂者五七次，越起三阅月，始得降接。^①

据朱的传记作者说，情形还更坏：

先生谒焉，十往返不能通。先生志益坚，日拱立其门，大风雨不易。或告罗曰：“此朱彦修也。君居江南而失此士，人将议君后矣！”罗遂修容见之。^②

朱震亨(1281—1358)，字彦修，义乌人。先举试不利，转而学医。后学者尊之而不敢字，号曰“丹溪先生”，以其居近丹溪也。先是，震亨为声律之学，已而弃之；去为任侠，已而又悔之；往从许谦学。谦性远，学者称之白云先生：

白云为开天命人心之秘，内圣外王之微。先生闻之汗下。由是挟册坐至四鼓，默察理欲之消长，抑其粗豪，归于纯粹，数年而其学坚定。^③

稍后既不利于场试，乃从许谦言，游于医。尝言“士苟精于一艺，以推及

① 朱震亨，《格致余论》，33页，是文收于《丹溪先生医著四种》，南京，江苏广陵古籍刊行社，1982。

② 宋濂，《故丹溪先生朱公石表辞》，《宋文宪公全集》，五十卷，四部备要本，13页。

③ 全祖望，《宋元学案·白云学案》，台北，“国立编译馆”排印本，1954，982页。

物之仁，虽不仕于时，犹仕也。”^①因惑于陈师文，裴宗元所定大观二百九十七方，遂出入州县，遍及江南，以求良师。得刘完素、李杲、张子和书，“然终未得的然之议论”。正在这时，闻罗知悌名，往拜，遂有前引故事。

知悌既纳震亨于门下，令视其诊治。震亨自述其事如下：

罗每日有求医者来，必令其诊视脉状回禀。罗但卧听，口授用某药治某病，以某药监某药，以某药为引。经往来一年半，并无一定之方，至于一方之中有攻补兼用者，亦有先攻后补者，有先补后攻者。又大悟古方治今病，焉能吻合。随时取中，其此之谓乎。是时罗又言用古方治今病，“正如拆旧屋接新屋，其材木非一，不再经匠氏之手，其可用乎？”^②

以此观之，罗氏的做法，重点常不在教，而在学生自己领悟。加之罗的个性，“不轻以语人而君（案指震亨）得之亦不易。”^③在这一点上，朱震亨自有其长。他利用在许谦处学得的儒学教养来帮助理解，融通医学知识，“乃悟治病人当如汉高祖踪秦暴，周武王踪商之后，自非发财散粟与三章之法，其受伤之气、倦怠之人，何由平复也。”^④

对于朱震亨说来，他首先是一个儒学者。对于刘完素的学派而言，朱震亨则是一个注入儒学影响的孔道。震亨居金华几六十载，所力行者，儒道而已，尤重笃行。“与人交，一以三纲五纪为去就。”^⑤他曾领导农夫作水利，亲为之策划，成，名蜀墅塘^⑥。在乡里，常以道德

① 戴良，《丹溪翁传》，《九灵山房集》，五卷，金华丛书本，台北，艺文印书馆，1969，9—17页。引文在9页反面。

② 前引朱震亨，《格致余论》，33页。惟“接新屋”似当作“湊新屋”，“其可用乎”似当作“岂可用乎”，以未得善本，乃一仍其旧，志此备考。

③ 陈基，《朱氏格致余论序》，《夷白斋集》，十九卷，四库珍本版，台北，商务印书馆，1979，4页。

④ 前引朱震亨，《格致余论》，33页。

⑤ 《宋元学案补遗》，八十三卷，四明丛书本，238页。

⑥ 宋濂，《蜀墅塘记》，《宋文宪公全集》，三十五卷，6—7页。

性命之说教乡人，事事中礼，方孝孺叹曰：“若先生父子者，可谓无愧于孔子。”^①又论风水，力主“修人事以顺天理而已”；于生死凶吉，常取一种安详的理性态度。“而于天人感应，殃庆类至之说，尤竭力戒厉，反复不厌。”^②

以这样一种严肃积极的态度转而论医及医学知识之授受，震亨遂得以独树一帜：

儒者朱君彦修饬身砺行，有古君子之风，而尤好医、方术。尝读《素问》而叹曰：“此载道之书也！顾非儒者不能读，而医固儒者之事也。古之号为良医者皆有师。今之为医，不必师徒。守故方以俸人之不死者，非医之罪也。医之无师久矣。呜呼！吾尚忍为是哉！”^③

基于此一观念，震亨致力于医道授受，谆谆不倦，学者得其教诲者竞颂其名，生徒门人莘莘于门，而其中人材辈出。

五、丹溪传人和他们的授受方式(一)

丹溪传人中以王履著作最丰。履(1332—91)字安道，崑山人，“学医于丹溪朱彦修，尽得其传。”^④著有《溯洄集》一卷，“极论内外伤经旨异同并中风中暑辩议”，又有《标题原病式》一卷，《百病钩玄》二十卷，《医韵统》一百卷^⑤。其中《溯洄集》被一再重印，直至现代^⑥。

王履以博学著，王鏊说他“笃志于学，博极群书，为文若诗，皆精诣。

① 方孝孺，《孝友庵记》，《逊志斋集》，十七卷，四部丛刊本，411页。

② 胡瀚，《风水问答序》，《胡仲子集》，四卷，金华丛书本，6页。

③ 前引陈基文，4页。

④ 李濂，《医史·王履传》，该传为焦翊《国朝献徵录》所收，在七十八卷，47页。

⑤ 方鹏，《崑山人物志》，明1530年前后本，“国立编译馆”缩微胶卷，八卷，3页。

⑥ 本书有北京人民卫生出版社1956年影印本，有台北1969年以1914年《东垣十种医书》本作底板的复印本，有台北世界书局1971年重印本，收于《增补珍本医书集成》之中。

有法画师夏圭，行笔秀劲，布置茂密，评者谓作家士气咸备”^①，可谓推崇之至。

王履在医学方面的贡献在于他以自己的医学理论和临床实践重论“伤寒”，以为《素问》谓人伤于寒为病热者，言常而不言变；仲景谓或寒或热而不一者，备常与变而弗遗，因作《伤寒立法考》；整理“伤寒三百九十七法”除重复者与无方治者，止以有方治而不重复者计之，得二百三十八条，作《伤寒三百九十七法辩》^②。这些工作多系繇河间丹溪的说法而对别派的批评。

王履之学传于子王伯承，伯承“医名籍甚两都”。无子，传其婿沈仲实，仲实传其孙承先，承先亦善医。邑令方豪以其癒母疾书“助孝”两字旌其门^③。履又传其学于许谌。谌字元孚，其先盩江人，宋南渡时徙崑山，“少从王履游”，深造医道^④。谌又以学授陶浩，浩字巨源，生平未详^⑤。

朱震亨的另外一个重要传人是赵良仁。良仁字以德^⑥，汴人，在宋有属籍，再徙浦江。从丹溪学医家言久之，治疗有奇效，“一时名动浙东西”^⑦。

① 王鏊，《姑苏志》，五十六卷，台北，学生书局，1964，17—18页。

② 张咏，《吴中人物志》，十三卷，台北，学生书局，1969，11—12页。

③ 方惟一编，《吴郡张大复先生明人列传稿》，“国立中央图书馆”缩微胶片，原文不分卷，传在36页，附“论”。案大复生当明末季（1554—1630），去安道百六十年，而赞安道已有“士有特绝之行，举一该百，皆可不朽，王安道其是乎”语。

④ 金吾澜、汪堃，《崑新两县续修合志》，1881年刊本，三十三卷，30页。

⑤ 前引张咏，《人物志》，十三卷，12页。

⑥ “良仁”在史籍中有不同写法，但字均作“以德”，籍均作“汴”。王鏊，《姑苏志》，五十六卷，前引版本，18页；杨士奇，《太医院御医存斋赵公墓志铭》，收于朱大韶编，《皇明名臣墓志铭》乾集，均作“良仁”；李铭皖、冯桂芬光绪九年（1883）《苏州府志》（台北，成文出版社1984年重印）亦袭王说。但张咏前引《人物志》十三卷，20页作“良仕”；陆心源，《金匱衍义跋》，《仪顾堂集》，十七卷，光绪戊戌俞樾序本，12页作单名“良”；焦翊，《国朝献徵录》，七十八卷，36页引杨士奇墓志铭时作“良人”。细致的考究非以义学识所能遽及，此处仅参较各书一致的名号“以德”，取“良仁”说，以此二者互词焉。

⑦ 前引张咏，《人物志》，十三卷，20页。

据良仁自记^①，他从朱震亨学医有三个阶段。震亨令之先读《内经》，以“凡先入者为主，……先主于《内经》，则自然活泼泼地不偏于一也。”《内经》以后，再遍及诸医书。这一阶段计三年，然后进入第二阶段即临床阶段，随朱氏临症视药，切脉处方。又两年，震亨乃令良仁先诊视辩证，再一一诂询，告以“某是某不是”，详加校正。嗣后良仁出，悬壶三年，进入第三阶段，再回震亨门下，“往还论难又两年”，授以“太极阴阳消长之象，六气造化主客之运，先儒修心养性之说”。历此三阶段，良仁遂尽得其学。

赵良仁医案今传六例^②，均系以汗吐下法和清热解毒为治疗核心，诚与完素、子和一脉相传，虽不识医者亦能道其师承。良仁著有《金匱衍义》，陆心源推之曰“于仲景立论制方推阐详晰，其有精义，可与成无己《伤寒论注》相抗衡。”^③

良仁之学传子友同。友同(1364—1419)，字彦如，知书，以文学任《永乐大典》纂修副总裁；知水，尝会户部吏往治浙水；知医，以姚广孝荐为太医院御医。其人“沉实温雅，有行义，……为文章，贯穿经史，优柔缜栗，或丰或约，必归宿于理。”^④

又有项昕者，亦出震亨门下，昕字彦草^⑤，翁源人，号抱一翁。昕先事韩明善，更诣陈白云，受方书。会朱震亨至，出刘完素、张子和书以示昕。“昕独疑古方不宜治今病之论，亟来杭，见(陆)简静。叩之，始悟古今方同

① 前引王鏊，《姑苏志》五十六卷，18页称良仁尝著《丹溪药要》，据史常永，《珍本善本及罕见医简访辑志》，《医史文献理论丛刊》，1979年第三期报导，作者尝见该书明抄本，上下两卷。良仁虑俗医“择焉而不精，语焉而不详”，乃“述闻于先王者”，以广其传，史文详细评介了这本书。因无缘见着这一珍本，以下叙述基于史氏的转述，并见同作者，《赵良仁传稿》，《上海中医药杂志》，1986年第1期，36—38页。

② 参见上注引史文转录。

③ 前引陆心源《金匱衍义跋》，《仪顾堂集》，十七卷，12页。

④ 前引杨士奇墓志铭，99页。

⑤ 戴良，《抱一翁传》，《九灵山房集》，十一卷，9页。但《万历绍兴府志》(1586年本，台北“中央图书馆”缩微胶卷)四十九卷，9页项昕号作“彦彰”。案戴良与项昕为同时人，且有私交，戴有《怀项昕》，在氏文集二十五卷，5页，又有《抱一翁像赞》，在十八卷，1页，故取戴说。

一矩度。”^①著《脾胃后论》。

就本节所讨论的王履、赵良仁和项昕三例来看，河间之学四传至朱震亨，其传授方式始趋完备。这不仅在于师生之间的关系呈现出类似儒家师生的、比较严格的授受模式，也表现在朱震亨的教学态度上。其师罗知悌之教授者，常如孤云野鹤，超然世外；而朱氏则如谆谆长者，与后学论经典医案，乃至人生哲理，无微不至，笃师道俨然儒者^②。在具体的教学内容和教学方法上，也表现出系统性。前引赵良仁自述谓先学基本医理的《内经》，转而从事临床，论病辩证，最后复归哲学，论“太极阴阳”，以期融通。对于朱震亨说来，“医固儒者之事也”，“非四书无以穷理性格物致知之功，非《易》无以知阴阳消长，升降生成之道。”^③医学与儒学传统日益深入的结合，无疑有助于提高医人的社会地位，亦有助于加强其师徒传授的进程。以其传授对象而言，朱震亨以下亦有殊然不同于以前之处。传于家庭成员的事例大为增加^④，但并未排斥外姓学生。这种子侄外姓并传的方式与稍后我们行将讨论的家族内传递现象并存，又是医学知识传播的一个特点。

六、丹溪传人与他们的授受方式(二)

与王履、赵良仁同受丹溪之学的还有戴思恭。思恭(1324—1405)，字原礼^⑤，

① 龚嘉雋，《杭州府志》，光绪十四年(1888)修纂本，一百四十九卷，台北，成文重印本，17—18页，引《两浙名贤录》。

② 王行，《纂刊朱彦修医书疏》，《半轩集》，补遗，四库本，台北，商务印书馆重印，1983，33页；冯从吾，《元儒考略》，四卷，四库本，同上重印本，10—11页；金江《义乌人物记》，卷上，续金华丛书版，台北，艺文重印本，1973，86页。

③ 前引史文转录《丹溪药要或问》，36页。

④ 以刘完素传人来看，笔者所能追寻踪迹的六七人中，仅得常用晦、常德一例父子相传，参见前注引。丹溪有子玉汝，先卒，事在前引宋濂墓志铭中。

以朱震亨而言，直接受业者有侄嗣汜，先生曾戒之曰：“医学亦难矣，汝谨识之。”语在宋濂，《丹溪翁传》，《宋文宪公全集》，前引版本，五十卷，13页，至于丹溪传人，本段讨论的王履、赵良仁均传子，而项昕不闻有子侄辈入学。下段将要讨论的戴氏亦有相同倾向。

⑤ 王汝玉《太医院院使浦江戴公思恭墓志铭》，铭在焦竑《国朝献徵录》，七十八卷，前引版本，5—7页。同铭亦见于朱大韶，《皇明名臣墓铭》，乾集，明蓝格抄本，屈万里《明代史籍汇刊》影印，台北，学生书局，1969，103—108页。此两处所引铭文常有异文，但于事实无大出入。

浦江人，后为明太祖御医。思恭父珪，隐不仕，以诗礼相承，家在浦江为望族。思恭资笃敏，读书必求圣贤微言奥意。珪既慕震亨名，蚤从之游。及思恭长，遂携往执弟子礼，受业于震亨之门。今传元礼医案^①，几全袭汗吐下法，直接征引刘、张者二。其一略如：一人长夏畏寒，饮食必热如火，微温则呕，身常挟重纆。他医以胡椒烹伏雌食之，病愈亟。原礼曰：“脉数而大，且不弱。刘守真云，火极似水。”以剂下之，减纆之半，竟瘳^②。他还利用类似的方法治愈了永乐皇帝的寄生虫病^③。

思恭兄思温，亦学于丹溪门下，但成就不如思恭。姻表兄楼英（1320—89）^④，字全善，亦曾“一度师事丹溪先生之门”。著作有《仙巖文集》两卷，《运气类注》四卷，《医学纲目》四十卷^⑤。

原礼之学传于王宾。宾字仲光^⑥，吴县人，素孝友，以名节自励，于俗名尘世俱淡，有显贵往问，则急避之。与姚广孝同里，广孝功成，旋归故里，宾见荣状，掩面走之，时称姑苏“三高士”^⑦。其行为怪异，不与人合，而“独以医著”^⑧。先是，宾往拜思恭，欲问医学奥旨，为思恭不纳：

宾慕其〔思恭〕名，往谒之，一见倾倒，饮酒赋诗，间谓元礼曰：“若宾年，亦可学医乎？”元礼曰：“君家固世医，谓之直差易耳。”“然则当从何始？”元礼亦不肯轻授，漫应曰：“能读《素问》、《难经》、《伤寒论》诸书则可。”遂别去^⑨。

-
- ① 原礼以字行，见《明史》前引版本 7645 页。下文循例。
- ② 吴之器，《婺书》，五卷，明崇祯十四年（1642）本，39 页反面。
- ③ 王鏊，《震泽纪闻》，卷上，《借月山房汇钞》本，10—11 页。《明史》，7645 页稍异。
- ④ 《萧山石塔楼氏宗谱》，为方春阳《朱丹溪弟子考略》，《中华医史杂志》，第十四卷，1984，第四期，209—211 页，所引，但方文未给出细致的出版资料，不知何本。
- ⑤ 《绍兴府志》，四十九卷，张元忭序本，万历丙戌（1586）年本，“中央图书馆”缩微胶卷，10 页。
- ⑥ 曹参芳，《逊国正气集》，五卷，明本，“中央图书馆”缩微胶片，6 页。
- ⑦ 唐枢，《国琛集》，卷上，《纪录汇编》本，11—12 页。
- ⑧ 文成孟，《姑苏名贤小记》，明刊（1614）本，不分卷页，“中央图书馆”缩微胶片。
- ⑨ 王鏊，《守溪笔记》，《纪录汇编》本，25—26 页；又见同作者《震泽纪闻》卷上，前引版本，11—12 页；又见杨循吉，《苏谈》，《古今说部丛书》本，3 页。凡上三书于此故事率略相同。下两段引文均出同书。

宾既称“吴中高士”，乃肯屈节往元礼处求教，足见当时医人对于师名师已很重视了；而元礼竟似乎未为其诚挚所稍动，而以敷衍的态度“漫应之”，更足见当时医人对于师生关系的慎重，即“不肯轻授”。但王宾锲而不舍：

期年再至，复语及医。元礼曰：“《素》、《难》诸书已读乎？”曰：“公第举之。”元礼摘问，宾随，口诵如流，虽笈述异同亦能具述。元礼叹曰：“夺吾名者，此人也。”终不授以方。宾归，处剂漫不知要，固叩之。元礼曰：“吾固不求货，独不能以师礼事我耶？”宾曰：“吾春秋已高，尚不肯诎节从仕，又肯为人弟子乎？”

事至此不谐。非元礼不欲传也，非仲光不欲学也，盖双方把师生关系看得太慎重，故不肯轻诺焉。但宾自有走出困难的办法：

一日〔宾〕诣元礼，值他出，有医案八册在几上。宾携以去。元礼归，惊叹自失。宾自是得其传。

元礼仲光之传于是成立。宾之学传盛寅，亦传王敏，敏仲光孙也，亦从盛寅学。敏学传子观，成化年间医名甚籍^①。

盛寅(1370—1436)，字君东，《明史》有传^②，以医术精湛除御医。先是，寅父戍宁夏，寅独与母居，八岁力学，后学医，师事王宾。

……宾喜之。其叔父谓曰：“汝见汝师用药，亦少留意乎？”于是密窥之，遂善医。尝治热病用附子，宾惊曰：“汝遽及此乎？此反治

① 《姑苏志》，正德元年(1506)本，国立北平图书馆缩微胶片，7页，8页和12页；并见李铭皖，《苏州府志》，一百九卷，光绪九年(1883)本，台北，成文重印本，1970，26—27页正面。

② 《明史》，二九九卷，前引版本，7646—7647页，更详细的材料见朱大韶，《皇明名臣墓铭》，乾集，前引版本，155—159页。

之法，但少耳。”加之而愈。及卒，竟授以书。^①

寅弟宏字叔大，亦精医^②。子俨，太医院士，先卒^③。子僕，字汝德，寅尝囑之发扬医德，因谨守之，“医遂大行，不以贫富贰其心。”^④孙皓，“早岁应举不遇，”遂志于医，皓子乾，“亦善医方”。又孙旷，亦事医。寅从子伦，传寅学甚有所得。又有刘毓字德美者，亦学于寅，“得其源委”，后征得太医院^⑤。

寅信下法甚笃。侍宫中，妃张氏闭经不行，众医以为胎，而又久不产。寅往诊，言病状皆重，用下剂。妃怒，谓旦夕思诞皇孙，“乃为此剂，何也！”不用。后三日，病益急，更召寅，用药如前，并称“更缓三日不可为矣。”必用寅方，东宫虑堕胎，乃械寅以待。家人惶怖，以为族且不免。药至妃下血数升，疾平。三日后，寅归府第，“红梃前呵，赏赐甚厚。”上与语曰：“非为酬医，为压惊也。”^⑥寅信其法如是。

本节所研究的是丹溪的另一支门生弟子，其间多显者。特别值得一提的是师生双方对师生关系的态度和认识——一言以蔽之，是极端的慎重。与刘完素及稍后的张子和、麻九畴辈，授业传道解惑著作皆寓于“同游”之上，当有很大的不同。

另外值得注意的是门户传统的成分似较朱震亨的时候为深，受业者子侄的比例相当高。虽然不尽摒除外来求学者，但子承父业显得相当自然。这种家族成员间的传递有时也颇似一种模式。考其起源，或相当早，但至金元以后，似有大盛的趋势，故辟下节作一专题研究。

① 王鏊，《震泽纪闻》，卷上，前引版本，12页。

② 张咏，《吴中人物志》，前引版本，十三卷，27页反面。

③ 前引墓铭，159页。

④ 陈奂等，《吴江县志》，三十三卷，乾隆十二年（1747）本，台北，成文1976年影印本，42页反面。

⑤ 前引《吴中人物志》，28页。

⑥ 这一医案同见于王鏊《震泽纪闻》前引版卷上13页，《明史》二九九卷，前引版本7646—47页，文句稍有差。

七、“世医”或医学知识在家族成员之间的传递

以上面引的两个例子来看，家族成员间的传递在明初就已是相当常见的现象了。但究竟起于何时，却不易考出一个确实的年代来。虽说《礼记》上已有“医不三世，不服其药”之语，宋濂仍认为这儿的“三世”是指“三世之书”而非“三世之传”^①。

见于史籍而时代较早，又承河间医旨的是长洲葛氏^②。葛思恭，元平江路长洲人，官宣义郎。子从豫，官进义校尉，“皆攻医”，然医名未著，仍以官俸为养。从豫子应雷，字震父，少为举子业，会元取宋而场事废，遂无意进取，以家藏方书为事，研精覃思，又留意《灵》、《素》，“名动一时”^③。葛氏与河间的沟通似出偶然：

时浙西提刑李判官，中州名医也，尝因父有疾能自诊之，复咨于应雷。闻其言论，父子相顾骇愕曰“南方有此人耶”。尽出所藏刘守真张洁古书，与之讨论，无不吻合。而刘张之学始于江南者自此始^④。

应雷弟应泽，亦通医。其子正蒙，字仲正，世其业^⑤。而张大葛氏之门于医者，实为应雷子乾孙。乾孙(1305—53)字可久，《明史》说他“名与金华朱丹溪埒”^⑥。

① 宋濂，《赠医士葛某序》，《宋文宪公全集》，四十四卷，前引版本，6—6页反面：“所谓三世者，一曰针灸，二曰神农本草，三曰素女脉诀。……而以父子相承三世为言，何其惑欤！”

② 黄缙，《成全郎江浙医官提举葛公墓志铭》，《黄文献公集》，丛书集成本，九卷，上海，商务印书馆1936年重印本，29—32页；《金华黄先生文集》三十八卷，金华丛书本，7页起略同。

③ 《洪武苏州府志》，明洪武年间(1368—1398)刊本，四十一卷，“中央图书馆”缩微胶卷，6页。

④ 张咏，《吴中人物志》，前引版本，十三卷，18页正面。这一故事亦见于上引《苏州府志》和黄缙的墓志铭。

⑤ 《吴县志》，五十三卷，曹允源纂本，1933，23页。

⑥ 《明史》，二九九卷，上引版本，7635页。

初，乾孙往应试^①，不利。因摒弃仕途，专心向医。细翫其医案，可见多奇中者。时有士人患寒疾不得汗，乾孙掙置其水中，使禁不得出。良久出之，裹以重系，得汗乃解^②。又有富家女四肢萎痺，众医束手，乾孙命悉去其房中香奁流苏之属，掘土为坎，异女其中，久之，手足动而呼，药一丸，明日自坎中出^③。与朱震亨交厚：

彦修尝治浙中一女子，瘵且瘕，颊上两丹点不灭。彦修技穷，谓主人曰：“须吴中葛公耳。然其人雄迈不羈，非子所致也。吾遣书往，彼必来。”主人悦，具供帐舟楫以迎。……比至，彦修语其故，出女子视之，可久曰：“法当刺两乳。”……援针刺之，应手而灭。主人赠遗甚丰，可久笑曰：“吾为朱先生来，岂责尔报邪！”悉置不受^④。

乾孙性固豪爽，于医则甚持重，尝炒大黄过焦，悉弃不用^⑤，“其谨如此”。又深知于丹溪，故知其旨趣相去不远。惟针法不闻于河间、丹溪，而葛氏颇好之^⑥，其流源未详。

葛应雷撰《经络十二论》及《医学会同》二十卷，今佚；乾孙撰《医学启蒙》，亦佚，《十药神书》存^⑦。《十药神书》写于至正八年即1348年，但未付梓。医家所用者，盖家藏传钞本。至于林寿萱访得陈修园本铸版印

① 谢应芳，《简吴门葛可久九韵》，《龟巢稿》，二卷，四部丛刊三编集部，台湾商务印书馆1975年影印，诗云，“阊门万人海，辐珠混鱼目。嗟尔珊瑚珠，光彩照壑谷。……复用岐黄书，教子时共读。”注云“时分省募文武士，闻可久欲应命，故有末句。”以诗意看，知乾孙尝应举。引文在30—30页反面。

② 徐显，《稗史集传》，历代小史本，6—7页。

③ 辋续，《霏雪录》，不分卷，《古今说海》本，15页。

④ 徐祯卿，《异林》，不分卷，《唐宋丛书》本，10—11页。

⑤ 上引辋续，15页。

⑥ 黄晦，《蓬窗类记》，三卷，涵芬楼秘籍本，26页，载葛氏用针医案一例；证以上引《异林》一例，知葛氏颇好针。

⑦ 多纪（丹波）元胤，《中国医籍考》，前引版本，336页，866页，907和908页注录。

行，已是咸丰七年即 1857 年了^①。

一部书稿流传五百年以后才获刊印，当然可能有很多的原因，其中一点颇值得注意的，是作者本人似乎并不希望这部书稿马上印行。在自序中，葛可久写道：“……名之曰《劳证十药神书》，留遗吾家子孙用之，不许乱授外人。如违父训、以不孝也。”^②以这一嘱咐结束序文，以“不孝”这样的重谴为“传外人”之罪，自有深意。就本文所研究的主题而言，有两点可以留意。第一，家族传递渐渐强化，医术医经不再传“外人”。与王宾、盛寅的情形比较，这是一个家族成员间传递的强案例。第二，书籍在传授中被赋予了极重的地位。这和仲光发原礼书的故事，倒是一脉相承的。

八、书籍在传播中的作用(一)

麻常辈偕子和同撰《儒门事亲》，其志常在“光大其说”，并不一定以为由此才可以“得绍其业”。至于仲光发原礼书，情形就有不同。此时书稿不仅是一种传播手段，而且恐怕更重要的是一种夸示其正传于人的物件。细玩仲光原礼故事，所说的“医案八册”当指书稿。如果是已经刊行的现在意义上的书，似无“携去”的必要。对于书，王宾还颇慎重其事：及其“将死，竟以书授盛启东、韩叔旸。”^③至于是他由原礼处“携”来的还是他自己的书，就不得其详了。但无论如何，书是一种正传的标志，犹似佛家的衣钵了。

比及医籍刊行，流传日广，情形则又不同。首先医籍既刊于众；“衣钵”这一层的意义就没有了，一般的医人均能置办几套；其次，学派流行既久，大师日远，学者见仁见智在所难免，阅读经典著作就有了必要，而

① 《十药神书》又作《十药神方》，近人刘元《葛可久和“十药神书”》论之甚详，见《中医杂志》，1956年第11号，612—615页。书前有序，署曰“可久”，但颇有人疑之为伪纂（例如范行准，《中医对结核病的认识和治疗》，《上海中医药杂志》，1956年12月号）。案序注至正乙酉，再序注至正戊子，即1345年和1348年。本书有北京，人民卫生出版社标点本，1956。

② 《十药神书》，自序，六醴斋医书十种本，陈修园医书五十种本，卷首。

③ 王鏊，《震泽纪闻》，卷上，上引版本，12页。

通过阅读得真传的可能性也似乎渐渐为人所接受。书籍至此即成为知识传播的重要手段了。

倪维德(1303—77)是最早称通过阅读得完素之传的医人之一。维德字仲贤^①,其先汴人,宋亡,挟医术游江南,择吴地居焉。他的学成过程如下:

……于是取《黄帝内经》,日夜研其奥旨,见其疏陈治法,推究原本,欣然曰:“医之道尽在是矣!”间有疑难,质于父师之间,心绪益开朗。颇病大观以来俗工多遵用裴宗元、陈师文《和济局方》。故方新病,或不能相值。泰定中,得金季刘完素、张从正、李杲三家之书,读之,知其与《内经》合,自以所见不谬^②。

与倪维德同时,有仪真人滑寿。寿(1304—86),字伯仁,先世襄城人,但“往来鄞越,居虞姚最久,人人皆称之曰樱宁生。”^③他的学习亦以阅读入手:

京口王居中,客医仪真,治方脉术有时名,寿数往叩之。居中曰:“医祖黄帝、岐伯,其言佚不传,世传者唯《素问》、《难经》,子其习乎?”寿遂受之。

既终卷,虑篇次无绪,错简不无,遂分门别类为十二,钞而读之。又将《难经》依其本意注而读之,居中赞之曰:

“甚矣子之善学矣!善哉子学之得其道也!余守师说,子识卓理,融契悟前训,子过我矣!他日以医名世,其子也耶!”自是寿学日

① 张咏,《吴中人物志》,前引版本,十三卷,20页。

② 宋濂,《故倪府君墓碣铭》,《宋文宪公全集》二十五卷,中华书局聚珍版,5—6页。

③ 凌雅哲,《万姓统谱》,一百十七卷,1579年本,台北,新兴书局1971年影印,9页。

进。益参考张仲景，刘守真，李明之三家而大同之。摭其所得，发之所向，莫不中肯^①。

以是寿医名大噪。今存寿医案数十，在上引朱右传中。右与滑寿约略同时，其传深得宋濂^②，姚夔^③赞赏，当可信。细翫其医案，的确可见河间遗风，但又不尽止于攻击之法，而果有会诸家而“大同之”的味道：妇人新产，恶露不行，头痛身寒热，众医以为感寒，投以热剂，病益甚。寿往诊，脉弦而洪数，面赤目闭。寿曰，“此产后热入血室。”先清热降火，治风凉血，继以琥珀、牛黄，待稍解人事，以张从正三和散行血破瘀，十日，诸证悉平^④。

寿之为人称道，不仅在于医：“知之者识其隐身俟命之老儒，不知者以为医师一代之良而已矣。”^⑤与朋友交，又游于道及黄老，至于人称之为“老仙”^⑥。滑寿与朱震亨约略同时，而由其传记可知他所接受的影响颇较震亨为杂芜。就医学而言，亦不似丹溪讲求正传及师生门庭，而更重于取法经典。

与滑寿情形相类似的有鄞人吕复。复字元膺，幼孤而甚贫，以母病而喜扁岐术，但恨无师。遇郑礼之于逆旅——

即知为医中毛遂也，每谨事之。郑亦见翁醇谨无他，颇心爱翁，因呼翁语曰：“我有古先禁方及色脉、药论诸书，知人生死，定可否治，甚精。我年老，欲具以授公。”翁避席再拜，尽得其书。受读可一

① 朱右，《櫻宁生传》，《明文衡》，五十七卷，国基版，1页起。上一段引文同。

② 宋濂，《题滑寿传后》，《宋文宪公全集》，十三卷，上引版本，16页。

③ 姚夔，《题櫻宁生传后》，《姚文毓公遗稿》，浙西村舍丛刊本，八卷，28—29页。

④ 见本页注①，同见焦竑《国朝献徵录》引，七十八卷，28—29页。

⑤ 戴良，《滑伯仁像赞》，《九灵山房集》，十八卷，前引版本，1页。

⑥ 刘仁本，《正月望前一夕与滑伯仁炼药》，《羽庭集》，三卷，四库本，台湾商务印书馆重印本，1216册，2页：“委羽山中鹤堕翎，老仙为我制颓龄”。

年，所辄试之有验……①

吕复所研究的医理和药论更不止于一家。尝从容论医，于河间曰：

河间医如橐驼种树，所在全活，但假冰雪以为春，利于松柏而不利于蒲柳。张子和医如老将对敌，或陈兵背水，或济河焚舟，置之死地而后生。不善效之，非溃则北矣。其三门六法盖长沙之余绪矣。

他阅读的书除了郑氏所授外，还有他自己收集来的。《明史》②说他“尽购古今医书，晓夜研究”，验以其医论，当非妄评③。悬壶之余，埋头著书，发扬经典，有《内经或问》等十二部传诸学者。“自拔医术之中，一意儒学，著书以垂世，可谓稽古之士矣。”

稍后有蒋用文辈。用文(1351—1424)，名武生，以字行④。其先魏人，徙句容。用文少颖悟，读书过目成诵。先随父宦寓，父歿，归仪真，旧业既废于兵燹，遂“采山构室，居之，大肆力于经籍。久之，得圣人深意，乃习医家言，会同黜异，约其要而综之，取正于术之精善者而受其秘。”⑤后受命入太医院——

时朱彦修弟子戴原礼为院判，擅其术，人无有当其意者。见用文，喜曰：“君儒而为医，昌吾道必矣！”遂言于上，授御医。

用文的学术渊源，据他的知友杨士奇说，“主李明之，朱彦修，不执古

① 戴良，《沧州翁传》，《九灵山房集》，十七卷，前引版本，4页。下段引文同出此。

② 《明史》，二百九十九卷，前引版本，7635页。

③ 吕复亦见于《元书》，九十五卷，12页，事迹略同。

④ 《上元县志》，万历癸巳焦竑序本，17页。

⑤ 陈继，《蒋武生传》，传在《国朝献徵录》，七十八卷，前引版本，16—18页。下段引文同为是传。故事亦见于唐枢，《国琛集》，卷下，前引版本，45页。

方而究病所本，自为方，故……众所难瘥者谒用文多瘥。”^①参之于上引戴原礼的态度，知用文之学与丹溪同调。原礼素无良师之名，而独延席保荐于甫见，蒋氏之功力可见。

长子主善绍其业，“佩服家教，精于脉药”^②。但用文病笃，上问堪代者，用文以沈以潜对。以潜先汴人，南徙世以轩黄术相授。细看以潜医案，已与河间、丹溪法相去有间矣^③。

本节所研究的四人，其医学知识主要都是通过阅读经典获得的。王仲光、盛寅辈也阅读经典，但其主要的来源是师承。这是本节与上节所论的第一个不同之处。所阅读的书，对于倪、滑、吕、蒋诸人来说，常是兼顾各家。史籍称倪“得三家书”，而滑寿则综合三家而“大同之”；吕复“尽购古今”；最后各人由自己的阅读和临床实践得出自己的看法，于倪维德是“自以所见不谬”，于滑寿是不泥守师说；于蒋用文是“不执古方而究病所本，自为方”，这是这一组医人第二个不同于以先讨论过诸人的地方。他们重师说，但更重融通；他们取法于名家，但又注重自己的创新和理解。

九、书籍在传播中的作用(二)

随着时代推移，大师日远，亲炙遂为不可能；另一方面，出版刊行日见平常，书籍流通日广。这两个因素都使得书籍成为一种日益常见的传播手段。

周溥，字文渊，其先浙江会稽人，徙汴城^④。高子明疗其疾，因“从子明传黄帝扁鹊之脉书及诸秘方，溥授之，且录且读三年，为人诊视疗治，

① 杨士奇，《承德郎太医院院判蒋公墓表》，《东里文集》，十六卷，20—21页。同表亦载于前引《皇明名臣墓铭》台北1969年重印本109页起，同见于前引《国朝献徵录》七十八卷，13—14页。杨士奇称与用文“往还二十年”，见《赠蒋主孝序》，《东里文集》，上引版本，七卷，21—22页。

② 陈镐，《蒋恭靖别传》，传在《国朝献徵录》，七十八卷，14—15页。

③ 刘凤，《续吴先贤赞》，十三卷，纪录汇编本，6页。

④ 《河南通志》，嘉靖三十四年邹守愚序本，七十一卷，4页。

多验。”他的渊源与前述诸子同：“时俗多守局方，乃发明《素》、《难》及东垣丹溪之义，为书一编，曰《方法考原》^①。”

何钦字大敬，先世濮人^②，元季迁荆山，学有专精，或请究其术，钦曰：“李明之、朱彦修皆通经学古之士也。汝必欲究其术，盖先读《易》以察时变，读《禹贡》以识九州山川风景，博及方书，归纳于《内经》，庶可与汝言耳。”

周文诰字汝衡，苏州人，徙金陵^③，学医，见俗工所为，论然，以为医道当不尽如是。“复弃去，闭门取《素》、《难》、《本草》诸书，反复研究，探厥玄妙，始出应人之求。切脉制药，一主朱李，迥出流辈，众大骇，然病者辄愈，乃大服。”

这种传播方式以后仍旧发展。清季邢增捷，新昌人，“少习儒，不就，遂精《素问》、《内经》、丹溪、东垣诸书，治剂无不立活者。”^④又有施教，字菊心，无锡人^⑤。有志为儒，读书研精，深造历年不遇。求其旧业，已失所传，不可考据。乃尽取《素问》、《难经》，刘、张诸家之书，互为参证。读书既久，乃得通晓贯通。

以上仅数例而已。但即就此数例，亦可见书籍参与传播以后，在知识扩散上发生的若干影响。其中最值得一提的，是传播范围的骤然扩大。在14世纪上半期，亲炙为知识主要来源，师生的地理分布常呈明显的关系。丹溪常以奖掖后学为论者所乐道，而其门人仍不出以金华为中心的几百里的范围。今撮其主要门人工作、生活地点而得下表^⑥：

① 《方法考原》不见于著录。多纪（丹波）存目，注“未见”，见书949页，前引版本。冈西为人阙。《中国分省医籍考》天津，天津科技出版社，1987，称“佚”，见149、164页。

② 《怀远县志》，万历三十三年（1605）王存敬裁订本，六卷，101页。

③ 《上元县志》，上引版本，20页。

④ 《新昌县志》，四卷，康熙二十二年（1683）吉必兆编本，27页。

⑤ 《无锡金匱县志》，二十六卷，光绪七年（1881）裴大中编本，20页。

⑥ 采用方春阳，《朱丹溪子弟考略》，本书18页注④引，一文中所列的主要医人，从而避免“选取”的倾向。但明显与丹溪同住一地的不分行列出，以省篇幅。

赵道震	浙江金华人,洪武间迁 安徽定远	即今①浙江金华
赵良本、良仁兄弟	浙江浦江人	上海市(?),浙江金华(?)
戴垚和原礼兄弟	浙江浦江人	
程常*	东阳人	
楼英	浙江萧山人	浙江萧山
王履	江苏昆山人	江苏苏州
刘叔渊	江苏常州人	江苏仪真
虞诚斋*	浙江义乌人	浙江义乌
徐彦纯*	浙江会稽人	浙江绍兴

以相同方式检阅书籍流行以后的情形,易见其时学人分布范围已无上表所呈现的“中心现象”。这种地域分布的变化本亦在意中,当无须多评。

	文献所示区域	今名
倪维德	吴县	苏州
滑寿	仪真	扬州
吕复	鄞	宁波
蒋用文	魏徙句容	河南北部
祝仲宁	四明	浙江四明
周溥	汴	河南开封
何钦	濮	山东濮城
司马隆	陕西咸宁	湖北江汉
周文翰	金陵	江苏南京
霍恺*	禹城	山东济南
施教*	无锡	无锡
刑增捷	新昌	安徽滁县
程式*	南城	江西豫章
姚赵凤*	仪真	扬州
余绍宁*	新城	湖北襄阳

随着时间的推移,亲炙先学大师已为不可能,书籍成了后学与大师

① 用臧励丞等,《古今地名大字典》,上海,商务印书馆,1933;谭其骧,《中国历史地图集》第六册,北京,地图出版社,1978,为主要参考书,其地名对照及年代选取恕不一一列出,以省杂冗。

们对话的唯一渠道。在这种情形下,对最原始的、大师所开创的医旨,就有不同的诠释。细考后来声称崇刘完素或朱震亨为师的医人之实践,相去甚多。学派的影响日益扩大,从者益众,而其最初的理论结构和基本信条却同时淡化,为后来所长成的新的,更丰富多彩的理论 and 实践所取代。知识并不是被机械地传递,而是在传播中发展、长成,而对知识传播的研究正揭示了这种过程的一个侧面。

十、讨论与结语

由以上的讨论可见,医学知识在事其业者之间的传递,虽未敢遽言有一定的模式,却也还有踪迹可以寻见。门户成于完素年代,诸事草创,门人常参与讨论,集思广益,以成一家言。至朱震亨一变,师生授受之规始见谨然,一如儒之门户。与日推移,书籍的作用日重,则方式又一变,门户渐宽,医论处方,各执一端,而崇河间丹溪为祖而已。又有家族传统穿插其间,其形态愈见纷繁。

但从整个医学史来看,这些传递方式既非始见于此,亦非仅见于此。这儿种种对传播的考察并不能扩展到河间、丹溪以外,这是自明的。而就此一学派而言,这种种的传播方式以及它们相互之间的关系,又对深入了解知识扩散过程有些有趣的启示,则本文的意义也在于此。

原载《新史学》第三卷第四期 1992年12月

18 世纪美国人眼中的中国技术

一、引言

在 18 世纪,中国的大门一直是对外紧锁的,相比沿海地区,它的内陆地区更不为西方人所知。但在乾隆朝六十年(1736—1795)的庆典上,很多外国人应邀前去观礼,其中有一个美国人,安德烈亚斯·埃弗拉德斯·范·布兰姆·霍克吉斯特(Andreas Everaardus van Braam Houckgeest, 1739—1801),他是东印度公司的使者,后来又成了美国的使者,因为这庆典,他得有机会在中国内陆地区进行了长达两千英里的旅行。

在旅行途中,布兰姆坚持每天写日记,在日记里,他描述了中国的官僚制度、农民的日常生活以及当时的技术发明。这些技术发明是布兰姆最喜欢的话题。他记录下了当时中国的农业用具、交通工具、建筑、桥梁以及工作中的工匠们。布兰姆的旅行也许听起来不那么有趣,但对于今天的汉学家们来说,他的游记无疑是一个宝藏。^①

① 关于这位使者出使清廷及他的旅行情况,可参见 J. J. L. Duyvendak《派往中国的最后一位荷兰大使(1794—1795)》,《通报》,34 卷(1938 年 6 月)1 页,以及第 35 卷(1940)329 页的一个补遗。还可见 George R Loehr, *A. E. van Braam Houckgeest, the First American at the Court of China*, Princeton University Library Chronicle, 1954 年 15 卷 179 页,这本书里研究了布兰姆的书和他的生平。

二、布兰姆其人

1739年,布兰姆出生于荷兰的乌得勒支,他曾在海军服役,1759年他加入了东印度公司,并来到广州和澳门寻找发展的机会。他对于中国的兴趣可能就是从这段时间开始的。^①但是对于身处中国的外国人来说,18世纪60年代可不是一个好时期。此时的大清国正陶醉在它新近达到的繁荣昌盛里,对外国人十分轻视,在中国的士大夫眼里外国人都都是“蛮夷”。

布兰姆在广州待了近十五年,期间只有两次短暂回国。现在没有证据表明他在中国南部对外开放的这些城市里待的这段时间里,也曾到过中国的内地。在美国革命消息的鼓舞下,他决定前往美国,还先后被委派为驻北卡罗莱纳、南卡罗莱纳和乔治亚州的荷兰领事。后来他在查尔斯顿定居下来,开始经营一个种植大米的农场。在改籍成为美国公民四年之后,布兰姆决定再去中国,这部分地也是因为一些不幸的事情影响了他的家庭。他在1790年的夏天重抵广州,不久,他就听到消息说,英王乔治三世已经向乾隆派出了他的特使。在他克服了种种困难之后,布兰姆使自己第二次成了一名大使,出席1794年在北京举行的乾隆六十年的庆典。这时他已经50岁了。

1795年的初冬,在北京之行的半年过后,他回到了费城,在宾夕法尼亚州布里斯托尔附近的卑尔根山买了一个农场,他在那儿建了一所有十五个房间的大房子,他把这所房子称为“中国隐庐”。他努力保持在广州的生活方式。房子里有他在中国带回来的各种琳琅满目的东西,所以这个地方也被认为“毫无疑问是美国最丰富的中国收藏室”^②。

① 布兰姆传记史料的主要来源,是 Moreau de Saint Méry 对所译布兰姆的游记: *Voyage de l'ambassade de la Compagnie des Indes Orientales Hollandaises, vers l'Empereur de la Chine, dans les années 1794 & 1795* (Philadelphia, 1797—1798), 所附的一个说明。此书以下就简称 Voyage, 它是 Moreau de Saint Méry 从荷兰语的原书翻译过来的一个重要的法文译本。

② Loehr, A. E. *van Braam*, 188 页。

但是布兰姆在美国过得很拮据。他的妻子跟他离婚了,后来他不得不把自己三年前从中国带回来的这些心爱的东西拍卖了。布兰姆 1801 年在阿姆斯特丹去世。当年克利斯蒂拍卖行的拍卖品目录至今犹存,^①它使人们怀念起这位曾经的二任大使,二百年前在那“陌生的国度”里所曾进行过的传奇旅行。

三、旅行和游记

据现在所知,与布兰姆同去北京的还有东印度公司的至少另一名代表,和几个仆人。他们于 1794 年 11 月 22 日离开广州,1795 年 1 月 9 日到达目的地。这段旅程紧张而忙碌,他们在五十天的时间里走过了两千英里的旅程。为了赶在新年庆典前到达首都,他们不得不挤在小小的马车里匆匆赶路。有超过 18 天的时间,他们每天都走六十多英里的路程。他们主要是走陆路,因为在冬天,江河和运河的水位以及强风都不适合走水路。旅程无疑是艰苦的,而且供给也常常会跟不上,有时候情况会“无法形容的糟糕”,甚至于“在晚餐的时候都没有酒喝”。^②

但是走陆路的旅行也让布兰姆看到了更多的“中国”。从 12 月 10 日开始,他在日记中记下了他对于桥梁、宝塔、小船、手推车、马车以及带帆的推车的观察。他甚至有机会得到了一些实物并把它们带回美国。后来当一名来自法国的移民出版商莫尔·德·圣·梅利把布兰姆的书译成法文出版时,这些实物被当作了绘制插图的模型。好几位美国的雕刻家,如约翰·瓦兰西(John Vallance)、塞缪尔·西摩(Samuel Seymour),还有福列(A. P. Folie),都曾参与这本书的插图的绘制工作。

布兰姆关于中国的这些技术发明的描述和讨论十分值得我们关注,因为这些论述并不是出自一个外行或者一个好奇的旅行者,而是出自一个专业人员。在海军服役的经历以及广泛的阅历使他成为一个敏锐而

^① Duyvendak,《派往中国的最后一位荷兰大使》,附录 2,116—131 页。

^② 同上,43 页。

且思想开明的观察家。他的记录的精确性和全面性是同时期的其他游记难以比拟的。另外,我们可以认为书里的大部分内容都出自他自己的独自观察,因为他并不懂中文,所以没法跟中国的农民或者官员直接进行对话。

布兰姆的游记是用荷兰语写成的,原本现在保存在海牙国立档案馆。而这本书的第一次公开出版,却是法文本。书的扉页上说明这本书是出自作者个人的经历并且写有“不为欧洲人所知的中国”的字样(见图1)。据说布兰姆曾任荷兰哈勒姆科学与艺术学会的会长,以及美国费城的哲学学会的会长,后者的图书馆现在仍以藏有这个珍贵的游记的一个复本而感到骄傲。

游记的法文版是1797—1798年间在费城出版的。书分两卷,八开本,里面配有各种中国式东西的插图,从各种庭院到骡子拉的车等等。出版地点发现就在费城“第一街和核桃街的拐角处”,离布兰姆一年前结束中国之行回到美国时上岸的特拉华河的码头不远。后来游记有了一个二卷本的英文版,是根据费城版第一卷的一个巴黎私刻本翻译的。^①英文版的翻译十分忠实,但是游记本身外的一些资料,比如插图和附录,都被删略了。但总算还保留了一张由福特(T. Foot)绘制的“1794—1795年荷兰大使出入北京的路线图”。

在十年内这本游记从最初的法文版衍生出了为数众多的译本,由此可见这是一本在1790年代十分流行的书。普林斯顿大学所藏的那些版本是布兰姆的一位后裔,沃特·范·布兰姆·罗伯特(Walter van Braam

^① A. E. van Braam Houckgeest, *Voyage de l'Ambassade de la Compagnie Indes Orientales Hollandaises* (Paris, Garnery, and Strasbourg: Levrault, 1798), 2 vols. 这是一个费城版第一卷的盗印版本。英文版的书名是: *An Authentic Account of the Embassy of the Dutch East-India Company, to the Court of the Emperor of China, in the Years 1794—1795* (London: R. Phillips, 1798), 2 vols. 参见 Howard C. Rice, Jr., Shih-kang Tung, and Frederick W. Mote, *East & West, Europe's Discovery of China, & China's Response to Europe, 1511—1839* (Princeton, N. J.: Princeton University, 1957), 74页。本文的引征都出自英文版,并且逐条与最早的法文版进行过核对。

V O Y A G E
DE L'AMBASSADE
DE LA
COMPAGNIE DES INDES
ORIENTALES HOLLANDAISES,
VERS L'EMPEREUR DE LA CHINE,
DANS LES ANNÉES 1794 & 1795 :

Où se trouve la description de plusieurs parties de la Chine
inconnues aux Européens, & que cette Ambassade a
donné l'occasion de traverser :

Le tout tiré du Journal d'ANDRÉ EVERARD VAN BRAAM HOUCKGEEST,
Chef de la Direction de la Compagnie des Indes Orientales Hollandaises à
la Chine, & Second dans cette Ambassade; ancien Directeur de la Société
des Sciences & Arts de Harlem en Hollande; de la Société Philosophique
de Philadelphie, &c. &c.

Et orné de Cartes & de Gravures.

Publié en Français par M. L. E. MOREAU DE SAINT-MÉRY.

TOME PREMIER.

A PHILADELPHIE;

Et se trouve chez... { L'ÉDITEUR, Imprimeur-Libraire au coin de la première rue Sud & de Walnut, N°. 84.
Les Principaux Libraires des États-Unis d'Amérique.
Les Libraires des principales Villes d'Europe.

1797.

图1 布兰姆 Voyage 的 1797 年法文版的扉页。普林斯顿大学, 费尔斯通图书馆, 珍本收藏室。

Roberts)所赠送的,他是普林斯顿大学 1915 届的学生。在最早的法文版的封面上,有铅笔写的字:“作者的后人赠给贝克(J. E. Baker)……(这里有三组字母或者符号我无法辨认)。罗伯茨(E. T. Roberts),伦敦,1908年 7 月 10 日。”紧接着,下面有两行同样字迹的话:“这本书是我在伦敦买的,ETR。”再下面较远处是另一个“注”:“J. E. B 去世前还给了 E. T. R。”英文版的扉页上则写着正式的献词:“献给伊拉斯塔斯·泰特斯·罗伯特(Erastus Titus Roberts),这本由他的祖先所写的著作,已经问世一百年了。赠自他的朋友,贝克(J. E. Baker),1898 年 10 月 3 日。”

四、日记里所记载的中国技术

布兰姆在去北京的途中所记载的中国的发明和实用技术主要分为三类:(1)交通工具:日记里花了很多篇幅详细记载了帆车和其他的车辆,也记载了骡子拉的和马拉的车,并把它们同西方类似的车进行了比较。(2)农具:书中记载了用来使犁地更深更有效的器具,以及播种机等等。(3)其他各种各样的工具,比如焊接所使用的家什等等。本文将对布兰姆所记载的各种工具和中国古籍里的相关记载作一些比较,以期进一步加深我们对中国的技术发明的了解。

小车

布兰姆在 1794 年 12 月 11 日钻进一辆小车里,开始了他的旅行,一个星期以后,他到达了江西。^① 在去北京的漫长而艰苦的旅程中,他一定会有很多时间来观察和研究接待他的中国人提供给他这辆小车,这也成了他在日记里最喜欢讨论的题目之一。他常常运用比较的方法来描述他的观察对象,也常用这种方法来说明那些看似无关紧要的细节的意义所在。比如以下这段:

^① Duyvendak,《派往中国的最后一位荷兰大使》,43 页。在 50 天的旅行里布兰姆只有一两天是走的水路。参见 Duyvendak 的书的附录 1。

很明显,这里的男人跟南方的男人有些不同,特别是皮肤的颜色。这里的男人比南方的男人脸色更红润。女人间的差别甚至更明显,这里女人的脸颊跟欧洲妇女的脸颊一样红,显示着青春与健康。^①

在江西被用来载人和货物的手推车也引起了布兰姆的注意(见图2)。^② 这种车跟他在广东所看到的车有所不同,所以他进行了详细的描述:“一种手推车,造型独特,可以用来载人和货物。根据重量的不同,由一或两个人来执掌,一个人在车前面拉,另一个人握着车把往前推。”

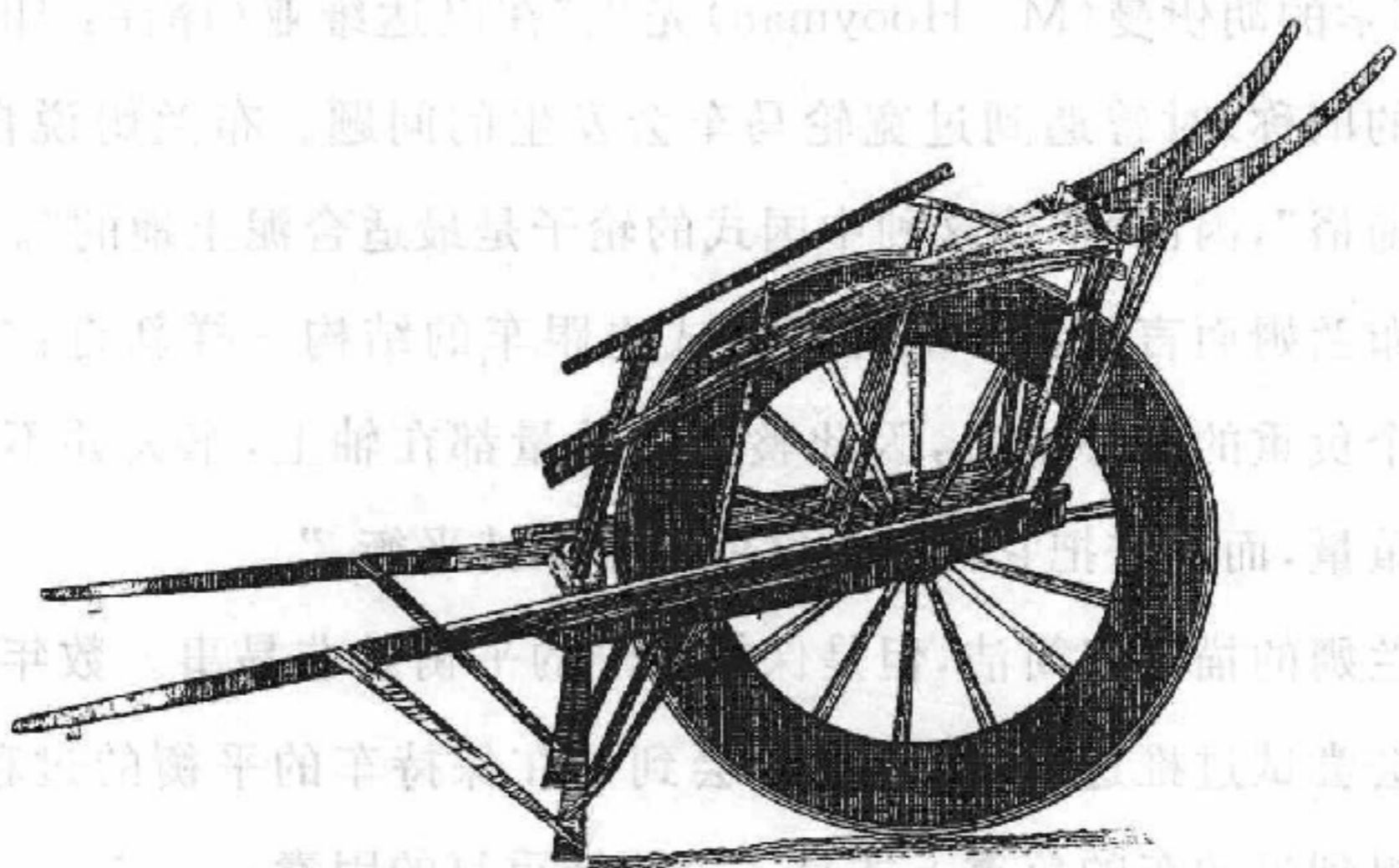


图2 由 A. P. Folie 所绘的独轮车,被认为是以布兰姆从中国带回来的实物为模型绘制的。出自布兰姆 Voyage, 普林斯顿大学, 费尔斯通图书馆, 珍本收藏室。

实际上布兰姆看到的这种小车是中世纪中国农村最流行的运输工具之一。即使是今天,在中国的某些地方依然还可以看到类似的手推车。布兰姆非常专业地描述了车的独轮:

轮子在整个车身中所占的比例很大,……被固定在一个宽4到

① Voyage, 72页;英文版(此后简称E)1卷,96页。

② Voyage, 72—73页;E, 1卷, 96—97页。

5英寸的支架上，……另外，轮子的直径至少有3英尺，轮辐很短而且多，因此外轮很阔；轮子的外沿不像其他普通轮子那样是平的，而是往外突出的。

对于技术十分内行的布兰姆发现轮子的设计十分有趣：与类似的欧洲的手推车相比，这种车的轮子更窄一些。^①起初他以为这种外沿很窄的轮子并不适合泥土地，但后来他想到了爪哇的马车，他一定是在海军服役的时候到过爪哇。经过与爪哇的车进行比较，他发现，在雨季，这种窄的轮子会在泥泞的地上陷入较深，因此会使车行进更加顺畅。布兰姆提到“博学的胡伊曼(M. Hooyman)先生”在巴达维亚(译注：印尼首都雅加达的旧称)时曾遇到过宽轮马车会发生的问题。布兰姆说自己“理应入乡随俗”，因而“坚信这种中国式的轮子是最适合泥土地的”。

对布兰姆而言这种车的运行方式也跟车的结构一样新奇：“轮子被放在整个负重的中心位置，因此整个的重量都在轴上，车夫并不需要负荷任何重量，而只需把它往前推并使车子保持平衡。”

布兰姆的描述很简洁，但是保持车子的平衡并非易事。数年前我曾经有机会尝试过推这种车，因此体会到了在保持车的平衡的过程中，布兰姆曾提到过的车的负重方式是一个同样重复的因素：

在车的两边有伸出来的地方，用来放货物或者给乘客坐。一个中国乘客坐在一边，为了保持平衡，他的行李被放在另一边。要是他的行李比他重，就把行李分放在两边，他自己坐在轮子上方的木板上，这种车就是为了符合这种要求而特意设计成这样的。

这种推车给布兰姆留下了很深的印象。他多次提到过这种发明的

① George Stubbs 的瓷雕作品“劳动者”(1785, 伦敦 Tate 博物馆)向我们展示了, 欧洲手推车的轮子比这种宽很多。

“独特性”和“简洁性”。但是这种车对于中国人来说并不是什么新发明。图3是《天工开物》里面的一个相似的例子。《天工开物》是宋应星(1587—?)在晚明时期出版的一本流传较广的书。^①这种车只有一个轮子,以适应山区道路狭窄和有风的特点,就像图中所描绘的情景一样,同时也适用于稻田。它有两个车把,通过它们车夫也能承受部分的重量,但更重要的作用是使车夫能控制方向,使车沿着路前行。看起来布兰姆在江西所看到的这种车和《天工开物》里所描绘的车是一样的。有学者称这种车的使用最早可以追溯到公元3世纪,《三国志》和后来《三国演义》里面的“木牛”就是这种独轮推车。^②

帆车

1794年底,这一行人到达了中国的北方,眼前一望无际的平原向北和向东展延着。布兰姆写道,不仅是自然环境跟长江南部的山区省份有了很大的不同,车辆也“比那些我前面描述过的车要大很多,它们不是由人,而是由马或者骡子拉着”。这种“帆车”引起了布兰姆由衷的赞美。他在1794年的最后一天的日记里详细记载了这种车,那个时候这位大使正走到了山东南部:

今天我大吃了一惊,我看到了一整队像船似的手推车,全都一样大小。我完全有理由称它们为船队,因为它们都带着帆,有一个

① 宋应星,《天工开物》,1637年;北京:中华书局,1959,2卷,246页。现在大多数学者所用的版本,跟1637年的原版略有不同,原版曾失传了数百年,1950年代才重被发现。本文所用插图来自1637年的版本。我查阅了晚清刻本里面相应的插图(图70),尽管图的背景完全不同,但里面的推车没有明显区别。而且图中都描绘了山区的风景。可参见英文版:*T'ien-kung k'ai-wu, Chinese Technology in the Seventeenth Century*, trans. E. T. Z Sun and S. C. Sun (University Park, Pennsylvania State University Press, 1966), pp. 183—185.

② 陈寿,《三国志》,北京:中华书局,1959,33卷,896页。但是关于“木牛”究竟是什么是有争议的。这个词也被用来指播种机(见下面“播种机”一节)。罗贯中《三国演义》,北京:人民文学出版社,1985,102卷,876—878页,里面有关于“木牛”的详细描写。大多数学者根据的都是高承《事物纪原》(惜荫轩本,1447年),8卷,2—3页,以及陈师道《后山谈丛》(宝颜堂秘笈本),4卷,1a—b页里的记载。高和陈都是宋朝的学者。



图3 宋应星(1587—?):《天工开物》(1637年由涂伯聚出版)里所绘的独轮车,b卷,43a页。摹本。15×22 cm。葛思德东方图书馆藏。

小巧的桅杆紧插在车前部的一个小孔或者桅座里。有一个帆连在这个桅杆上,帆是由席子或者更多的是由帆布做的,有 5 到 6 英尺高,3 到 4 英尺宽,像中国的船一样,有缩帆索,绞盘和拉索。拉索连在车杆上,以便驾车者操纵帆。^①

由于曾经是一个有经验的水手,布兰姆深知帆的作用。他说它决不只是一个“临时的东西”,而是“车辆的一个附加装置”,可以帮助车夫驾车。他给出了详细的测量数据,又绘了图,来显示这个“值得纪念的东西”的结构(见图 4)。马丁神父(Father Matin)曾经在他的《中国地理详述》(*Description géographique de la Chine*)里面声称,中国帆车并不真的存在。^②

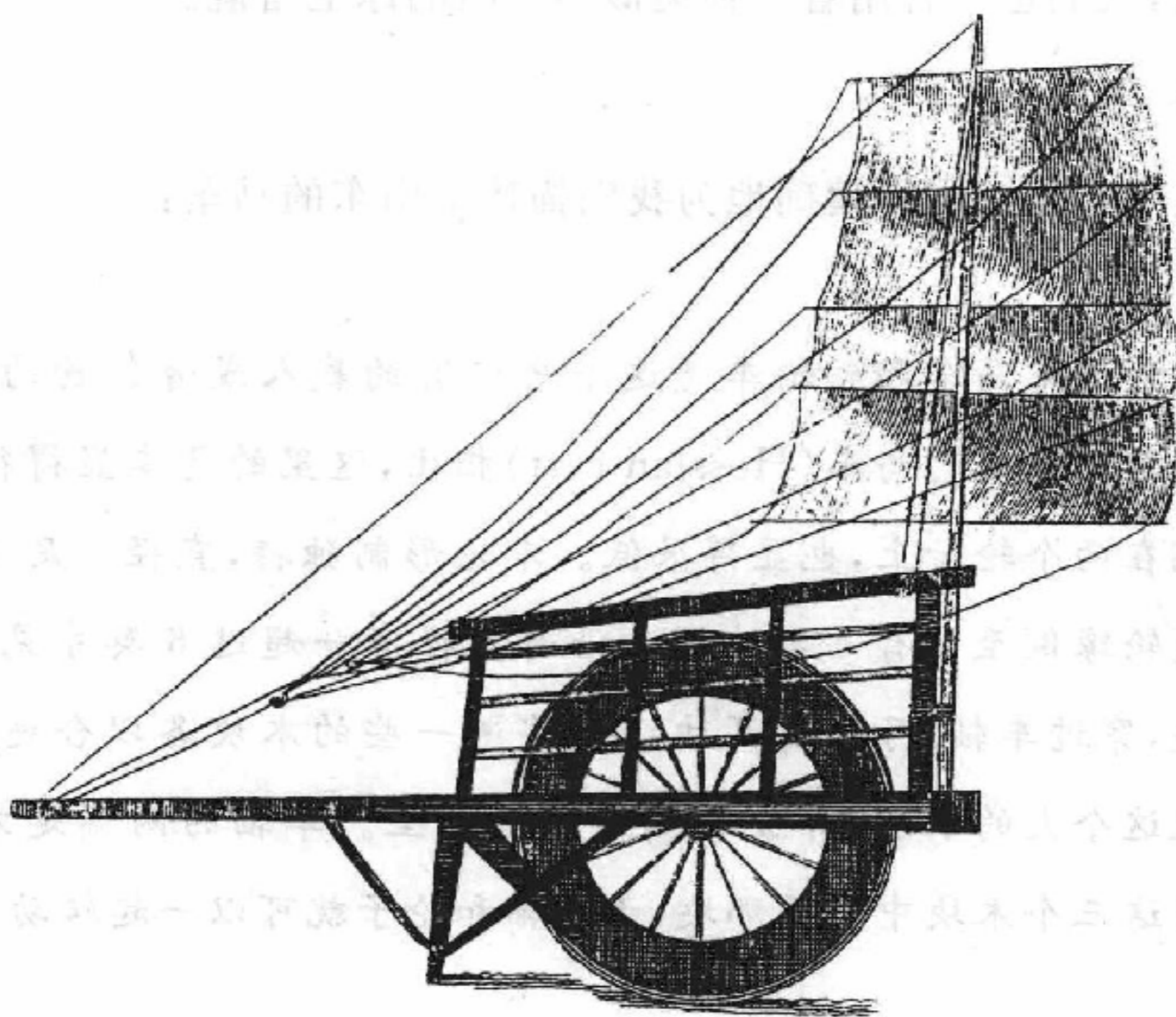


图 4 帆车。风大的时候系在桅杆顶部的细绳可以减轻车把上的负重。系在帆底部的两根短绳可以用来操纵帆。出自布兰姆 *Voyage*, 普林斯顿大学, 费尔斯特通图书馆, 珍本收藏室。

① *Voyage*, 115 页; E, 1 卷, 152 页。

② 在英文版的 *Voyage* 里面曾经引用过马丁的书。引用出现在译文前面的“词表”(“glossary”)里,词表并未编号。在词表里面,中国的技术发明按照字母顺序进行了排序,并且每一个都附有简介。这个词表的作者我们不得而知,可能是英译者之一。

布兰姆的记叙和绘图给了我们以确实的证据,说明这些确实是中国真的技术发明。看到这些帆车一个接一个地排着队前行,这位过去的水手在日记里说他“感到由衷的愉快”。

我们很容易便可以看出这两种车的区别。比起带帆的车,江西的推车较小,较容易操作,这在江西那样的山区是非常重要的。比较而言,这种更大、更重、需要更多动力的帆车则适合像山东这样绵延数百里一直到东海岸的平原地区。这里有强而稳定的季候风,可以为推车提供用之不竭的动力。

在1950年代,北京清华大学的专家们在港口城市青岛附近发现了这种帆车。他们给车拍的照片成了有价值的史料,^①确证了布兰姆在进入山东第一天就见到的事实。实际上,在一年被冰雪覆盖4到5个月的满洲地区,人们也一直用着一种类似的带帆的冰上雪橇。

载人马车

布兰姆接下来同样精确地为我们描述了山东的马车:

看起来马车和独轮车是这个省仅有的载人或者载物的运输工具。与黑森州的马车(Hessian cart)相比,这里的马车显得很小时,车身搁在两个轮子上,也显得很低。车轮形制独特,直径不足4英尺,但是轮缘倒至少有6英寸深。沿着直径有一超过6英寸见方的大木块,穿过车轴,另外有两块小一些薄一些的木块各以合适的角度穿过这个大的木块,并嵌在相应的轮圈里。车轴的两端是方形的,插进这三个木块中大的那块,于是轴和轮子就可以一起转动了。^②

由于黄河的水位具有季节性,而且一些小的河流都是向东流的,所以在内陆地区水路运输实很艰难。这样在20世纪初火车和其他的现代

^① 刘仙洲,《中国机械工程发明史》,北京:科学出版社,1962,58页,照片由周旭东拍摄。根据照片判断,现存的帆车比布兰姆描述的要大一些。我试图在明清笔记里面找一些相关的记载,但是没有找到。

^② Voyage, 124页; E, 1卷, 164页。

交通工具出现以前,马车就成了最主要的交通工具。

布兰姆记载说这种马车由5头牛或者马或者骡子来拉动。力量最大的牲畜被放在车把的中间,别的则“与它并肩而行”。当时中国这种大的家畜比较短缺,这也是制约中国经济发展的一个因素,而布兰姆似乎并没有体会到这种短缺。

1795年1月10日到达北京之后,布兰姆与他的随员们被特许乘坐一种特别的马车(见图5)。布兰姆是这样描述这种马车的:

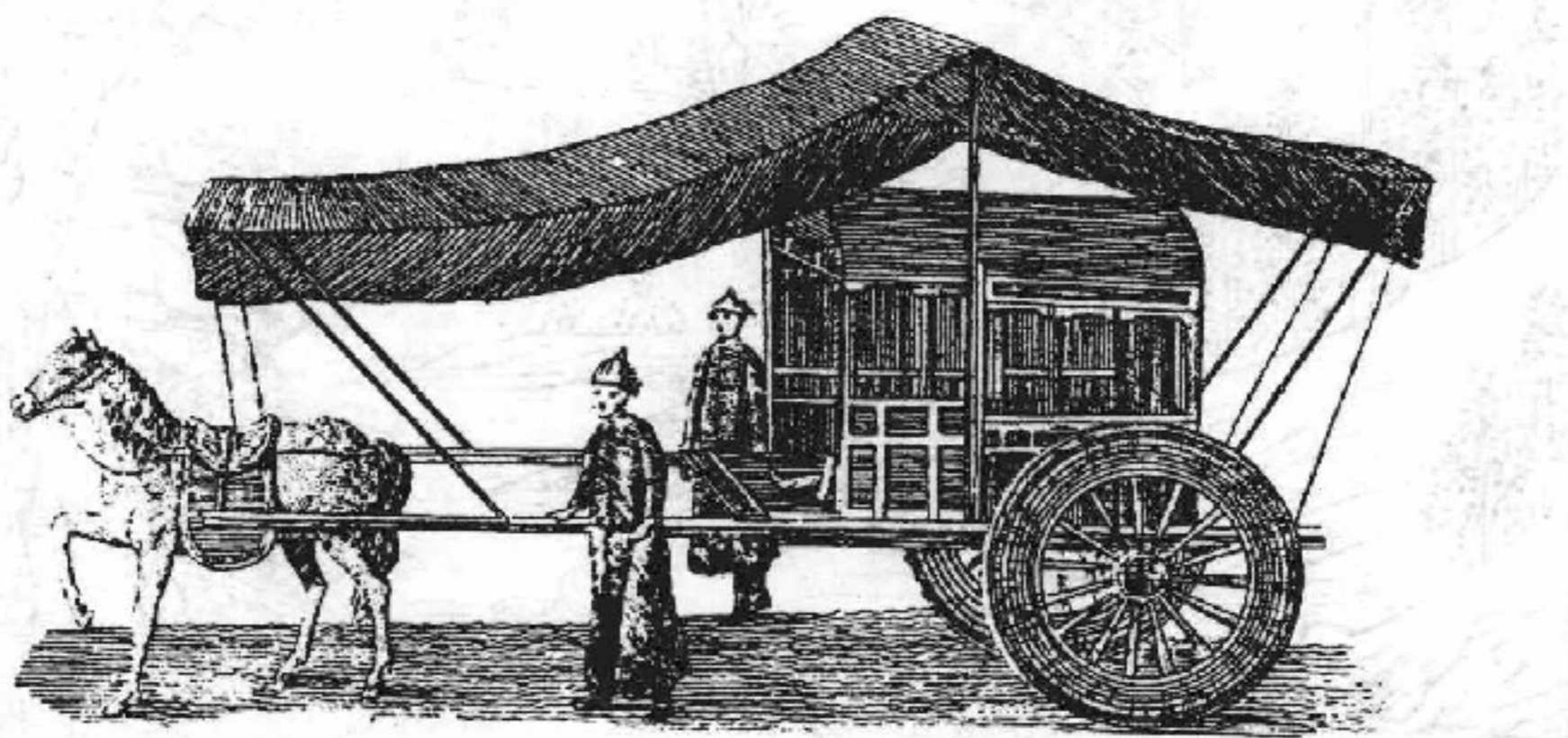


图5 有着窗户和顶棚的载人马车。出自布兰姆 Voyage, 普林斯顿大学, 费尔斯特通图书馆, 珍本收藏室。

它们(马车)看起来只能供一个人乘坐。按照中国的习惯,车身外面包着布,显得很整洁,两旁有小窗户,坐在车内垫子上的人可以透过窗户看外面的一切。^①

这种车在清朝的一部百科全书(《古今图书集成》)里面也有记载,那里它被称作“安车”(见图6),这部书于1726年问世。“安车”的设计理念在书里是这样写的:

安车之制,轮不欲高,高则摇。车身止长六尺,可以卧,其广合轍。^②

① Voyage, 134页; E, 1卷, 178页。

② 陈梦雷, 考工典, 《古今图书集成》, 1726年; 台北: 文星出版公司, 1964, 174卷, 435—436页。

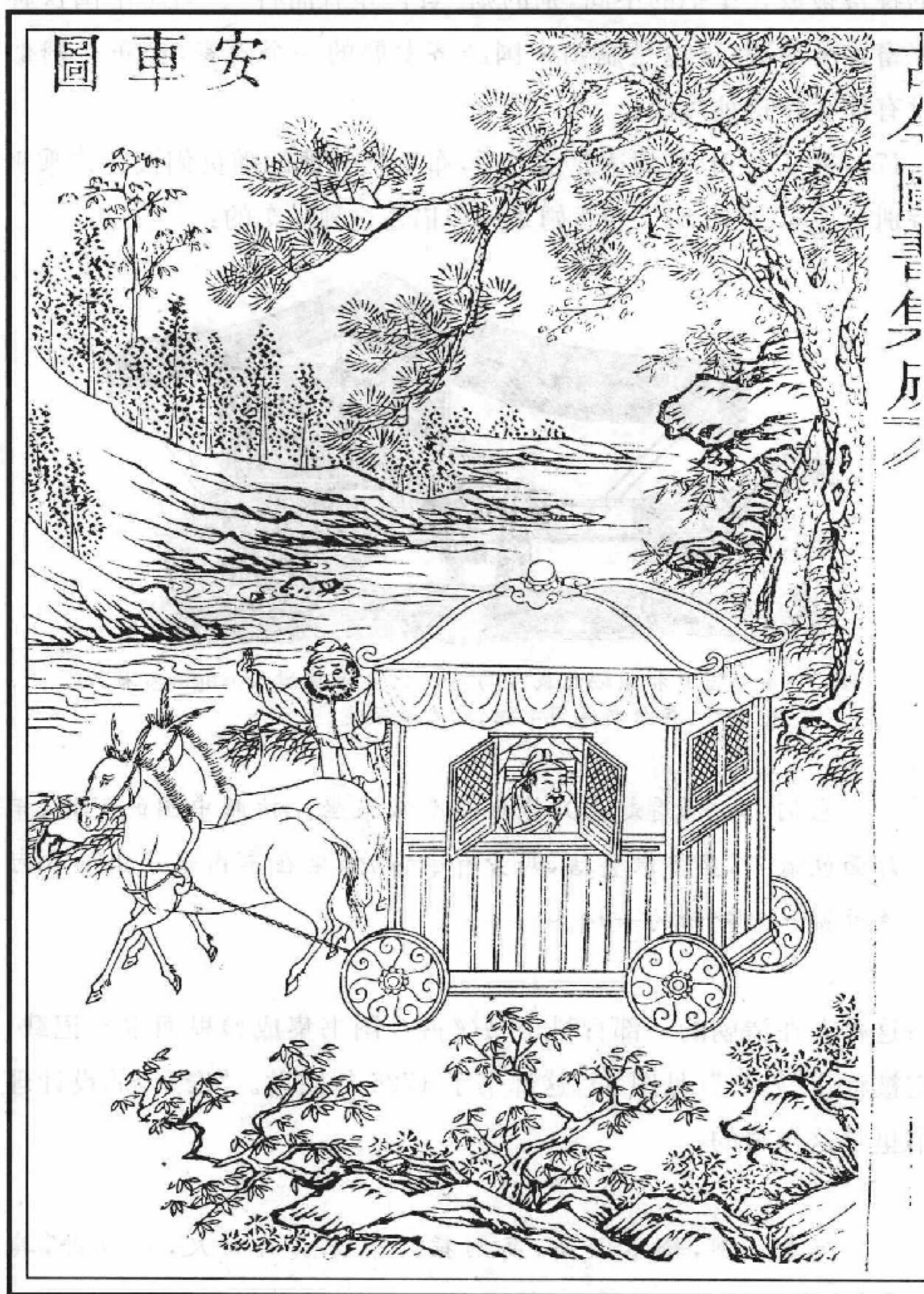


图6 《古今图书集成》(1726年版)里所绘的安车。“考工典”,174卷。葛思德东方图书馆藏本。

书里还介绍说车厢外面覆有漆布和油纸,车厢的后面有一个门,乘客可以借助扶手和台阶经过这个门进入车里面。车厢里面有一个豪华的垫子,这样可以使乘客在旅途中更舒适。垫子的旁边有一个可活动的长而窄的桌子称为“几”,可以放吃的东西和书什么的。布兰姆很喜欢的窗户,书里面也有记载:

车后轴的上方有一扇窗户,这样乘客在旅途中躺在车里也可以看到外面的景色。车后装有一个油纸帘,两端各有一根木条。帘子可以完全关上,以避雨,也可以只关上方或者旁边的一部分,以避风(使旅行更舒适)。使用的时候,帘子由上下两个铁栓子固定住,不用的时候,它可以卷起来放在车的后部。

尽管清朝的这部百科全书里面详细介绍了这种马车的帘子(“幌”),但是遗憾的是书里没有图示。布兰姆的书里则有这种帘子的一个清楚而且准确的图示。这幅图与《古今图书集成》里的文字描写十分相配,从而为我们提供了可靠的补充资料。

播种机

布兰姆和其他的大使都是为了参加乾隆朝六十年的大庆而赶到北京的。在京逗留期间,他们受到热情的接待并且被邀请参加各种庆祝活动,其中有些是有皇帝亲自出席的。1795年1月29日,清朝政府为外国使节们安排了一个国宴,当时荷兰和朝鲜的大使还分别从皇帝的手中接过了一杯酒,这是清朝皇帝能给予外邦人的最高礼遇了。大使们也收到了很多奢侈的礼品。后来大使们也有了一些其他的机会觐见皇帝,并且拜访满族的王孙公子们,他们对于外国人所使用的小东西,比如手表什么的,都很感兴趣。^①

庆典结束以后,清政府立刻就开始送各位大使回中国南部了。布兰

^① Duyvendak,《派往中国的最后一位荷兰大使》,69页。

姆也不得不离开北京,在经过了 55 天筋疲力尽的旅程之后,他只在北京待了 36 天。回程当然舒服多了,时间也宽裕了很多。清政府给使节们将要路过的各省官员发了一道敕令,以便使者在他们停留的每一个城市里都能得到周全的接待。^①

使节们到达山东的时候已经是早春了。布兰姆注意到,农夫们正忙着“下种”。2 月 20 日,他有机会仔细观察了农夫们播种的工具,他把这种工具称为“播种机”(semoir)(见图 7),并在日记里这样描述:



图 7 播种机。出自布兰姆 Voyage,普林斯顿大学,费尔斯通图书馆,珍本收藏室。

它由两根大约 4 英尺长的木条或者木棍组成,木条较低的一头,套着一个铁制的契形物,可以用来开出沟槽。稍高的那头,两根木棍中间的上部有一个方形盒子,呈漏斗状,锥形朝下。后面有一个木板,在种子洒下去之后,用它来合上沟槽。^②

^① Duyvendak,《派往中国的最后一位荷兰大使》,86—88 页。敕令是 1794 年 2 月 22 日发出的,但是大使们两个月后才得知。

^② Voyage, 281 页; E, 2 卷, 85 页。布兰姆提到这种器械有两个轮子。但是把他的图示跟其他中国来源的资料进行比较之后,他所说的“轮子”是指什么就更不清楚了。

根据布兰姆的描述,这种工具是由三个人来操作的,两个人拉着它向前,第三个人掌握方向,使开出的沟槽直而不偏。这种工具,布兰姆认为是“明显有效”的,因为他注意到整个田的耕种质量很高。

这种工具在中文里被称为“耒犁”,据现在所知,在汉武帝(公元前140—公元前86)的时候人们就已经在使用了。^①在宋朝,中国的农民广泛使用这种耒犁。王安石(1021—1086),宋朝著名的政治和农业改革家,在他的诗里高度评价了这种工具的效率。^②在1313年的元朝著作《农书》里,王桢详细描述了这种耒犁,根据王桢的描述,这种耒犁是由牲畜来拉动的,一天可以播种35亩(约5.34英亩)地。^③王桢还描述了中国其他地方所使用的各种不同的耒犁。其中记载的山东地区耒犁的样子和使用方法,精确印证了布兰姆的工作。比如,两个作者都记载说这种耒犁是由三个人来操作的。而关于犁的大小,布兰姆说有“大约4英尺高”,而王桢的书里是说有“大约3尺”,也就是大约3英尺5英寸。^④这种播种机综合了犁和播种的功能。种子被放在专门的盒子里,盒子的底部有槽和孔。当机器颠簸着往前行时,种子就从孔里面被摇下来了。由于小孔之间的距离是事先调整好的,因此不需要农民特别关注,种子洒下去就是有规则的条状。王桢在他的书里说,“最近”有些犁用了两个盒子,一个用来装种子,另一个用来装粪粒。如果机器运转正常,合适数量的粪粒就会跟种子一起撒到田里,一点不多,一点不少,正好可以提供适量的肥料。布兰姆显然被这种“十分简单的机器”迷住了。他说看它工作是一种美妙的享受。

① 《汉书》(四部备要本),24卷,13页。在另一个版本的《汉书》里(北京:中华书局,1962)24卷,1139页,它被称为“耦犁”。

② 王安石,《临川先生文集》(四部丛刊本),11卷,4b页,“耒种”。

③ 王桢,“农器图谱集”,《农书》,1313年;北京:农业出版社,1981,2,211—212页。

④ 关于中国古代的度量单位,参见邱隆《中国古代度量衡图集》(东京: Misuzu Shobō, 1985)66页。后来,明朝徐光启在他的《农政全书》里面(北京:中华书局,1956,21卷,426—427页),提到了王桢。更多关于播种机的讨论,可参见李约瑟,《中国科学技术史》,剑桥:剑桥大学出版社,1984,6.2卷,262页。

中国犁

大使们行走在山东早春的大地上，“所经过的乡村都是可耕种的土地，大部分在秋天的时候都曾下过种，现在正开始被怡人的翠绿所覆盖”。^① 布兰姆还注意到农民们也在使用一种犁，一种虽然很简单，但“能刨开最坚硬的土地的犁”。他看到这种犁的时候非常惊奇，不得不承认西方的犁不免“略逊一筹”，于是“决定不错过这大好机会，买一个带回家去”。他也确实这么做了，他带回国的这个实物后来成了插图的原型（见图 8），今天的读者还能够凭着图想象“陌生国土里的这一种美妙工具”究竟是什么样子。

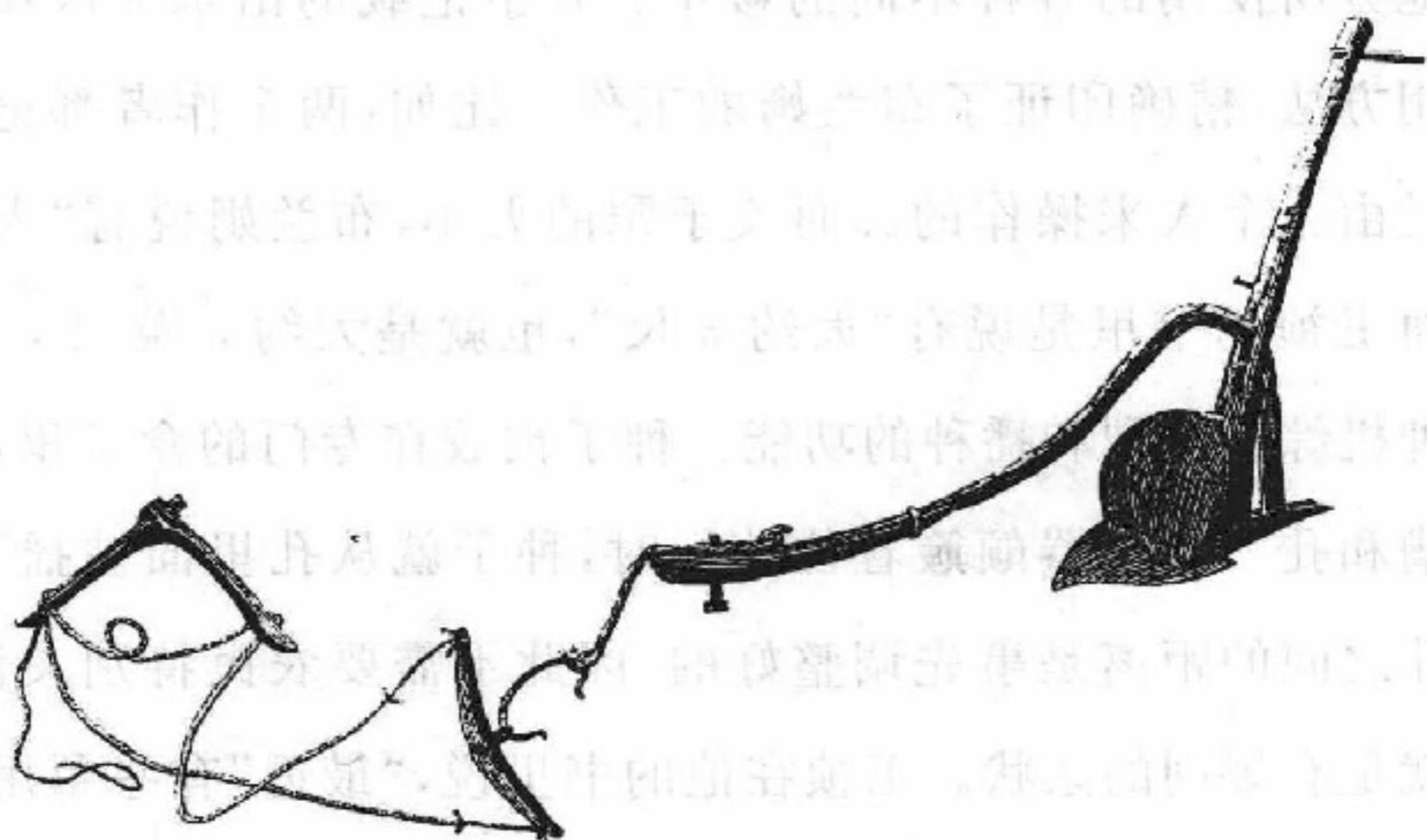


图 8 布兰姆 Voyage 里所记载的犁。普林斯顿大学，费尔斯通图书馆，珍本收藏室。

这种犁十分简单。铁制的犁铧装在下端，犁底清晰可见。那杆曲柄和那套绳索表明牛也可能用来拉这种犁。犁铧和犁壁间的角度比直角略大一点，这对山东松软而肥沃的土地很适用。

作为最重要的农具，犁在许多明清著作里都有记载，^②它们的图示也大致相同。犁在中国的使用最早可以追溯至史前时期。^③ 汉以及汉以前

① Voyage, 302—303 页; E, 2 卷, 114 页。

② 北京图书馆参考部, 中国历代农具图一览表, 《图书馆》, 1963 年第 3 期, 21—24 页。

③ 方壮猷, 《战国以来中国步犁发展问题试探》, 《考古》, 1964 年第 7 期, 355—362 页。

犁的使用我们可以在墓穴的壁画和陶器的雕纹上看到。那时铁的犁铧已经在使用了。但是汉朝时期的犁没有现在这样的犁底。一本唐朝时期的书,《耒耜经》里面记载说犁的结构在唐朝时期有了明显的进步。^①犁板出现了,它和犁铧相配,使犁在开出沟渠的时候更有效率。犁底分离出来,成了独立的一部分,这样就使犁在使用的时候更加平稳。后来学者们认为这是一种经过完全改造的犁,因此将它命名为“江东犁”(见图9)。唐以后对这种犁的改进不多,因为布兰姆观察和记录下的犁跟这种犁几乎完全一样。

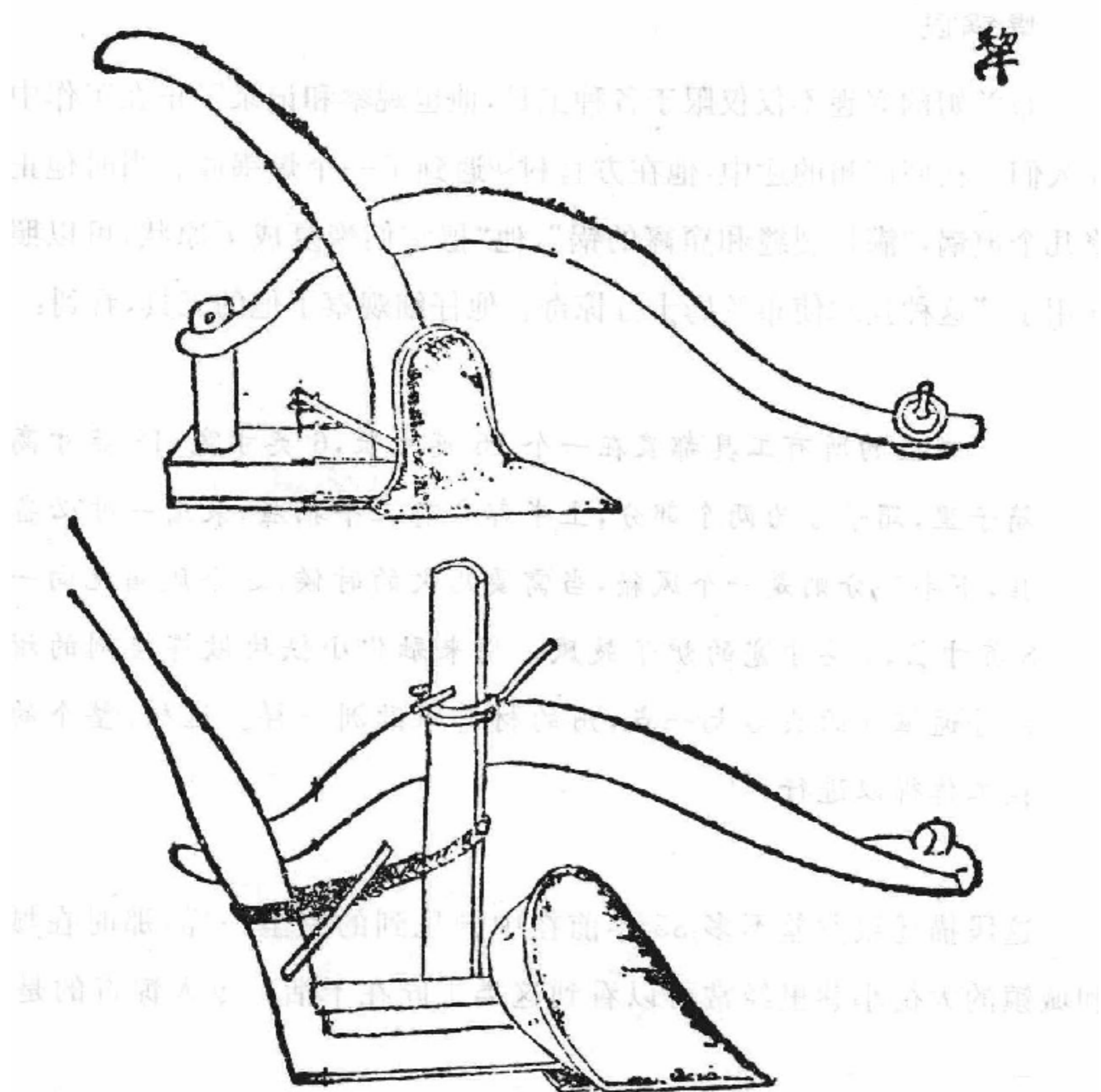


图9 一个复原的江东犁。摘自《考古》1964年第7期,图9—8。

^① 陆龟蒙,《耒耜经》(夷门广牍本),2—3页。不像其他的中国古籍,这本书没有分卷。

布兰姆提到了“男人们”都在使用这种犁,但他没有指出这种犁是由人力还是由畜力来拉动的。在其他的章节里,他提到播种机是由人力来拉动的:“这种机器有两个轮子,两个中国人负责拉动它,第三人用双手操作,一手撒种,一手犁沟。”^①田的两头各有一个轱辘,一条长绳子将轱辘和播种机连接起来。两个人操纵轱辘给机器提供动力,使它在田的两头顺着犁沟来回。这种设备在清朝学者屈大均的《广东新语》里面也有记载。^②在屈看来,这种装置等于两个人在拉。当地的农民对这种工具赞誉有加,将它称为“木牛”。

焊锅匠

布兰姆的兴趣不仅仅限于各种工具,他也观察和记录了正在工作中的匠人们。在回广州的途中,他在方官村^③遇到了一个焊锅匠。当时他正在修几个煎锅,“满是裂缝和窟窿的锅”,他“把它们恢复成了原状,可以照常使用了。”这种技术使布兰姆十分惊奇。他仔细观察了他的工具,看到:

工匠的所有工具都装在一个16英寸长,6英寸宽,18英寸高的箱子里,箱子分为两个部分,上半部分有三个抽屉,装着一些必备工具,下半部分则是一个风箱,当需要用火的时候,这个风箱就向一个8英寸长,4英寸宽的炉子鼓风。用来融化小铁块做焊接剂的坩埚比普通烟斗的头略大一点,用的材料跟欧洲一样。这样,整个的焊接工作得以进行。^④

这段描述跟我差不多35年前在中国见到的完全一样,那时在城市和城镇的大街小巷里经常可以看到这类工匠在干活。令人惊奇的是35

① *Voyage*, 281页; E, 2卷, 85页。用人力来拉动犁最早是王徽记录的,见他的“代耕图说”,《诸器图说》,四库全书本,台北:商务印书馆,1983, 3, 58—59页。

② 屈大均,《广东新语》(潘耒作序,1700), 16, 17b页。

③ 在布兰姆的日记里,村名被拼为:“Fan-koun”。

④ *Voyage*, 275页; E, 2卷, 78页。

年前的这些焊锅匠跟他们 200 年前的祖先们的工作方式竟完全一样：

工匠把融化的金属从坩埚里取出，置于一张混纸上，然后去补煎锅上的漏孔和裂缝，他的助手敲打补过地方的表面使它变平，然后用一小块湿的亚麻布擦一下。为了把所有的孔都补上，需要一定数量的坩埚，一个接一个地用，用空了再重新装上融化的铁。融化的铁被破锅的孔和缝所吸收，又凝固起来。经过修整，破锅又完好如新了。^①

布兰姆认为这个技术在欧洲还无人知晓。他对这种技术推崇备至，声称“没有亲眼见过的人都会觉得是不可能的”。为了使自己的描述更为可信，他还加入了一幅插图（见图 10）。图里的工匠，像多数这类工匠一样，是在桥头干活的。他的挑子擦在背后，他正在拉风箱，以便炉子里的火更大。旁边有一口大锅正有待修理。右边的一个小盒子里可能放着他将要用的焊接剂。工具箱被当作凳子来坐了。在图中他的服饰、发型、旁边放的备雨的竹笠以及其他的一些物品都进一步说明，这幅图是真实生活的写照。^②

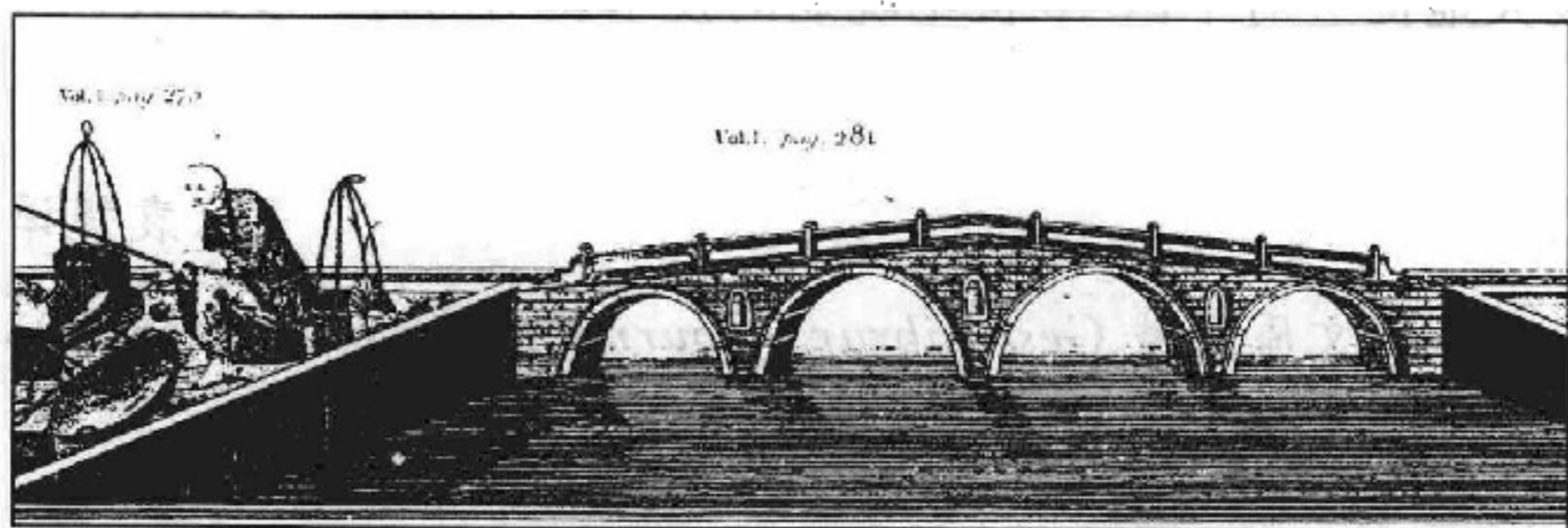


图 10 布兰姆 Voyage 里所描写的焊锅匠。普林斯顿大学，费尔斯通图书馆，珍本收藏室。

① Voyage, 275 页; E, 2 卷, 79 页。

② 布兰姆不是唯一一个注意中国的焊锅匠的欧洲人。John Henry Gray 在他的书里也记录了一个中国的焊接匠: *China: Laws, History, and Customs* (London: Macmillan, 1878)。该书第 2 卷 192 页有一幅插图，画着焊锅匠和他的炉子、工具箱等等。箱子上的两个坩埚和两个烛台清楚显示了焊锅匠正在工作。画里的箱子、炉子和竹笠都进一步确证了布兰姆的描述。

五、讨论

对于现代的学者来说,布兰姆日记的价值是多方面的。日记涉及的内容很多,包括桥梁、宝塔、城墙、船只、北京的城市布局、风景画、各种各样的生活方式,以及大使们所经之地的地理和农业情况。很多内容在本文中并未提及,在很多中国传统文献里也没有提及这些内容。因此布兰姆的工作对这方面的史料是一个重要的补充。他游记的价值首先在于他的不平凡的资质。作为一个游历过大半个世界的经验丰富的水手,和一个博学、思想开明和敏锐的观察者,布兰姆能够迅速通过比较,理解他所看到的事物,非常内行地抓住技术上的细节,准确地测量和记录它们。更重要的是,他的书使现代的学者有可能对照涉及相关题材,如交通工具、农业设备以及日常生活里的各种工具等的中国文献,进行一种比较的研究。这些中国文献里很多都有插图。^① 仔细研究这些书就可以发现,这些插图大都不是当初作者原创的,而是后来采自《农书》。这当然会让人怀疑它们的准确性和可靠性。布兰姆独自创作的这本很有可靠性的书为现代的学者们提供了很多符合西方严格标准的高质量插图。它们极大地促进对中国 18 世纪晚期的技术发明的进一步研究。

(袁媛译)

英文原文载 *Gest Library Journal* (Princeton), 6(1993)

^① 例如,王祯的《农书》(1313);宋应星的《天工开物》(1637);徐光启的《农政全书》(1639);康熙皇帝的《耕织图》;陈梦雷的《古今图书集成》(1726);鄂尔泰的《授时通考》(1742)。

Chinese Technology in Eighteenth-Century American Eyes

Introduction

Eighteenth-century China had long been closed to the outside world, its inland areas even less well known to Westerners than the coastal regions. But on the inauguration of the sixtieth year of the Emperor Ch'ien-lung's reign (r. 1736 - 1795), along with many other foreign guests, an American was invited to observe the celebration in Peking. Andreas Everaardus van Braam Houckgeest (1739 - 1801), the ambassador of the East India Company and later of the United States, thus had an opportunity to travel about two thousand miles across inland China.

During his journey in China, van Braam kept a detailed day-by-day diary in which he described the Chinese bureaucratic system; the everyday farm life, and technological inventions. These inventions were van Braam's favorite topic. He documented with illustrations agricultural instruments, transport vehicles, buildings, and bridges, as well as craftsmen at work. Van Braam's journey does not sound a total pleasure, but his journal is obviously a rich mine of information for present-day sinologists. ①

① The relation between the embassy and the Ch'ing court, the author, and his journey has been studied by J. J. L. Duyvendak in his "The Last Dutch Embassy to the Chinese Court (1794 - 1795)," *T'oung Pao*, no. 34 (June 1938), p. 1, and a supplementary note in *ibid.*, no. 35 (1940), p. 329. George R. Loehr, "A. E. van Braam Houckgeest, the First American at the Court of China," *Princeton University Library Chronicle*, no. 15 (1954), p. 179, studied the book as well as the life of the author.

The Author

Van Braam was born in 1739 in the province of Utrecht, the Netherlands, and served in the navy until 1759, when he joined the East India Company and sought his fortune in Canton and Macao, China. His interest in China presumably dated from this period.^① But the 1760s were not a good time for Western visitors to China. The empire was intoxicated with its recent prosperity and paid little attention to foreigners, who in the eyes of the Chinese bureaucrats were “uncivilized.”

Van Braam stayed in Canton for about fifteen years with only two brief returns to his native land. No evidence shows that he entered inland China during his long stay in the southern cities, which were open to foreigners at the time. Inspired by the news of the American revolution, he decided to move to the United States and was appointed Dutch consul to North Carolina, South Carolina, and Georgia. He settled down in Charleston and started to operate a rice plantation. Four years after becoming a naturalized American citizen, van Braam decided to leave for China again, partly because of a series of tragic events affecting his family. He arrived in Canton in the summer of 1790, and soon heard the news that George III had sent his representatives to the Manchu monarch, Ch'ien-lung. With much difficulty, he had himself appointed the second ambassador to visit Peking on the occasion of the sixtieth anniversary of Ch'ien-lung's reign in 1794. At that point van Braam was fifty-five years old.

He returned to Philadelphia early in the winter of 1795, half a year after the trip to Peking. He bought a farm at Mount Bergen near Bristol in Pennsylvania where he built a fifteen-room house which he named China's Retreat. He took pains to maintain the lifestyle he had enjoyed in Canton. Because of the great variety of objects he brought back from China, this site was regarded as “undoubtedly the first comprehensive Chinese collection seen in the United States.”^②

① The main source of his biography is Moreau de Saint Méry's *Advertisement* attached to his translation of van Braam, *Voyage de l'ambassade de la Compagnie des Indes Orientales Hollandaises, vers l'Empereur de la Chine, dans les années 1794 - 1795* (Philadelphia, 1797 - 1798); hereafter referred to as *Voyage*. It is an important translation into French by Moreau de Saint Méry from the original Dutch manuscript.

② Loehr, “A. E. van Braam,” p. 188.

But van Braam was not financially successful in the United States. His wife divorced him, and he had to auction off the beloved articles he had brought back from China only three years before. Van Braam died in 1801 in Amsterdam. The auction catalogue prepared by Christie's survived him,^① inducing memories about the legendary trip of this former second ambassador to the "unknown land" exactly two hundred years ago.

The Journey And The Journal

Van Braam and his party, known to consist of at least one other representative of the East India Company and several servants, left Canton on November 22, 1794, and reached their destination on January 9, 1795. The schedule was hectic, with the envoys covering some two thousand miles in fifty days. They had to squeeze themselves into small carts and hurry in order to reach the capital before the New Year Ceremony. For more than eighteen days they had to travel over sixty miles daily. They made their way mainly by land because the water level of rivers and canals and the strong winds were not favorable for water travel in winter. The journey was uncomfortable, and supplies did not always reach them on time. Sometimes the situation was so "indescribably bad" that they "even had no wine at dinners."^②

But by traveling overland van Braam was able to see more of China. From December 10 on, he enriched his diary with observations about bridges, pagodas, boats, wheelbarrows, and carts with sails. He even had the opportunity to acquire various articles and bring them back to the United States. Some of them were used as models for drawings when Moreau de Saint-Méry, an emigre bookseller and publisher, was translating van Braam's manuscript into French for publication. American engravers, such as John Vallance, Samuel Seymour, and A. P. Folie, collaborated in preparing drawings for the publication.

Van Braam's descriptions and discussions of Chinese technological inventions are especially noteworthy because they were not made by a layman or a curious traveler, but by a professional. His service in the navy and his extensive travel made him a keen and open-minded observer. The accuracy and variety of his records are rare compared

① Duyvendak, "The Last Dutch Embassy," appendix 2, pp. 116 - 131.

② Ibid., p. 43.

with those of other contemporary travelers. On the other hand, it is plain that most of the information in van Braam's work was obtained from observation alone. Presumably, he did not know Chinese and thus could not communicate directly with Chinese farmers and officials.

Van Braam wrote his journal in Dutch, and the original is preserved in the Rijksarchief at The Hague. The first published edition, however, was in French. Its title page announced that the book was based on the author's personal experience and contained descriptions "de plusieurs parties de la Chine inconnues aux Européens" (see illustration 1). Van Braam was described as the former director of the Society of Sciences and Arts of Haarlem in Holland, and of the Philosophical Society of Philadelphia, whose library is still proud to possess one copy of this rare journal.

The French-language edition was published in Philadelphia in 1797-1798. It was in two volumes in octavo and contained engravings depicting subjects as diverse as the Chinese court and mule wagons. The publisher was to be found at "the corner of First Street South and Walnut," in Philadelphia, not far from the dock on the Delaware River where van Braam had concluded his journey from China about a year earlier. The journal was translated into a two-volume English edition, which was based on a private Paris edition of the first volume of the Philadelphia edition.^① The translation is faithful, but materials other than the journal itself, such as drawings and appendixes, were all omitted, except for a map of the "route of the Dutch Embassy to and from Peking in 1794-5," engraved by T. Foot.

Judging by the number of published translations that came out within a decade of the French edition, this diary must have been popular in the late 1790s. The copies preserved in Princeton University are gifts to the university from Walter van Braam Roberts, a descendant of A. E. van Braam and a Princeton student of the class of 1915. On the page facing the cover of the original French edition, there are notes in pencil:

① A. E. van Braam Houckgeest, *Voyage de l'Ambassade de la Compagnie des Indes Orientales Hollandaises* (Paris, Garnery, and Strasbourg; Levrault, 1798), 2 vols. This is a pirated edition of volume 1 of the Philadelphia edition. The English translation is entitled *An Authentic Account of the Embassy of the Dutch East-India Company, to the Court of the Emperor of China, in the Years 1794-1795* (London; R. Phillips, 1798), 2 vols. See Howard C. Rice, Jr., Shih-kang Tung, and Frederick W. Mote, *East & West, Europe's Discovery of China, & China's Response to Europe, 1511-1839* (Princeton, N. J.: Princeton University, 1957), p. 74. The quotations in this paper are based on the English-language edition; each has been checked with the original French-language edition.

V O Y A G E
DE L'AMBASSADE
DE LA
COMPAGNIE DES INDES
ORIENTALES HOLLANDAISES,
VERS L'EMPEREUR DE LA CHINE,
DANS LES ANNÉES 1794 & 1795 :

Où se trouve la description de plusieurs parties de la Chine
inconnues aux Européens, & que cette Ambassade a
donné l'occasion de traverser :

Le tout tiré du Journal d'ANDRÉ EVERARD VAN BRAAM HOUCKGEEST,
Chef de la Direction de la Compagnie des Indes Orientales Hollandaises à
la Chine, & Second dans cette Ambassade; ancien Directeur de la Société
des Sciences & Arts de Harlem en Hollande; de la Société Philosophique
de Philadelphie, &c. &c.

Et orné de Cartes & de Gravures.

Publié en Français par M. L. E. MOREAU DE SAINT-MÉRY.

T O M E P R E M I E R.

A P H I L A D E L P H I E;

Et se trouve chez... { L'ÉDITEUR, Imprimeur-Libraire au coin de la première rue Sud & de Walnut, N^o. 85.
Les Principaux Libraires des États-Unis d'Amérique.
Les Libraires des principales Villes d'Europe.

1797.

1. Title page of the 1797 French edition of van Braam's *Voyage*. Rare Books Collection, Firestone Library, Princeton University.

“Presented to J. E. Baker by the g. g. grandson of the author, . . . [here there are three groups of letters or signs that I cannot decipher]. E. T. Roberts, London, July 10, 1908.” Immediately beneath, two lines, which seem to be a postscript, in the same handwriting read: “This book is paid for by me in London. ETR.” Far below is another “note”: “given back to E. T. R. by J. E. B. before his death.” On the front page of the English translation is a formal dedication: “To Erastus Titus Roberts, this work, written by his ancestor, is now, in commemoration of the one hundredth year of its issue, presented by his friend, J. E. Baker. Oct. 3rd, 1898.”

Chinese Technology As Seen In The Diary

The Chinese inventions and technical devices van Braam recorded on his way to Peking fall into three main groups. (1) Means of transportation: sail-carts received much attention in the diary, and vehicles are often described with detailed specifications. Mule-or horse-drawn wagons are also noted and compared with their counterparts in the West. (2) Agricultural devices: instruments designed for deeper and more effective plowing, as well as seeding machines and other tools, are described. (3) Miscellaneous devices, such as tinkers' equipment. This paper compares van Braam's descriptions of certain Chinese devices with those in the relevant Chinese sources so as to further our knowledge of Chinese technological inventions.

Small Cart (La brouette)

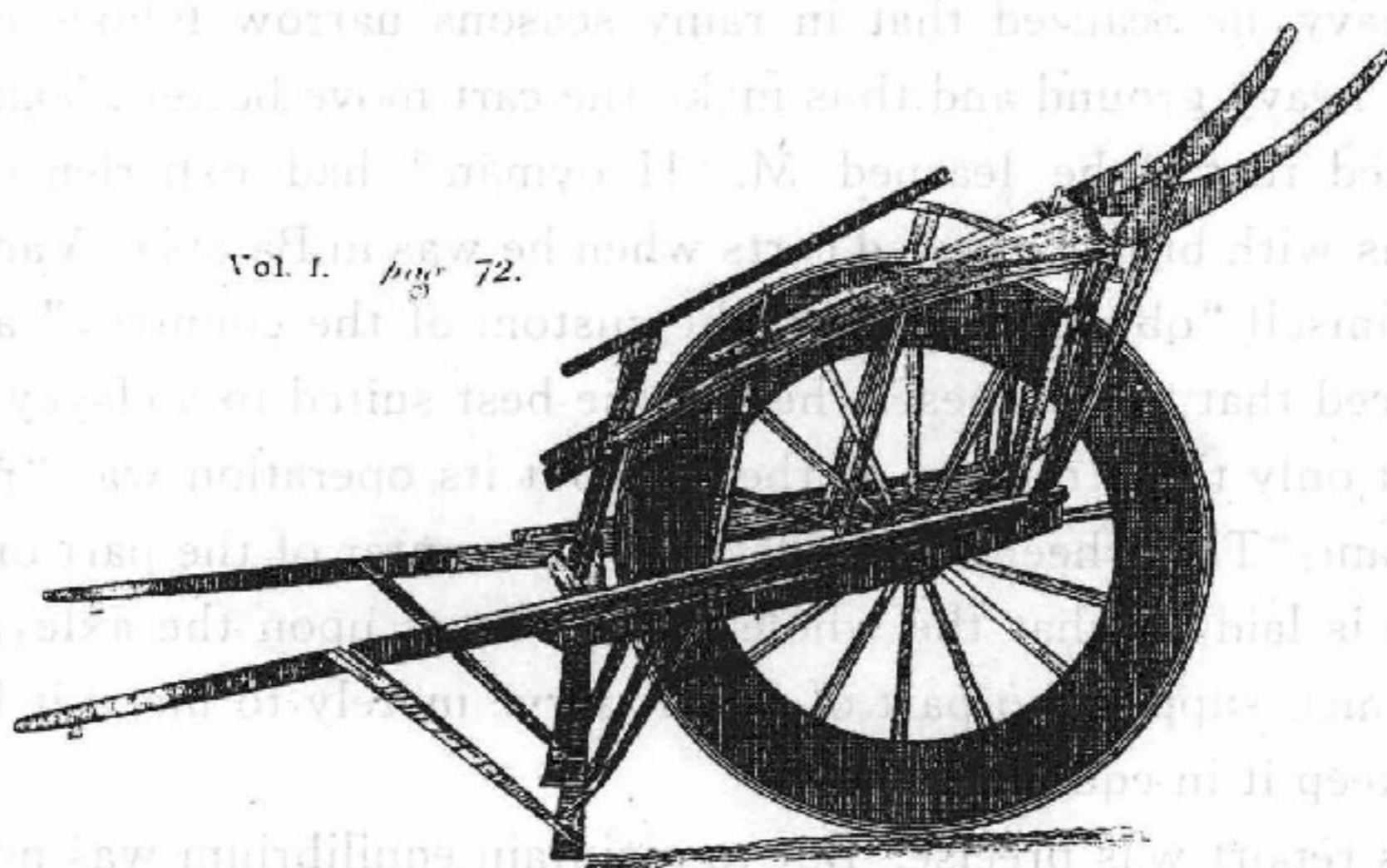
Van Braam began traveling in a small cart on December 11, 1794, a week after he entered Chiang-hsi Province.^① During the long and tedious journey to Peking, he must have had time to observe and study the cart offered by his Chinese hosts, and it became one of his favorite topics in his diary. He often used comparisons to illuminate his observations and to reveal the significance of seemingly unimportant details. Here is an example of his method:

It is equally easy to see that there is a difference in the men, particularly in the color of the skin. In general they are here of a much ruddier complexion than the inhabitants of the south of

^① Duyvendak, “The Last Dutch Embassy,” p. 43. During the fifty-day journey, van Braam traveled by water only one or two days. See *ibid.*, appendix 1.

China; a circumstance that is still more perceptible among the women, whose cheeks are as red as those of European females, in the full bloom of youth and health. ①

Then wheelbarrows, used to transport both people and goods in Chiang-hsi Province, caught his attention (see illustration 2). ② This vehicle was operated in a way different from what he had observed in Kuang-tung Province, so he described it carefully: “a wheel-barrow, singularly constructed, and employed alike for the conveyance of persons and goods. According as it is more or less heavily loaded, it is directed by one or two persons, the one dragging it after him, while the other pushes it forward by the shafts.”



2. Single-wheel barrow drawn by A. P. Folie, Jr., presumably after a real model brought home by van Braam. From van Braam, *Voyage*. Rare Books Collection, Firestone Library, Princeton University.

Actually what van Braam saw was one of the most popular means of transportation in rural China in the Middle Ages. Even today wheelbarrows of this kind are still in use in certain parts of China. Van Braam went on to describe the single wheel with professional accuracy:

The wheel, which is very large in proportion to the barrow, . . . is as it were cased up in a frame made of laths, and

① *Voyage*, p. 72; English translation (hereafter abbreviated as E), vol. 1, p. 96.

② *Voyage*, pp. 72–73; E, vol. 1, pp. 96–97.

covered over with a thin plank, four or five inches wide. . . . In addition to this, I should say that the wheel is at least three feet in diameter, that its spokes are short and numerous, and consequently, that the felloes are very deep; and that its convexity on the outer side, instead of being nearly flat, like common wheels, is of a sharp form.

Experienced in engineering, van Braam found the design of the wheel interesting; the edge was narrow compared to its European counterpart. ① At first he thought the narrowness of the outer edge of the wheel “unsuitable” for a clay-soil road. But after comparing these carts with those used in Java, which he must have visited when he was in the navy, he realized that in rainy seasons narrow felloes may cut through heavy ground and thus make the cart move better. Van Braam mentioned that “the learned M. Hooyman” had experienced such problems with broad-wheeled carts when he was in Batavia. Van Braam found himself “obliged to follow the custom of the country,” and was “convinced that the Chinese wheel is the best suited to a clayey soil.”

Not only the structure of the cart but its operation was “new” to van Braam: “The wheel . . . is placed in the center of the part on which the load is laid, so that the whole weight bears upon the axle, and the barrow men support no part of it, but serve merely to move it forward and to keep it in equilibrium.”

His report was precise. But to maintain equilibrium was not easy. I had a chance to try the cart some years ago, and therefore can appreciate van Braam’s account of the way it is loaded, which is an equally important factor in keeping the cart balanced:

On each side of the barrow is a projection on which the goods are put, or which serves as a seat for the passengers. A Chinese traveler sits on one side, and thus serves to counterbalance his baggage, which is placed on the other. If his baggage be heavier than himself, it is balanced equally on the two sides, and he seats himself on the board over the wheel, the barrow being purposely contrived to suit such occasions.

① George Stubbs’s “Labourers” (1785, enamel on biscuit and earthenware, Tate Gallery, London) shows European wheelbarrows with a much wider wheel.

The barrow cart impressed van Braam. He repeatedly admired the "singularity" and "simplicity" of this invention. But the barrow was nothing new for the Chinese. Illustration 3 gives a comparison found in the *T'ien-kung k'ai-wu*, a popular book by Sung Ying-hsing (1587 -?) published in the late Ming.^① The cart had only one wheel, which made it suitable for narrow and winding trails in mountainous areas, as the background of the drawing suggests, and in paddy fields. It had two handles, with which the cart-man shared part of the weight and, more important, directed the cart along the road. It looks identical to what van Braam observed in Chiang-hsi Province where, according to the *T'ien-kung k'ai-wu*, these carts were used. Some scholars have asserted that the use of such carts, which were referred to as "wooden cattle," can be traced back as far as the third century A. D., as described in the *Dynastic History of the Three Kingdoms* (*San-kuo chih*), and in the popular work based on it, the sixteenth-century novel *Romance of the Three Kingdoms* (*San-kuo yen-i*).^②

Cart with Sails

By the end of 1794, the envoys entered north China where a seemingly endless plain extended north and east. Not only was the environment different from the mountainous provinces south of the Yangtze River, but, van Braam noted, the carts were "much larger than that I have already described, and drawn by a horse or mule," instead of by men. In particular, the sail-cart (*fan-ch'e*) aroused his sincere admiration. He discussed it in detail in his diary on the last day of 1794, when the embassy

① Sung Ying-hsing, *T'ien-kung k'ai-wu* (1637 edn., rpt.; Peking: Chung-hua shu-chü, 1959), 2, p. 246. The edition most modern authors use, however, is slightly different from the original 1637 edition, which had been lost for hundreds of years until its reappearance in the late 1950s. The drawing adapted in this paper is from a 1637 edition. I examined the corresponding drawing (drawing 70) in the later Ch'ing editions. No significant difference can be discerned for the barrows; the back-grounds are, however, entirely different. But both show a mountainous landscape. See also the English translation of the work: *T'ien-kung k'ai-wu, Chinese Technology in the Seventeenth Century*, trans. E. T. Z Sun and S. C. Sun (University Park: Pennsylvania State University Press, 1966), pp. 183 - 185.

② Ch'en Shou, *San-kuo chih* (Peking: Chung-hua shu-chü, 1959), 33, p. 896. But what "wooden cattle" actually were is controversial. The term has also been used to refer to seed-drills (see the section "Seed-drill [*La semoir*]" below). Luo Kuan-chung, *San-kuo yen-i* (Peking: Jen-min wen-hsüeh ch'u-pan-she, 1985), 102, pp. 876 - 878, provides a detailed description of "wooden cattle." Most scholars refer to the records in Kao Ch'eng's *Shih-wu chi-yüan* (Hsi-yin hsüan edn., preface dated 1447), 8, pp. 2 - 3, and Ch'en Shih-tao's *Hou-shan t'an-ts'ung* (Pao-yen-t'ang mi-chi edn.), 4, pp. 1a - b. Both Kao and Ch'en were Sung scholars.



3. Single-wheel barrow shown in Sung Ying-hsing (1587 -?), *T'ien-kung k'ai-wu* (1637 edn. published by T'u Po-chü), b, p. 43a. Block 15 × 22 cm. Facsimile. Collection of the Gest Oriental Library.

traveled in southern Shan-tung Province:

But how great was my surprise when I this day saw a whole fleet of wheel-barrows, all of the same size. I have good reason to call them a fleet, for they were all under sail; having a little mast very neatly inserted in a hole or step cut in the forepart of the barrow. To this mast is attached a sail made of matting, or more commonly of canvas, five or six feet high, and three or four wide, with reefs, yards, and braces, like those of the Chinese boats. The braces lead to the shafts of the barrow, and by means of them the conductor trims his sail. ①

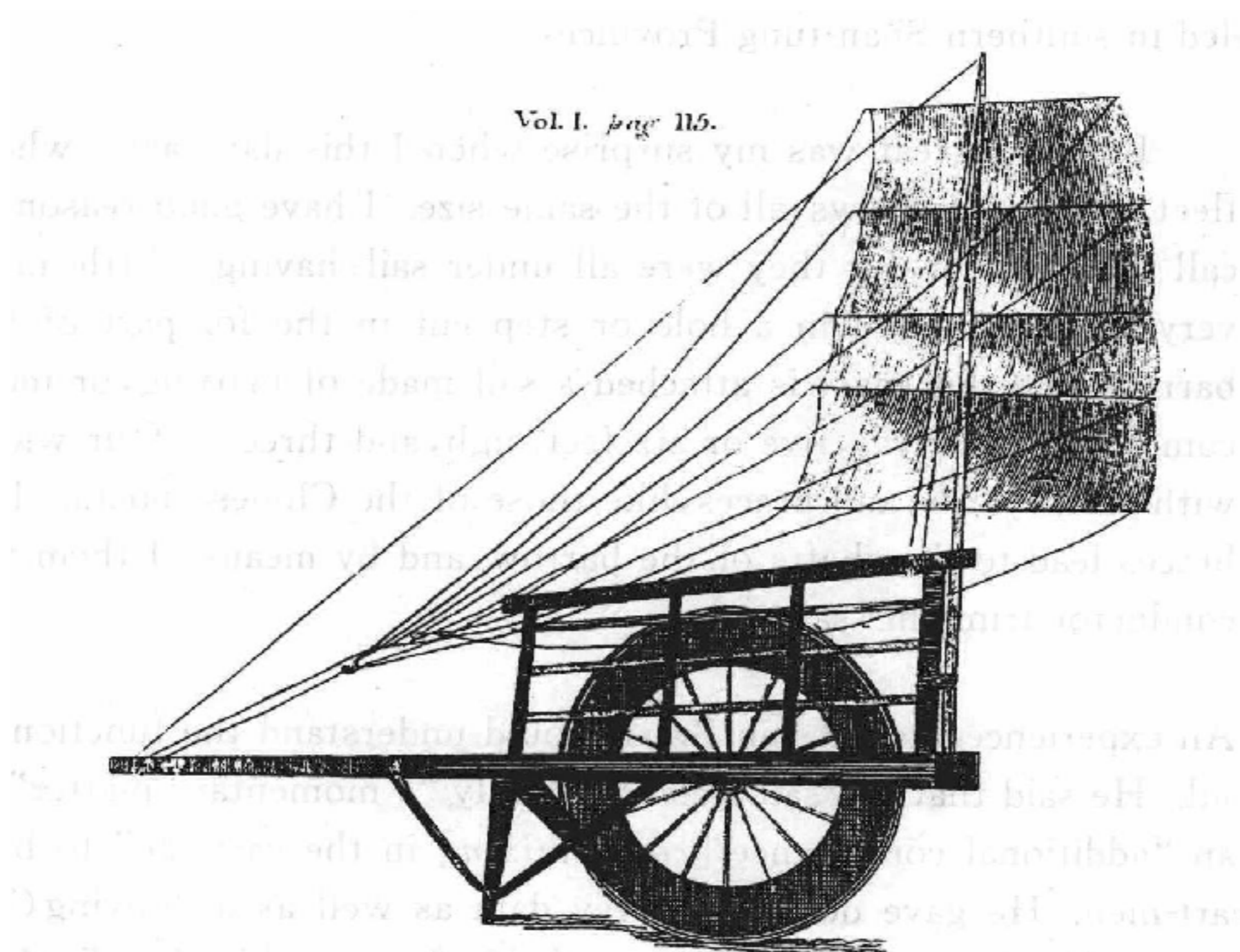
An experienced sailor, van Braam could understand the function of the sail. He said that the sail was not merely "a momentary matter"; it was an "additional contrivance [*combinaison*] in the carriage" to help the cart-men. He gave detailed survey data as well as a drawing (see illustration 4), showing the structure of this "memorable thing" (*chose momentanée*). Father Marin once claimed in his *Description géographique de la Chine* that the Chinese sailing barrows, or wagons, did not really exist. ② Van Braam's accounts and illustration now provide convincing evidence that they were real Chinese inventions. Seeing these sailing barrows rolling along one after another, the former sailor said in his diary that he "felt real pleasure."

It is easy to see the difference between these two kinds of carts. The smaller Chiang-hsi cart was easier to operate than one equipped with a sail, important in a mountainous area like Chiang-hsi. In contrast, the sail-cart, larger, heavier, and demanding more power, was good for Shan-tung Province where flatlands spread out hundreds of miles east to the sea. Seasonal winds there were strong and steady, providing an inexhaustible source of energy for the barrows.

In the early 1950s investigators from Ch'ing-hua University, Peking, found sail-carts near the port city of Tsingtao. They

① *Voyage*, p. 115; E, vol. 1, p. 152.

② Father Marin's work is quoted in the English version of the *Voyage*. The quotation appears in the "glossary" prior to the translation. Pages of this glossary are unnumbered. In the glossary, items of Chinese technological invention are arranged alphabetically, and a brief comment is attached to each of them. The author of the glossary is not identified, although it seems possible that he was one of the English translators.



4. Cart with a sail. The string fastened at the top of the mast shares the weight loaded on the handles when the wind is strong. Two shorter strings from the bottom of the sail are "controllers" of the sail. From van Braam, *Voyage*. Rare Books Collection, Firestone Library, Princeton University.

photographed and documented them,^① and their investigation confirmed what van Braam saw on the first day he entered Shan-tung Province. In fact, a similar device, a sillon-ice-sled, was used in Manchuria where snow covers the ground four or five months a year.

Passenger Cart (La charrette)

Van Braam later described with the same accuracy the *charrette* used in Shantung Province:

It appears that carts and wheel-barrows are the only carriages known in this province, either for the conveyance of persons or goods. If the cart were not so small and hung so low upon the wheels, which are not of more than four feet diameter, and which

① Liu Hsien-chou, *Chung-kuo chi-hsieh kung-ch'eng fa-ming shih* (Peking: K'o-hsüeh ch'u-pan-she, 1962), p. 58, photograph by Chou Hsü-tung. Judging by the picture, the present sail-cart is larger than that described by van Braam. I attempted to find a mention of the device in the Ming-Ch'ing "informal jotting" (*pi-chi*), but to no avail.

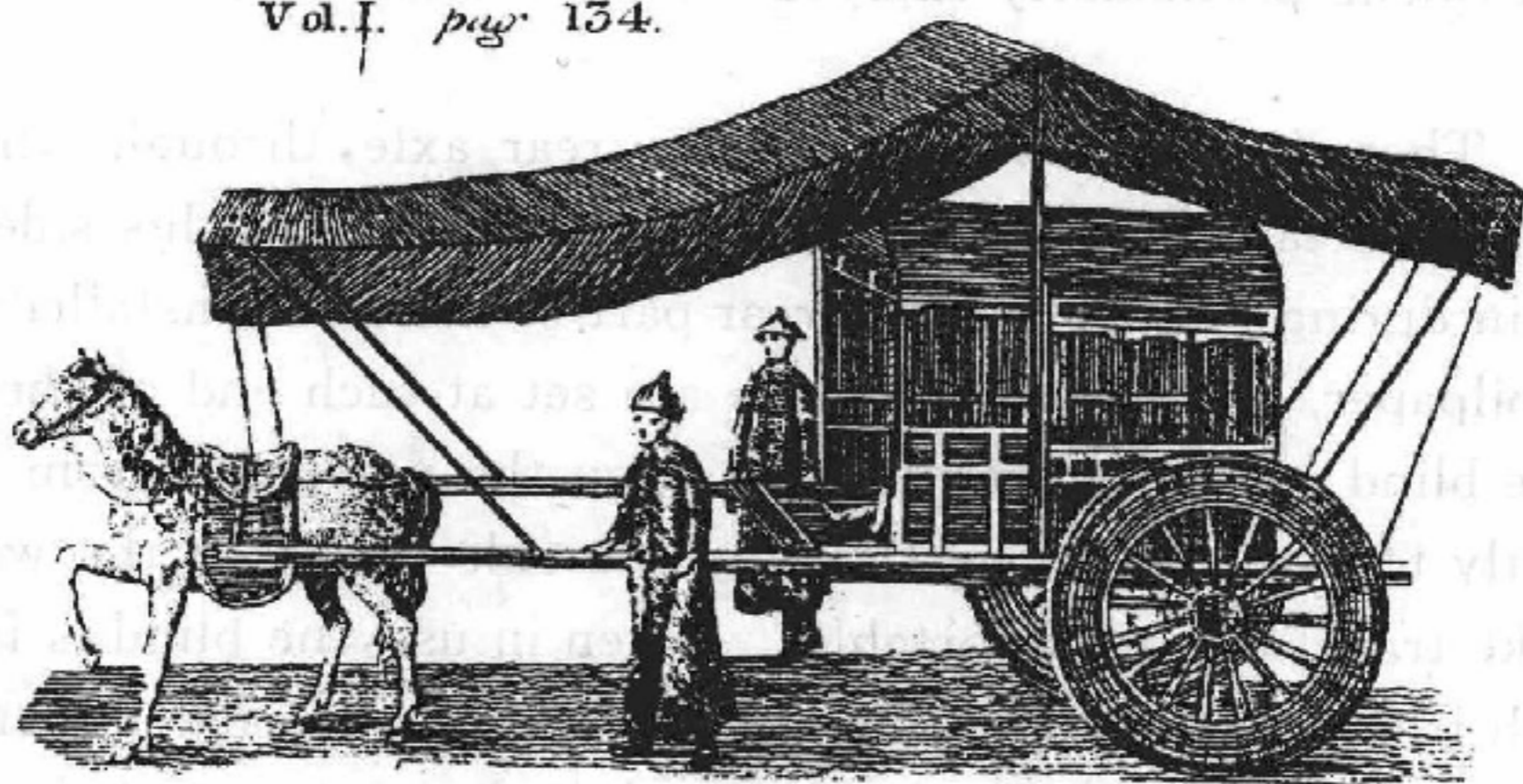
are of singular form, it might be compared to the Hessian cart; but the felloes of the wheel are at least six inches deep, and, in the direction of a whole diameter, is a large piece of wood, more than six inches square, crossing the axle, while two other pieces of wood, shorter and thinner than that I have just spoken of, cross it in their turn at right angles, and are inserted at each end in the corresponding felloes. The axle, of which the end is square, is let into the first of these three pieces, so that the axle and wheels all turn together. ①

Because the water level of the Yellow River was seasonal and the smaller rivers almost all flowed eastward, inland waterway transportation was difficult. Carts were thus the major means of transportation until railroads and other modern forms of transportation were developed early in the twentieth century.

Van Braam reported that carts were powered by five oxen, or horses, or mules. The strongest beast was always placed between the shafts, and another “abreast of him.” Although a shortage of large domestic animals had long been a problem for economic development in China, van Braam seems not to have experienced this shortage.

Van Braam and the other envoy had the honor of using special carriages (illustration 5) provided for them when they arrived in Peking on January 10, 1795. Van Braam described the two *charrettes* as follows:

Vol. I. pag. 134.



5. Passenger cart with windows and blind. From van Braam, *Voyage*. Rare Books Collection, Firestone Library, Princeton University.

① *Voyage*, p. 124; E, vol. 1, p. 164.

They [the carts] are only intended to carry a single person. The outside is neat and covered with cloth, and in the sides are little windows, by means of which the person within can see everything while sitting on a cushion laid in the bottom of the carriage, according to the Chinese custom. ①

This kind of vehicle was also recorded in the Ch'ing imperial encyclopedia published in 1726 (*Ku-chin t'u-shu chi-ch'eng*), where it was named "comfortable vehicle" (*an-ch'e*; see illustration 6), and the idea of the design was explained:

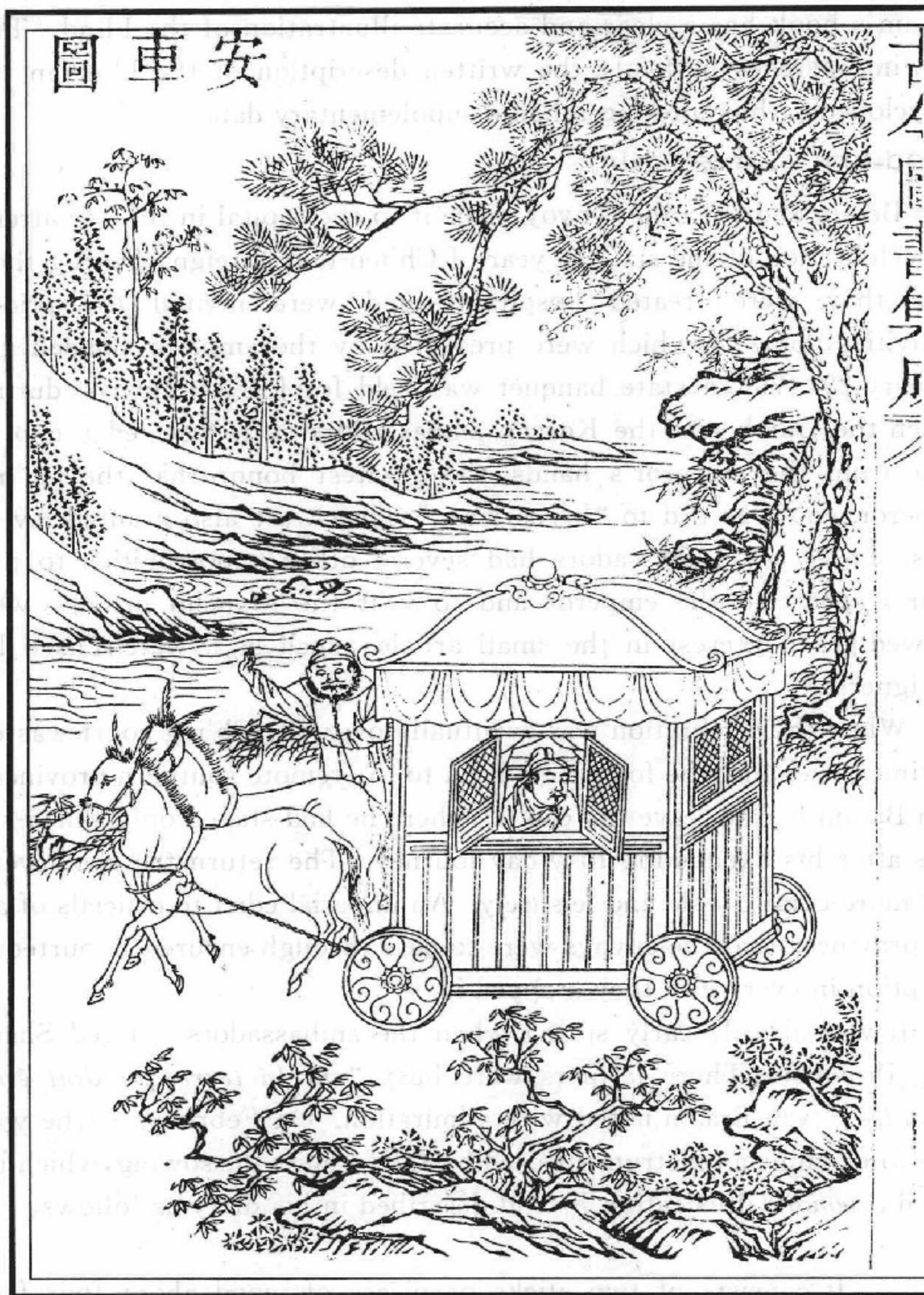
The design of the *an-ch'e* does not use high wheels because the body of the cart would not be steady while traveling if high wheels were employed. The cabin is six *ch'ih* [about two meters] in length so that passengers can lie down in the cart, and as wide as the distance between the wheels. ②

The encyclopedia goes on to explain that the cabin was covered with varnished cloth and oilpaper. At the rear of the cabin was a door; the passenger could climb aboard through it with the help of a rail and stair. Inside the cabin was a deluxe mattress to make the trip comfortable. By the side of the mattress was a movable long narrow table (*chi*), to facilitate eating and reading in the cabin. The window that van Braam particularly enjoyed was also described:

There is a window toward the rear axle, through which the passenger can enjoy the scenic view while lying on his side in the cabin during his trip. At the rear part of the car is installed a blind of oilpaper. Two wooden beams are set at each end of the blind. The blind can be opened fully to keep the passenger from rain, or partly toward either the front or one side to lessen the wind [to make travel more comfortable]. When in use, the blind is fastened with iron buckles to the roof and the base of the cabin; when not in use, it can be wrapped up and stored at the rear part of the cart.

① *Voyage*, p. 134; E, vol. 1, p. 178.

② Ch'en Meng-lei, "K'ao-kung tien," *Ku-chin t'u-shu chi-ch'eng* (1726 edn., rpt.; Taipei, Wen-hsing ch'u-pan kung-ssu, 1964), 174, pp. 435 - 436; the English translation is mine.



6. *An-ch'e* as shown in the *Ku-chin t'u-shu chi-ch'eng* (1726 edition), "K'ao-kung tien," *ch.* 174. Collection of the Gest Oriental Library.

Although the Ch'ing encyclopedia discusses extensively the blind of the carriage(*hsien*), regrettably it does not illustrate it. In contrast, van Braam's book has a clear and accurate illustration of the blind. The drawing matches perfectly the written description of the blind in the encyclopedia, thus offering reliable supplementary data.

Seed-drill(*La semoir*)

Van Braam and the other envoy made it to the capital in time to attend the celebration of the sixtieth year of Ch'ien-lung's reign. During their stay, they were treated hospitably and were invited to various festivities, some of which were presented by the emperor himself. On January 29, 1795, a state banquet was held for foreign envoys, during which the Dutch and the Korean ambassadors each received a cup of wine from the emperor's hands, the greatest honor that the Ch'ing emperor would accord to "barbarians." They were also granted lavish gifts. Later the ambassadors had several other opportunities to pay their respects to the emperor and to visit the Manchu princes, who showed great interest in the small articles, such as a watch, used by foreigners. ①

When the celebration was eventually over, the Ch'ing court wasted no time in sending the foreigners back to the remote southern province. Van Braam had to leave the capital where he had stayed only thirty-six days after his exhausting fifty-day journey. The return trip, however, was more comfortable and leisurely. An imperial edict to officials of all the provinces that the envoys were to pass through ensured a courteous reception in every city they stopped in. ②

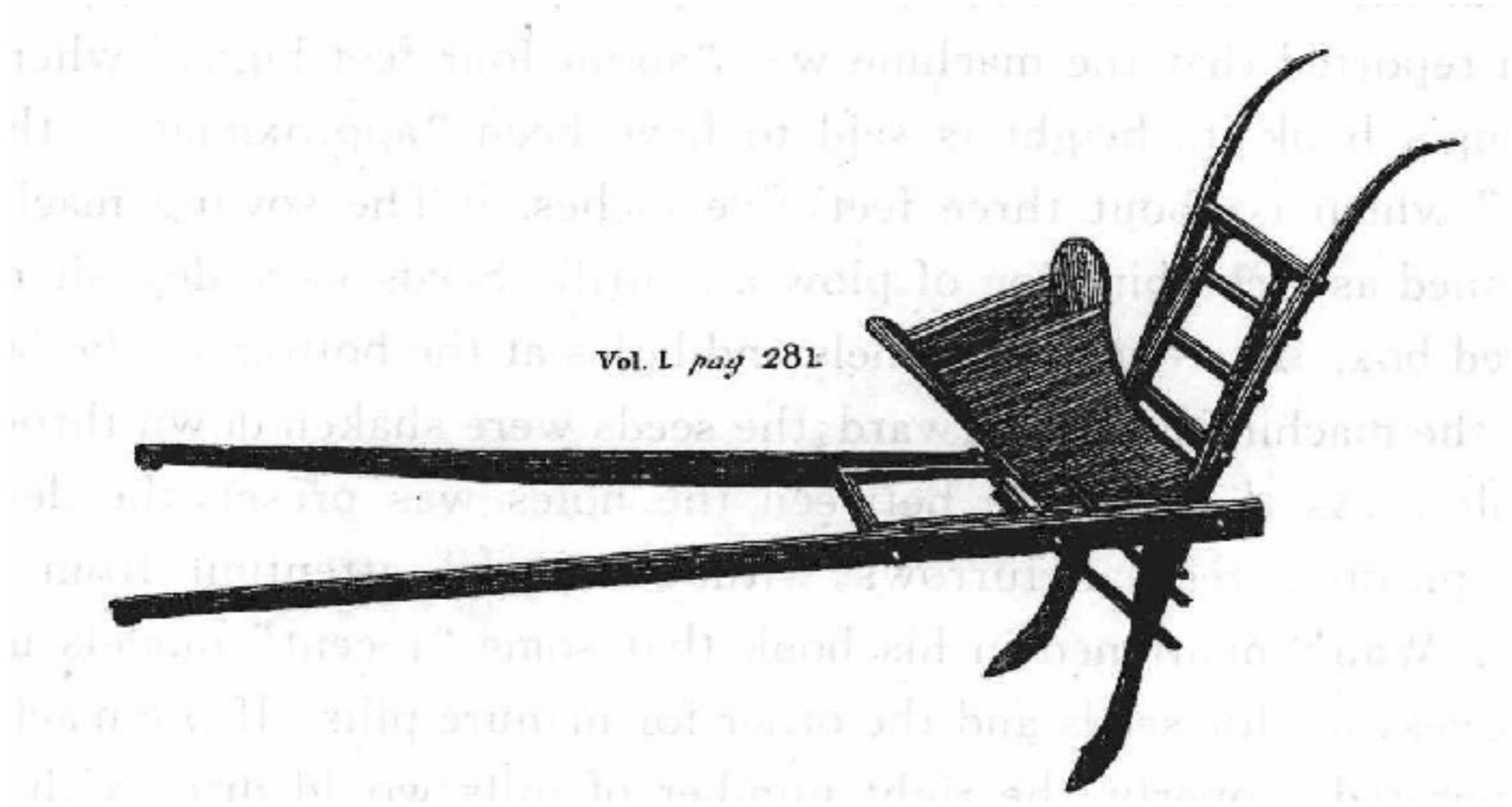
It was already early spring when the ambassadors entered Shantung Province. There farmers were busy "*sur la terre qui doit être fécondée.*" van Braam noted with admiration. On February 20, he was able to examine an instrument used by the farmers for sowing, which he called a *semoir*(illustration 7) and described in his diary as follows:

It consists of two sticks or pieces of wood about four feet long, the lower extremities of which are shod with a kind of iron wedge that serves to open the furrow. A little above is a square

① Duyvendak, "The Last Dutch Embassy," p. 69.

② Ibid., pp. 86 - 88. The edict was dated December 22, 1794, and took two months to reach the embassy.

box placed between the two sticks, and tapering downwards in the shape of a funnel. Behind this is a plank put across for the purpose of covering up the furrow after the seed has fallen in. ①



7. Sowing machine. From van Braam, *Voyage*. Rare Books Collection, Firestone Library, Princeton University.

According to van Braam, this instrument was operated by three men; two pulled it forward and the third directed it along the furrow. This machine, van Braam remarked, "*J'avais déjà conçu*," because he had noticed that the quality of planting was high for the whole field.

This instrument is called "*lou-li*" in Chinese, and is known to have been in use as early as Emperor Han-wu's reign (140 – 86 B. C.). ② During the Sung dynasty, the *lou-li* was widely employed by Chinese farmers. Wang Anshih (1021 – 1086), a well-known Sung reformer in government administration and agriculture, highly praised its efficiency in his poems. ③ In a Yüan-dynasty work, *Nung-shu*, compiled in 1313, Wang Chen included a detailed description of the *lou-li*. According to Wang, this instrument was animal powered and capable of sowing thirty-five *mu* (about 5.34 acres) per day. ④ Wang also described

-
- ① *Voyage*, p. 281; E, vol. 2, p. 85. Van Braam mentioned here that two wheels were attached to the machine. When the drawing he provided is compared to information from other Chinese sources, however, the use of the term "wheels" becomes confusing.
- ② *Han-shu* (Ssu-pu pei-yao edn.), 24a, p. 13. It is worth noting that in a different edition of the *Han-shu* (Peking: Chung-hua shu-chü, 1962), 24a, p. 1139, it is called "*ou-li*."
- ③ Wang An-shih, *Lin-ch'uan hsien-sheng wen-chi* (Ssu-pu ts'ung-k'an edn.), 11, p. 4b, "Lou-chung."
- ④ Wang Chen, "Nung-ch'i t'u-p'u chi," *Nung-shu* (1313 edn., rpt.; Peking: Nung-yeh ch'u-pan-she, 1981), 2, pp. 211 – 212.

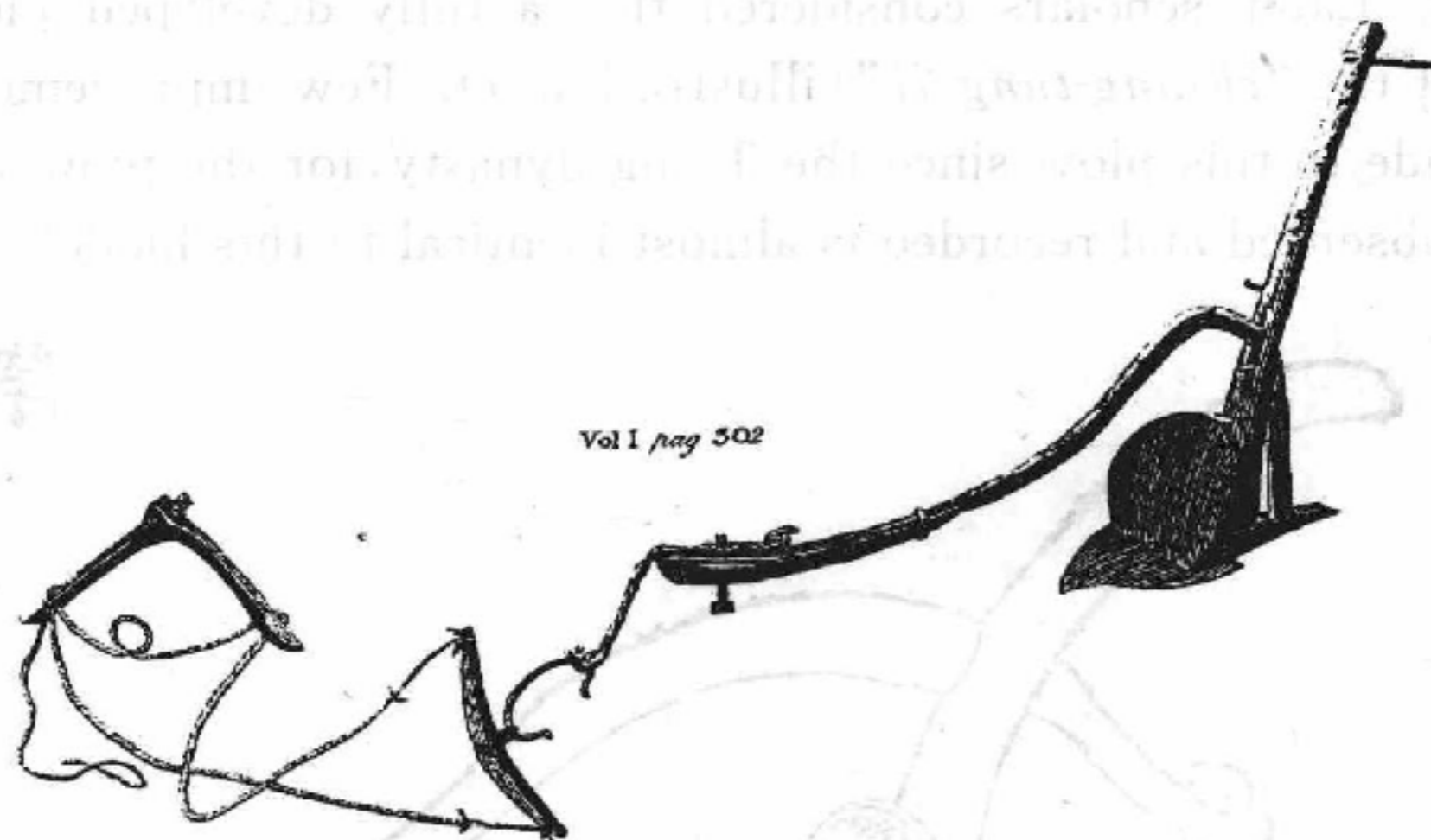
different models of the *lou-li* employed in other areas of China. The model used in Shan-tung Province and the method of its operation were accurately confirmed by van Braam's work. For instance, both authors said that the instrument was operated by three men. As to its size, van Braam reported that the machine was "about four feet high," whereas in Wang's book its height is said to have been "approximately three *ch'ih*," which is about three feet, five inches. ① The sowing machine functioned as a combination of plow and drill. Seeds were deposited in the seed box. There were channels and holes at the bottom of the box. When the machine jerked forward, the seeds were shaken down through the holes. As the distance between the holes was preset, the device would produce regular furrows without special attention from the farmer. Wang mentioned in his book that some "recent" models used two boxes, one for seeds and the other for manure pills. If the machine was operated properly, the right number of pills would drop with the seeds, no more and no less, to provide the necessary fertilizer. Van Braam was apparently amazed at this "extremely simple" machine. He said it was "*très-agréable*" to see it in operation.

Chinese Plow(La charrue chinoise)

The envoys traveled through Shan-tung Province in early spring, and "all the country we have this day travelled through consists of arable land, a great part of which having been sown in the autumn, begins already to be covered with a delightful verdure." ② Van Braam also saw farmers work with plows, which, though simple, were "sufficient to turn up the strongest ground." He was so amazed by the instrument that he admitted feeling that the Western plow was "inferior to theirs," and was "resolved to buy one the first opportunity to carry out of the country with me." So he did. The one he brought back became the model for drawings(see illustration 8), which enable today's readers to visualize this "excellent instrument for indifferent land."

① For metric equivalents of ancient Chinese measurements, see Ch'iu Lung, *Chung-kuo ku-tai tu-liang-heng t'u-chi* (Tokyo, Misuzu shobō, 1985), p. 66. Later, in the Ming dynasty, Hsü Kuang-ch'i cited Wang Chen in his *Nung-cheng ch'üan-shu* (Peking, Chung-hua shu-chü, 1956), 21, pp. 426 - 427. For further discussions of the "sowing machine" (seed-drill), see Joseph Needham, *Science and Civilisation in China* (Cambridge, Cambridge University Press, 1984), vol. 6, 2, pp. 262 ff.

② *Voyage*, pp. 302 - 303, E, vol. 2, p. 114.



8. Plow recorded by van Braam in his *Voyage*. Rare Books Collection, Firestone Library, Princeton University.

This plow is extremely simple. An iron plowshare is attached at the far end of the plow. The plow sole is also clearly visible. The shaft and the set of harness show that cattle were probably the source of power. The angle of the plowshare and the moldboard is just slightly larger than a right angle. Which is appropriate for the soft and fertile soil in Shan-tung Province.

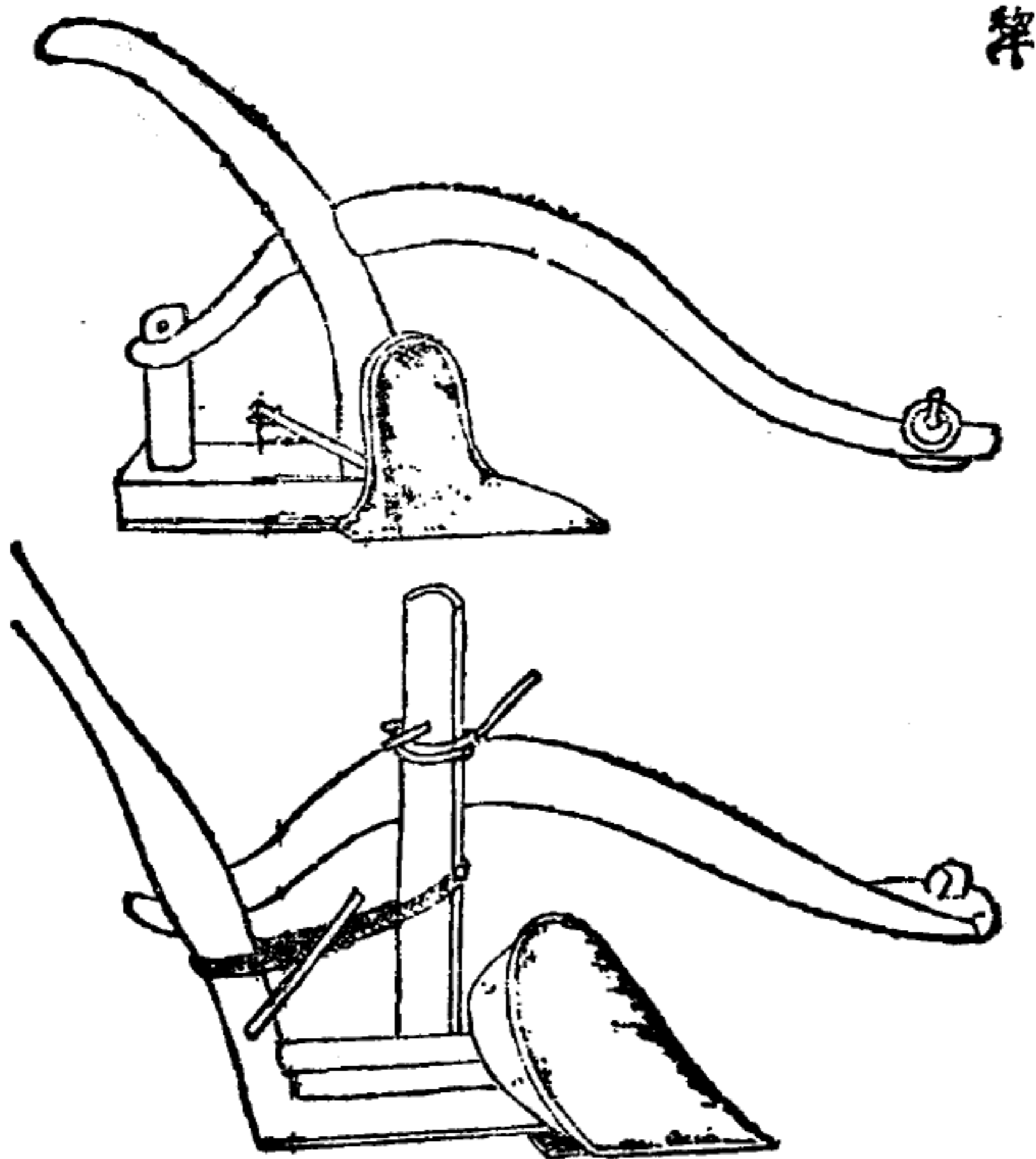
As the most important agricultural instrument, the plow is described in almost all major Ming and Ch'ing reference books,^① and illustrations of the plow tend to be essentially the same. Its use in China can be traced back to prehistoric times.^② Plows used before and during the Han dynasty were pictured in frescoes on tomb passages and engravings on earthen tiles. Iron plowshares were also employed. But the Han models did not contain such fine parts as a plow sole. A T'ang-dynasty work, *Lei-ssu ching*, records that the structure of the plow improved noticeably during the T'ang dynasty.^③ A moldboard appeared, as did a minor plowshare, making plows more efficient in forming furrows. The plow sole was separated from the handle and became an independent part, which made the plow steadier while

① Pei-ching t'u-shu-kuan ts'an-k'ao-pu, "Chung-kuo li-tai nung-chü t'u i-lan piao", *T'u-shu kuan*, no. 3 (1963), pp. 21 - 24.

② Fang Chuang-yu, "Chan-kuo i-lai chung-kuo pu-li fa-chan wen-t'i shih-t'an," *K'ao-ku*, no. 7 (1964), pp. 355 - 362.

③ Lu Kuei-meng, *Lei-ssu ching* (I-men kuang-tu edn.), pp. 2 - 3. Unlike most traditional Chinese writings, this book is not divided into *chüan*.

plowing. Later scholars considered this a fully developed plow, and named it the "*chiang-tung li*" (illustration 9). Few improvements had been made to this plow since the T'ang dynasty, for the plow that van Braam observed and recorded is almost identical to this model.



9. A reconstructed *chiang-tung li*. Adapted from *K'ao-ku*, no. 7 (1964), plate 9 - 8.

Van Braam noticed that the "husbandmen" were working with the plow, but he did not specify whether the plow was powered by man or animal. On other occasions, he did mention that the *semoir* was man powered: "This instrument is put in motion by means of two wheels. Two Chinese draw it, while a third who guides with his two hands, first sows one, and then the other furrow."^① At the two ends of the field

① *Voyage*, p. 281; E, vol. 2, p. 85. A man-powered plow was first recorded by Wang Cheng. See his "Tai-keng t'u-shuo," in *Chu-ch'i t'u-shuo* (Ssu-k'u ch'üan-shu edn., rpt.; Taipei, Shang-wu yin-shu-kuan, 1983), 3, pp. 58 - 59.

were sets of pulleys. A long rope was used to connect the sowing machine and the pulley sets. Two men operated the pulleys to provide power for the machine and made it move back and forth along the furrows over the field. This device was also described by a Ch'ing-dynasty scholar, Ch'ü Ta-chün, in his *Kuang-tung hsin-yü*.^① According to Ch'ü, the device was equivalent to two men's power. Local farmers praised the device and named it "wooden cattle."

The Tinker

Van Braam's curiosity was not limited to machines. He observed and recorded men at work as well. On his journey back to Kuang-chou, he encountered a tinker in Fang-kuan Village.^② The tinker was busy repairing frying pans, which were "cracked and full of holes." He "restored them to their primitive state, so that they became as serviceable as ever." The skill astonished van Braam. He carefully examined the tinker's equipment and found that

all the apparatus of the workman consists in a little box sixteen inches long, six inches wide, and eighteen inches in depth, divided into two parts. The upper contains three drawers, with the necessary ingredients; in the lower is a bellows, which, when a fire is wanted, is adapted to a furnace eight inches long and four inches wide. The crucibles for melting the small pieces of iron intended to serve as solder are a little larger than the bowl of a common tobacco pipe, and of the same earth of which they are made in Europe; thus the whole business of soldering is executed.^③

This description corresponds precisely to what I saw some thirty-five years ago in China, when craftsmen were still offering their services in small lanes and back streets in cities and towns. It is truly amazing that the tinkers did their job thirty-five years ago in exactly the same way that their predecessors had some two hundred years before:

The workman receives the melted matter out of the crucible upon a piece of wet paper, approaches it to one of the holes or

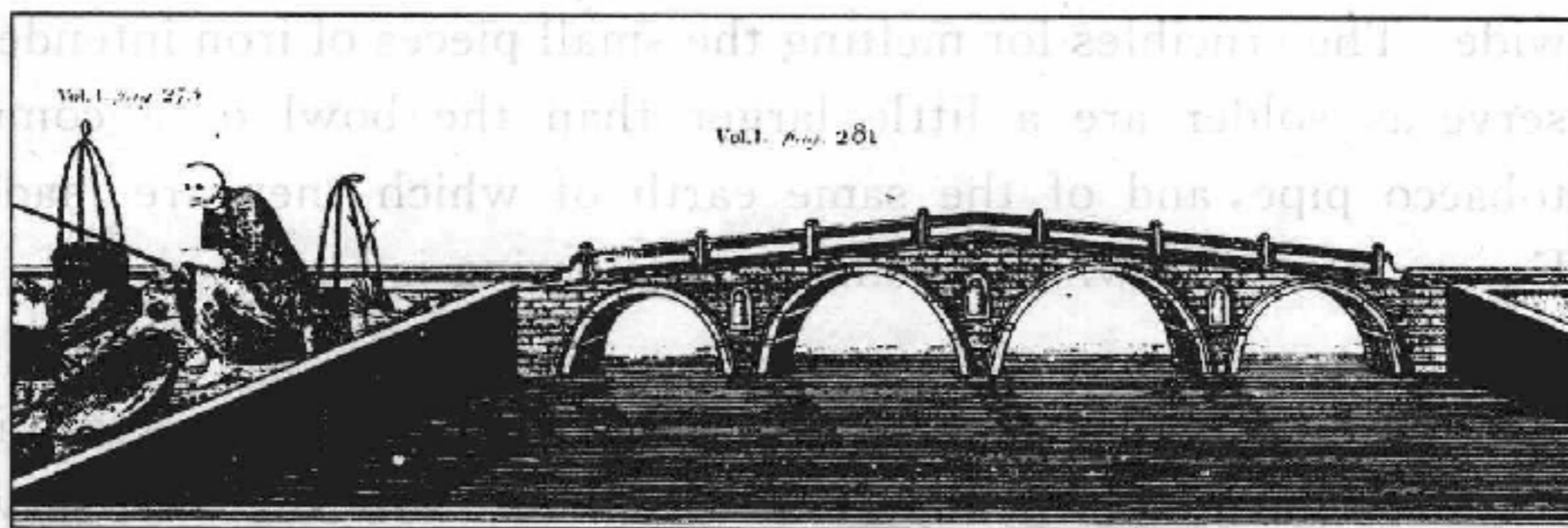
① Ch'ü Ta-chün, *Kuang-tung hsin-yü* (preface by P'an Lei, dated 1700). 16, p. 17b.

② In van Braam's diary, the village is referred to as "Fan-koun."

③ *Voyage*, p. 275; E, vol. 2, p. 78.

cracks in the frying-pan, and applies it there, while his assistant smooths it over by scraping the surface, and afterwards rubs it with a bit of wet linen. The number of crucibles which have been deemed necessary are thus successively emptied in order to stop up all the holes with the melted iron, which consolidates and incorporates itself with the broken utensil, and which becomes as good as new. ①

Van Braam thought that this process was unknown in Europe. He admired the skills of the craftsmen so much that he claimed their accomplishments “must indeed appear impossible to any one who has not been witness to the process.” To increase the credibility of his description, he added an engraving (see illustration 10). In the drawing the man has set up his business at one end of a bridge, as most craftsmen would. His shoulder pole was behind him, and he was operating the bellows, which increased the heat of his furnace. A big wok was sitting to one side waiting to be repaired. A small box to his right presumably contained the solder he was going to use. The box for the “apparatus” served as a stool for the man. His clothing, his hairstyle, the bamboo hat that he would need when it rained, and other objects in the picture all encourage the presumption that this is a drawing from life. ②



10. Tinker at work as depicted in van Braam's *Voyage*. Rare Books Collection, Firestone Library. Princeton University.

① *Voyage*, p. 275; E, vol. 2, p. 79.

② Van Braam was not the only European visitor attracted by the way a Chinese tinker worked. John Henry Gray also recorded a Chinese tinker in his book *China: Laws, History, and Customs* (London: Macmillan, 1878). A drawing of a tinker in which the furnace and the box for his apparatus are clearly shown appears in vol. 2, p. 192. Two pots and two candlesticks sitting at the top of the box were apparently what the tinker would work on or had just repaired. The box, the furnace, and the bamboo hat all confirm van Braam's descriptions of the same objects.

Discussion

The value of van Braam's diary to modern scholars is manifold. It covers a wide variety of topics, including bridges, pagodas, city walls, boats, the layout of the capital, and landscape painting, as well as different lifestyles, and the geography and agriculture in the areas the ambassadors traversed. Many of these topics have not been touched on in this paper, nor have they received enough attention in the traditional Chinese references. Van Braam's work is therefore an important supplement to these sources. The value of his diary lies first of all in his unusual qualifications. An experienced sailor who had traveled extensively over the world and a knowledgeable, open-minded, and keen observer, van Braam was able to understand quickly the objects he observed through comparisons, to pick up professionally the technical details, and to gauge and record them accurately. More important, his work makes it possible for modern scholars to conduct comparative studies of the relevant Chinese books that deal with similar topics: means of transportation, agricultural instruments, and other articles of everyday life. Many of these books also contain illustrations. ① A perusal of those books indicates, however, that most of the illustrations were not the original work of the compiler, but copies of those in the *Nung-shu*. This immediately casts doubts on their accuracy and reliability. Van Braam's independent and reliable work provides modern scholars with engravings of the highest technical standards and the rigorous principles of Western perspective. They will considerably facilitate the further study of inventions and devices in late eighteenth-century China.

Express Gratitude

Mr. Roy Goodman, librarian at the American Philosophical Society, Philadelphia, first drew my attention to van Braam's book. F. W. Mote, emeritus professor in East Asian Studies at Princeton University, gave me his notes on the journal and other materials. The Rare Books Collection of Firestone Library at Princeton provided convenient access

① For example, Wang Chen, *Nung-shu* (1313); Sung Ying-hsing, *T'ien-kung k'ai-wu* (1637); Hsü Kuang-ch'i, *Nung-cheng ch'üan-shu* (1639); Emperor K'ang-hsi, *Keng-chih t'u* (1696); Ch'en Meng-lei, *Ku-chin t'u-shu chi-ch'eng* (1726); and Eh-erh-t'ai, *Shou-shi t'ung-k'ao* (1742).

to various versions of this book, including the French-language first edition of 1797 - 1798. Professor Emeritus D. Lacey, Rutgers University, helped make the paper more readable in English. Mr. Cary Liu, Art and Architecture, Princeton University, helped with the illustrations, and Barbara Westergaard helped spare me from a possible blunder. My sincere thanks are due them all.

Glossary

an-ch'e 安车	<i>Ku-chin t'u-shu chi-ch'eng</i> 古今图书集成
chi 几	<i>Lei-ssu ching</i> 耒耜经
Chiang-hsi 江西	lou-li 耒犁
chiang-tung li 江东犁	Ming 明
Ch'ien-lung 乾隆	mu 亩
ch'ih 尺	<i>Nung-shu</i> 农书
Ch'ing 清	<i>San-kuo chih</i> 三国志
Ch'ing-hua 清华	<i>San-kuo yen-i</i> 三国演义
Ch'ü Ta-chün 屈大均	Shan-tung 山东
fan-ch'e 帆车	Sung 宋
fang-kuan 方官	Sung Ying-hsing 宋应星
Han 汉	T'ang 唐
Han-wu 汉武	<i>T'ien-kung k'ai-wu</i> 天工开物
hsien 轘	Tsingtao 青岛
K'ang-hsi 康熙	Wang An-shih 王安石
Kuang-chou 广州	Wang Chen 王贻
Kuang-tung 广东	Yüan 元
<i>Kuang-tung hsün-yü</i> 广东新语	

天象异常诠释异同

——科学史比较研究一例并议

一、历史学上的比较方法以及本文对它的运用

本文拟以两个个案为线索讨论中国古代和西洋科学革命时代前夕对异常天象的看法。先对这种比较方法作简单的方法论上的探讨。

比较方法常为史家重视,有不同时代的比较,也有不同国家或文化间的比较。这种方法的好处很明显:拘于一时一地,或只见树木,不见森林,则大的趋势不易掌握;或泥于细节,揣玩既久,习以为常,则应该注意到的细致的差别线索经眼过目百十次而熟视无睹。比较方法长于此两端。

M. Jansen^①关于日本与中国的研究,K. Yamamura^②关于英国、日

① *Changing Japanese Attitudes toward Modernization*, ed. by Marius B. Jansen, Princeton, Princeton University Press, 1971. 这是一本论文集,除去 Jansen 以书名为题的一篇长达五十六页的论文外,还有 S. N. Hay 和 H. Wisahelm 的论印度和中国的对比。

② Kozo Yamamura, "Pre-Industrial Landholding Patterns in Japan and England," 在 *Japan, a comparative view* 中, ed. by A. M. Craig, Princeton, Princeton University Press, 1979. 同书中还有 E. F. Vogel 对明治时期的日本与毛泽东时期的中国的对比研究, J. Pelzel 对中国日本的工业、工厂生活的对比研究。

本的研究,是这种方法的成功范例。在科学史的范围里,I. B. Cohen^①关于牛顿和富兰克林的研究亦属此类。G. Geison^②晚近还以此法研究了巴斯德和 E. Roux。

比较方法在自然科学里运用最为广泛,已成为少数“标准”方法之一。^③为研究某一问题,取一组尽可能相同的对象作为对比,两相比照,异同自然易见。

细考比较方法之所以成为自然科学中一种可以信赖的方法,实在有两个条件。一是用以比照的两个组应当尽可能相同。研究兔子当然以另一组兔子来作对比,研究猴子的心脏当然也用另一只猴子的心脏来对照。这一点几乎是“自明”的,即 obvious。另一个条件是用来相互比照的两组应当有相同的发展规律或模式。天文学家在研究某一遥远恒星所可能具有的行星系时采用太阳系作为对比组。这一做法中隐含了一个未经证明的前提即此两类或两组对象有共同的发展或运动模式,为共同的规律所统帅,故能由此及彼。自然科学基本原理的适用范围如此广阔,以至于很少有人会留意这一条件成立与否,所以“比较方法必须在比较双方为相同规律所辖时才能运用”这一条件,可以戏称为 Oblivious。

当比较方法被移植到历史领域里来时,上述两个先决条件常不能被满足,因此这一方法也受到严重的质疑。历史现象纷繁驳杂,“尽可能相同”的对照组一般不容易找到;而历史的发展决不如自然科学的实验,有所谓的可重复性,更遑论“相同的发展规律或模式”了。陈寅恪先生深悟此道,因作以下批评:

① I. B. Cohen, *Franklin and Newton: An inquiry into speculative Newtonian experimental science and Franklin's work in electricity as an example thereof*, Philadelphia (1956), rpr. Cambridge, Harvard University Press, 1966 & 1980 (revised).

② G. Geison, "Pasteur, Roux, and rabies: Scientific versus clinical mentalities," *J. Hist. Med.*, 1990, 45: 341-65.

③ 参见,例如,W. Beveridge, *the Art of Scientific Investigation*, N. Y., Norton, 1951, 在“观察”一章中多次提及对比的做法。

“此种比较方法,必须具有历史演变及系统异同之观念,否则古今中外人天龙鬼,无一不可取以相与比较。荷马可比屈原,孔子可比歌德,穿凿附会,怪诞百出,莫可追诘,更无所谓研究之可言矣。”^①

有鉴于此,运用比较方法当十二分小心,并在“历史演变”与“系统异同”上多做讲求,或者可以避免“怪诞百出”的情形。因此先为下文所拟讨论的两个个案作方法论上的考察。

就已有的天象记录看^②,有两个时代异常天象最为集中。一是11世纪上半叶,1006年的景德客星,30年代的彗星和流星雨,1054年的致和新星和1066年的哈雷彗星,都出现在这短短六十年里;另一个时代是16世纪末到17世纪初,1572年的第谷新星,1577年的大彗星,1604年的开普勒超新星,足以使这四十年与前述阶段前后辉煌,成为异常天象记录方面最丰富的两个历史阶段。

天象示异,灿然夜空,自然会引引起种种讶异不安,种种焦灼或好奇,因此为理解或解释这些现象的努力即大量出现。这些努力自然先建立在已有知识体系之上的,又必影响天文学的下一步发展。简言之,这些努力必在很大程度上是已有知识的结果,又是以后发展的原因。这在关于天象的知识的历史演变上的地位,当是明白的了。

11世纪上半期的中国,恰是北宋真、仁朝盛世,后来王安石称之为“百年无事”的阶段。而中国传统的对天象的研究亦已臻完善,理论实践经历了上千年的运用,亦已成熟。16、17世纪之交的西洋天文学,则正是古典天文学发展到巅峰的时期,肉眼观察和亚里士多德-托勒密理论是当时天文学的两大特色。一千多年的运用和实践也使这一知识体系成为当时学术中颇为成熟完善的一支。在这个定义上,上述两个时代差强可比。

^① “与刘叔雅论国文试题书”,《金明馆丛稿二编》,上海,上海古籍出版社,1980,223—24页。

^② D. Clark et al, *Historical supernovas*, N. Y., Elmsford, 1977, Pergamen, 给出简明但相当完全的讨论;另见陈遵伟,《中国天文学史》,上海,上海人民出版社,1980—82,对新星或可能为新星的记录也有罗列。

二、异常天象：“以其不可知，故常尊而远之；以其与人无所异也，则修吾人事而已。”^①

宋景德三年四月，司天监报告说有一颗客星出现，“状如半月……煌煌然可以鉴物。”朝鲜和阿拉伯的古代文献亦有类似记载，看起来事实没有什么大的问题。^② 既然亮到“可以鉴物”，当不是一般小的异象，而是燦然引人注目的大星，朝野议论一时纷纷然。

按当时的制度，异常天象的观察解释归司天监。春官正周克明的解释后来被正式接受。据他在《宋史》里的传说，异常出现时，他并不在汴京……^③

克明时使岭表。及还，亟请对，言“臣按《天文录》、《荆州占》，其星名曰周伯，其色黄，其光煌煌然，所见之国大昌，是德星也。臣在途中闻中外之人颇惑其事，愿许文武称庆，以安天下心。”

对这类“客星”而言，周克明的重要贡献是将它归入了“周伯”一类，而这样分类的依据主要是星的颜色和星所出现的位置。^④ 但“周伯”究竟预示“凶”或“祥”却相当任意。据星占，它可以是“瑞星”，“所见之国大昌”，也可以是“见其国兵起，若有丧，天下饥，众庶流亡去其乡”的大凶。周克明没有解释为什么这一次的周伯星一定是使所见之国大昌的德星。

当时的朝政形势似乎印证了周克明的解释——或者周克明的解释

① 欧阳修，《新五代史》，北京，中华书局，59卷，705—706页。

② 《宋史》，北京，中华书局，56卷《天文志》，1226页，《续资治通鉴长编》，台北，世界书局，86卷，15页反面。阿拉伯人的记录见 B. R. Goldstein, *Astro. J.*, 19(196)105, 薄树人等，《公元1006年超新星及遗迹》，《自然科学史文集》第一辑中，上海，上海科技出版社，1978年。

③ 《宋史》，461卷，13504页。

④ 对于这种星的占星学意义，参见《史记》27卷《天官书》，北京，中华书局版，1336页；《宋史》52卷《天文志》，1076页；《晋书》，北京，中华书局版，12卷，327—328页；以及黄鼎，《天文大成管窥辑要》，台北，考古文化，1984，52卷，8—9页。

印证了当时的形势。僧文莹稍后论及周克明的解释时,除了具体引用了克明据以为判的《荆州占》之外,还引用了《元命苞》——

此星一曰德星,不时而出。时方朝野多欢,六合平定,塞奥澶渊
凯旋,方域富足,赋敛无横,宜此星之见也。^①

所以对天象的解释,不仅要合于经典,而且要“宜”于时事,周克明的解释被皇帝采为正式解释,在于他兼顾了这两方面。文莹上面提及的澶渊之盟,是北宋历史上有重要意义的与契丹的和约,正是在这颗“客星”出现前一年多一点的时候签订的。这颗德星的出现,是上天肯定皇帝这一极为重要的决策的表示吗?

当时王钦若正汲汲然谋求入相。他力图利用天象天瑞而谋取皇帝的信任,因此力陈可以“神道设教”。但是“天瑞安可必得”?王钦若争辩说:^②

前代盖有以人力为之者,惟人主深信而崇奉之,以明示天下,则
与天瑞无异也。

于是有“天书”故事,又大议封禅。从1006年5月客星出到1008年2月“天书”降于承天门,举国若狂,争言天瑞。

但是有人不同意。讨论“天书”时,龙图阁待制孙奭^③即引用经典,加以反驳:“以臣愚所闻,‘天何言哉’!岂有书也?”帝嘿然。这一方面当然因为孙奭是两代帝师,另一方面也因为一大批大臣对于周克明的解释,

① 文莹,《玉壶清话》,知不足斋丛书,台北,艺文重印,1965年,1卷,4页。

② 陈邦瞻,《宋史记事本末》,北京,中华书局,1977,22卷,162页。

③ 这段著名的评论被多书引用。见王禹称《东都事略》,宋史资料萃编,台北,海文,1976,5页;又见《宋元学案补遗》,台北,广文,1971,2卷,5页。孙奭所引的“天何言哉”见于《论语·阳货》。

王钦若的做法不同意。

瑞星的说法一出，知杂御史王济立即委婉地劝皇帝说，“瑞星实符圣德，然唐太宗以家给人足丰年为上瑞”^①。接着参知政事张知白上书，洋洋洒洒，极论天瑞与人事的关系：^②

臣闻人君之德可以动天，至仁积于中则休气应于外，祥瑞之出，皆有所因，谅感应之攸致，非徒然尔。

接下来笔锋一转，罗列铺陈了种种，积年的困难和政府所做的努力，转而极论真宗的人治，最后总结说：

陛下诚能实兹数事，虽休勿休，则瑞星不出，臣也贺鸿祚无穷而青史有光矣。苟异于是，则瑞星虽出，臣亦不敢同众人之贺矣。

这就是他“善言古者必有证于今，善言天者必有证于人”的主旨。

在是不是崇奉天书，要不要大举封禅上，上引各人的见解态度是不一样的。但细看他们的奏折和所陈列的主张，却颇有几点完全一致。就我们所感兴趣的来看，第一，所有人都认为这颗“周伯星”的出现，与尘世有直接的联系；其次，所有的论证都引经据典：周克明引《荆州占》，文莹引《元命苞》，孙奭引孔子，王济引唐太宗，他们的差别在于他们引哪一类经典而不在于他们的诠释方式；第三，天瑞没有被放在绝对至高无上，人所不能企及的地位：对王钦若来说，可以“以人力为之”，只是人主崇奉不疑，自“与天瑞无异”；对张知白来说，天瑞究竟值不值得称赞，取决于人主的表现。若吏治法平，四海无事，“虽瑞星不出”则亦可贺鸿祚无穷。这争论双方的主要代言人的差异，不在异常天象是否外在于人而在人和

① 《续资治通鉴长编》，63卷，1页。

② 赵汝愚编，《国朝诸臣奏议》，台北，海文，1970年重印，36卷，1—4页。

天象的关系是祈天象以自保还是自强以振天象。

宋承五代,在学术思想上的一件大事就是力辟五代以上怪力乱神之说,回到宋儒认为圣人真意的正学。就在景德客星出现的那一年,张景写道:①

仲尼没,微言绝。学者殊途异轨,各骋智辩。历春秋逮战国秦汉之世,天地日月星辰多灾变而兴妖,是故学《洪范》及《春秋》者以言灾异多为能……凡灾异之起,又以时事配之,多非其义,皆失圣人之意。

稍后,廖称进一步提出,②“《洪范》皆人事之常而前古之达道也。前古人达道,皆出于圣人者也。”又说,“夫凡所谓天道,诚在于人耳。……书云:‘天之历数在汝躬’,顺道之谓也。”这些哲学议论较之五代灾祥叠兴,鬼神倏出的理论,当然更接近古圣贤之意。在宋代以回复到古圣贤为号召的新儒学兴起的背景之下,这种以人事为主导的理解-解释模式在以后的几十年里迅速发展为唯一正统的模式。

1024年,仁宗即位不久,司天监报日食不验。这照例被认为是皇帝被皇天所佑的表示,群臣称贺。宰相王曾谏,且举前朝故事:③

天道远,人道迩。且天禧中灵文降,言先帝圣寿三万日……后仍无验。则今但遵典礼,不须过当。

1037年夏以后的六个月里,司天监一共记录了十多次异常天象,包括1037年8月21日的流星雨。百十颗星奔驰夜空,其景象决不稍逊于三十年前突然出现的一颗大星。朝议再炽,但这一次几乎是一致的意

① 转引自林之奇《尚书全解》,涉闻梓旧本,丛书集成版,25卷,29页。

② 《宋文鉴》,台北,国学基本丛书,94卷,1255页。

③ 《续资治通鉴长编》,102卷,2358页。其中“天道远,人道迩”见于《春秋》庄公十八年。

见。右司谏韩琦写道：^①“臣闻动民以行不以言，应天以质不以文。先儒之谏议也。”文士苏舜钦越匭上书，^②认为“凡朝廷政教昏迷，……积阴郁不和之气，上动于天，天于是为下变异以警戒之。”张方平^③的意见是“故改政者必求于天瑞，弭灾者必推于人事”。经过三十年的争论和推演，现在的看法较之1006年景德时代又有了明显的进步。天和人与人之间，异常天象和尘世人事之间的关系不仅是无可置疑的，而且，人事的主导地位亦渐次分明：朝政坏则天象异。如果说异常天象有什么意义的话，这一意义决非是上天给人的一种神秘的预言，而是人以往行为引起的上天的反应。

既然人的行为是主要的，主导的，天象的意义就大大降低了。这正是正统宋儒的见解！

臣观自古国家皆有灾异之出，但盛德善政及于天下，人不敢怨叛，则虽有灾异而无祸变也。如其德衰政暴，兆民怨叛，故灾异之出，多成祸变也。^④

范仲淹的这段话，对于天人关系，尤其是人的主导地位，作了最清楚的说明。

1054年至和新星就是在这样的气氛下出现在天空的。自然，它不再能引起惊慌和轰动。前一年，欧阳修完成了他的《五代史记》；这一年，正是他着手写《新唐书》的时候。他系统地论述了对异常天象应有的态度：^⑤

予述本纪，书人而不书天——予何敢异于圣人哉！……三星五

① 韩琦的奏折见上引《诸臣奏议》1356页；事见《续资治通鉴长编》2841页。

② 《苏舜钦集》，北京，中华书局，1961，11卷，148—9页。

③ 张方平，《乐全集》，台北，商务印书馆，1983，11卷，1—13页。

④ 《诸臣奏议》前引版本，39卷，1435页。

⑤ 《新五代史》，59卷，705页。

辰常动而不息，不能无盈缩差忒之变，而占之有中不中，不可以为常者，有司之事也。

人在天人关系中的主导地位是如何证明的呢？为什么他有这么大的信心，批评历代学者都“惑于灾异，天文五行之说不胜其繁”呢？决定性的论据是历史。欧阳修在长年的对历史的研究中发现“天异”并不一定意味着什么。兹举数例：

予读《蜀书》……所谓王者之嘉瑞，莫不毕出其国，异哉！然致王氏之所以兴亡成败者，可以知之矣！或以为一王氏不足以当之，则视时天下之治乱，可以知之矣！^①

又，呜呼，盛衰之理，虽曰天命，当非人事哉！原庄宗之所以得天下，与其所以失之者，可以知之矣！

从历史上看是如此，从哲学分析上更发现“天人”不是以“天”为主的关系。因为如果要问天人关系，回答只能是：

天，吾不知，质诸圣人之言可也。《易》曰：“天道亏盈而益谦……”此圣人极论天人之际，最详而明者也。

其于天地鬼神，以不可知为言，其可知者，人而已。^②

就在这一年的夏天，守将作监致仕杨惟德报告“客星出，见其星上微有光彩，黄色。”根据惯例，杨惟德提出了他的占星解释，^③并“乞付史馆，容百官称贺”，当时的处理是：“送史馆。”

既然在理论上阐明了“天异”并不能主宰国家的前途和人民的福祉，

① 《新唐书》，63卷，794—5页。下面一段引文出自《新五代史》，37卷，397页。

② 《新五代史》，59卷，705—6页。

③ 《宋会要》，台北，世界书局影印版，瑞异一之二，2065页。

既然在制度上已建立了处理“天异”的模式，至和新星，——尽管其规模决不下于景德客星或者 30 年代的流星雨，并没有造成激烈的争辩，也没有成为议论的主题。研究异常天象的意义渐次消失了，到了 60 年代，即使得整个欧洲惊惶失措的大彗星出现的那个时代，司马光作为司天监的负责官员，向皇帝报告说：①

前代以来，流星……记于史籍以为灵异。……缘流星每夜有之，不可胜数，本不系国家休咎，虽令瞻望，也不能尽记，虚费人工，别无所益……

这么说，连观察都是多余的了。司马光的意见未被全部采用。但是，从那以后，异常天象的解释就一直是一种“可望而不可及”的姑妄之言，对天象的研究也始终为一种沉静庄严的理性不可知论所笼罩。学者的注意力越来越专注于“致身”和“治世”之上，对异常天象的热情也像超新星一样，绚烂百日以后又永远地消失在沉沉夜空之中了。

三、异常天象：Suspiciendo despicio, despiciendo suspicio

泰西学人对于 11 世纪异常天象的反应因史料匮乏而少见研究。所幸 16 世纪来有一段时间，异常叠现，学者议论纷纷，使我们有幸得窥其一般见解。②

1572 年 11 月 11 日晚，丹麦人弟谷从他的化学实验室回家路上偶然注意到天顶附近仙后座里多出一颗星来。这颗“新的星”令他大为惊讶，不敢相信自己的眼睛，不得不拦住路人以求证实。的确，赫赫在天，不容

① 《宋会要》，上引版本，职官十八之八十三，2795—2796 页。

② 这一段历史的原始资料为 C. Doris Hellman 所整理的，特别是关于 1577 年彗星的书目，这是她在哥伦比亚大学博士学位论文的一部分；F. R. Johnson 的 1500—1640 书目，几达 50 页，在他的 *Astronomical Thought in Renaissance England*, Baltimore, The John Hopkins Press, 1937, 中；以及 J. L. E. Dreyer 的经典著作《弟谷传》所附的九个原始资料附录。下文的叙述主要建立在上述三位学者的工作之上。

置疑。

在此以后的十八个月里,这颗星一直可见,弟谷也不断地进行观察。他记录了星的亮度和颜色的变化,而最重要的是,他反复精密地测定了这颗星与仙后座其他九颗大星的距离。测量结果表明这颗“新的星”在恒星背景上没有明显的移动。弟谷也注意到这颗星也同其他所有“真的恒星”一样有闪烁的星光。他还很肯定地指出这颗星不可能是彗星,因为在全部观察中一直没有看到彗尾,而 Peter Apian 和 Gemma Frisius 早就指出彗尾一定指向背向太阳的方向。这颗星也不可能在月界以下的大气层中,因为如果那样的话必有将近一度的视差会被观察到。^①

他在 1573 年初同 Johnnes Pratensis 讨论了这一天象,而 Pratensis 当时恰在哥本哈根大学讲授普列尼的《自然史》。据普列尼的书说,在公元前 125 年,伟大的天文学家伊巴谷也曾观察到过类似的现象。

根据同伊巴谷新星的类比,并考虑到新星恰恰出现于一个被称为 Trigonus 的星象周期的最后阶段,弟谷认为这颗星预示了灾难,就好像伊巴谷星所预示的一样。这种结合整个天象周期的讨论方式在 16 世纪末 17 世纪初很普遍,以后开普勒在讨论 1604 年超新星时亦采用过相同的方式。

与弟谷同时,欧洲还有一大批天文学家用相同或相类似的仪器和方法观察了这一颗星。在 Cassel 的 Landgrave Wilhelm IV.,^②在英国的 Thomas Digges,^③以及开普勒的老师 Michael Moestlin^④ 都讨论过这颗星的视差。他们的结果都不及弟谷的好,而弟谷还正确地指出了他们的

① Dreyer, Tycho Brahe, N. Y., Dover, 1963, 整个第三章讨论 1572 年“超新星”,附录 A 给出弟谷的原始观察情形。

② 他的工作,特别是观察情形见 P. A. Kirchvogel, *Vista in Astro.*, 9(1968)109-21, 该研究并附有研究 Wilhelm 的书目。

③ F. R. Johnson, *The Huntington Lib. Bulletin*, 5(1934) 69-117 特别讨论了 Digges 在 1577 年彗星前的工作,稍后同作者在 *Osiris* 1(1936)390-410 讨论 Digges 的工作。

④ M. Moestlin 又作 Mastlin, 系统研究见 Edward Rosen 在 *Dictionary of Scientific Biographies* 中的文章。DSB, N. Y., Scribner's Sons, 1970 -, ed. by. C. Gillispie. Mastlin 的论 1572 年新星的 文章为弟谷全文收录在 *Progymnasmata* 中。

观察误差产生的原因。

1574年9月23日起,弟谷应丹麦国王之命在哥本哈根大学作系列演讲。他首先强调了几何学的重要性,提到柏拉图的数学几何学的观念,然后回顾了天文学的发展,从伊巴谷、托勒密一直说到哥白尼。他注意到哥白尼的理论在数学上没有错漏,但从物理原则来看,哥白尼的理论与他的想法多有牴牾。

弟谷认为,天文学早在亚伯拉罕的时代就存在,并通过日月星辰的运动启示有一个主宰万物的上帝存在。天文学的一个作用就是通过天体的运动预知人的命运。他花了很大气力说明星象和占星术的意义,反驳了当时有些“哲学家”的意见。有人反驳说双生子命运或会不同,但他们的命相星宫是一样的。弟谷说,双生子诞生的时刻尽管很接近,但仍是不一样的,所以类似的反证并不能驳倒占星术和星象学。

从“弟谷新星”出现差不多恰过了五年,1577年11月13日,弟谷又观察了一颗大彗星。^①当天傍晚他正在距他的观象台不远的渔塘里抓鱼预备晚饭,注意到一颗明亮大星出现在夜空。随着暮色降临,壮丽的彗尾渐渐显现出来,从人马座直到摩羯座,长达 22° ,同以前一样,弟谷对这一异象作了连续不断的观察,直到全不可见。

和弟谷同时,欧洲一大批学者都对这颗彗星作了细致的观察,并根据观察结果讨论了这颗彗星的意义。

对弟谷来说,1572年的新星和1577年的彗星已经提出了修改,或至少是重新讨论原有的亚里士多德-托勒密体系的理由。他因此写了一本书,正文长达465页,其中第八章最为重要。在这一章里,弟谷综合了托勒密的理论,哥白尼的理论和亚里士多德物理学的原则,提出了他的宇宙模型。在这一模型中,彗星绕日运行,其轨道较金星略大。论者以为弟谷的这一模型在宇宙理论的发展上有承先启后的地位。^②

① 1577年彗星的研究见 C. Doris Hellman, *The Comet of 1577; its place in the history of astronomy*, N. Y., Columbia University, 1944, 其中第三章专门研究弟谷的工作。

② C. D. Hellman, *op. cit.*, p. 122.

与弟谷持相同或相近观念的还有 Michael Maestlin, Helisaeus Roeslin, 他们都相信彗星实在是月上的世界。另外一些学者, 如 Valentin Steinmetz 和 Conrad Dasypodius, 则更多地考虑彗星对尘世的意义, Steinmetz 引用了从公元 340 年起 29 次观察, 分析了 1577 年彗星, 认为主凶。彗星星体类似于金星或木星, 预示了暴卒, 而红色的彗尾则主战衅。在论述这颗彗星的文字的末尾, 他附上了对上帝的祈祷, 要求上帝对人类施以怜恤和仁慈。

Dasypodius 写了两本关于 1577 年彗星的书。^① 他从亚里士多德对彗星的想法谈起, 讨论了彗星的物质、形状和可能的潜力。尽管他大部分分析和见解不同于与他同时的其他天文学家, 他对于彗星的意义却同大家一样悲观。他认为这颗彗星主兵燹, 主国王之间的相互残杀, 主地震, 风灾。根据彗星出现的天区以及它的颜色, 他还进一步预言了地面上最受彗星影响的地区。

维也纳人 Johann Rasch 也研究了 1577 年的彗星。^② 他和上面引用的各位都不一样——他不是一个专业的天文学家, 而只是一个对此有兴趣的学者。结合彗星的出现, 他为四类人开列了四种研究清单: 首先是哲学家、物理学家和气象学家, 他们应该研究“彗星是如何出现的”, “彗星通常出现在一年的什么时候”之类的问题; 数学和天文学则应该研究诸如“对彗星的日常观察应当顾及哪些方面”之类的问题; 对纯粹数学家来说, 彗星与其他行星和恒星构成的图象花样, 彗星的轨道, 彗星在日出前日落后出现的情形之类则更为重要; 最后, 对占星家和星象术士而言, 则应考虑“预言是否能被视为真实或可以作为行为的依据”, “知识和技能是否为作出预言所必须”, 以及“占星家是否应该就神灵事务发表意见”等等。

① Dasypodius 关于天文学的工作由 W. Schmidt 作了研究; 刊于 *Abhandlungen zur Geschichte der Mathematik*, 8(1898), 175-94.

② Rasch 的工作以 Hellman 前引书最为重要。在她的书里, Hellman 对现在不易见到的 Rasch 的文字作了大量的征引, 见上引 Hellman 的书, pp. 272-97.

Himbertius de Billy 在讨论这颗彗星时说彗星是瘟疫、战争、饥饿、国祚更替、天灾兵凶的先兆，是上帝遍告世人的讯号。1577年11月12日夜晚五点，正是上帝在众人面前展示这种消息的时刻，因为这一天恰是圣马丁节的后一日。

专业的占星家则作出了更多的预言和解释。Francesco Libetati^①在看见彗星的当夜就写了一段文字，对彗星的占星术意义作了解释。他认为这颗彗星具有火星和木星的本质，而又出现在被他称为“苍鹰”的大星的近旁，上天第八宫，摩羯宫附近——这一切，根据托勒密的大著作第二卷六四节，预示着天主教和回教的内部分裂，异端的出现；意味着动乱和瘟疫，意味着缺水和国王、王子的坏运气。他具体地说，异端将生自一位年轻的“北国王子”，他在西方很有势力，而他出生的时候，火星正在摩羯宫。正是这里，现在出现了彗星。这些坏运气对于在土星在天秤座21到27度时出生的人特别危险。

当1577年彗星在夜空闪耀时开普勒才6岁，而在1604年新星出现时，他已是一个卓然有成的青年天文学家了。他的学问一方面源于他对柏拉图-毕达哥拉斯数学思想的追寻，一方面是对第谷所留给他的当时最精确的观测资料的缜密分析。在开普勒看来，这两方面最完美的结合就是他的宇宙模型。从水星起到土星为止，当时已知的五大行星和地球构成了一个系列，其轨道球面与八面体，二十面体，十二面体，四面体和正方体依次内接外切，所有的观察值与他的理论值误差不超过5%。在天文学史上，这是哥白尼自己论述日心体系以后的最重要的论述，而且是哥白尼理论和观察事实的最重要的比较和结合，开普勒在给 Moestlin 的信里写道：^②

我要当一个神学家。长期以来我一直孜孜不倦。现在请看看吧，我的工作展示了在天文学中我们怎样赞美上帝。

^① 前引 Hellman, 第八章。

^② Opera omnia, 8, 671-2。

的确,上帝是开普勒工作灵感的来源,追求的目的,和他在千辛万苦中把工作进行下去的精神支柱。他领悟出了“宇宙音乐”是为了能领受上帝的伟大;他的宇宙模型是为了展示上帝创造世界的智慧。至于他的工作能不能在这个世界被人理解,能不能在这个世界占一席之地,开普勒傲然宣称:①

这无关紧要。我的书可闲置一百年以待识者,就好像上帝为了一个见证可以等待六千年一样。

当1604年新星出现的时候,开普勒马上发表了一个八页的报告,描写了这一神奇的天象,并将它与第谷1577年的彗星作了比较。1606年,一本讨论这一现象的大书出版,在不少与别的占星家和天文学家大同小异的预言和讨论之中,开普勒预言了这颗星与尘世的一种可以立即看见的关系:新星对于书商说来大吉。因为许许多多的神学家、哲学家、医生、数学家和别的学者一定有很多话要说,而他们都要找书商出书,所以书商将生意兴隆。

四、讨论:作为文化史之一部的科学史

就以上两个个案的简略描述,对此其异同如下:

1. 当1572年“第谷新星”出现时,第谷关心的中心问题是这颗星与仙后座诸大星的距离有无变化。这个问题之所以重要,是因为它是千数年前建立的亚里士多德-托勒密天象理论的关键性判据:如移动,则该星在“月下界”亚氏理论仍然维持;如不移动,则该星在“月上”,作为整个星象理论基础的亚氏理论就面临严重危机,甚至或有倾覆的危险。②

① Opera omnia, 6, 290.

② 亚氏的理论最方便的介绍是 E. J. Dijksterhuis, *The Mechanization of the World Picture*, N. J., Princeton University Press, 1986, 第一部 II-E, 虽然 C. Gillispie 称之为“教科书式的叙述”(见 *Edge of Objectivity* 1990 年版序)。

中国观测者如周克明虽也报导过1006年“客星”的位置，“在氏上三度”^①，但终未以此作为他阐发他的天异解释的基础或出发点。他所关心的是星的颜色和其他一些特征，由此作出“所见之国大昌”的占星术结论。

这一表面上看来非常技术化的差异反映了两者之间的一个深刻的不同：其用以采纳、接受和理解这一新现象的理论构架是完全不一样的。对弟谷而言，是亚氏的《物理学》和托勒密的《至大论》，对周克明和别的如文莹一辈的研究者，是《荆州占》和《元命苞》。

我们当然不能期望弟谷和周克明这样相距几万里，相差几百年的研究者去参考相同的书。但注意到他们所依据概念体系，所处的文化源流完全不一样是很重要的。抽象地比较两者则势成“怪诞百出”。对于亚氏，对天象的研究最终还是集中在“模型”构造上——我们所厕身其间的宇宙、上帝为人类造出的殿堂究竟是怎样的。对于北宋真宗仁宗时代的研究者，这些问题根本不存在。他们并不是没有能力回答这些问题，也不是未能提出这些问题，而是天人关系，“捷如的影响”，天和人浑然一体的理论如此清澈易解，根本不存在再质疑的余地。

2. 在寻求解释时，有发言权，或者发言受到重视的是张知白、孙奭、欧阳修、苏舜钦、司马光。他们是文学重臣，又是儒家学流的正统继承人。他们大概没有观察过天象——他们也不必事必躬亲。因为“天道远，人道迩”^②，理解天象其实是从“人”开始。如果徒以“象”为重，自是舍本求末，而希冀内此理解天象，自然是缘木求鱼。对于弟谷和他的研究者而言，重要的是“天”。天人关系的关键在“天”不在“人”，展显在人面前的广阔无垠的宇宙中，“有多少你的哲学所不曾想到的”^③东西，而为了

① 《宋会要辑稿》瑞异一之十，世界书局印本，2069页。

② 《春秋左传》，十三经注疏本，48卷，15页反面。

③ 语出自《哈姆雷特》Act I. Sc. V, 11. 191-2, Folger Lib. 本，Louis B. Wright 主编，因莎剧与所论年代约略同时，戏以为用。但从文化史的角度来看，由哈姆雷特口中说出的这句话，多少有些“时代精神”。

了解这些东西,只有最细致最精密的观察,最深入最机智的思维才有可能。一是“修人事以察天象”,一是“执天象以求人事”,同是议论研究天象,其本末源流,竟正相反对。

3. 由“人”而“天”也罢,由“天”而“人”也罢,总是希望由此了解天之于人的态度。这一门研究常被称为占星学。在西洋古代,这是天象的正宗,而今日大行的天文学不过是“星辰命名”之学而已。^①

但是执天象以求人事,自有其不可解决的困难。天人关系说得太具体,响应说得太细致可寻,则易见其伪;说得含混两可,则益显其滥,到了一定的发展阶段,这一行研究必入此种困境。

于是对天的研究即发生转向。以儒学的“天人一体”为基础,天学即归入儒学,此所谓“天地技也,天地人儒也”。既然如此,如前所述,天学的意义就颇为有限,除了授历守时之外,作用寥寥。西洋占星术的目的,却在于寻求上帝的意向。明了上帝实在是人生头等重要的大事。既然以占星术僵硬愚钝的方法屡试不中,学者转向了对于宇宙结构的研究,以为展现在人类面前的星空就是上帝用以启迪人类,接近上帝的指示, the book of work 俨然与圣经相抗礼。由亚氏托勒密氏的模型,经阿拉伯人的发展到哥白尼,最后到本文所论时代,天文学寻到了自身存在的意义,成为神学家所热爱,所必须有所了解的一门学问。对于宇宙模型的追寻,对其运动机制的种种探究,构成了天学的新的主体和新的论题。在我们所讨论的时代结束的时候,正是这一重要转折发生的时候。1604年,伽利略已开始了他的工作。如果说开普勒的著作中还弥漫着神秘怪诞的占星气氛,伽利略行将发表的《星际使者》(1610)和现代天文学的观察著作就没有什么原则上的差别了。

^① 案英文之构词,“Astronomy”意为“星辰命名”,最早在13世纪出现于英文之中,而“Astrology”意为“关于星辰的学说或学问”,此两词皆出于希腊辞源。更细致的辞源学研究还表明 Astronomy 的后半部来自 nemein, 意为“排布”,这两个词引入英文后,有一段时间意义含混,又有一段时间意义正和其辞源以及现今意义相反。参见例如, John Ayto, *Word Origins*, New York, Arcade, 1990, p. 41.

上文分别从事件之前的理论结构、事件发生时的处理和事件之后的发展,讨论了中西异常天象认识的异同,意犹未尽,再作以下泛泛之论,自美之曰“举一隅而反三隅”,实为“乱弹”,以就正于方家。

上文分三个方面比较,自非向壁虚构。此三者之排列,意在勾勒“历史演变”。科学史之为历史也,尤重其概念、理论、方法和解释模式的推演进化,而常不在一词一句、一事实或一个观念的孤立表达。不然则剪裁古书,穿凿章句,锻炼成文,反而割断了历史演变的线索。^①

又科学与技术有深刻的不同,技术着重在征服、利用自然力,其做法和发展与所处文化的背景关系常在技术用于何处。至于其本身,如简单机械,车船房宇的构造则大同小异。科学则不同。科学是对于自然环境的理解,特重用以完成这种理解的概念体系。技术之利,立竿见影,虽童子贩夫可道,而科学的意义则非不言而喻。近世以来,科技昌明,“科学”遂为一切理想、美好、进步事物的渊源。这一观念如此强烈,以至研究者常不由自主地以为科学在文化流源之中的地位从来就是这样的。其实不然。古人在做我们今日称为“科学”的时候,并不知道其将大用于世。他们之所以孜孜然于兹,自有他当时当地的意义和动力。倘若昧于此一端,以今日之想,附会历史的发展,则历史“现代化”几不可免,不仅不能把古人说清楚,反而把今人也弄糊涂了。

如果再以本文开头时提的两条件来考察科学史的对此研究,易见 Obvious 常能满足两者同是研究自然;但同样易见 Oblivious 条件常不能满足:两方面在研究意趣、历史演变、系统异同上大不相同,无怪乎这种对比在细节上殊难进行。但若把对自然的态度和研究的历史提升到文化史的层面上来观察,中西两大文化传统的幽微精深的差异当益为彰

^① 例如有的研究者认为《墨经·经上》第 21“力刑之所以奋也”即牛顿第二定律 $f=ma$,《经下》第 16-23“几乎就是几何光学”,特别是 Snell 定理,见谭戒甫,《墨经发微》,北京:科学出版社,1958,65 页和 143—58 页。细看上下文和当时的整个时代关于自然的知识水准,似难以接受这种诠释。

显,“科学”或者人对自然的理解在各自文化体系中的发展也就顺理成章,成为与各自文化机体血肉相连的一个部分,而“中国何以无科学”之类的问题也因问题的提法不当而不再能成为问题了。

原载《大陆杂志》第八十六卷第六期 1993年6月

北宋真、仁时期学者对天象异常的反应

一、引言

本文试图研究中国士大夫、官僚和天文从业人员对 11 世纪上半期一系列异常天象的反应和接纳。

对天象、尤其是异常天象的关注和巨大兴趣，中外皆然。事实上，16 世纪后半及 17 世纪初的一系列天象异常，对于我们今天所说的“科学革命”的意义正是科学史研究的一个重要论题，而这些天象与后来科学的演进之间的关系也已大体明了。以这一思路考察中国古代的发展，即很自然地会注意到 11 世纪上半叶的情形。

和 16 世纪后半一样，11 世纪上半也以异常天象集中而引人注目。1006 年有“客星”出，“煌煌然可以鉴物”；30 年代有流星雨，百千小星，奔驰夜空；1054 年有著名的至和新星；1066 年有大彗星——后来知道就是六百多年后哈雷观察到的，并以他的名字命名的大彗星。当时中国正值北宋真、仁时代，社会升平，“海内晏然”，因此议论记录也就比较丰富，使得我们有机会了解当时人大概的想法。

所谓“当时人”，只是指学者，或更准确地说是指“读书人”。因为除去这一阶层之外，其他阶层人士纵有想法也因为史料局限而不能为我们所了解了。这种“读书人”，在位的即是官僚，不在位的或可泛称“士大

夫”。唯尚有少数在官家天文观象台供职的专业人员，因其报告间或被史籍抄录，使我们得以窥见其意见议论。

这些议论的中心在于如何理解这些“异常”，或者说在于讨论这些“异常”，究竟是什么意思？于人、于国有什么影响？理解和讨论当然不是凭空做出的，其基础，其出发点，其解释框架，其判断和逻辑，无一不深深植根于当时的文化。这种解释，这种先以为“异”而终不以为“异”，就是一个文化对于新现象的接纳和消化，文化也因之发展。这样从文化的层面上来看，格局较大，或能发人所未发。

历史研究之不同于他种研究，又常在于其注意事件随时间流逝的演变。孤立事件在历史研究中是没有意义的。事件的后续延伸部分自有其特别重要的意义。因此本文讨论约略贯穿六十年，希冀由此多少窥见事件演变的脉络也。

二、围绕景德客星的争论

1006年暮春，北宋司天人员观察到一颗“客星”^①，最早的记录似乎是4月3日，但5月6日，5月30日以及其他一些观察记录中都有详尽的描述。参较朝鲜、日本和阿拉伯的古籍，这一现象也得到验证。据《宋史》说，这颗星“状如半月，有芒角，煌煌然可以鉴物”。有的史籍更描写了其变化的情形：“……初更，见大星色黄，出库提骑官西，渐渐光明……后益润泽……”。由此看来，这颗星当时是很引人注目的。

中国古代诸王朝一直把研究天文悬为厉禁。但是，异星在天，不容置疑，再有厉禁，也不能一手尽掩人耳目，尽绝人口舌。所以中外纷纷，用《宋史》中比较委婉的说法是“颇惑其事”。这样，一个正统的解释即成为急需。值得注意的是，这样一个解释迟迟未见，似乎朝野一时有些不知所措。的确，这是一个全新的问题，宋代君臣都需要有一个调整和准

^① 《会要》瑞异一之十，世界书局影印本，2069页。

备的过程。

司天监首当其冲。当时司天监从业人员可以分为两组。一组主要管授历,另一组则司“天异”,各司其职,多不相兼混。春官正周克明是后一组中的重要人物。“天异”出现时,他恰巧不在。“及还,亟请对。言‘臣按《天文录》、《荆州占》,其星名曰周伯,其色黄,其光煌煌然,所见之国大昌,是德星也。……’”^①这一解释后来被肯定下来。

解释的依据则是星的颜色和光芒形状。从现代天文学的角度看,如果这一客星果然是一颗新星或超新星的话,其“光芒形状”当很难看出。但即使以中国传统的观星理论来看,这样的星也可以是“大凶”：“周伯,大而黄,煌煌然。见其国兵起,若有丧,天下饥,众庶流亡去其乡”。而克明所引的《荆州占》^②也说客星出氏黄白色主“木器布帛倍价”,“麻麦牛羊贵”。所以克明的解释至少不是唯一可采用的。

那么这一解释为什么又事实上被采用了呢?不到五十年后就有人指出^③,是因为当时北宋的整个形势与此一解释相合:“时方朝野多欢,六合平定,銮舆澶渊凯旋,方域富足,赋敛无横,宜此星之见也。”看来周克明是参较尘世中的事,“倒推”出“德星”或“所见之国大昌”之说的。而保证了北宋以后“百年无事”的宋辽澶渊之盟,正是这种解释的出发点和归宿。

可是也有人于澶渊之盟耿耿于怀。王钦若时知枢密院事,是主持军事的主要负责人之一。但在澶渊无尺寸之功,物议籍之。真宗皇帝在王钦若的反复劝说下,也对澶渊的胜利和价值发生了怀疑。王钦若遂进一步劝真宗以人力逼“天书”,夸示天下。所谓“天书”,就是“天”写给皇帝的信。理论上说,“天书”和瑞星一样,都是上天向皇帝传达消息,只是前者比后者更直接,而且不需要任何解释,任何人都可以读懂而已。

但天书从何而来?连真宗皇帝都困惑了。王钦若遂献计曰“可以人

① 《宋史》,461卷,中华书局本,13504页。

② 黄鼎,《天文大成管窥辑要》,25卷,15页反面到16页注录。

③ 文莹,《玉壶清话》,1卷,丛书集成本,4页反面。

力为之”。只要人力顺应形势造一份出来，而“人主崇信不疑”，即能“与天瑞无异”。真宗尚自游移，复按于王旦，旦曰“神道设教”，没什么不可以，计遂定。大中祥符元年正月，天书降，举国若狂。

天书和景德客星的关系未见于史册。但以其内容、时间、形式来看，多少有些相通。其基本倾向是一致的，并得到皇帝本人的赞同。

即便如此，与这一提法相反对的意见也有所闻，而且愈变愈强。先是，星异初起，人人争颂圣德之时，“知杂御史王济乘间言于上曰：瑞星实符圣德。然唐太宗以家给人足，丰年为上瑞……”^①。

接着一个在外地主管税收的官吏张知白也上书皇帝，对“瑞星”的解释提出煞风景的意见^②。他列举了他认为急需办理的若干政务后说：“陛下诚能实兹数事，虽休勿休，则瑞星不出，臣也贺鸿祚无穷而青史有光矣。苟异于是，则瑞星虽出，臣也不敢同众人之贺矣。”照他看来，瑞星实在不是那么重要，因为“善言古者必有证于今，善言天者必有证于人”，真正的落脚点当然是“今”，是“人”。

在皇帝的文学侍臣里，反对意见似乎更为尖锐，并且直指天书。首先是两代帝师孙奭^③，直言拜上：“臣愚所闻，‘天何言哉’，岂有书也？”可谓一语道破天机。图龙阁学士戚纶^④，借斥责“流俗之人”，直指天书是“托国朝之嘉瑞，寝生幻惑之狂图，或诈托于神灵，或伪形于木石……以人鬼之妖词，乱天书之真旨。”真可以叫做“以天书骂天书”了。

真宗皇帝倒也有雅量，对王济、孙奭、张知白、戚纶等人的言论，均称“嘉纳之”，但同时为天书嘉瑞也供奉如仪。直到他去世，天书才一同埋入皇陵。公开的解释是，天书应为真宗皇帝所专有。但有宋朝真宗以下十二个皇帝，没有一个人再收到过天书了。

① 《续资治通鉴长编》63卷，世界书局影印本，1页。

② 张知白，《上真宗论周伯星见》，见赵汝愚《国朝名臣奏议》36卷，宋史资料萃编本，1页反面至4页。

③ 王称，《东都事略》第5页正面。

④ 见赵汝愚《国朝名臣奏议》36卷，宋史资料萃编本，4页正面至第5页。

三、“应天以实不以文”：应在人事上下功夫

综观全局，真宗一朝崇信天瑞，实在有五代遗风。从我们现在的角度考察，荒诞迷离至于可笑。但在当时，事情未必如斯明白易见。谶纬五行已行数百年，其影响至深。但另外一方面，谶纬之说也有本质上的困难：影响说得太清楚具体，则常不能应验，人即见其伪；说得过于含混一般，则人不知其所云，则见其滥。真宗朝时，学者已有留意这一问题。

就在景德客星出现的同一年，张景写道：^①“仲尼没，微言绝。学者殊涂异轨，各骋智辩。历春秋逮战国秦汉之世，天地日月星辰多灾变而兴妖，是故学洪范及春秋者以言灾异多为能……凡灾异之起，又以时事配之，多非其义，皆失圣人之意。”宋代初年的“洪范学”，最后引出的结论，不在天，不在神怪瑞异，而“皆人事之常”也，“皆出乎圣人者也”。这是力图用人世人事来解释，用常识常理来判断，而不妄自揣测，作无稽谈。

仁宗亲政第二年，“司天监言含誉星见东北方，其色黄白，上有光芒长二尺”。但这颗星没有像三十年前那样引起轰动。当时的普遍反应似乎是“观者皆以谓彗云”。^②

1037年初夏，仁宗得皇子，旋夭。十几天后，又有芝生于殿柱。上自制诗，儒臣并为赋颂以献。但韩琦谏，以为当特重灾异，因为“一政教之间，思所未至者，随其变而应之”。他希望仁宗“日谨一日，……则昊穹降鉴，答陛下寅畏之心，……永获上瑞之报也。”

在当时人看来，“芝”是天瑞，与客星无异，故综而述之。从仁宗朝最初的几件事看，葬天书，论含誉星，柱见灵芝，官僚士大夫对于天瑞的态度还不太明朗，可是皇帝的态度已从“崇信不疑”变得比较开放，这为日后论争提供了比较好的条件。

论争的机会随即到来。1037年秋七月戊申，“有星数百皆西南流，其

^① 张景原书已佚，今见于林之奇《尚书全解》25卷，29页引。

^② 《续资治通鉴长编》112卷，中华书局本，2605页。

最大者一星至东壁没，光烛地，久之不散，已而黑气长丈余，出毕宿下”^①。以后陆续还有小“异”，十月初，仁宗命开寺观为人祈福，宋祁言“此非所以应天也”。这个宋祁，就是写“红杏枝头春意闹”的名尚书。

十一月，忻、代、并三州地震。在当时人看来，1037年实在是个坏年头。星流地震，天地不宁。为什么呢？朝臣一系列的讨论均被史官记录下来，使我们可以看见他们的意见。

首先是右司谏韩琦^②：“臣闻动民以行不以言，应天以实不以文，先儒之大议也。”天变是怎么产生的呢？对韩琦说来，是因为人事：“盖人事之已形，致天变之嗣发，其犹影响，谅非徒然。”他认为是政事仍有疏忽，导致了天变的产生。十几天后，再上书，以言未尽也。他再举历史上帝王祈禳之法，重申“应天以实不以文”，反对仁宗在大庆殿开道场祈天。

仁宗当即的反应是修正了对以言事得罪贬出的范、余诸人的处分。接着直史馆叶清臣上书，认为变异是皇上的责任：“一岁之中，灾变仍见，必有下失民望，上戾天意”之事。接着，大理评事、监在京店宅务苏舜钦上书，提出他对灾异天变的解释：“天人之应，古今之鉴，大可恐惧。凡朝廷政教昏迷，下受其弊，……积阴郁不和之气，上动于天，天于是为下变异以警戒之。”再后，张方平上书，重复了朝臣全体一再重申的意见：“臣闻上天无言，示人以象。人君省躬应天以实。是故考政者必求于天端，弭灾者必推于人事，天人之际，其应甚明。”^③

这些朝臣的反复争谏，以及仁宗自幼从正统儒家学者那儿所受的教育，对于仁宗的想法的影响清晰可见。1038年夏，司天监算出后年（1040）正月朔日日食，请移闰。仁宗答曰：“闰所以正天时而授民事，其可曲避乎！”不许。^④

① 《续资治通鉴长编》120卷，中华书局本，2834页。

② 《续资治通鉴长编》，2841页，与《诸臣奏议》1356页同载。文辞少差而主旨全无，今从后一资料引文。

③ 《苏舜钦集》11卷，148—149页；张方平：《乐全集》11卷，1—13页。

④ 《续资治通鉴长编》，2874页。

四、哲学和历史学的结论：“其可知者，人而已。”

1037至1038年间的讨论，虽然参加者都是朝臣命官，但因为“党争”，当时的思想界领袖人物并没有发言的机会：范仲淹在饶州，欧阳修在夷陵，山川阻隔。意见的倾向主旨甚明白：天人相应，皇帝应修人事以应天。但是对于那些对中国传统正学研究更深、素养更厚的学者说来，还要前进一步。1034年石介写的《怪说》，^①实在是这一派意见的最先表现：“夫人君见日蚀，一星缩，……则能知其为天地之怪也，乃避寝，减膳，徹乐，恐惧责己，修德以禳除焉。彼其灭君臣之道，绝父子之亲，弃道德，悖礼乐，则反不知其怪，既不能禳除之，又崇奉焉。……愈可怪也。”这是说天变还不是主要的，主要的是人道不修；君臣父子，道德礼乐，这才是正题。现在人们抛弃了正题去谈日蚀星缩，这才是真正可怪的事。

不久，范仲淹回朝廷。他几乎马上提出了他对天异的见解^②：“臣观自古国家皆有灾异，但盛德善政及于天下，人不敢怨叛，则虽有灾异而无祸变也。”他的说法和石介是一脉相承的。灾异朝朝都有，实在没有什么了不起。为什么有时有祸有时无祸呢？是因为“盛德善政”使得人“不敢怨叛”。灾异和人事之间孰重孰轻渐次分明了。

他们的这种说法，于中国传统确有根据。“天道远，人道迩”，是为《春秋》里就有的教条。^③石介后来引述春秋史记，得出结论说：“天道至远，不可得而知。后世孰推步之术，案交会之度而求之，亦已难矣。”天道高远，杳不可求；人道近切，切实可行。舍可行而求诸不可求，不亦惑耶！这种论证明白易见，说服力自然很强。

1053年，欧阳修写完了他的《五代史记》。他之不满于薛史而更作之，是因为他有议论要发。他认为历史是最有说服力的。全书主旨，据作者所说，“予述本纪，书人而不书天，予何敢异于圣人哉！其文虽异，其

① 石介，《徂徕石先生文集》5卷，中华书局本，60页。

② 《范文正公集》，政府奏议1卷，四部丛刊本，197页。

③ 《春秋·庄公十八年》。

意一也。”那天变瑞异应该怎么看呢？作者回答说：“至于三辰五星常动而不息，不能无盈缩差忒之变，而占之有中有不中，不可以为常者，有司之事也。”换言之，这些具体问题，应该交给相关专业人员去研究，不能以常情去揣符。

他在叙述历史中，不时稽核于天象，发现两者并无可见的关联。兹举数例以明其统。先谓王氏：“予读《蜀书》，……所谓王者之嘉瑞，莫不毕出其国，异哉！然考王氏之所以兴亡成败者，可以知之矣。或以为一王氏不足以当之，则视时天下治乱，可以知之矣。”再说庄宗：“呜呼，盛衰之理，虽曰天命，岂非人事哉！原庄宗所以得天下，与其所以失之者，可以知之矣。”^①

以历史，以天下治乱，以综观全局的规模来考察问题，所得出的结论是“虽曰天命，岂非人事”。这个结论较之前引韩琦、宋祁又进了一步。“人事”“天命”不再像先前那样被平行地强调，历史教训不再像先前那样只作为一些例子被援引。对欧阳修或11世纪中叶占主流地位的士大夫说来，“人事”先于“天命”，是对整个历史的有系统的研究所揭示出来的，又是对古代哲学家“本意”的追寻中体会出来的。

然则摒天地鬼神之说，毁天人响应之论欤？欧阳修认为这也不合于圣人之道。^②他考察了“自尧、舜、三代以来”的历史，认为“绝天于人则天道废，以天参人则人事惑”，两者不可偏废。“然则天果与人乎？果不与乎？曰：天，吾不知，质诸圣人之言可也。……圣人……于天地鬼神，以不可知为言；其可知者，人而已。……天地鬼神，不可知其心，则因其著于物者以测之。……其果与于人乎？不与于人乎？则所不知也。以其不可知，故常遵而远之；以其与人无所异也，则修吾人事而已。”

他在另一处以几乎相同的文字总结了这一看法：“以人之情而推天

^① 《新五代史》59卷，中华书局本，705页；《新唐书》63卷，中华书局本，794—795页；另见《新五代史》37卷，397页。

^② 《新五代史》59卷，705—706页。

地鬼神之迹，无以异也。然则修吾人事而已。人事修则与天地鬼神合矣。”^①

五、一种庄严沉静的理性不可知论

第二年，1054年，在这样的气氛中，司天监报告说客星出，“其星上有微光彩，黄色。……主国有大贤，乞付史馆，容百官称贺”。这就是著名的至和新星，近代以前唯一记录完整，没有异议的新星。但这颗星所引起的情，远不如景德年间。史书上的记载是：“诏：‘送史馆’。”^②以后几年星异时有所闻，但在处理上则循常例，不外乎要求皇帝反躬自问，用人施政是否或有厥失。

1061年司天监报日食不验。日食在历史上记录很多，一般的对应措施也已常规化。如果不验，或是日是时为阴雨所遮，常被认为是皇帝圣明所致，因此百官应聚殿前称贺圣德，习以为常。不料1061年司马光首先发难，对这一施行几百年的常例提出疑问。他的意见是“臣愚以为日之所照，周编华夷；云云所蔽，至为近狭。今若太阳实亏，而有浮云翳塞，虽京师不见，四方必有见者。此乃天戒至深，不可不察。”^③

他的意见有几层意思。云只能蔽一地，随着交通发达，人员流通便利，即渐渐成为常识。第二，云和太阳，虽都在“天”的范畴，在司马光眼里已不是等量齐观，可以相提并论的事了。第三，这是表明“天戒至深”。这句话什么意思，在以后讨论司马光论流星时再看。

6月20日，日食如验。至四分食，乌云骤生，雷电大雨。朝臣仍有上书议论，意见也未见得全然一致。但仁宗决定不举行庆典。

1066年4月5日，大彗星见。这颗在整个欧洲掀起恐慌的大星，在中国史书上也有丰富的记录。显而易见，中国的天象观察者也深深为之震动。4月24日一则记录说彗尾长“十五尺”，横贯夜空。彗星出现的第

① 《欧阳文忠公文集》76卷，四部丛刊本，571页。

② 《会要》瑞异一之二，2065页。

③ 《司马光奏议》3卷，山西人民出版社本，25页。事见《续资治通鉴长编》193卷，4672页。

二十三天，彗尾延伸，占据了十四个“宿”。最后，《宋史》还说有“白气”万丈，由地平直冲星汉。

现象不可谓不惊人。但朝廷，士大夫的反应却是平静沉着的。彗星出现的第三天，司马光有一篇很长的奏折送达御览，但没有讨论这颗人人都能看见，人人都应该感到震惊的大星。4月29日，皇室婚姻照常进行。十二天以后，皇帝发表一篇长长的圣谕，讨论他父亲的封号。这本来是引用天瑞的最好题材。引人注目的是，他没有利用这颗就在头顶闪耀的大星。^①

颇经过了一段时间，谈论这一星异的奏折才出现在历史记录上。而这些奏折，也只是重复十几年前即1054年的常例：皇帝应当日谨一日，虽休勿休，上答天意。对“星异”的反应已经制度化了。有人以“忧”告宰相、魏国公韩琦，琦曰：“借使复有一星出，欲何为乎？”时琦在政府已近十载，这种态度对时人当然是领一时之风气的。

三年后，提举司天监，即国家对于天象观察的最高负责人司马光上书^②，论司天监事：“前代以来，流星或大如杯斗，或有光烛地，或有声如雷，动人耳目者，方记于史籍，以为灾异。……缘流星每夜有之，不可胜数，本不系国家休咎，虽令瞻望，亦不能尽记，虚费人工，别无所益。……”这样，星异不仅不应当引起恐慌，简直连观察都不必了。

几年后，司马光的政敌王安石宣称：“天变不足畏。”看来，这一见解已成为诸派共识了。一种对天变的庄严沉静的理性不可知论出现了。

六、作为文化史之一部的科学史

至于11世纪中叶，一种对“天异”的态度渐渐可以从史籍中体察出来。这种态度迥异于1世纪前的五代，也与半个世纪前景德年间大不相同。在此后若干个世纪里，不敢说这种态度为仅见，至少可以说是定下

^① 《续长编》207—208卷。下引韩琦语在208卷，5053页。

^② 《会要》职官十八之八十三，2795—2796页。

了基调，以后的发展变化似都出此不远。

这就是对“天异”的一种安详沉静的不可知态度。司马光的总结或者可以看成是一个完全的表述：“天道精微，非圣人莫能知。今学者未通人理之万一而遽从事于天，……夫天道窅冥恍惚，若有若亡，虽有端兆示人，而不可尽知也，是以圣人之教，治人而不治天，知人而不知天。”^①

这种态度在我们的文化传统中很容易找到依据。一个务农务实的文化，当然重视我们所能做，所能及的事。舍其所能及而求诸不能及，岂非缘木求鱼本末倒置欤？

这就表示了宋代士大夫对自己的社会的信心。苟能做到君君臣臣父父子子，岂虑治世之不至？

这种信心不是凭空悬想，而是读圣人之书，特别是长期的、有系统的历史研究的结果。何以治何以乱，昭然史册；而天意端兆，“若有若亡”，对于有志于致身治世的读书人来说，孰先孰后，孰重孰轻，岂待细辩乎？

从“异”到不以为异，是一个对异常天象的接纳和消化的过程。这个过程并非一直是单调地向一个方向演进，也非一蹴而就地完成。上文截取其中一段，希望是有代表性的一段，加以考察。可以看出，所谓的接纳和消化首先是在已有的文化背景中展开的，最终也必须回到这个文化框架中去。因此，这种背景和框架即对上文所说的接纳和消化起着引导和制约的作用。科学，或者说对于自然界的理解，因而在各个文化中有不同的历史遭遇，即是很可以理解的了。

原载《学术月刊》1974年第3期

^① 《司马文忠公传家集》67卷，台北商务印书馆本，833页。

论哥白尼革命及库恩对哥白尼的研究

库恩(Kuhn)常说他关于科学史和科学哲学的研究起于50年代初他在哈佛担任的,为非自然科学专业的学生开设的一门介绍科学发展的课。这门课的一个主题就是哥白尼关于太阳系的工作。在《哥白尼革命》和《科学革命的结构》两书的前言里,库恩都特别提到了这一教学经验^①。我们还会陆续看到,关于哥白尼工作的研究的确构成了库恩日后发展起来的科学哲学的历史依据。于是,熟悉、研究哥白尼革命以及相关史料,对于了解和评价库恩的工作自然是十分必要的了。

对哥白尼的研究一向是科学史的一个中心论题。早在科学史成为一门独立的学科之前,关于哥白尼的生平和著作就有了相当的研究。1879年,哥白尼的《天体运行论》德文全译本出版,使得近现代不熟悉拉丁文的研究者得以方便地阅读这一著作;稍后,1883—84年间,L. Prowe的《哥白尼传》^②出版。这一传记至今仍是哥白尼的标准传记。世纪初,P. Duhem的《世界体系》(1913—17),G. Sarton的《科学史导论》

① *The Copernican Revolution*, Cambridge, Harvard Univ. Press, 1957, p. ix; *The Structure*, Chicago, Chicago Univ. Press, 1962, p. ix, 又见程译本 35 页,李译本 iii 页。

② L. Prowe, *Nicolaus Copernicus*, Berlin, 1883—84. 1967 年由 Osnabrück 重印。N. Swerdlow 称之为“辉煌的学术成就”,见氏著 *Mathematical Astronomy in Copernicus's De Revolutionibus*, pt. I, p. 3.

(1927—)，T. L. Heath 的《Aristarchus 传》(1913)和 J. L. E. Dreyer 的《从 Thales 到 Kepler 的行星理论史》(1906)又为哥白尼研究提供了大量的背景材料。稍后，Edward Rosen^①又把最重要的相关原始史料译成英文(1939)；与此差不多同时，A. Armitage 的《哥白尼传》(1938)也为英语世界提供了第一部比较完整的学术性传记。至此，关于“哥白尼革命”的重要史料工作均已完成。从库恩所列的，他所据以进行研究的参考文献来看，上述工作构成了他的史料基础^②。

史料一旦丰富，对史料的分析即相应展开。在库恩以此为题进行教学和写作的时候，这种分析工作正达到热烈的高潮。1948年，A. O. Lovejoy 发表了《伟大的存在之链》，库恩后来称之为他得以“塑造”他的想法的最主要的源泉。1949年，H. Butterfield 的《现代科学的起源》正式明确了被习惯上称为“现代科学”的东西，其起源应当在哥白尼及其时代。1952年中，三部本论题中最具影响力的著作相继刊出，即 A. C. Crombie 的《从奥古斯丁到伽利略》，G. Sarton 的《科学史古代史部分》和 O. Neugebauer 的《古代精密科学史》。以上这五本书，都出自专家之手，以后都被列为科学史经典著作。它们集中在短短的三四年中出现，或可视为对哥白尼革命的“解释性研究”进入了高潮。同年，哥白尼《天体运行论》的第一个英文全译本出版；1954年，A. R. Hall《1500—1800年的科学革命》正式喊出了“革命”的口号。这时，距库恩的《哥白尼革命》发表只有三年了。

细看这几部书，很容易注意到它们的写作方式或研究方式颇相类似：“夹议夹叙，以叙为主”。和以前的大部分作者不一样，这几位作者在描述历史发展，介绍历史事实时，都有一个解释性的框架。它们都力图

① E. Rosen, *Three Copernican Treaties*, New York, Dover, 1939, rpr. 1959. E. Rosen 是英语世界研究哥白尼的先驱之一。在他的书里，附有 1938—1958 和 1959—1970(仅见于 1971 年修订版)“哥白尼书目”，是了解研究哥白尼状况的最方便的目录学工作。他自己写过或编辑过七部专著，120 多篇论文，均列在 *Studia Copernicana*, XVI, Wroclaw, The Polish Academy of Science Press, 1978, pp. 9-25.

② 参见“Bibliographical Notes,” *The Copernican Revolution*, pp. 283-85.

把科学发展放在从文艺复兴起的西方思想大变革、大解放的背景上讨论,又都重视科学发展的内在的、自身的承继关系。同时,它们都力图说明16到17世纪科学领域中发生的剧烈变革;而哥白尼的工作,正是这种剧烈变革的开始。这就使得对哥白尼的研究,重新成了科学史研究的一个焦点。

本章先对哥白尼的工作以及相关史料作一简单介绍,为阅读库恩的《哥白尼革命》张目。其次介绍库恩的书。以上凡三节,于内容则不厌其详。因为唯有对历史有充分的了解,才可能充分理解库恩对这一段历史的分析和反思。完成对本题的陈述之后,加赘介绍晚近科学史家在哥白尼革命研究上的进展——这些知识为下两章的分析所要求;最后以一段小结性的文字为本章终结。

一、哥白尼以前的宇宙图景

对天象的研究是最古老的一门学问。其意义,或者说支持其久盛不衰的原因,大概有两个方面。一是务实方面的,希冀通过观察天象来安排节令,计划农事,以后发展为授时制历。另一是务虚方面的,希冀通过观察,了解过去未来,追寻休咎的原因,以后发展为占星术。无论这两方面的哪一边,都希望尽可能地了解天象的规律——如果真有规律的话。行星的周期性的运动,当然最早被注意到,种种关于行星运动的理论也就相应地产生出来。

这种理论所最终追求的目的,是一套完整的图景,这图景一方面应该可以用来说明、预测天象,一方面必须符合一些基本的原则。这些原则在不同的时代当然各有不同。可是从远古到哥白尼以前,基本上是一套被后人称为亚里士多德原理的约束条件。其中最主要的,是天体必须作圆周运动,而且其速度必须是定常的^①。

^① 本段以及下面关于三项技术的叙述参见 E. J. Dijksterhuis, *The Mechanization of the World Picture*, New Jersey, Princeton University Press, 1986(1961年英译初版), I, C, a, pp. 54-60, 有刘珊珊等中译,北京,求实出版社,1985。

初看起来,这是很幼稚、很武断的前提。为什么天体运动必须是这么简单的呢?难道人的智慧,即使是在古代,仅限于此吗?其实,这一前提正是深思熟虑的结果。按亚里士多德的物理学,运动可以分为“向上”的和“向下”的——这两种运动可以概括我们日常生活中所看见的大部分运动,其特点之一是这种运动总有终结。但天体的运动最明显的特点恰恰是它们永远没有终结,它们是永恒的。什么运动是永恒的呢?只有圆周运动。因为在圆周运动中,没有起点,也没有终点;无所谓上,也无所谓下。每个运动既可视作前进,又可视作后退。而且,在圆周的每一点上,运动的情形与别的点上完全相同,无所谓原因,无所谓结果,因而情形永不改变。恒定速度的圆周运动,正是天体运动之永恒、之无原因的最好说明。

可是这样建造出来的图景,还必须与实际观察到的天象运动相合。“现象”从古到今都是理论的出发点,又是理论的归宿。所以天文学家必须灵巧地在“现象”和“原则”之间周旋。两边都照顾到的,就是好的天文学家,只顾一头的,就不为大家接受。

托勒密是公元2世纪人^①,他对从亚里士多德以来天文学家所做的种种尝试,加上他自己的补充、修正,作了一个总结。在他的时代,行星的运动已经有了很细致的观察。当时已经了解到,在不同的季节、不同的时期,行星相对于恒星背景的运动是很复杂的:有时快,有时慢;有时从东向西,有时从西向东,——这叫“逆行”。为了同时满足亚里士多德在四百多年前订出的原则和行星每天晚上在夜空中展示出来的现象,托勒密采用了三项技术,即偏心圆、本轮-均轮系统和等位点。

偏心圆假定行星运动的中心与地球并不相合,因此行星有时距地球较近,有时较远。对于在地球上的观察者说来,行星在近处运行较快,在远处较慢,就好像我们觉得在我们面前呼啸而过的马队比远处奔驰的马队快得多一样。这就解释了为什么行星运行在我们看来有时快有时慢,虽然行星始终以恒定不变的速度绕地球运行。这一技术应用于分析太

^① 托勒密传见 G. J. Toomer 的 DSB 本传,在 DSB 11 卷, pp. 186 - 206.

阳的运动时特别成功——留意在托勒密体系中太阳是一颗行星，而地球才是占据中心地位的特殊球体。

本轮-均轮系统更复杂一些。行星在一个小圆上逆时针匀速运行；而这个圆即本轮的中心又在一个大圆即均轮上逆时针匀速运行。地球在均轮的中心。对于地球上的观察者来说，行星的运动就是上述两重逆时针匀速运动的合成。适当地选取本轮和均轮的速度，可以构造出非常复杂的运动模式。如果本轮的速度比较快，当行星行至某点的时候，地球上的观察者会看见它是在做顺时针运动，尽管“事实上”行星及其均轮都是在做逆时针匀速运动。这就解释了“逆行”。

但是利用这两项技术还不足以做出和行星运动的观察数据相合的星表，所以真正普遍采用的还是上述两项技术的联合使用，即等位点技术。除了我们已经熟悉的偏心圆和本轮-均轮系统之外，又多了一个点，叫做等位点 Equant。由偏心圆技术我们知道地球不在均轮的圆心，而偏向一边。等位点则正是偏心圆中与地球对称的但偏向相反方向的一点。而对于本轮-均轮系统中相对中心点而言的匀速要求也相应地变作相对于等位点的要求。换言之，等位点取代了地球的偏心位置，又取代了均轮圆心作为匀速的参照点位置。

利用这三项技术，托勒密保住了亚里士多德的原则，做出了行星运动的星表，这个星表可以用来推算行星在恒星背景上的位置，准确度令人满意。他把这些写入了他的《天文学大全》，这部书的阿拉伯文本在哥白尼之前三百年又被译成了拉丁文，并得到了一个半阿拉伯半拉丁的名字，叫 Almagest，中译《至大论》^①。

托勒密利用这三项技术构造了一套完整的理论，包括基本原则、概

① “至大论”一名从李珣译《科学史》（北京，商务印书馆，1979，93页），这本书书名也有译作《天文学大全》的，这是因为托勒密的希腊文原著用“大全”为名，而《至大论》则是其阿拉伯文译本的名字。因为最后通行的拉丁文本最初是由阿拉伯文本译出的，所以书名从后者。该书有 R. C. Taliaferro 英译，在 C. G. Wallis 主编的 *Great Books of the Western World*, Chicago, 1952, 第 16 卷中。

念、术语和计算方法。他还列出了对于一些星体运动的计算实例,有时称为“表”。这种表给出具体的行星位置和出现时刻,可以通过观察来验证。令人钦佩的是,托勒密的结论常常被细心的观察者证实。如果不太准确,还可以通过灵巧地应用上述三项技术,重新调整理论所构造的图景,最终获得理论预期与观察的一致。

亚里士多德-托勒密对于天体运动的解释,实在是人类理智理解自然的一大成功。其前提直观明晰,其技术包容性和适应性很强,其结果与观察常常吻合,即使有误差也还是在可以理解的范围之内。这就使得它成为在科学史上维持最久,最令人赞叹的理论之一。从它出现到哥白尼的工作,整整一千多年,几乎没有遇到任何困难的挑战。——即使是哥白尼,我们马上就会看到,也没有抛弃托勒密的原则和主要技术手段。哥白尼所做的,还是“重新调整理论所构造的图景”,使之更加优美而已。

二、哥白尼及其工作简述

哥白尼出生于 1473 年 2 月 19 日。父亲经商,家道殷实^①。他的名字原来写作 Koppernigk,现在的写法 Copernicus 是他上大学后按当时的习惯改的拉丁化名字。哥白尼长大的地方叫 Ermland,是一处夹在波兰和条顿骑士团势力范围之间的半独立的领土。哥白尼的舅父 Lucas Waczenrode 在当地很有势力,后来升到 Ermland 的主教。哥白尼父亲早逝,十岁以后全由舅父抚养。舅父生性刚强自信,哥白尼以后的生活道路完全出于舅父的安排。1491 年哥白尼十八岁,舅父把他和他哥哥 Andreas 送去科拉科夫(Krakow)大学。Krakow 是当时波兰的首都,波

① 哥白尼的学术性传记数量有限且仅见于德文,其中最享盛誉的是 L. Prowe 在 110 年前写的: *Nicolaus Copernicus*, Berlin, 1883—1984, 1967 年由 Osnabrück 重印,两卷三册。M. Biskup 1973 年编纂传记资料荟萃, *Regesta Coperniana*, 在 *Studia Copernicana* 第 8 卷中。N. Swerdlow & O. Neugebauer, *Mathematical Astronomy*, N. Y.: Springer - Verlag, 1984, 包含一个几乎长达 100 页的引言,多数篇幅处理哥白尼传记和相关资料,是最新的研究成果。A. Koestler, *The Sleepwalkers*, New York: MacMillan, 1959, 是通俗传记的代表作,其中第三篇写哥白尼。

兰又正处于欧洲东西两部交流的要冲。波兰的鼎盛期 Jagellonian 王朝刚刚过去,科拉科夫仍旧弥漫着强烈的文艺复兴时期特有的人文气氛。五年以后,哥白尼兄弟在舅父的安排下又游学意大利。先在 Bologna 大学学习教会法规,稍后也学习诸如希腊文、占星术之类的课程。天文学也占很大的比重,因为教会法规的学生应当能利用星表来推算重要的宗教节日。在博洛尼亚(Bologna)哥白尼结识了著名的占星家 Domenico Maria Da Novara(1454—1504)^①。Novara 和哥白尼一起做过星表的计算。大部分研究者认为哥白尼在 Novara 那儿第一次听见对托勒密体系的批评。Novara 认为托勒密在《地理学》里描述的若干地方的纬度已不适用,他进一步推论说北天极以大约四十万年的周期在移动。Novara 的这一理论非常著名,虽然哥白尼未能同意此说,但论者以为对于哥氏日后地动说的创立,Novara 对托勒密权威的质疑当有深远的影响。

1500年,哥白尼兄弟去罗马参加教会庆典,其间哥白尼应邀做过几次数学或天文学的讲演。1500年11月6日,他还在罗马观察了月蚀。1501年,哥白尼返回 Ermland 参加了就任教会职务的典礼,随后又返回意大利。这次他的目的是学习医学,所以转入帕多瓦(Padua)大学。在中世纪和科学革命时代,学生们在各大学之间转来转去是很普通的事。

在帕多瓦大学,哥白尼从 Girolamo Fracastoro 教授学习哲学、医学和占星术。很可能在这一阶段,哥白尼还接触到了阿拉伯天文学的一些成就——我们自然不能肯定,因为没有任何史料帮助我们了解他这一阶段的生活^②。1503年5月31日哥白尼在 Ferrara 大学获教会法博士学位

① 对 Novara 的研究见 DSB 本传。另有 P. J. Melchior, "Sur une observation faite par Copernic et Dominique Maria," *Bulletin dell'Academic r. de Belgique*, 5th ser., 40 (1954), 416.

② 科学史家对于哥白尼在大学里学习的情形还几乎是一无所知。但 15 世纪的大学,尤其是哥白尼曾学习过的那几所大学,我们现在仍有所了解。见例如 P. W. Knoll, "The Arts Faculty at the University of Cracow at the End of the Fifteenth Century," 载于 R. S. Westman ed., *The Copernican Achievement*, Berkeley, Univ. of California Press, 1957, pp. 137-56; R. S. Westman, "The Astronomer's Role in the Sixteenth Century," 载于 *Hist. Sci.*, 18(1980)105, 其中第三章专论天文学教授在大学中的工作情形。

位。在此之前，舅父已为他在 Heilsberg 安排了一个教会职位，哥白尼从此可以不愁衣食。

回到 Heilsberg 之初，哥白尼充当他舅父 Warmia 区主教的私人医生和助手。1510 年，他离开 Heilsberg 去 Frauenburg，开始独立生活。哥白尼离开舅父的原因并无史料记载，但科学史家相信这很可能和他的“日心观念”的形成有关。

哥白尼的“日心说”的第一次系统的、半公开的表述见于一个现在被科学史家称为《提要》的文件。据分析，这份《提要》写于 1508 到 1514 年间，多数可能在 1512 年之前，甚至在 1510 年^①。这份《提要》是匿名的，流传的份数也不多。最令人惊讶的是哥白尼以后再也没有提到过这份文件，他留下的书籍和笔记记录中也没有提到过这份文件。

《提要》的写作时间和哥白尼离开 Heilsberg 去 Frauenburg 的时间一致，所以很多史家猜想这两件事有关联。如果真是如此，那么这个科学史上最重要的事件应当发生在 1510 年，——恰是伽利略观察到木星的卫星系统的一百年前。有趣的是，和一般猜想相反，晚近的科学史研究表明，哥白尼的这份《提要》，或哥白尼关于日心体系的最初设想，与天文观察似乎没有什么关系，而与 Peurbach，尤其是他的学生 Regiomontanus 的星表有直接联系^②。

《提要》分九段论述日心体系^③。第一段为引言。引言开宗明义地指出先前的天文学家所遵奉的基本原则是“天体应常依正圆作匀速运动”。

① 这是 E. Rosen 的结论，见 *Three Copernican Treaties*, New York, Octagon, 1971, pp. 334-35。这一研究被 N. Swerdlow 称为是“对哥白尼工作和生平的重要而深刻的考察。”见 Swerdlow 前引 *Mathematical Astronomy*, p. 6。

② 这一说法的主要依据是哥白尼的一份手稿。因在 Uppsala 大学图书馆发现，故常称为“U 手稿”。U 是一组对 Peurbach 和 Regiomontanus 星表的数据摘录和分析，而这份星表的 1490 年和 92 年的两个版本又正巧与 U 装订在一起。细致的考证见 N. M. Swerdlow, *Proc. Amer. Phil. Soc.*, 117(1973), 6, 424-26。库恩撰写《哥白尼革命》一书实在 Swerdlow 前好多年，当然未及利用这些史料分析哥白尼革命。

③ 《提要》最先由 E. Rosen 英译，在 *Three Copernican Treaties*，初版于 1939。N. Swerdlow 的注译本最善，见 *Proc. Amer. Phil. Soc.*, 117(1973)6: 423-512。

但在天文学实践中,无论 Calippus 和 Eudoxus 的同心圆技术,或是托勒密的等位点技术都未能达到完美表述这种原则的地步。因此,哥白尼认为他有理由试探一种“更加合理的”方案。这一方案先由七条基本“公设”建立日心体系的图景。第一条论“天体运动的中心”。对今天的读者说来,这一概念一定颇为怪诞,但从亚里士多德物理学的角度考察,这一中心非先定义不可,不然重物向什么方向下坠,轻物何以上升都不好解决。哥白尼没有否定这个概念,但他说事实上没有这么一个中心存在。——所谓的中心,对哥白尼来说,是天体运动的“轨迹”“轨道”或是“圈”“球”的中心^①。哥白尼也没有原则上定义这两个概念;抑或是天体运行所画出的空间里的路径,还是真正承载天体,使之运行的,有实在物质可言的球体。

第二、第三两条分别说地球绕日、太阳居于宇宙的中心。第四条说太阳和地球的距离较之整个宇宙的尺度是非常小。第五、六条说太阳和恒星的运动只不过“看来如此”,实际上是地球在运动而不是日月星辰。最后一条即第七条说行星的逆行也是由于地球运动造成的。

细看这七大公设,可以看出在撰写《提要》时,哥白尼的日心体系已经形成,其基本图景与今日我们所了解的,也就是三十年后他本人在《天体运行论》中所描写的,已没有大的不同。但在这几段简短的文字中,我们还可以注意到,哥白尼的表述仍有很重的亚里士多德体系的色彩。我们上面力图指明,谈论“运动中心”,谈论“圈”或“球”,自然还是在亚氏托氏理论框架中,而且整个图景以“公设”的形式提出,自然也为日后的理解留下争论的余地^②。

① 从现在对天文学的了解看,“圈”(Orbium)和“球”(sphaerarum)的差别甚大;“圈”提示了一种非实体性的轨迹概念,而“球”仍未脱亚里士多德的“水晶球”的基本图景。哥白尼在这儿用的是“圈或球”,令人小感困惑。Swerdlow 译本将两字均译作 spheres,于是文章成了“celestial spheres or spheres”,似不可能。

② 见前引 *Proceeding*, p. 436; Rosen 译作“celestial circles or spheres”,见前引 *Treaties*, p. 58,似有“诠释”Orbium 一词之嫌。其困难在于,哥白尼本人究竟意属“圈”或“球”,实在很难一言判明。参见 E. J. Aiton, “Celestial Spheres and Circles”, *Hist. of Sci.*, 19(1981)75-114.

在“公设”以下，哥白尼花了整整一段说明以前关于地球不动的说法，最主要的依据是“外在现象”。如果说在“公设”中我们看见很重的亚氏理论色彩的话，这儿对“外在现象”的质疑，虽然只是在公设后的说明里，则是非常非亚里士多德化的。在这以后的一个半世纪里，也就是所谓的“科学革命”时代里，理性对现象的理解和批判，将成为科学的新精神和主流。

《提要》第二段谈“天球次序”，基本上是“公设”3 的细微阐述，第三段是对“公设”6 即太阳的视运动的阐发，也是哥白尼理论的概念核心。哥白尼认为，太阳有三种视运动，对应于地球的周年、周日运动和地球轨道的偏斜。这就解释了年复一年，太阳东升西落和四季交替的现象。

地球一旦被赋予运动，立即发生的问题是宇宙万物的运动原来所依据的一个不动的参照点消失了。——以后再谈论运动时，我们应该以什么为判断的最终依据呢？哥白尼《提要》的第四段即致力于建立一个新的“绝对参照体”，那就是全体恒星，或者说是布满恒星的苍穹。

第五段是月球理论。晚近的研究表明，哥白尼的月球理论与一位 14 世纪的阿拉伯天文学家 Ibn al - Shāṭir 一模一样，只不过所用的参数稍有不同而已。

六、七、八三段讨论行星，其中六讨论外行星，七、八分别讨论金星和水星。这不仅因为后两者较地球更靠近太阳，而且，对哥白尼以前的天文学家说来，此两者实在是周天除日、月外最引人注目的天体。而恰恰是在行星理论上，哥白尼对于托勒密显示出巨大优势。这倒不是哥白尼比他的先人少用了多少本轮均轮，而在于哥氏在数学上更加优美，在天文学上更加合理。

但是这种判断是从以后的发展“倒过来”做出来的。对于我们这些在整幅图景已经完成，机制已经明了，物理基础已经确立以后受教育的人说来，这是当然的。因为我们据以判断理论“好坏”的标准正是这个我们正在研究其好坏的理论所提供的。对于哥白尼同时代人，这个理论的“巨大优势”完全不是不言而喻的，甚至不是显而易见的。《提要》在一些

同人中传阅以后,未闻有革命性的后果。——唯一有史料支持的后继事件是1514年5月1日一位名叫 Matthew^① 的 Krakow 医生在笔记本里写下他收到或见到一份手稿。据他的描述,这份手稿只可能是哥白尼的《提要》。但我们还知道这份手稿引起了相当的注意,因为二十几年以后 Rheticus 就以此为因缘来见哥白尼并促成了《天体运行论》的出版。这是后话。

《提要》原稿上有些因为疏忽造成的错误,研究者据此推想《提要》是一时匆忙中的即兴之作。关于哥白尼的早期工作,除了《提要》之外,就是在1514年他曾应 Middelburg 的 Paul 之邀讨论过历法。他似乎没有给出什么“革命性的”意见。他之所以被选中征询对历法的意见,一则是因为他颇有天文学学术上的名声,更重要的是教士们原来就应该懂得利用天文学知识推算重要的宗教节日。

以后十几年,哥白尼都忙着履行他教士职务的另外一些义务。东普鲁士与波兰之间的争斗一直在恶化,直至1519年两边正式开战为止。哥白尼的教区大部分被东普鲁士军队占领,哥白尼本人逃到了附近的 Allenstein。这场战争断断续续地延续到1525年,哥白尼有几次还必须亲自身披甲胄,效命沙场。这和我们的天文学关系似乎很远了。但是,对于了解为什么早在1510年前后就形成的日心说会迟迟到三十年后才发表,不无帮助。

从《提要》写作到1529年差不多二十年时间里,哥白尼时有天文观察记录。这些记录中有一部分后来用于《天体运行论》。细看这些记录,可知它们既非持续不断的像日后第谷那样的职业观察家的工作,又非一个天文爱好者偶然兴趣所至的完全零散的札记。这些记录更像介于两者之间的文字。与此同时,哥白尼的日心体系的主要观点已经在欧洲传播开来。1533年,甚至梵蒂冈教廷都有正式的关于哥白尼工作的解说和报告。差不多同时,1535年,波兰学者也提到了哥白尼的工作,并把它推

^① E. Rosen, *Three Copernican Treaties*, pp. 343-344,但作者未引证原始资料的出处。

荐给维也纳的同人。在他们看来,哥白尼的工作是重要的,因为“没有行星运动的真实知识,任何气象的或星相的预言都不能完成”^①。

从这些通信来揣测,哥白尼在1530年代中期就已经能相当系统地阐述他的工作了,但他仍未打算发表。其原因,就现在所知,有宗教教廷人事更迭,也有个人生活琐事,但似乎与天文学学问本身并没有多大的关系。一直到1539年,一个二十五岁的年轻人 Georg J. Rheticus 慕名来到哥白尼处,才在哥白尼的挚友 Tiedemann Giese 的帮助下,促成了《天体运行论》的发表。

Rheticus 是1539年5月到达哥白尼所在的 Frauenburg 的。作为送给哥白尼的礼物,他带去了一大批 Petreius 出版的科学书籍。接着,他同 Giese 一起在 Löbau 待了几个星期,研究哥白尼的手稿。科学史家相信,他所看见的很可能就是《天体运行论》的初稿。是年9月,Rheticus 完成了一篇长文,他把它叫做《初论》(*Narratio prima*),尽管他以后并未再写“再论”“三论”。这篇文章是现代科学史家知道的《提要》以后、《天体运行论》之前唯一一份阐述哥白尼理论的文件,1540年3月在 Danzig 发表。这篇论文写得非常好,“文采飞扬,清晰详实”。这就使得哥白尼《天体运行论》的发表提到议事日程上来了:一则哥白尼对 Rheticus 的才智热诚有了信心,二则欧洲学界对哥白尼理论的全面、细微的阐述有了兴趣。于是 Rheticus 介绍的出版商 Petreius 正式与哥白尼商讨接洽出版事宜^②。

具体做法大概是这样的。哥白尼先对初稿做修改润色,再送去纽伦堡 Petreius 处印出校样,校样再由哥白尼校核改定,再送回出版商印刷出来。在整个工作中,Rheticus 起了两头奔走的联络人的作用。在修改过程中,哥白尼一定重新检讨了他的体系的整个构架。1540年7月1日

① 这是波兰学者 Bernard Wapowski 1535年10月15日给在维也纳的同事写信时说的,详见前引 N. Swerdlow, p. 17。

② G. Rheticus 对于《天体运行论》的出版,出力厥伟。但他本人的情形的研究尚称不多。最方便简明的——很可能是仅有的英语文献是他在 DSB 的传,在 DSB 11 卷。

他给不少朋友写信,提及如何应付“哲学家和神学家”的可能的批评。因为一方面他坚信他所说的地动说是对的,另一方面他也确实无法“证明”他的理论。1541年4月20日,一位叫做 Andreas Osiander^①的路德教派人士回信说,据他所见,天文学家的“假说”不一定是关于信仰的宣言,而可以只是用于提供计算方便的模型,仅是再现“现象”。在他给 Rheticus 的一封信里他还说这样的提法可以使新理论更易于为人所接受。

在当时的气氛之下,Osiander 的建议也不失为一种解决问题,化解歧见的办法。但哥白尼与 Rheticus 都不赞成。尽管如此,修订出版工作继续进行,到1541年10月,修订工作大概就完成了;1542年5月,Rheticus 把书的清样交给了出版商,同时哥白尼写了给教皇保罗三世的献词。——整个出版工作至此顺利完成,余下来的只是 Rheticus 负责监督印刷出版就是了。

1542年10月,Rheticus 得到了莱比锡一所大学的教授职位,必须赶去赴任,而且《天体运行论》的出版想必也没有什么大事要他非在左右不可。他于是离开纽伦堡而委托 A. Osiander 权董其事。这就使得 Osiander 有可能擅自给哥白尼的著作加了一个序言,《就本书所用的假说敬告读者》。他在这篇序言里发挥了他这年4月给哥白尼的信中所提出的“天文学理论只是假说,只提供计算的基础”的论点,进一步说天文学的假说根本不可能追溯到事物的真正原因,除非上帝有意披露这些原因。因此,在天文学领域中对假说信以为真的人实在比不研究天文学的人更蠢。他的这些说法显然没有得到 Rheticus 或是哥白尼的挚友 Giese 的赞同,因为 Osiander 的序言刊出后,Rheticus 和 Giese 曾预备去纽伦堡控告他擅改原著。更糟的是,《天体运行论》出版两天以后,1543年5月23日,久病在床的哥白尼就去世了。而 Osiander 的“序言”又未署名,

① A. Osiander 常被描述为一个破坏哥白尼工作的人。其实这种说法不确。细致的研究见 B. Wrightsman, “Andreas Osiander's Contribution to the Copernican Achievement”, 载上引 R. S. Westman 所编的 *Copernican Achievement* 中。

所以之后相当长的一段时间里,读者颇为这篇序言困惑,弄不清哥白尼的原意是什么。据 Rheticus 后来追述说,哥白尼对这篇文字也“深感不快”。

《天体运行论》这本宣告一个时代到来的书^①,就其本身说来,倒不见得处处显着划时代的革命性。全书分为六篇,第一篇讲宇宙的基本构造和地球在宇宙中的位置。这一篇很有些像先前的《提要》,又与托勒密的《至大论》和 Peurbach、Regiomontanus 的《至大论提要》有相同的结构。我们在以后章节中还有机会再讨论这一篇。但第一篇的第 12 至 14 章则是相当纯粹的数学工作,对于哥白尼同时代的人说来,绝非轻易可以看懂。第二篇在某种意义上是这一讨论的继续,完全注重于球面三角的数学讨论。如果说哥白尼的工作有特别重要的意义,那么这种意义正藏在他的数学工作里。如果他仅仅对于地球的位置或运动作了一个猜想,尽管这种猜想为以后的发展所证实,他还是没有比古希腊的思辨哲学家前进多少。正如库恩在研究了哥白尼工作以后说的,哥白尼工作的高度数学化使他免于被“哲学家”击倒,从而使他的工作真正成为传世之作。

在数学准备完成以后,哥白尼在第三篇里处理天体的非均匀运动和天体轨道平面的倾斜问题。这是一个托勒密处理过的天文学传统问题。哥白尼同时代人 Johann Werner 在 1522 年曾作《论第八层天球的运动》。哥白尼也参与讨论,所以对他说来这不是一个生疏的题目。对我们的主题饶有兴味的是,哥白尼在讨论中采用了所谓的“Tūsi 连环”技术,显示了他对于阿拉伯天文学成果的了解。稍后我们会看见,库恩在

① 如前所记,哥白尼的原著 1543 年 5 月 21 日或稍早在纽伦堡出版。这个版本被认为是符合哥白尼的原意的。第一个刊出的译本是 1854 年在华沙出版的波兰文译本,其后是 1879 年的德译本。奇怪的是这本书的英译本直到 1952 年才出现,收入 C. G. Wallis 主编的《西洋名著》第 16 卷中,译文颇遭批评,参见例如 O. Neugebauer, *Isis*, 46 (1955) 69-71。随后又有 A. M. Duncan 1976 年译本和 E. Rosen 1978 年译本。本书还有俄译和印地文译本。遗憾的是,本书没有中文全译本,下文大略提出几点讨论实在是为以后文字所必需,非敢遽言“介绍”这样一本对人类思想史有重要作用的大书也。

《哥白尼革命》里对《天体运行论》的讨论止于第一篇的前十一章，所以未能注意到阿拉伯天文学的影响。当然，这是后话。

第三篇表明哥白尼所遭遇的困难是双重的。首先天体运行的参数从托勒密时代到他当时已有变化；其次这些参数的测定常常带有很大的误差。这两种不准确度又同时显示在相同的参数里，要在这样的基础上完成理论，实在很困难。哥白尼采用的方法也是两套，一是采用非常复杂的数学技术，实在不行时索性采用“凑”的办法；二是把这些古代的数据或理论搁置一边，简化问题，自做一套。但是不管采用哪一种方法，哥白尼都表明他深受阿拉伯天文学的影响。

第四篇谈太阳和月亮的距离、视差和半径。在这一篇里，哥白尼显得更加地受益于 Regiomontanus 的《提要》。论者以为本篇是《天体运行论》中“最令人困惑”^①的一段。哥白尼为了能凑出合宜的结果来，对本来就含有错误的解说作了一系列不自洽的修正。但是从科学史的角度来看，这一篇实在是非常重要的，因为在这里可以看见 Ibn al-Shāṭir 的月球理论——哥白尼的陈述与这位比他早二百年的阿拉伯人一模一样，只是在参数上有所修正。而参数修正的依据，有来自希腊、印度、阿拉伯和中世纪拉丁文的资料。

哥白尼这样处理他的月球理论，或者说精心凑出“合宜的结果来”，自有其苦衷。与月球理论直接相关的就是月蚀日蚀，既为人人重视，又为人人可以测验。所以要“合宜”自是不易。第五篇进而研究行星理论，情形即迥然不同。首先这是哥白尼新理论的一个核心问题，其次这多少比较理论化，观测不尽是人人可为，因此哥白尼有可能在理论上发挥。初看起来，本篇大部分内容都由托勒密的理论出发，似乎在方法上无重要突破。其实在运用托氏方法的同时，哥白尼引进了两方面的革新。首先是引进了地球的运动，并以此解释、归算外行星的运动，计算一系列参数。这正是我们现在看到的哥白尼日心体系明显优于地心体系的地方；

^① N. Swerdlow 语，见前引 *Mathematical Astronomy*, p. 75。

其次是通过上述革新,所有的行星运动即可以重新规划为匀速正圆运动的组合。这一点对我们今日而言似乎不太重要,但对哥白尼时代的人来说来实在是重要得很。

第五篇文字最长,内容最丰富,而且对科学史家说来,另有一处引人注目的地方:哥白尼采用的模型常与13、14世纪阿拉伯天文学家的做法暗合。有一些重要的方面,哥白尼除了在“日心”这一点上和若干参数上与阿拉伯人不同之外,简直就是一模一样。这一点在二十五年以前还很少为人注意到,而对于现今的科学史学者说来,则是一个基本事实了。这一科学史研究成果的哲学意义,容稍后作更细致的讨论。

第六篇继续讨论行星理论,但哥白尼于此鲜有建树。大部分的内容与托勒密类似,而他引用的“观察资料”并非他自己所作,亦非托勒密所作。在讨论火星时,哥氏甚至改动“观察”资料以迁就理论模型。

但是无论如何哥白尼是第一个在完整的理论构造和模型的基础上提出了日心说的人,他在科学史上的地位亦因此确立。如果说日心说是一场“革命”的话,那么哥白尼是揭开序幕的人。在哥氏当时,恐怕并没有一个人认识到“革命”已经开始了。而哥白尼对于《天体运行论》出版的不安,则更多地来自于他内心的冲突。至于小说中常说的他是看见了《天体运行论》的一个印本才溘然长逝一节,固然能激发文学家的才思,构造戏剧性的情节,于科学史及其哲学意义,却无多关联了。

在哥白尼能提笔写字的最后几天里,他曾在一张小纸条上抄下了一段 Thomas Aquinas 的话^①:

生命短暂,感官迟钝,加之性情的疏陋和生活的负担,人所能了解知道的事本来就很少。知识的误用,记忆的缺失,甚至使得那些我们先前有所了解的东西也随着时间的流逝从我们的心灵中忽忽

^① 这段笔记先为 Ernest Zinner 所引,见 *Entstehung und Ausbreitung der Copernicanischen Lehre*, Erlangen, 1943, p. 244,但有一词 *neglegentiae* 似误印作 *negligentiae*。

退去……

带着这样的遗憾,哥白尼于1543年5月24日去世,下距牛顿的诞生恰一百年。

哥白尼把“地不动日动”的托勒密体系换成了“日不动地动”的新体系,从这一点上看,很容易相信这是一场把一切都正恰倒了个位置的革命。在欧洲中古史上,又找不出任何事件或人物作为哥白尼工作的真正先声。换言之,哥氏的工作在三十五年前的科学史家看来,真正如高山坠石,从天而降,这就很容易使人相信这是一场突然爆发的革命。库恩所要处理的,就是这么一个事件,这样一段历史。

三、库恩对哥白尼的研究

《哥白尼革命》^①一书,如前所述,是由课程教学材料发展起来的,自然就有很重的教科书的味道。全书七章,另外还有一个技术性附录,处理天文学中采用的一些技术和算法,因为这方面的基础知识实为理解哥白尼的工作所必需。

《哥白尼革命》附题为“西方思想发展中的行星天文学”,即把本书主题扩充到“西方思想发展”的大框架之中。留意前述库恩写作时先后问世的几部以西方文化为背景的史学著作,如 A. O. Lovejoy, H. Butterfield 和 A. R. Hall 的写作方法和考查问题的角度,可知库恩的做法实在是这一潮流的自然演进。全书七章中,四章叙述哥白尼之前的行星天文学,占全书篇幅一半之多。第一章介绍古代宇宙论,从原始宇宙论中的苍穹观念(4—5页),到希腊“科学宇宙论”中的“双球宇宙”学说(27页前后),到太阳在该宇宙体系中的运动情形(33页),洋洋洒洒,意在使读者对于哥白尼前的宇宙理论有一充分的了解。其所叙内容,则几

^① T. Kuhn, *The Copernican Revolution, Planetary Astronomy in the Development of Western Thought*, Cambridge, Harvard Univ. Press, 1957. 自出版以来,大约重印了15次。下文引述用的是1981年的第11次印刷本,页码均置于括弧中,不再另注。

乎全是科学史常识,唯“双球宇宙”,即以人为一圈的内层和以星为一圈的外层的双球型的宇宙模型,为库恩所心爱,特设专名以引起注意。第二章承第一章余绪,进一步介绍行星理论。从严格的意义上说,哥白尼天文学实在是一行星理论,其对太阳的种种议论均在与行星的关系方面,所以对于行星运动前史的了解自然也很重要。本章从“视运动”概念谈起,迭经圆轨道,本轮均轮系统,偏心轮等技术手段的讨论,完成了对托勒密天文学行星理论的概述。

古代这些关于天文的研究在哲学上有什么意义呢?这是库恩所要极力阐发的一个问题。不然的话,如他在前言中所说,重复一个被反复讲述的故事,应当是很无聊的。库恩在这一段为大家所熟知的科学史中,看出了新的问题。

首先,库恩指出,古天文学知识,尤其是以“双球宇宙”为名的天文学是一个概念系统,一种理论,是“人类想像的产物”(36页),“源于观察而又超越观察”。事实上和传统的或者直觉的想法相反,科学谈论的不是自然界而是人对自然界的理解。一方面,科学的内容确实是关于我们厕身其间的宇宙万物的;另一方面,科学又是人对于这种外在世界的理解,因而又是人脑的创作。最初明白系统地指出这种“既非客观存在,又非主观臆造”的概念的,是英国哲学家 K. Popper^①。我们以后还会看到他对库恩观念的影响。

“双球宇宙”的理论即是这样一种概念体系。它提供了一个研究者可以方便使用的框架,把纷乱杂陈的观察归纳到了一个有序的结构之中,从而大大简化了关于宇宙的描述,这是这一理论在“逻辑上”的存在意义。从简单性原则来看,“双球宇宙”实在是很成功的。它提供了对自然现象的一种理解,一种世界观,按库恩的说法,这是这一理论在“心理上”存在的意义(39页)。当人们从逻辑上能够“解释”,从心理上能够“理

^① K. Popper 的系统阐述出现较晚,见他 1967 年在国际科学哲学大会上的讲演,后来成为《客观知识》的第三章,《没有认识主体的认识论》,邱仁宗译,收在《科学知识进化论》一书中,北京,三联书店,1987,309—360页。

解”日月星辰升降隐现,他们就愿意用这一概念构架来考虑问题,作出进一步的预测。哥伦布对地球为球形的信念,库恩认为(40—41页),就是这种概念体系富有成效的一个好例子。

所以这种概念体系就成了一种“信念”。但是科学既非纯主观的臆造,自然还受制于客观的自然界,其中的连接点正在观察,尤其是对科学所预期的事实的观察。预言有而果然有,则理论为“真”,反则反之。此即所谓“证伪”,其论甚明。但库恩认为(75—76页)事情没有那么简单。在科学史上,未见如此单纯的事;在技术上,也不可能做到如此清晰决断,因为“观察从未在绝对的意义上与一概念体系不合”。

比如说托勒密的日心说,一方面在其存在、并被利用为基本的解释框架的一千多年中,不断地与观察数据发生或小或大的冲突,一方面又经历不断的、或小或大的修改使之与观察更加一致。哥白尼以前的天文学家并没有立即抛弃旧有的托勒密体系。事实上,他们在这一体系中坚持工作了一千多年,进行了各种各样精巧的修补和改建。那么,库恩问道(76页):

是什么把时而显现的偏差与不合变成了无可规避的冲突的呢?被一代人怀着敬意称道为精深宏大、气象万千的概念体系怎么到了后代眼里就变得含混晦涩、繁琐愚拙了呢?为什么科学家有时无视种种理论和观察的不一致而坚持一种理论,有时又转而放弃他们所坚持的理论呢?

库恩说这就是剖析科学信念所产生出来的问题,即一个运作顺畅的概念体系如何被替换的问题。“这一问题,简而言之,就是科学革命的逻辑结构(75页)。”

库恩写下这些问题的时间当在1956年夏天,时年34岁。他接着写到,他要用下面两章来讨论这些问题。这个年轻人显然没有想到,为了回答这个问题,他在五年后还要再专门写一本书;在他今后的生涯里,还

要再写十多篇论文作进一步讨论。他当然更不会想到,在以后的半个世纪中,这个问题将成为科学史科学哲学的一个中心问题。他当时的想法是,这种概念体系的替代变更,应该是一个多重因素作用的共同结果。因此,他进而考查导致哥白尼革命的非技术性的、非天文学的,甚至非关科学方面的原因。

亚里士多德的物理学和天文学当然是首先要考查的一大流源。在第三章里,库恩介绍了亚氏“物理学”的主要概念。亚氏的“物理学”大略同于今日的“非生命科学”^①,上至天文地理,下至物质生成,物体运动,都在其视野之内。而亚氏的目的,在于建立一个包罗这纷繁万象世界,给出统一解释的大体系。这一出发点与托勒密的描述性的理论不同。为了“解释”,亚里士多德构造了世界赖以建立的要素:对于宇宙整体而言,是一种后来被称作“以太”的无所不在的东西;对于我们人类厕身其间的现实世界,或者依亚氏所说“月下界”,则是水土气火四大要素。宇宙中没有“空”的地方,因为“自然厌恶真空”。日月星辰也非悬浮在空中,而是镶嵌在一套同心球上。对于“月上”即天体,和“月下”即地球表面附近的物体,各有一套原则约束规范其运动。要而言之,“月上”为圆周运动,于是永恒,无所谓开始,也没有终点;“月下”万物的自发运动,在于寻找其自然位置。于是轻者自浮,冉冉上升,云、气是也;浊者自沉,匍然下坠,石块泥土是也。“月下”的理论当然不能用于“月上”,反之亦然。这样,亚里士多德就从另一个角度,在不太精确的意义上或者可以称作从力学或物理学的角度提出了对行星运动的解释。这种解释日后同基督教的教义相结合,构成了以后一、两千年西方思想界对宇宙理解的正统概念系统。

库恩多次说起阅读亚里士多德是他关于科学发展史观念形成的非常重要的一步。在《哥白尼革命》的写作中,这一影响已经可见端倪。在

^① 亚里士多德的物理学,已见前章注释。综合性的介绍似以 E. J. Dijksterhuis, *The Mechanization of the World Picture*, Princeton, Princeton Univ. Press, 1986, I, E, 最为常用。本书有刘珊珊等中译,已见于前引。

稍后关于科学革命结构的讨论中,我们还有机会进一步考查这一问题。

远古思想、托勒密和亚里士多德构成了哥白尼以前的关于天体运动的三大流源。尽管内部不尽自治,尽管与观察时见冲突,这一理论体系稳稳地持续了十五、六个世纪,直到文艺复兴前后,一些直接导向哥白尼革命的因素才出现,这些因素构成了库恩的第四章,也是叙述哥白尼工作前的最后一章,照库恩的写法,革命临近了。

库恩认为这些前导因素可以分三个方面考察:宗教方面的、学术方面的和天文学技术方面的。

对于早期基督教教义说来,亚里士多德的理论是个异端。因为《圣经》明明白白地说“神坐在地球大圈之上,……铺张穹苍如幔子,展开诸天如可住的帐篷”(《以赛亚书》,40:22,中文用“神”版),明显与亚氏对宇宙的描述不同。但经过长期演化,到了11、12世纪,亚氏的理论又被采纳为正统,最明显的例证是 St. Thomas Aquinas (1225—74)在他的《神学大全》中明白引入了对《圣经》的非章句解,即以《圣经》为启示性文字,并不能作逐字逐句、拘泥于字面意义的解释。这样,尽管在细节上亚里士多德与《圣经》还有不合甚至牴牾,其间根本的冲突终于得到了化解。所以古希腊特别是亚氏的学说,在哥白尼革命前的两三个世纪里,颇是流传。

这种流传一方面使人有机会了解古代学术,一方面也使得古代学术有机会受当时学者的批评质疑。这种学术上的质疑,库恩列为前导因素的第二方面。其中最为突出的,是巴黎学派的 N. Oresme。对于哥白尼革命最有意义的,是 Oresme 关于运动的相对性的论述。Oresme 举了很多例子,强有力地说明,没有任何论证,逻辑上的也好,《圣经》上的也好,物理上的也好,可以断然判定地球是运动的还是静止的。这就为哥白尼地动说扫除了障碍。

在讨论这两方面的前导因素时,库恩常从整个西方思想史的角度去考察问题。这样做的好处是视野开阔,尤其是对初学者说来,容易建立一套完整的历史演变图景,从本书的副标题看,这似乎也是库恩写这

本书的一个目的。库恩在本书写作时，当颇留意西洋思想通史。他在这一时期发表的书评，证实了这一推断。

在为 H. Dingle 著 *The Scientific Adventure* 写的书评里^①，库恩讨论了作者对科学革命，尤其是哥白尼革命的处理，颇多称道。“但是”，库恩紧接着写道，这种讨论“过于琐碎，过多地征引佚事，过分注意科学发现本身，而对当时并存的其他科学概念体系和实验所产生的相互作用留意不够，因此未能提供科学思想发展模式的真实情形”。在另一篇书评中，库恩提到这一类的科学史或思想史书籍，应能同时兼顾西方传统的“延续和多样”。参照他对哥白尼革命的直接起因的处理，可以看出他正在艰苦地探求一条能达到这样高的标准的路。

采用这一写法的同时，也发生了另一方面的问题。既然强调历史流源，强调重视整个历史演进而不是“发现本身”，这种关于前导因素的讨论就好像又变成了历史背景的叙述，而不是库恩先前所称的“直接的、有因果联系的”（83 页）因素了。为此，库恩又回到天文学本身。

在以“哥白尼时代的天文学”为小标题的一段中，库恩提到了德国人 Georg Peurbach (1423—61) 和他的学生 Johannes Müller (1436—76)，但马上转入了作为时代大发现的葡萄牙航海以及稍后的哥伦布发现新大陆。这一标题下最大部分的文字是介绍 5 世纪学者 Proclus 及其他“新柏拉图主义”学派的学者。最后归结到哥白尼，认为“新柏拉图主义可能对哥白尼关于以太阳为中心的新体系的构想有所帮助”，并且进一步断言“新柏拉图主义在哥白尼关于太阳和数学简单性的考虑中是显然可见的”（均在 131 页）。

和前面三章相比，讨论哥白尼革命的“直接原因”的第四章显得无力得多。作者多次声称要考察“直接的、有因果联系的”前导因素，却一再回到整个西洋思想史的背景与流源的一般性介绍上。细看当时科学史的研究状况，可以知道这一明显的薄弱环节并不是作者写作上或材料

^① *Speculum*, 28, 1953, 879—80. 下面引文见 880 页。

剪裁上的简单失误。在库恩撰写《哥白尼革命》一书时,关于哥白尼走向他新学说的历史过程即“年代表”已经为史家所掌握,但导向这新学说的思想史过程,即这一发现的具体细致的发展,哥白尼由哪些问题入手,其间利用过哪些考察方法,哪些为主要的影响因素及其作用途径,均因史料匮乏而暂付之阙如。作为以史料分析为出发点的研究者,库恩自难为无米之炊。

讨论哥白尼工作的第五章本质上是对哥白尼《天体运行论》前十小节的评述,长达50页。首先是哥白尼的献词和前言,库恩用以分析哥白尼提出他的新体系的动机。因为科学史的研究表明,哥白尼考虑他的新体系时,即16世纪的前三四十年里,并没有特别严重的,把托勒密体系逼向绝境的事情发生。哥白尼决定对托勒密体系做根本修改,是因为十三个世纪以来对托勒密体系的修正未能奏效,“一个富于洞察力的天文学家自然会对在同一体系里的进一步修补努力能否切实成功感到毫无把握”(140页)。所以哥白尼的工作,并非起于某一项具体观察的结果,也非是某一个因素的作用。当这种对进一步修补的成功希望随着时间的推移变得越来越杳渺无据的时候,当我们前一章所描写的科学和哲学的“大气候”达到了这一关键的转折点时,哥白尼即觉悟到新体系为进一步发展所必需。

库恩接下来逐段讨论了哥白尼《天体运行论》第一部的前十章。案《天体运行论》共六部,第一部为其引言和理论依据。库恩把他的研究限制在这一部分里,一是因为这一部分与他的主题关系最大,一是因为对其他的五个部分的研究在当时还未展开。

库恩注意到,并且在所引的哥白尼原文中也着意指出毕达哥拉斯与新柏拉图主义的影响(例如141,142,145—46,149页)。这种影响可以在第一小节“宇宙是圆球形的”,第二小节“地球是圆球形的”和第四小节“天体运动是匀速的、永恒的,循圆弧形或组合圆弧形轨道”的论证中看出来。但是,这种以圆为完美几何图形的观念固然是毕氏和新柏拉图主义的典型议论,却不为他们所专有。亚里士多德阐述天体的运动也循相

同的论证途径。所以库恩写到,直至第四小节,“哥白尼的论证是亚里士多德式的或经院哲学式的,并未与传统宇宙论明显不同。”(148页)从第五小节起到第九小节,哥白尼提出了地球的运动。他的论证程序是这样的:既然星辰运动已是大家所共见的,而这种运动只能用或者是天穹运动而地球不动,或者是地球运动而天穹不动两者之一来解释,而“正是天穹包罗万物,那么为什么运动不应该是被包含者〔指地球〕的运动而反而是包罗万象的包含者的运动呢?”哥白尼进而援引毕达哥拉斯派学者 Heraclides 和 Ecphantus 来支持他的看法。哥白尼接着推进他的论证:

其次,既然地球运动,它即不可能在宇宙的中心,因为所谓中心当是不动的。地球与各行星之间的距离也常在变化。如果把这些都考虑进去,即可为行星的运动及其种种变化提出一个“合理的原因”。哥白尼接着援引了 Philolus,同样也是一个毕达哥拉斯派学者,来支持他的看法。

这种论证方式在今天受现代科学教育的读者看来自然是难以置信的。哥白尼的论证当然也不止于此,在他的《天体运行论》的后几部里,他还要从数学上作进一步的分析。但这并不是说上面引述的那些论证就不重要了。在哥白尼的时代,它们的重要性不亚于后面的数学讨论。对于西洋思想界的震撼,甚至更多地来自这样的论证而不是数学。但是,要不是后面的数学论证,哥白尼的学说充其量不过是古人猜想的一个16世纪再版,“如果哥白尼讨论宇宙论的部分(即第一部)单独出版的话”,库恩非常正确地指出,“哥白尼革命就不会,也不应该以他的名字来命名了”(184页)。

根据哥白尼的构想,太阳独居宇宙中心,地球绕日运行,年复一年,而太阳也因此出现在不同的恒星背景上。如果有任何星体相对于恒星背景离我们地球较近的话,我们地球上的观察者也会看见,或更严格地说,也能通过精密的仪器观察到它们在恒星背景上的位移。这种位移天文学上叫周年视差,虽说这一现象在哥白尼时代从未被观察到。对于行星说来,哥白尼理论要直观得多。利用运动叠加,即使是对天文学没有什么了解的人,只要记住相加的法则,都可以明白地解释困惑了天文学

家多年,逼使托勒密学派采用复杂的本轮均轮系统的现象,尤其是逆行、留,和内行星的大距。

对哥白尼著作的其他部分的考察需要更多的数学和天文学的专门知识,库恩于是转向对哥白尼工作的总评。“因为他是第一个基于地球运动探讨天文学的人,哥白尼常被称为第一个现代天文学家。但是,正如《天体运行论》行文所显示的,说他是托勒密天文学的最后一个传人也同样令人信服”(181页)。的确,如果从哥白尼考虑问题的角度、论证的方式和他所追求的解答来看,他的工作是和托勒密一脉相承的。这样看来,与通常印象不一样,哥白尼不是一个摧毁旧的,创造新的的革命家;他更是新旧两个传统的联结环节。这正是库恩所要着力说明的(182页):

要问哥白尼的工作是古代的还是现代的,就好像要问一条道路上的转弯弧段是属于转弯前的那段直路还是转弯后的那段直路。从转弯的地方看,前后两个路段都可见。可是从转弯前面的那段路向转弯处看,路似乎先是平直地伸展出去然后即消失了,而转弯处正是这段直路的最后一点。如果从转弯以后的路来看,路是从转弯处开始的,并且开始以后一直是平直的。转弯弧段既分别属于前后两个路段,又不属于任何一段。

这就叫转折点。这是库恩对哥白尼革命的一个基本评价。哥白尼是在一个大的概念体系中作了一点小改进,但这小改进引发了以后一个世纪的变革。在这个意义上,我们称它为革命。“《天体运行论》的意义并不主要在于它说了什么,而在于它使得别人说出了些什么”(135页)。

库恩接下来花了一章,即第六章,探讨哥白尼让“别人说出了些什么”。和讨论导向哥白尼革命的诸因素和传统的四章洋洋洒洒的文字相比,这似乎单薄了一些。但哥白尼以后的发展,特别是库恩行将讨论的第谷、开普勒、伽利略已为一般人所熟知,而真正细致的研究又为主题和

篇幅所不容,库恩的这一处理也就可以理解了。

第谷(1546—1601)为16世纪提供了最完整、最精密的观察资料。现在的天文学史家常称他为望远镜使用以前天文观察的顶峰。他在丹麦的观象台,有皇室的赞助,设施地点为一时之冠。但是在他的长达几十年的工作中,他没有观察到周年视差。根据哥白尼的理论,如果地球绕日运行,应该可以观察到这种较近的天体在较远的恒星背景上的以年为单位的周期性位移。既然没有观察到这种位移,第谷即觉得哥白尼方案率难接受。他重新提出了一个“在几何上与哥白尼体系相同的”体系(205页),所不同的是地球回到了宇宙的中心并不再运动。

第谷的贡献是他的模型使得哥白尼学说受到了广泛的注意。特别是他的模型与亚里士多德的“天球”即天体镶嵌其上,赖以运行的透明实物球体的概念明显冲突,因而把哥白尼的理论中所隐含的物理的或力学的革命因素凸显出来了。到1572年以后,他对新星的观察,特别是1577年对彗星的观察向亚氏的“月上”“月下”分野提出了严重的质疑。“哥白尼去世后的一个世纪里,天文学观察和理论所引进的新发现和新发明,不论是哥白尼的支持者还是反对者做出的,都在某种意义上为哥白尼理论提供了例证”(208页)。

第谷的学生开普勒(1571—1630)利用第谷留下的完整而且精密的观察资料,以哥白尼模型为框架重算了行星运动的主要参数。他发现哥白尼模型内蕴含了令人惊异的数学和谐。包括地球在内的当时已知的六颗行星,其轨道所在的大球以从“宇宙的中心”太阳向外伸展的次序,依次内切或外接正方体、正四面体、正十二面体、正二十面体和正八面体。从几何上看,只有这五种正多面体为可能,所以应当有六颗而不是五颗行星,所以地球也只可能是一颗行星。他进而发展了“宇宙和谐”理论,建立了他的三个关于行星运动的定律。这些定律的真实性或真理性由第谷的观察资料和它们所显示的与柏拉图、毕达哥拉斯数学和谐观念的一致性支持。

与开普勒同时有伽利略(1564—1642)的工作。开普勒的兴趣和成果在于用数学或神秘的和谐理论整理第谷的工作,寻出其中“真的原

因”，他认为他在他的“宇宙和谐”里找到了这种原因。伽利略则更注重天文学和“物理的”原因。他第一个使用望远镜，看见了木星的卫星系统。——这就是一个缩小了的哥白尼太阳系。他观察了金星，看见了金星的位相变化——这是哥白尼在《运行论》(I, 10)里预言过的。这是对哥白尼体系的第一个直接证明。至此，哥白尼学说不再以假说的面目出现，而成为天文学中一个与旧理论竞争其生存权利的新理论。这一竞争在以后一个世纪里渐次完成——

对地心说的信仰先是神经正常的标志，后来变为僵硬固执的保守主义的标志，再变为非同一般的孤陋寡闻的标志，最后成为疯狂盲目的信仰主义的标志(227页)。

在17世纪中叶，重要的天文学家里即很少有人怀疑哥白尼学说了；到17世纪末，没有一个天文学家还执著于托勒密了。

哥白尼学说在17世纪的发展还有另外一个，或者可以不太恰当地称为“物理的”层面。库恩在第七章也是最后一章考察这一层面。开普勒为哥白尼理论体系找出的数字学的神秘原因并未能说明天体为什么是这样运动的，他只说明上帝为什么是这样安排的。从伽利略、尤其是笛卡尔起，追寻天体运动的“机制”成了17世纪科学的一大潮流。英国的T. Digges提出了无限宇宙的概念，笛卡尔提出了涡旋理论，胡克(Hooke)提出了万有引力的概念，最后牛顿建立了力学。比及牛顿工作的完备形式刊行时，正恰是哥白尼的《天体运行论》问世的145周年。

库恩对哥白尼理论以后的发展当颇为留意。在撰写《哥白尼革命》一书的同时，他细读了不少关于“物理”发展，即探求上面所说的哥白尼理论的物理学原因的书籍。在《哥白尼革命》写作的同年，他对于A. Koyre的《开普勒至牛顿落体问题文献史》一文的书评发表在*Isis*上^①。

^① *Isis*, 48 (1957)91-93.

细看这一篇书评,很容易发现它的论述与《哥白尼革命》是平行的。以1600年为分界线,16世纪的研究被称为是“第一阶段”,其主要的论证集中在重物的直线下坠的解释上。亚里士多德和托勒密关于地球中心以及静止不动的理论的一个重要论据就是重物竖直下落,并落回它们被抛起来的那一点。如果地球运动,例如从西向东,重物落下时应该较其被抛起的地点偏西。N. Oresme对此提出了不同的解释,他认为重物“也可能”落回原地。Oresme的这一论证,库恩说,被哥白尼在他的著作中引用。1600年以后的第二阶段,开普勒、费马、伽利略、Bullialdus、Borelli都参与了这个问题的研究,直到1679年胡克和牛顿的关于万有引力和自由落体的通信。库恩在这儿看见了哥白尼革命的真正进程——不是他说了什么,而是他使得别人说出了什么。

稍微前一两年,库恩还一连发表了另外两篇书评^①,评述五本讨论笛卡尔的专著。连同他在书评中征引的其他专著,所涉及的书在十部以上。这显然不是蜻蜓点水式的研究所能做到的。在对英国研究者J. F. Scott的工作的评论中,他还援引了十年前发表的一篇法文论文。在评论中,库恩特别强调历史学研究和哲学的结合。事实上,他正是从历史和哲学两个角度去评价这些书的。

再前,我们还看见他对A. R. Hall《17世纪的弹道学》一书的评论^②。弹道学,或者狭义地说对抛射体路径的研究,和落体问题一样是17世纪物理学的一个大问题。在援引皇家学会诸成员的研究同时,Hall还讨论了伽利略和以前的Tartaglia的工作。书评中,库恩引用了E. J. Dijksterhuis的《世界图景》一书,该书当时还没有英译本,显示了库恩的阅读范围和对二手文献的鉴赏能力。

与此差不多同时的是库恩对伽利略《两大世界体系》的钻研^③。他对

① *Isis*, 44 (1953)285-87; *Ibid.*, 46(1955)377-80.

② *Isis*, 44 (1953)284-85.

③ *Science*, 119(1954)546-47.

这本书的两个译本都有评论。这两个译本都出自名家之手：一是加拿大学者 S. Drake 的全译本，爱因斯坦为之作序；一是 T. Salusbury 的改写本，Giorgio de Santillana 注释并做历史背景介绍。被爱因斯坦^①称为“对于每一个对西方文化史及其在政治经济发展上的影响感兴趣的人来说，都是一个知识的宝库”的《世界体系》是对哥白尼学说的最重要的发挥之一，也是科学史上少数几本经典著作之一。库恩对它的研究明显地反映在《哥白尼革命》的最后一章里。

综观全书，库恩努力在历史的进程中描述和解释哥白尼革命的意图甚为明显。库恩引入了西方思想发展的源流，并以对此源流的分析作为整个事件的背景。他力图考察纷繁众多的历史因素，并称他自己的这种方式为“多元化”的考察。这是他在本书序言中就说明的(vii页)。但是这种考察时常陷入困难。比如在相当细致地介绍了 N. Oresme 关于运动和重物下落的非亚里士多德的观念之后，作者必须承认，事实上我们并不知道哥白尼是否真正读过 Oresme(144页)。整个哥白尼革命与事件发生前的历史事件的联系只能说是“他想必总知道一些他们的(案指 Oresme 或类似学者的)工作”，或者“他可能至少听说过这些非常有影响的学说……”在这个最重要的关键点上作者之所以深感无力，是由于纯科学史研究并没有能提供可资分析的资料。

另一方面，库恩在同时间的另一篇书评中也提到^②，过分细致的史料追寻和分析可能会使文章显得“零散”，他又怕史料罗列会使读者觉得“炫耀细节过分而分析解释不足”。库恩在这儿所谈论的，正是困扰每一个历史学作者的问题：究竟如何把历史陈述与相关分析安排在他们的著作里？用他们的行话来说，“史”“论”究竟如何结合？

① A. Einstein, "Foreword to Dialogue concerning the Two Chief World Systems", trans. by S. Drake, Berkeley: Univ. of California Press, 1953. 引文在 p. vii. 爱因斯坦的这篇序言有中译，在《爱因斯坦文集》第一卷，北京：科学出版社，1975，579—85页；伽利略的书也有中译，《关于两大世界体系的对话》，上海：上海人民出版社，1974。

② *Isis*, 48(1957) 92.

尽管几乎所有的科学史研究者都声称他们的研究是基于科学史进程、事件或者事实的，他们对如何处理这些素材的见解却是很不一样的。M. S. Mahoney 教授曾说过一个故事。有一天 C. G. Hempel 走进办公室看见 Mahoney，随口问他一段科学史是不是如此如此的。当 Mahoney 告诉他“不是”时，Hempel 教授说：“啊，那我得另找一个例子。”

从科学史家的角度看，Hempel 的态度简直是一种不负责任的挑选史实，是不可容忍的随意性。他们认为，任何对历史的分析应当是从总体出发的，谈论一个孤立事件是没有意义的。从科学哲学的研究者的角度看，这正是他们对纷繁的历史事件去粗取精、去伪存真的过程。因为历史如此复杂，不可能要求每一事件都能恰当地反映所有科学发展的逻辑，而科学史的研究正是要能选取适当的事件或历史片段，加以说明和发挥，使得这种本来隐蕴的逻辑得以彰显。

库恩在《哥白尼革命》一书中并没有明白表示他倾向于哪一取向。因为本书的教科书性质——其本来也起源于在哈佛的教学，书中的确介绍了不少历史材料。但绝大部分都是当时科学史界所熟知的，并不出于库恩的独创性研究。如果真要把本书的历史和哲学两个取向作一比较的话，库恩还是在后一方向上表现出较多的独创性。但这种独创性不是表现在对哥白尼革命的任何哲学判断上，也不是表现在对哥白尼方法或理论的结构分析上，而是表现在对整个历史发展，“概念体系”如何形成，这种“概念体系”如何限制和规范科学研究，使之呈现长时间的稳定，科学家们为什么有时又突然放弃一个概念体系而转适别的概念体系——对所有这些问题的沉思之上。这种沉思并未导向，更不用说构造出任何具体结果。但是，如此明白地把这些问题从纷繁的历史现象中抽提出来，表达出来，无疑具有强烈的启发性。

四、科学史家对《哥白尼革命》的反应

《哥白尼革命》一书出版以后的最初反应可以在分析其相关书评中

看出。1957年6月15日的《图书馆杂志》^①大概是最早发表意见的。以该杂志的性质而言,其评论当然不是科学史或科学哲学的专业分析,而是为图书馆管理经营服务的。评论者 Milton B. Wenger 似乎是纽约市一家公司的工程师,他注意到的唯一与我们的主题相关的一点是库恩的书“对于为什么自然研究者要花那么长的时间才能接受日心体系给出了一个不错的说明”,因而这本书是“引人入胜的,并值得一读——不论是为了知识还是为了消遣”。

一年多以后,另一位评论者^②注意到库恩把构成哥白尼革命的数学和物理上的发现与“当时的哲学和学术气候环境”一起研究,认为颇为可取。差不多同时,库恩的书得到了当时最负盛名的哥白尼研究权威 Edward Rosen^③ 的评论。Rosen 对本书的评价不高,在他篇幅不长的评论中,Rosen 以随口列举的方式一口气举出了二十八个错误,从数据错误到名词的拼法错误都有。Rosen 最后以“令人遗憾”之类的词结束了他的评论。

Edward Rosen 当时是纽约 City College 的教授。这位波兰裔的犹太教授是差不多所有最重要的哥白尼史料的最初英译者。哥白尼的《提要》,给 B. Wapowski 主教讨论 J. Werner“第八重天运动”的信,以及 G. Rheticus 的关于哥白尼工作的解释性文字均由他介绍到英语世界中来。在他一生漫长的学术生涯中,Rosen 发表了一百多篇介绍哥白尼或哥白尼革命的论文、通俗读物或小品。他的评论自然重要。他对史料的熟悉和占有程度,当然不是库恩当年可以遽言企及的。对于这样把一生都奉献给哥白尼研究的老学者,任何一个小错都是不可原谅的,何况库恩还把他的名字拼错了四次。

Rosen 的批评不可谓不对。但从差不多四十年以后的今天看,这一批评中还有更深的的一个层面。像 Rosen 这样的学者,钻研史料,考比事

① Milton B. Wenger, *Library Journal*, 82 (1957) Pt. 2, 1669 - 1670.

② *Saturday Review of Literature*, Sept. 12, 1959.

③ Edward Rosen, *Scripta Mathematica*, 24 (1959) 330 - 331.

实,一生不倦,而他的主要取向也更多地史料和史实方面。对于志在探求“科学发展规律”的三十五岁的库恩说来,“细节”差不多是“小节”的同义语,他的注意力不在“细枝末节”之上,而在于历史的整个演进。很多年以后,史学界开始谈论“大历史”“小历史”^①。这种做法上的分歧,这种着眼点上的偏侧,实在不是一种简单的“细致”与“不细致”的分歧。

^① 参见,例如,黄仁宇,“自序”,《万历十五年》,台北,食货出版社,1985,1页。黄博士的概念与此不甚相合,戏用之。

王韬研究所提示的中国近代史的复杂性

——评忻平《王韬评传》和柯文

《在传统和现代性之间》

王韬是中国近代颇具影响力的一个人物。本文系统地回顾学界对他的生平与思想的研究,并依据这些研究的主题和方法将关于王韬的工作分为三个阶段。从王韬逝世到1930年代中为初期,注意力集中在关于王韬的遗闻轶事的搜集整理;继之而来的是50年代至60年代初的工作,焦点集中于王韬和太平天国的关系——即所谓的“上书”问题。70年代以后,特别是过去的十年间,对王韬的生平思想的综合研究有了长足的进展。本文对这一时期中出版的两本主要著作,即忻平的《王韬评传》和保罗·柯文(Paul Cohen)的《在传统和现代性之间》(中译本)作细致的讨论,指出在王韬研究中的 Pygmalion——即美化拔高现象和“现代化”倾向。笔者认为,中国近代史的研究首先是对中国近代发展的复杂性的研究。这种复杂性集中表现在诸如王韬这样的兼及中西文化,经历复杂的知识分子身上。

王韬是中国近代颇为引人注目的一个人物。去世百年来,对他的研究断断续续没有中止过。本文拟对这些研究,尤其是晚近出版的忻平著《王韬评传》^①

^① 忻平,《王韬评传》,上海:华东师范大学出版社,1990。

和柯文著《在传统和现代性之间》^①作一评介,或者有利于本专题的进一步讨论。

王韬字利宾,1828年生,1897年卒,其生年恰在中国与外国列强冲突剧烈,国内革命运动高涨,民族矛盾尖锐的时代;其生地苏沪一带,又是战乱兵燹,外强交侵的中心,无怪乎他一生传奇多姿。

和一般士子一样,王韬早年读书应举,但一直没有什么功名上的成就。因家事偶至上海,见着西洋的船舰楼房,接触到了西洋的书籍观念,对洋人渐渐有了一些认识,至少觉得“洋人亦人也”,终不见得如当时多数人认为的那样“不可与语”。进而入墨海书馆,与洋人合译洋书,眼界得以扩展,观念也得以深化。太平军兴,王韬为出谋划策,不料弄巧成拙:太平军未用他的“奇策”,倒是清廷百计捉他。不得已,在洋人的帮助下,先逃香港,再往英伦,因祸得福,成了中国历史上最早涉足西洋,领略西方文明的文人。回香港以后,一边著述,一边办报,影响颇大。最后回到上海,出掌格致书院,以病歿。

二

在以后的十几二十年间,王韬在老朋友的回忆笔记,坊间的野史杂著中,时时可见。邹弢的《三借庐笔谈》,柴小梵的《梵天庐丛录》,范烟桥的《珊瑚网》,1921年自由杂志社刊行的《松殷漫录》,以及文明书局1923年出版,不著作者的《太平天国野史》,都有提及。洪深先生尝细为考证。^② 这些作者所留意的多是王韬上书太平天国的事,而之所以特为记

^① 柯文,《在传统和现代性之间》,雷颐、罗检秋译,南京:江苏人民出版社,1994。本书的英文原著 Paul A. Cohen, *Between Tradition and Modernity: Wang Tao and Reform in Late Ch'ing China* (Cambridge: Harvard University Press, 1974)。其实早在1974年就已问世,但真正广大中国读者留意似在此一译本出版之后,故作“晚近”之说,识者鉴之。

^② 洪深,《〈申报〉总编纂“长毛状元”王韬考证》,《文学》2. 6(1934/6): 1033—1045。上文列举诸书,从洪著。下文“东方朔”云云见所引邹书《天南遁叟》。

录,则是因为王韬经历奇特,才学渊博,又能谈笑诙谐,“或能当东方朔之名”。

简又文和陈振国的《长毛状元“王韬”》在《逸经》上刊出时,距七七事变只有两天,以后自然没有后续研究。^①至50年代中,先有罗尔纲重写了《黄畹考》,再有王惟诚的《王韬的思想》、谢无量的《王韬:清末变法之首创者及中国报导文学之先驱者》、吴雁南的《试论王韬的改良主义思想》,以及稍后吕实强的《王韬评传》。^②在日本方面有增田涉的《王韬试论》,^③英文的有 Leong Sow - theng 的长篇论文。^④与我们方才罗列的20年代的工作相比,这些文章明显地转向了王韬思想的研究,而生平考据则退至颇不重要的地位。这些作者普遍注意到王韬改革清末政治的愿望,特别是他向国人介绍的西洋的物事观念;而对王韬著作的转引利用,一时蔚为大观,竟不可与30年代相比了。

三

王韬上书太平天国一事,既为他以后远遁香港至于旅欧出洋的直接原因,又涉及咸同交接时期清廷、洋人、太平天国的三角关系;事情的本身还因为王韬本人的否认,喧播众口的传闻变得扑朔迷离,因此颇为研究者所乐道。

事情的起因是清军在缴获的太平天国文件中发现一封具名黄畹的信,建议太平天国采用对外国势力和清廷的各个击破的政策。清军似乎很快就确定此一黄畹即王韬,并行追查。而外间稍后也由陈其元的《庸闲斋笔记》风闻此案。陈时在军中,故得亲见其书。从现存军机处档的

① 《逸经》33(1937): 41—45。下文说“自然没有后续研究”是指专文而言,“读者问答”之类间或有之,如周树三问王韬“究为何人”,见《大风》58(1939/12)。

② 罗尔纲文在前引文集,时当1955年;王惟诚文出自他在北京大学的讲授,收于《中国近代思想史论文集》,上海:上海人民出版社,1958;谢无量文载《教学与研究》1958.3: 37—42;吴文在《史学月刊》1958.3: 17—21;吕文稍晚,在《书与人》61(1967): 1—7。

③ 增田涉,《人文研究》17.7(1963/8): 90—100,中译见《大陆杂志》,34.2: 53—57。

④ Leong Sow - theng, *Paper on China* 17(1963): 101 - 130.

“黄畹书”看，陈其元简略的复述泰半正确。

1934年，谢兴尧介绍了这封信，并认为黄畹就是王韬，也即当时清廷的判断没有错。稍后胡适、罗尔纲给出细致的证据，^①洪深也从王韬为人、政见等更大的范围做了研究，断定“事是有的”。但吴静山认为王韬上书很不可能。^②案静山实未见上文所引诸文，对重要史料如《庸闲斋笔记》也有误引，所以后来学者多不采其说。稍后简又文又做了一些工作，包括征寻现在很流行的“口述历史”，也认为王韬上书大概不是子虚乌有。

四

忻平著《王韬评传》^③对“上书”采用通行说法，即认为确有其事，并附专门考证，罗列引述甚详，足以表现专业史学家的训练学养。可惜的是，行文舛错殊甚。^④特别是对王韬上书的最初也是最重要的记载，陈其元

① 谢兴尧，《王韬上书太平天国事考》，《北京大学国学季刊》4.1：31—49；罗尔纲，《上书太平天国的黄畹考》，同上刊，4.2：269—295。这两篇文章又都收入文集：谢文在《太平天国史事论丛》，上海，1935；罗文在《太平天国史事记载订谬集》，北京：三联书店，1955，此文下文还要谈到。胡适的文章《跋馆藏王韬手稿七册》，在《国立北平图书馆馆刊》8.3：6077—6081，其附录考王韬姓名，为前引谢罗二文所用（谢在33页，罗在270—271页）。洪深文已见前注。

② 吴静山，《王韬事迹考略》，见《上海研究资料》，上海：中华书局，1936；文章写于1934年，由文章引言中“王韬初名瀚，……王瀚和王（原文如此）畹是否是一个人，却还没有人考证过，”（672页）可知静山实未见上注所引诸文。

③ 稍晚于上述忻平著《王韬评传》，有南京大学张海林的同名书《王韬评传》，南京：南京大学出版社，1993。本文只讨论前者，因为后者的前三分之一是忻著的对应章节的改写，或者说是复述，或者更直截了当地说是手法比较高明的抄袭。将两书稍作对比该不难得出上述结论，本文因此也不拟再作哓哓驳难。只是作者这样做的动机有时让人费解：因为历史研究实在很难为人带来名利，而宁静淡泊倒是真正写出好文章的必要条件。这样做何止是缘木求鱼，其害殆有甚焉。如果这样做是为了升等，那升南京大学的副教授也太容易了。笔者在此提出，并非有意发难，或想摧毁某人，只是深恐此风蔓延，则无学术可言矣。

④ 如引谢兴尧《史事论丛》说“长毛状元”一名只是“友人间戏谑雅称”（68页）。查谢兴尧讨论这一问题的《读〈江南春梦庵笔记〉跋尾》，“四、太平天国状元题名录”，不见这一提法；谢兴尧考王韬发表于1934年而不是1935年，罗尔纲文见于《国学季刊》4：269，而不是第一卷33页；胡适参加此一研究在罗尔纲之先而不是之后“不久”，等等。

的《庸闲斋笔记》，未予深考，只是笼统地说是“清同治十三年刊本（1874），37页”（64页注3），似须辨证如下。

陈其元撰《庸闲斋笔记》实在有两个阶段。先在同治十二年稍早写成八卷，俞樾序，次年开雕。这一版本见于《申报馆丛书正集》，自序称“是书八卷”。在八卷本的出版过程中，其元子又增补收录，再由其元排检编定成后四卷，事在光绪元年，合为十二卷本，存《清代笔记丛刊》。以后又有书商将原书摘录，不分卷以其元字子庄行世，后人《满清野史五编》。这三个版本均为《中国丛书综录》著录。^①现在通行的杨璐点校本前言对前两个版本均有述及，^②但对八卷本是否行世语焉不详，并误称“初刻”在光绪初年，其实查《续修四库全书提要》即知当在同治十三年。^③

本来这种细致的版本问题可以不提，^④但所引“黄畹”条恰恰仅见于续编的第十二卷而不见于同治十三年的八卷本。所以忻著所称“同治十三年刊本37页”即令人有不知所云之感。^⑤倘若作者能复检《中国丛书综录》或他写作期间出版的点校本，当能补此缺憾。

五

尽管如此，忻平的专著仍是近年来对王韬的重要的研究。忻著九章：一、二两章讲王韬早年，至上书太平天国；第三章讲王韬佐译《中国经典》和旅英；四、五、六三章讲王韬的著作和政治经济思想；七、八两章讲访日；最后第九章讲他的晚年，特别是格致书院。全书基本上是以时间顺序叙述，间或穿插一些专题，论述介绍王韬对一些特别的问题的看法

① 在子部小说类，1079页。

② 陈其元，《庸闲斋笔记》，北京：中华书局，1989。

③ 在1666页。

④ 值得注意的是，前引增田涉文章中已明白提出陈其元书的版本问题并简略地指出同治十三年初刻本与光元的续刻不同。

⑤ 案同治十三年八卷本分卷编页，终八卷而无1—37页之巨。前述不分卷本稍后出，刊本杂芜，不能一一。我所用的八卷本哥伦比亚大学善本库藏，惠予使用，谨此致谢。

和观念,安排甚是得法。

王韬青年时代并不容易写。因为史料的限制,作者不得不主要依靠王韬自己的,尤其是晚年的回忆文字。这种文字的一大问题是难免夸饰。文过饰非常为人情所不免,而王韬标榜为名士,自然更不会稍自谦让。他自视很高却又屡窘于场试,于是流连山水,寄情青楼,作才子狂生状以稍慰其心,实在也是自然的。王韬的反传统倾向由此发展,实非他所特有。与他同时而更加激烈的龚孝拱^①、洪秀全都是很好的例子。

忻著在处理王韬“思想转变”这一重大问题上,篇幅不等地讨论了三方面的原因。一是入墨海书馆参与译书,尽管出于不得已,但毕竟有机会在一段相当长而安定的时间里,比较深入全面地接触了西洋文化;一是置身上海洋场,耳闻目睹,感受“气象顿异”,大至楼船,小至缝纫机、印刷机,无不令人震动;一是他自己足疾经年,而被西医不逾旬月治愈,亲身体会,感受自然特别真切。忻著(第二章,四,37—46页)这样的处理,很是令人信服。

墨海书馆的经历对于王韬说来非常重要。在王韬的时代,洋人还被一般人,包括受过教育的人,视为异类。接触洋人的人,也多为帮办事务,协助生活;对于西洋文化,或者连“蜻蜓点水”都称不上。王韬既入墨海书馆,即不为士林所容,而他也不须再顾虑华夷之辨,所以倒是有机会深入西洋文化。但入世为用是传统读书人“经济天下”的正途,投靠贤主使治世救民之策得以实施,则一直是他孜孜追求的。直到上书太平天国事发,遁走香港,他才最后死了这条心。此后在香港一住十二年,其间又游英伦。这种经验在王韬时代的知识分子中,绝无仅有。于是思想遽变,实在也是自然的。忻著第三章讲王韬的思想发展,如前两章一样,也颇令人信服。

^① P. 柯文曾留意此人,见氏著中译 20—21 页。

六

忻著的贡献是第一次为中国读者完整详细地介绍了王韬的一生,这对于了解王韬乃至 19 世纪末中国改革思想,“西学东渐”的流源和发展,自有重大的意义。但在行文叙述中,亦有若干方面的缺失,文章因此减色不少。

一是不加讨论界定地使用一些术语或套语,如说王韬的思想发展是“从地主阶级改革派到资产阶级改良派”(第三章),说王韬“觉悟程度步步提高”(71 页),说王韬上书徐有壬所提出的对付洋人的办法“在哲学上是形而上学的”(51 页),给人以一种莫名其妙的感觉。这或许是大陆史学研究者的语言习惯。但是,这种源于“文革”的做法对于历史研究不仅无益而且有害。这种做法并不能帮助我们深化对于历史的理解,反而把历史简单化、现代化,模糊了历史的真实情形。比如作者多次谈到的“民族危机”(15、34、48 页等等),在王韬时其实有多重且内涵各异的定义。简单地说,有清王朝与外国侵略者的斗争,有以恢复汉族统治为号召的太平天国与清政府的斗争,还有太平天国和“洋兄弟”的斗争,而王韬恰周旋于此三者之间,若以“民族危机”笼统称之,必然简化和扰乱了对这种复杂性的认识。

二是对王韬的思想和行为的拔高。这在人物研究中是一个颇难避免的偏向。中心人物当然在历史上是一时之选,当然有他过人之处,于是越看越敬佩,越看越爱。如说王韬“发展资本主义的经济思想”(138 页),说他“毅然跨出国门,实地去欧洲考察”(88 页),说他是“鄙视传统观念,有着自己更高追求的新式的知识分子”(154 页),均是这种偏向的例子。这儿不是因为所谓的 Pygmalion 现象而用词夸大了一些,而是与史实不合。“经济思想”者,曰“介绍”或尚可通;遽言“发展”,即引起混乱。试看忻著 139—140 页,作者自己在“发展”这个概念上反反复复,仍未能说出所以然来。至于“毅然跨出国门”云云,恐怕王韬自己都会哑然失笑。他的说法是“避祸”。这一偏向有时还会影响研究的准确。如“佐译”《中国经典》引 James Legge,称译书“有时非伊不可”(80 页)。查原文

只是“大有用处(worth a great deal)”。^① 过分强调王韬在翻译中的作用,恐怕会使读者误以为王韬的英文已到了一定的程度,从而又使读者对于王韬何以有此能力感到困惑。其实,如以为王韬即如现在那些托福考了600分再出洋的学生那样了解西学,则是过分地淡化了早年中西文化交流的复杂性和困难程度。以这样的一个误解作为出发点,忻著进而推出“王韬认为有必要系统地向国人介绍西方新知和最新成就”(27页),于是选译了某些科技书。^② 而事实上,王韬当时并不能“选”什么书来译:他既没有见过多少洋书,洋人也不会同意让他来选。他不甚通英文,他只是把懂中文的传教士所译出的半通不通的译文梳理成比较通顺流畅可读的中文而已。

七

忻著的第三个缺点是前文曾提及的粗疏。这个问题本来似乎不应该大做文章。写作研究,印刷出版,多少有些错误,岂能求全责备?问题是错得太多,太离谱。文字句法如“帮助理雅各佐译中国儒家之《四书》

① James Legge 即理雅各的这封信每为王韬研究者所乐用。原信录于 *James Legge: Missionary and Scholar* (London: The Religious Tract Society, 1905), pp. 41-43. 忻著译文稍嫌粗疏,如所录最后一句“余固未见有人能及于王博士者也”,原文是“and here I could not get any one comparable to him”,雷颐译柯文书作“而在此我找不到任何人能与之比肩”(59页),显然准确得多。另外此处“王博士”在原信中作 Dr. Wong,但忻著引作 Wang。细看 Helene 原书,这个 Dr. Wong 是“广东来的医生”(p. 126),则此 Wong 是否就是王韬尚非无疑(因为我们知道当时至少有一个黄胜 Wong Shing, 一个黄宽 Wong Foon [他是广东人,且有医学学位]也在左右,参见下引陈学霖的文章以及柯文书 222 页注 1)。柯文引用时也未予考证,识此备考。又,王韬之不甚通英文,见其自述,《日记》,北京:中华书局,1987,196页。

② 王韬在《火器说略·序》里说起过他和黄胜讨论翻译西书的情形。他以丁日昌曾致书询问火炮事,要黄“少为……助”。于是黄“乃出篋中西书,译有炼铁,造模,置炉,钻炮,验药五则,次则测量各表,附此枪说,余为之第其先后,增损裁汰之,参以管见,佐以近闻,所有论说诸条,皆系贡自鄙意……。”以此观之,翻译似乎是黄胜做的,见陈学霖,《黄胜,香港华人提倡洋务事业之先驱》,《崇基学报》3(1964): 226—231,而“王韬帮他的,不过是文字润色而已”。吕实强的文章,在《书和人》61(1967): 473—480,在谈论王韬“编译”西学时也认为王韬“并非内行,所作不过一般性介绍”(477页)。

《五经》”(75页),犹言“帮助理雅各帮助翻译”,显然作者没有留心“佐译”就是“帮助翻译”。注释之马虎也很难原谅,如93页引新城新藏,中日文并用,且日文版也注译者。又如前论陈其元《庸闲斋》的版本,以及论王韬黄畹的《国学季刊》,引注都显得很随意。尤其是69页指“王”“黄”为“通假字”,似嫌武断。查张桁等《通假大字典》或周祖谟《古汉语通假字典》,均无此说,不知作者是否另有所本。事实上,如留意王韬当时是在给太平天国写信,不难知道这是太平天国的避讳。^① 忻著随意以通假论,真会使读者误以为作者不知道什么是通假字了。在例举著作时,将《菽园笔记》列为一本独立的著作(245页),其实只要翻阅该书序文即知此即《淞滨琐话》,只是改了个名字而已。作者未辨其来源,至有此误。至于著作年代误印,更不胜枚举。

洋洋数十万言,疏漏在所难免,但宜力求精细。文章千古事,一旦刊行,即无法改动,生前身后,海内海外,贻误读者,贻笑大方,均非作者所愿,岂能不十二分小心。和前面提到过的张海林书比,忻著的华东师大出版社的工作显然远逊于张著的南京大学出版社。责任编辑的责任是不为作者,不为读者,同时也不为自己留下遗憾。像这样潦草粗陋的出版物将永远留在海内外无数图书馆的书架上,无法擦掉,永为笑柄,岂不令人悚然。笔者早年就读于华东师大,深为母校所不取也。

八

王韬回到香港以后,致力于新闻报导,撰写介绍西洋文化历史的文

^① 保罗·柯文已留意此点,见其中译本48页。忻平是否仔细读过柯文,我无从判断。他的确引过柯文(43页注3),但将柯文第二篇的篇名误作书名,而所列“84页”在柯文原书中恰是一页空白,因而所引也不可解。又如柯文明白引用傅兰雅写的格致书院1896年2月11日至97年7月1日的活动报导(刊于1897年7月16日《北华捷报》,见原书3、183、279页),以及吴静山和谢无量的两篇二手资料,初定王韬死于1897年5月2日至30日之间;即使以吴、谢两研究所赖的原始资料尚非无疑,从傅兰雅《北华捷报》文至少可知王韬当死于是年6月或稍早,时当农历五月或初夏,但忻著仍辟一长注(238—239页),利用徐光摩1948年的工作证王韬死于1897年秋。

字，“传播西学”，这是忻著四、五、六三章的主题。这三章对王韬思想著作的讨论颇为详尽。前引诸篇研究王韬的文章，未有如是细致深入的工作。虽然近有姚海齐《王韬的政治思想》^①和李在光的《王韬维新思想之研究》，^②但或专论一面，或流传不广，所以忻著的价值自见。第七章写王韬去日本，在忻著出版时也颇少有人提及，^③这些都是忻著有功于读书界的。

八、九两章处理王韬晚年。和本书前述各章不同，在谈论王韬晚年的文字中，作者使用了相当多的来源各异的史料，如同时代人的著作撰述，后人的研究考证，馆藏档案乃至作者私人信函，文章顿时生色不少。但王韬既为名士流，自己记叙文字中难免有些夸饰，若尽信其说或恐为其误导。如王韬称由英返港时向牛津大学和大英博物馆捐书 11,000 卷，忻著对此采用不疑（102 页），但柯文利用原始资料指出实际上只有 203 本计 712 卷（中译本 69 页），而且是以 65.1 英镑收购的。^④作者在这一方面显然未能有所警惕，随时留心考异，把自己的研究建立在更广泛的资料上。

忻著在讨论王韬著作时已注意到王韬的“混杂性”（169 页），即西学和中国传统学术，科学知识和狐鬼神怪，严肃的政治经济理论和荒诞庸俗的游冶猎艳的比肩共存。作者并指出这是“荒诞与真知并存的曲折而复杂的事”（170 页），湛哉是论，如能以这一基本认识统帅全书的分析，则当能更深刻生动地再现王韬及其时代。

① 姚海齐，《王韬的政治思想》，台北：文镜，1981；忻著有引用，在 70 页。

② 李在光是韩国在政治大学的研究生，此为他的硕士论文，孙广德教授指导，1980 年完成。李以“变的观念”、“道的观念”和“六合混一”三条作为王韬维新思想的基础（59 页），综述了王韬的主要著作，未闻正式刊行。

③ 王晓秋，《近代中日文化交流史》，北京：中华书局，1992，有专节讨论（第七章第一节），但不及忻著翔实，且晚出。

④ 又如被广泛引用的“牛津大学讲演”，王自称听众“无不鼓掌蹈足，同声称赞，墙壁为震”，见王韬著，陈尚凡、任光亮校点，《漫游随录》，长沙：湖南人民出版社，1982。以常情度之，这种场面似与维多利亚时代英伦学府作风殊不相合，但细致的考究确实殊非易易。

九

在忻著发表十六年前,美国学者保罗·安德鲁·柯文(Paul Andrew Cohen)对王韬的曲折而复杂的思想有相当精当的讨论。1994年该书中译本出版,对于王韬和所谓的西学东渐的研究当很有裨益。

柯文1934年6月生于纽约,1955年芝加哥大学毕业,1961年在哈佛大学获东亚研究的哲学博士,^①以后在Wellesley学院,从副教授依次迁升至Edith Stix Wasserman讲座教授。“王韬”是他积十数年心血的力作。写作是书之先,他曾有专文谈王韬对“变化中的”世界的看法,^②又有长篇论文讨论王韬的“潜在的民族主义”,^③再有对1850至1900年间中国人对西洋的态度研究。^④这些前期工作为本书的完成作了良好的准备。

柯文的书四篇九章,连同被译者称为“序曲”的前言,正文洋洋洒洒几二百八十页。前三篇专论王韬,第四篇稍作发挥,讨论诸如“沿海和内地”之类的“更为广泛的问题”(作者为中译本写的序言,见中译本1页,下文如无特别声明,页次均指中译本)。柯文基本上是按王韬平生遭遇的时间顺序来写王韬思想的发展的,但不同阶段各有侧重:第一篇从王韬年轻时代写到旅欧时期,重在探讨王韬思想的形成;第二篇分析王韬的史观;第三篇分专题讨论王韬的教育、经济和政治思想,侧重王韬比较成熟的论述,时间分段上则是他的晚年。

① 他的博士论文是对基督教在19世纪中叶中国传播的研究,“Chinese Hostility to Christianity: A Study in Intercultural Conflict, 1860-70”,稍后改写成书,即*China and Christianity: the Missionary Movement and the Growth of Chinese Antiforeignism, 1860-1870* (Cambridge: Harvard University Press, 1963)

② “Wang Tao's Perspective on a Changing World,” in Albert Feuerwerker, et al., *Approaches to Modern Chinese History* (Berkeley: University of California Press, 1967), pp. 133-162.

③ *JAS* 26 (1967): 559-574.

④ “Ching China: Confrontation with the West,” in *Modern East Asia: Essays in Interpretation* (New York: Hancourt, 1970).

十

说柯文书有精当的讨论,首先在于作者对于王韬及其所处的时代的复杂性有恰如其分的处理。第一篇讲王韬初至上海直至旅欧。柯文对王韬进墨海书馆“为西人佣书”前后的心态有细致的分析:先是为金钱所驱使(15页),稍后觉得洋人中如麦都思也还算“真挚亲切”(16页),又由王韬的日记,重现了王韬和他所交结的新朋友的游冶清谈(16—21页),于是读者即不难理解王韬何以渐渐安于所遇。这样的处理,合乎情理且细致动人。对王韬的宗教信仰的探索也同样反映了作者对历史的复杂性的认识。作者从王韬的日记和英国教会的档案材料证明了王韬的确在1854年8月正式皈依基督教(21—22页),但紧接着自问道,王韬的信仰是“虔诚的”还是“投机的”?他把王韬放在19世纪末中国人和洋人交流的复杂矛盾的背景上再作考察,发现事实上不能对此作非此即彼的回答。

上书太平天国常是关于王韬的文字的重头戏。柯文在考察了已有的研究后指出,^①王韬“以自己深通实务自诩,并有强烈的从政感,但他的建议却极少受到青睐”,他“看到他的朋友一个个志得意满而自己仍身陷困顿时,肯定会沮丧愤怒”,而“在叛军中功成名就的诱惑肯定十分强烈,足以战胜他对清王朝迟疑不决的忠诚。”柯文稍后(53—55页)把这种复杂性诉诸他所谓的“多元的道德环境”。在总结王韬思想发展时,更提出了“历史和个人经历的汇合”(78—80页),试图对王韬的心理状态和当时的历史大环境作综合考察,加深读者对王韬的怪诞和反叛的理解。我们当然不一定要同意他的分析,但他力图准确地把握历史的复杂性的意识

^① 保罗·柯文,前引书,50—51页。钟叔和稍后(1980年)也指出:“从王韬的出身经历,社会地位,所受的教育来看,他固不同于清朝统治者,但亦不同于起义农民军……自己对太平军初无成见,在清朝只是个不第秀才,……因此愿意给太平军出点主意,一显身手,同时以此换取妻儿老小的安全,——这恐怕才比较符合他的真实思想吧。”(前引陈尚凡等校点王韬《漫游随录》前言,13页),考察的角度不尽相同,但对王韬当时的心理分析约略近似。

是忻著所明显缺乏的。

在进一步发展对王韬观念的分析之前,作者明白提出,在王韬的工作中,“充塞他头脑中的新图景和旧思维习惯之间的那种脆弱紧张的平衡状态十分清楚地表现出来。”(82页)作者注意到,王韬常常信口开河,所以“尤应注意不要将其过于系统化,不要将其实本来就含糊不清乃至前后矛盾的东西硬性划一。”作者特别强调,在讨论“传统”和“现代”时,不能把它们当作“定义明确的社会文化标志”,而应注重“转换”,把两者看成是“变量的连续统一体”。这种黑格尔哲学意味很浓的研究原则有效地帮助了作者在分析中准确地把握历史的复杂性。

第二篇所讨论的“德与力”和“天与人”是两对中国历史哲学的典型范畴。柯文没有把王韬描绘成一个对西学生吞活剥,把西学生搬硬套地介绍给国人的文化掮客,而常在留心王韬以他自己的学养和理论框架对于世界历史的探索。这两对范畴不是外在地加在王韬研究之上的,而恰恰正是王韬用以理解西洋和世界的基本框架。王韬不是一个从天上掉下来的新人,他最早接触西洋,但同时或者说首先是一个中国学者,他对西洋的最初理解是以中国传统文化为基本框架的。作者感兴趣的不仅仅是王韬看见了西洋的哪些史事观念,而且是那些史事观念在王韬头脑里如何变形,如何被理解消化。王韬以东周列国为模式对19世纪欧洲的分析被选作研究个案(87—89页)。把欧洲比作东周在今天看来有些像海外奇谈,但恰是当时中国学者认识西洋的一个重要方法。从方法论来看,将新鲜的陌生的对象与已知的、已理解的事物作比较,将其纳入可比的架构,进而消化吸收,正是人理解新事物典型的途径。王韬对欧洲的分析,凸显了他在中西文化交接点上的先驱者地位;而柯文对此一构架的选用,表现了他对王韬这一历史地位的准确把握。稍后作者还用相当大的篇幅比较了王韬和日本学者冈千仞对法国史的“截然相反的”评论(113—119页)。柯文没有停留在叙述王韬如何把法国和普法战争介绍给国人这一现象的层面上,而是通过这样的对比,指出日本学者的看法常重在“建立一部……宪法”,而王韬则认为“产生一个好的政府

的方法在于让圣人当政”(117页)。这样的比较无疑有助于更细致地刻画中国学者和中国文化在开放之初对于西洋的特有的反应。

第三篇讨论王韬向当时的国人介绍的西洋教育经济政治制度,自然更加直接地面对所谓的“现代”和“传统”的矛盾。对于这一贯彻全书的主题,柯文再一次强调了他坚持探索复杂性的学术取向,断然拒绝“那种认为它们必然互相反对,互相排斥的观点”(134页)。他认为,这“两种成规”不一定能概括社会发展的各个方面,而必须诉诸概念的相对性。他接着一口气提出了七个问题,展示了他对此一研究的复杂性的充分的认识。他写道,“其中有些可能永远回答不了。而且可以肯定,对所有这些问题的回答都不具有终极性,因此重要的是不断地提出这些问题。”(135页)

柯文这儿所提示的正是历史研究的优美所在。历史研究常不同于自然科学的研究,一个被研究过了的,似乎已经有了结论的课题可以被重新提出,从不同的角度,以不同的方法,反复讨论;这种新的研究不一定要推翻以前的结论,它们可以并行不悖,而认识恰由此得以丰富和深化。

柯文的分析仍旧注重于王韬对西学的消化和吸收。对于教育来说,“人才”是问题的核心。柯文注意到,按中国传统的看法,人才之才主要是指统治能力(144页及其后),这和西洋的专门人才的观念不同,而儒家“君子不器”的观念更是根深蒂固的。王韬在这一分歧上的观点是,中国须要向西方学习,但他“并未明确拒斥全能人才观念”。王韬于是致力教育,撰文传播科学知识,执掌格致书院,培养新型人才。王韬对于西学中源说的批评,很明显地表明,在认识西学方面他比他同时代的其他中国学者高明得多。经济的改革(167—169页及其后)又分交通、开矿、制器三方面来讨论。柯文指出火轮船在中国遇到的抵制较小,是因为舟船本为中国所熟知,且利润丰厚,而花大笔投资在人口稠密地区建设铁路却是骇人听闻,自然未蒙其利,先受其害;开矿则不仅导致失业,而且坏人风水,祸及子孙等等,都是作者力图从王韬当时的角度考虑问题,追求历

史真实的例子。政治改革是王韬改革方案中最激进的部分,可是又处处表现出王韬“在很大程度上是追求古代的政治模式和理想并从中获得启发”。柯文从这一“叫人琢磨不透”的现象出发,经过细致的分析,指出了王韬对于“君主于上而民主于下”的制度(192—200页及其后)的推崇,而“与此最接近的就是西方的议会制度”(200页)。所有这些分析都恰如其分地重现了王韬对西学的了解和接受。

十一

第四篇和前三篇不同:作者希望在这不到四十页的篇幅里,把他用了将近二百四十页发展起来的对王韬的研究推广到“一国的历史”,因为他的“主要兴趣与其说是王韬本人,不如说是从王韬身上了解近代中国”(215页)。他企图通过对12位王韬的朋友或同时代人的“集体传记”式的研究,展现19世纪后半中国知识分子对西学的反应和接受,而分析这一集体的基本模式则采用了作者早些时候提出的“沿海”和“内地”两种文化类型(220页)。①

这种努力完全未获成功。作者一反他一直坚持的对复杂性的谨慎的探索态度,对时间跨度长达六七十年,地域跨度广至大半个中国,领域涉及政治、经济、军事、外交、教育这样宏大的主题作了极度的简化,因此未能为读者提供任何深入的分析。即以“沿海”“内地”模式为例,不难注意到,与王韬先后同时,主导和参与洋务的恭王奕訢(1833—1898)、曾国藩(1811—1872)、郭嵩焘(1818—1891)、李鸿章(1823—1901)、曾纪泽(1839—1890)、盛宣怀(1844—1916),稍后介绍西洋新思想领一代风骚的蔡元培(1868—1940)、陈独秀(1879—1942)、李大钊(1889—1927)与胡适(1891—1962),都很难纳入上述模式。因此作者最后不得不写道,“内地文化的真正产物最终几乎完全支配了90年代和20世纪初的改革

① 作者提出这种类型划分是在1972年1月在墨西哥Cuernavaca关于传教士文化的讨论会,“Littoral and Hinterland in Nineteenth-Century China: the ‘Christian’ Reformers”。(中译者一时疏忽将Cuernavaca误作日本地名,见中译本242页注1),此文未闻正式发表。

活动”(254页),这几乎是对本书主题的一个嘲笑了。

十二

从技术层面上看,柯文对复杂性的把握建立在他对史料的广泛占有和细致研究之上。长达四十七页、引书多达四种文字几三百种的注释为二百七十八页的正文提供了准确翔实的史料支持。^①像这样的工作当可称之为研究而无愧。柯文所力图表现的复杂性,并不是人为地、外在地加诸史事的,而恰是对数量巨大、内容丰富的史料作谨慎的分析之后产生出来的自然结果。

一如柯文在标题中已提示的那样,本书不重在写王韬的一生,而是对他的思想,尤其是他沟通中西文化,借鉴西学转为己用,改革积弊,寻求富强的思想的研究。作者因此没有谈论王韬的生活、情趣和处世,^②也没有涉足他卷帙浩繁的笔记杂谈,^③从而未及对王韬作完整的传记式的描写。这未免有些令人遗憾。王韬思想中复杂的荒诞与真知的并存,是他复杂的一生的反映,而他坎坷离奇的平生际遇又是他所处的复杂的时代的反映。

-
- ① 中译者似未能充分留心注释对历史学著作的意义,多处改写删节原注,至使本来相当出色的译文减色。谨举数例:5页注3将原注关于王韬去世日期的大段考证悉数删去,从而使原作者在“中文版序言”中所列举的第一项“对中国读者似乎更有用处”(1页)的内容不见于译本;93—94页上关于王韬访日时日本方面主要策划接待者的讨论全数删去,仅留实藤惠秀一文,篇名译为中文而书名仍用日文(“中日”仍作“日支”);113页注2将原注关于王韬以“逸史氏”为名评论《法国志略》的讨论删除却保留了柯文为说明“逸史”字义而引的诸桥辙次的中文字典,使读者对作者的原意完全莫名其妙;121页注1柯文是说王韬把泰勒斯预报日蚀的年代“前585年”误为匡王四年即前609,译者不知出于何种考虑把前半句删去,于是该注即把匡王四年注成了前585年,颇嫌误导。
- ② 柯文在第一篇结尾明白提及这一问题,认为王韬的生活放浪“可说是这种个人心理重压所致”(80页),但未作充分展开。
- ③ 王韬的“故事集”(柯文在所著70页有一小注提及,可惜没有展开讨论)有三部,即《遁窟调言》(1875初版);《淞隐漫录》(1887初版),此书后以《后聊斋》或之类的名字广为流行,直至现在,如就笔者所见,晚近还有吉林文史出版社1986年版,甘肃人民出版社1987年版,黑龙江人民出版社1988年版,北京:燕山出版社1992年印本,可谓蔚为大观;以及《淞滨琐话》(1887初版),以笔者所见后有1893年朱荣棣题签本,1911年上海著易堂版,1934年上海大达书局版,1987年岳麓书社版,这些重印本有时题作《菽园笔记》。

十三

研究王韬于中国近代史的意义常在于这种“荒诞与真知并存”的复杂性；写好王韬的关键在于能恰如其分地把握这种关系。王韬见多识广，晚年静心著作，所成颇丰。其中既有治国平戎奇策，也有青楼狐鬼不经之谈。论者每以前者为其功，后者为其累；常留心分析他对西洋的介绍推崇而以“沉渣泛起”来看另一面。^①其实这两方面在王韬身上是一个整体，不可须臾或分。简而言之，王韬自命为名士流，遂出入楼馆而不稍为道学所束缚，所以能遍游域外，以比较不带偏见的心态看待外来事物，能与诸夷往来，进而受其说。王韬之为名士，在其意气傲，自视高而科场不利，计屡不售；也在于当时中国整个气候：一方面反传统的暗潮汹涌，一方面骤然开放，政治经济，尤其是文化上的冲击，常令人迷茫、彷徨，不知所措。写王韬难就难在恰如其分地反映这一点。

与忻著约略同时，于醒民的《上海，1862年》^②在处理这一点上显得颇有见地，力图展示历史的复杂性。该书第四章论王韬——作者称此辈为“狂士”，其中有一段标题叫做“酒楼，青楼，洋楼”颇得个中三昧。在资料取用上，于著也较为广泛和均衡。在人物批评上，也避免了如“近代外交思想的开拓者”之类的封号。作者显然深受黄仁宇《万历十五年》的影响，而对一个时代的概括，以对历史“复杂曲折”的再现而言，《上海，1862年》足与《万历十五年》比美。

中西文化的交流和冲突，对西洋文化的理解和消化，是近代中国史的一个大题目。题目既大，牵涉自多；惟其形态复杂，所以需要最精深审慎的研究。惟有这样的工作才能再现历史的复杂性；而惟有准确地再现这种复杂性，历史才能成为有自身意义和自身价值的学问。

原载《新史学》第十一卷第二期 2000年6月

① 参见，例如，前引故事集诸多重印本的前言或后记。

② 于醒民著，上海人民出版社，1991。

评曾永玲著《郭嵩焘大传》

—

这是辽宁人民出版社以“清史研究丛书”为题出版的一套研究著作的一本。这套研究丛书前后共出二十五、六本，每本一个专题，有诸如《清代开国史研究》、《清代人物传稿》之类的综合研究，也有诸如《清代柳条边》、《曹廷杰与永宁寺碑》之类的专题研究，也有诸如《雍乾两朝镶红旗档》、《满族社会历史调查》之类的史料工作，洋洋洒洒，颇有可观者。各书作者，多为五十岁左右的中年史学家，而且不少人已是学有专精，确实展示了东北特别是沈阳、吉林地区清史学者的雄厚实力。

本书作者曾永玲女士，湖南新化县人，1943年生，1967年毕业于吉林大学历史系，1982年于同校获硕士学位，转赴四平师范学院历史系执教。学术研究方向在中国近代史，特别是清末民初的思想史、政治史。从著者的学历、经历看，当是一位连接“文革”前后历史学研究的、现在正在发挥影响的主流研究者。

郭嵩焘(1818—1891)，湖南湘阴人，少有文名，但屡窘于场试。游于幕府，与将帅督抚广有交结。又应召入都，供职翰林院，最后奉派出洋，为首任驻英公使。归，著书讲学，卒于家。嵩焘一生经历，内于“中兴”，外于“夷务”，都是研究晚清史的重要环节，选取他作为一个专题，自然甚

是合理。

有关郭嵩焘的史料工作为本书的写作创造了良好的条件。原始文献如各朝“筹办夷务始末”和“实录”，如中国史学会的分专题的资料丛刊，有关人物的文集、函电、家书、奏疏，均已出版。尤其是郭廷以编定的《年谱》（台北，“中央研究院”近代史研究所，1971年），杨坚校补的《奏稿》（长沙，岳麓书社，1983年），和湖南人民出版社校点的《日记》（长沙，湖南人民出版社，1981—83年），配以先前出版的郭嵩焘的其他著作，为描述这位经历特殊，思想复杂，个性偏颇的人提供了扎实的史料准备，这就肯定了撰写这样一本“大传”的可行性。

二

全书三十二万字，九章正文加“引言”、“后记”，并附有“大事年表”和“参考书目”。

“引言”写“18世纪英国人眼中的中国”，主要利用英使马戛尔尼的《英使谒见乾隆纪实》，特别是英国人对中国皇权，中国官场的夜郎自大，腐败圆滑，以及中国兵力军力记叙，描写了当时中国金玉其外，败絮其中的严重情形。

正文第一章紧接上文，介绍中国国内情形和第一次鸦片战争的失败，尤其是中国官民上下对于突然出现在眼前的“岛夷”的态度和认识。1842年的战争所引起的震动也唤醒了一批学者对外洋的重视，认识到面对“变局”，“岛夷”船坚炮利，并非中国历史上的“夷”可比，注意到洋人对商业的兴趣，注意研究西洋的历史、地理和政治制度，至此，作者完成了郭嵩焘成长年代的背景描述。本章最后一段，为嵩焘“青少年时代”，由出生到三十岁（1847），由入学至成进士，并开始留心“夷务”。

以下八章基本上与郭廷以《年谱》相平行，按时间顺序叙述嵩焘一生事迹。

第二章“湘军高参”介绍嵩焘与曾国藩最初的交往，以及1856年，嵩焘第一次到上海，与洋人接触的经过。作者以本段为嵩焘洋务思想的

发端。

第三章“宦海沉浮”记嵩焘入翰林院，直南书房，随后往天津与僧格林沁同办海防，特别至 1859 年大沽之役。作者在本章当中插入“19 世纪 60 年代洋务派与洋务思潮”一段，作为嵩焘洋务思想形成背景，而以 1859 年 2 月嵩焘论“制御远夷之道”一折和 1860 年日记为基础探讨了嵩焘洋务思想的“初步形成”。

第四章“再次出山”记 1862 至 1866 年间事，大略与《年谱》第五章同。此段时间不长，事颇杂芜。嵩焘先授苏松粮道，再擢两淮盐运使，旋署广东巡抚，其中官场中的矛盾，洋务思想的发展，家庭风波为三个主题，分节叙述，各有照顾。

第五章“山居闲人”记 1867 至 1873 年事。时嵩焘辞官散居乡里，而北京正在因为同文馆、修约和天津教案闹得不可开交。作者以大量篇幅介绍了围绕同文馆和天津教案的争论，然后介绍了郭嵩焘对这些争论的评论。

第六、七、八三章共叙述 1874 到 1878 五年间事。案此五年中第一件大事则是出洋任驻英公使。作者叙述这一段事的划分大概是以第二章为背景，介绍“1874—1875 年间清廷内部（对出使问题）的争论”；第七章重点在编年记录，介绍嵩焘在驻英期间办理的几件大交涉以及与副使刘锡鸿等人的矛盾；第八章则更从思想史的层面细致考察了郭嵩焘对洋务的态度。作者特别指出，郭之看西洋，不只论其船坚炮利，而是一种“整体的认识”，即认识到西洋之富强“一出于学问”，认识议会民主是英国“所以持久而国势益张”的根本原因，认识“实事求是”是西洋人心风俗之本。除了这种近乎学问上的探求，作者还注意到嵩焘生活在英国，耳闻目濡，渐渐接受其习惯，进而变得“色维来意斯得”（civilized），或“以夷变夏”的情形。

最后一章即第九章处理 1879 至 1891 年十二年时间，是为晚年。嵩焘时年老多病，又为士林所不容，而国事愈坏，只得再退居乡里，著作论学而已。

全书以“后记”为结束。“后记”全面评价了郭嵩焘，指其思想有四个特点，即对西洋的总体认识，对传统的全面怀疑，对人心风俗的尖锐批判和反对一切对外战争。

书末附年表，大略摘《年谱》，稍有调整。

三

郭嵩焘一生所处的时代，内忧外患，国家大故迭起，而嵩焘常有批评讨论，所以为嵩焘传自然不能略去这些大事。如湘军水师之议，如同文馆之议，如天津教案之议，均为此类。但另一方面，在这些大事件进行时，嵩焘又身处局外，并非“戏中人”，因此事件本身与郭传又无多关系，至少于嵩焘动处行止无太大关联。这是为嵩焘作传的一大难处，也是对作者的一大挑战。

郭嵩焘一生经历丰富，交往复杂。曾当过幕僚，曾主掌方面；人为近臣，出为大使，朋友同志之中，有王爷将帅，还有一般的读书人，更有不少洋人。在一生中，有闲居乡里，有周游外洋。这是为嵩焘传的另一大特点，也是一大难写之处。

与嵩焘一生事业经历相关的史料之多，汗牛充栋，而且多为原始材料，零散杂乱，有很多还有待发掘校勘整理。这是为嵩焘传的又一大特点，也是一大难写之处。

细看《郭嵩焘大传》，作者显然成功地应付了这些挑战。对于大事件，一般都作了或详或简的背景介绍，对于嵩焘一生，尤其是后四十年，作了完整的描述，不枝不蔓；而对于对晚清史不太谙习的读者说来，阅读本书也能了解嵩焘一生，了解晚清社会、思想的一些方面，也不失为一本可读之书。这是本书最令人称赞之处。

案历史学的论文专著，与大部分科学有一个很大的不同，即其读者不必是历史学家。少数非常专门的历史研究，读者群或者小一些；对大多数文字而言，则更多的是一种“文化”。在这一点上，历史学家和音乐家有相通之处：他们也写一些只有他们的同行才看得懂、才感兴趣的理

论性的东西,但他们的主要产品则为一个广大的非专业读者群所欣赏享受,变成后者文化的一部分。陶冶性情,启迪智慧,其社会功能当在于此,其生存之道也在于此。

曾著郭传以《年谱》为线索,补以日记中的材料,再酌取其他史料穿插其间,可以看出,作者是有意识地努力这样做的。

四

既然要为广大读者群服务,既然要谈论“社会功能”,评价“功过得失”(376页)似乎不可避免,而本传也处处努力这样做,力图树立郭嵩焘的形象。

但是要把郭嵩焘写成一个“正面人物”,所遇到的第一个大问题就是如何处理嵩焘参与与太平天国作战的军事问题。对太平天国,作者仍袭大陆史学界标准说法,所以曾国藩自然是“刽子手”(52页),而江忠源则是“最为凶悍”(55页)。那么郭嵩焘追随江忠源,被江“大激赏”,就和全书不协。作者的处理方式是“一笔带过”:郭嵩焘建议创立湘军水师这件无论郭自己还是后来研究者都认为极为重要的事件,前后包括史料考异只用了五页不到的篇幅,而同文馆问题,尽管郭只是局外议论,却花了十三页。

其次是“洋务派”的评价问题。与湘军不同,随着改革开放,洋务派的历史地位已被重新讨论,不再简单地归为“卖国”了。就本书作者而言,她力图把洋务派区别对待,认为这是一个“非常复杂的政治团体”,但“大方向是正确的”(366页),连同对战争、尤其是侵略战争“也是一种文化交流”(40,364页),对“反帝斗争”的评价(140—41页),对恭王称太平天国为心腹之患而外夷是肢体之患的重新分析(97—98页),以及注意到清廷与太平天国都面临“洋务”从而提出洋务不能“简单地归结为代表哪个阶级的利益”(102页),均颇具新意。

有了这两个大前提的基调,作者即着手评价郭嵩焘。全书持极力肯定态度,称之为“罕有的思想解放派”(373页),“勇敢的开拓者”(374

页)。其缺点只是有“士大夫的坏脾气”(375页),且郭不是马克思主义者,所以其想法只纯是“美好的愿望”而已。

案历史人物的研究必要褒贬分明,既是一种传统,也因晚近“历史为当前政治服务”而加强。久而久之,竟成模式。细看本书的“结论”,颇似中学教师为学生写的“操行评定”,实为蛇足。历史人物必须放回他们所处时代研究,而历史研究也主要是启发性的。要做“论定”,实在不易。一则限于种种有形无形的限制,二则这种预定的先人之见,也常会使作者在不知不觉之中简化历史,迁就结论。曾著郭传显未能跳出这一格局。

五

郭嵩焘留意洋务,固因两次鸦片战争战败,刺激殊烈,举国议论夷务,为一时之时尚。但何以能最终自创一套见解,迥异于人,自当更有缘故。对这个问题的探求,是本传不能回避的,却又是最难着手的大问题。

作者把嵩焘洋务思想发端定在他 1856 年三月上海之行。其时嵩焘参观领事馆和洋人火轮船,“赞叹之情,溢于言词”(64页)。尤其是兵船,作者认为是英人恃以横行海面者,“嵩焘自然特别留意”(65页)。这样处理似稍嫌突兀,使读者误解为嵩焘当时已专心于洋务。案考以嵩焘个性,结合他对其他事物的评论考察来看,嵩焘的这种反应实在是自然的。如他议浙人,以为“靡荡偷惰,重以浮诈”,但仍能很诚恳地认浙人“好善乐施”为“吾乡人所不及”。又如讨论出土铜器,或以为不见于《阮氏彝鼎图考》,当为赝品,嵩焘辄以为古器藏灭土中者众,不必见于书。^①从《日记》看,嵩焘是一个心怀颇为开放的人——倒不是因为他办夷务,所以有这样的胸怀;恰恰相反,是因为“圣人气魄大,运量神”,^②所以能有变通。

^① 《日记》,咸丰六年二月初二日;二十五日。

^② 《日记》,咸丰六年三月初十日。

嵩焘之看夷务,是从一个中国传统的儒家士大夫的观点去理解世界的。其儒学根柢,由多次主讲书院到著作百卷,都是力证。除了《礼记质疑》四十九卷,《大学章句质疑》一卷,《中庸章句质疑》二卷,《订正朱子家礼》五卷之外,《日记》中几乎处处可见的对《易》和儒家经典的研究,表明这是他思想的一个重要的、某种意义上或可以说是主要的方面。可惜本传于思想史背景方面着墨不多,因而给人创造了一个孤立的郭嵩焘而不是历史的郭嵩焘的感觉。

这一缺憾作者也感觉到了。在处理郭嵩焘对妇女的态度上,叙述就不够一贯。先是郭于妻妾名分上,独钟邹氏,被归为“思想解放派”(153页),但病重时又“奋力”为“以愚昧、专横为前提的封建主义”的烈妇作诗(360—361页)。作者认为,郭先前是“时代先行者”,但到临死时,“又回到了传统之中”(362页),这样的分析似亦稍嫌牵强。

事实上,郭嵩焘从来也不是“资产阶级知识分子”(374页)。他只是处在一百五十年前中西文化剧烈撞击的撞击点上。若能从儒家文化传统,以及清末“反传统”的大背景上,结合嵩焘个人经历个性作更大尺度的分析描述,本传当更为精彩。作者的研究取向既是思想史,尤其是清民之际的思想史,我们自然可以希望继续见到深入分析的力作。

原载《新史学》第五卷第一期 1994年3月

牛顿传略

牛顿(Newton, Isaac) 1642年12月25日(儒略历,即现行公历的1643年1月4日)生于英国林肯郡的伍尔斯索普;1727年3月20日卒于英国伦敦。数学,动力学,天体力学,天文学,光学和自然哲学

I. 童年和早期学生生活: 1642—1666

II. 光学

III. 力学和天文学研究: 1666—1686

IV. 炼金术、化学和物质理论: 1669—1696

V. 晚年。哲学、优先权和上帝: 1690—1727

VI. 文献和研究现状

本文注释中使用的主要简写:

C *The Correspondence of Isaac Newton*, 7 vols, ed. by H. W. Turnbull, et al., Cambridge: CUP, 1959 - 77;

DSB *Dictionary of Scientific Biography*, 16 vols, ed. by C. Gillispie, New York: Scribner, 1970 -

MP *The Mathematical Papers of Isaac Newton*, 8 vols, ed. by D. T. Whiteside, Cambridge: CUP, 1967 - 1981;

PT *Philosophical Transactions*;

QQP Newton's *Quaestiones quaedam philosophicae*, ed. by J. E. McGuire and M. Tamny, Cambridge: CUP, 1983;

RSW R. S. Westfall, *Never at Rest*, Cambridge: CUP, 1980.

一、童年和早期学生生活(1642—1666)

牛顿生于一个“自耕农”家庭。所谓“自耕农”，是指拥有少量土地，颇能自立的农户。他们在社会上并不显赫，但也受人尊敬。牛顿的父亲也叫艾萨克，母亲叫汉娜(Hannah)，是艾斯考夫家的女儿。1705年牛顿被授爵位后不久，他曾费了一番功夫追述了一下他的先人。这份谱系追溯到第五代祖父。根据牛顿的描述，他家是在曾祖父理查德(Richard, 1588年去世)时迁住伍尔斯索普的，祖父罗伯特(Robert)，在他出生前一年去世，父亲在他出世前两个多月去世。他父母双方的先人中，没有什么引人注目的业绩。^①

1645年，母亲汉娜改适B. 史密斯(Smith, 1582—1653)，牛顿则由外祖父母照料。幼年失去父母的照顾，给牛顿的性格带来明显的影响。很多研究者认为，牛顿以后的孤独、沉闷、谨小慎微的性格和他的童年生活有很大的关系。^② 1653年继父去世，母亲回到娘家并带回了三个牛顿的同母异父弟妹，最小的也叫汉娜，那时才一岁。汉娜的女儿凯瑟琳(Catherine, 1679—1740)后来和她的舅舅牛顿住在伦敦。凯瑟琳嫁给了康杜特(J. Conduitt)，他们的女儿也叫凯瑟琳，她在1740年嫁给J. 沃洛普(Wallop)，后者后来承袭了他父亲朴次茅斯(Portsmouth)伯爵的封号。牛顿亲属中这一支之所以特别重要，是因为牛顿大部分最重要的手稿正是通过这一支传到朴次茅斯家族，并在1872年最后由朴次茅斯伯

① E. Turnor, *Collections for the History of the Town and Soke of Grantham*, London: Willian Miller, 1806.

② I. B. Cohen, *DSB*, v. 10, p. 43.

爵捐给剑桥大学图书馆,成为现在研究牛顿的最珍贵的资料来源。^①

牛顿小时候并没有显示出特别的天赋——“最多只是个会做模型和会画画儿的聪明的孩子了。”^②他当然做过一些风车、磨坊之类的小玩意,^③但要不是他后来成了大名,谁也不会把这些小手工当真当成一回事儿。

牛顿在家乡受过一般的中等教育,然后奉母亲之命回家务农。他不大喜欢农活,而汉娜的大哥威廉(Willian Ayscough)和牛顿先前中学的校长也劝汉娜让牛顿再去读书,于是牛顿于1661年7月8日和其他十五位同学一起进了剑桥的三一学院。^④他是一个半工半读的学生,或者用当时的说法是Subsizar,即自带食物并为学校工作,以此得以减免一些学杂费的学生。^⑤当时他家并不穷,^⑥汉娜为什么为孩子作这么一个选择的原因似已无法知道。

尽管进行了大量的研究,我们现在对牛顿早年的剑桥生活仍不甚了然。1661年刚入学的时候,他至少买过八本书。半数以上的神学著作之外,有一本桑德森(R. Sanderson)的逻辑学著作,即1618年初版的*Logicae artis compendium*。牛顿可能用的是这本书的1641年印本。这一定是威廉舅舅推荐的,他当年在剑桥读书时用的就是这本书。

牛顿是通过玛吉拉斯(J. Magirus)的*Physiologiae peripateticae* (1642)了解亚里士多德物理学的。在他的早期笔记本里,抄录了亚里士多德的宇宙论方面的论述。在这一则摘录之下,牛顿划了一条线,并写下了伽利略的拉丁文名字Galilaeus,然后抄录了一些关于星云大小的数据。^⑦

① C. W. Foster, *Reports and Papers of the Architectural Societies of the County of Lincoln, County of York, Archdeaconries of Northampton and Oakhām, and County of Leicester*, 39(1928) pt. 1.

② E. N. da C. Andrade, *Sir Isaac Newton*, N. Y. : Anchor 1950, p. 29.

③ G. L. Huxley *Harvard Lib. Bulletin*, 13 (1959) 348-54.

④ RSW, p. 1.

⑤ OED, size的原意是“面包和饮料”。17世纪的剑桥一般收十三名“Sizar”,三人为院长服务,其他人做校内杂事。这一工作在牛津被称作Servitor(服务生?)。

⑥ 当时汉娜的年收入是700镑。一笔很丰厚的钱,见NH,p. 545.

⑦ MS Add 3996 ff. 16^r-26^r. 这一段摘录被断为写于1661-63年,早于以下转引的大部分摘录,见J. E. McGuire and M. Tamny, *Newton's Trinity Notebook*, CUP, 1983, p. 15.

牛顿还仔细阅读过开普勒的《屈光学》，他用的可能是1653年在伦敦重印的那个版本。这本书的初版是1611年，是开普勒在其科学生涯的巅峰时期的作品，其中包括很难懂的诸如光线通过透明球体时的折射情形的几何学分析。牛顿后来在他的1704年《光学》(Opticks)第二编第一部分的后半部(“观察17”及以后)曾讨论过球形透明体的光学问题，但他没有引证开普勒的工作，因此很难断定牛顿到底读懂了多少开普勒，虽然开普勒的方法在他以后的工作常有显露。

令人注目的是，牛顿肯定阅读了伽利略的《关于两大世界体系的对话》。这本后来被爱因斯坦称为“知识宝库”的革命著作，“要人们不带偏见、并且孜孜不倦地对物理事实和天文事实求得更深入、更一致的理解，用以代替那个僵化而贫乏的思想体系”^①，必定大大鼓舞了牛顿的研究精神。

在这一时期，牛顿还阅读了笛卡尔的几何学，用的是1659—61年阿姆斯特丹出版的一个拉丁文注本，注者是斯科顿(F. van Schooten)，他是笛卡尔的亲密朋友、老师，对笛卡尔的著作多有发明。牛顿对笛卡尔的光学则颇多异议，并对于笛卡尔的涡漩宇宙模型也有批评，^②认为如果行星以此一模式运动，则其轨道不可能是椭圆的。他还企图利用测量早潮、晚潮以判断“涡漩的压迫形式。”^③

在数学方面，牛顿阅读过奥特雷德(Oughttred)的 *Calculus* 和 Wallis 的著作。据说他不喜欢阅读欧几里得，以致后来巴罗(I. Barrow)发现他的几何知识相当欠缺。^④

在英国著作家中，牛顿阅读得最多的恐怕要算 R. 玻义耳(Boyle)的著作了。在早期笔记本里，牛顿多次提及玻义耳关于真空的实验。^⑤ 玻

① 为该书1953年版的序。译文载《爱因斯坦文集》，许良英等译，1卷，579,581页。

② MS Add 3996 f. 11 93^r.

③ MS Add 3996 f. 49 112^r.

④ I. B. Cohen, *DSB*, p. 43.

⑤ MS Add 3996, f. 21 98^r; f. 23 99^r; f. 38 106^r. 牛顿注意到了折射现象，和声音在真空中的情形(他当时认为声音在真空中“弱得多”(much fainter)，这显然是由于当时真空程度不高的原因。)

义耳的其他著作对牛顿也深有影响。牛顿还摘录过迪格比(K. Digby)的说法,认为人是由其感觉出发接受外部事物的。^①迪格比是皇家学会最早的会员之一,他的观念不同于大陆科学家。1658年曾发表文章讨论“同情”在治愈伤口方面的作用。与迪格比同时的另一学者格兰维尔(J. Glanvill)也被引用,并提及了他著名的书 *Vanity of Dogmatizing*。^②

在剑桥的教授中,莫尔(H. More)和巴罗(Barrow)对牛顿的影响当不可忽视。莫尔与牛顿同来自格兰瑟姆,牛顿在笔记里提到他的著作《灵魂之不朽》,^③特别是,在一段题为《论原子》的札记中,牛顿引述了莫尔关于原子的观念并作了自己的评述。^④莫尔对牛顿工作的影响很可能是牛顿以后的物理学研究明显地不同于大陆物理学家的一个重要原因。^⑤

巴罗虽然不是牛顿的老师,但他对牛顿的影响也决不在莫尔之下。牛顿很多重要的数学观念同巴罗的工作有深刻的联系。而巴罗还在若干重要的人事遴选上,起过有利于牛顿的作用。他们第一次认识是在1664年4月,当时牛顿正在争取学校的“研修员”(Scholar)职位。据说牛顿的欧几里德几何学考得很不好,可是主考巴罗教授仍未断然反对他得到这一职位。^⑥据牛顿自己说,他后来以关于摆线的工作改变了巴罗的印象,^⑦使他认为牛顿在数学方面“极具天才”,^⑧以至于起而让贤。对于牛顿继巴罗而任卢卡斯教席一事,尽管有不同的说法,^⑨但牛顿学者一

① MS Add 3996, f. 39 107^r. 但牛顿后来专论“同情”时未引述 Digby, 见 *Ibid.*, f. 44 109^v.

② MS Add 3996, f. 45 110^r.

③ MS Add 3996 f. 41 108^r.

④ MS Add 3996, f. 3 89^r.

⑤ A. Koyré,

⑥ Keynes, MS 130. 10, f. 2^v, *op. cit.* RSW, p. 102.

⑦ RSW p. 206n.

⑧ C. I, p. 13.

⑨ 上引摆线工作的说法在 Antonio-Schinella Conti, *Prose e poesie*, 2, 25-6 中; *DSB*, 1, p. 473 给出另一种可能性;最后 *DNB* Barrow 条中说他辞去教职与牛顿根本无关。

般还是认为“巴罗事实上选定了牛顿”。^① 1664年和1669年相继得到剑桥的两个很好的职位,对牛顿日后的工作当然有不可忽视的保证作用。

被选为“研修员”以后不久,1665年1月,牛顿获学士学位。是年八月,英格兰大疫,遂避居乡里。一直到1667年4月,牛顿基本上耽在伍尔斯索普乡下,^②前后一共十八个月。这段时间常被牛顿研究者称为 *Annus Mirabiles*。^③

牛顿把他大部分的科学成果归于这一时期。他在一个事后的回忆中曾提及,他的二项式展开以及流数理论是在1665年做出的。次年元月完成颜色的理论,5月完成“反流数”理论,并在同一年考虑了引力问题,作了“月地检验”,引出了平方反比定理和引力概念,并用这些概念解释了行星的轨道运动。^④

大部分科学史专家对这一说法表示吃惊,或者拒绝把它当作真正可信的史料。科恩(I. B. Cohen)曾直称之为“screnario”,^⑤韦斯特福尔(R. S. Westfall)则称之为“神话”。^⑥这是因为关于牛顿的重大发明都集中在1666年的说法,既得不到进一步的史料支持,也有乖于那些现在已有确实证据的历史事实。例如牛顿当时用来计算万有引力数据的地球半径数值来自索尔兹伯里(Salusbury)的书,即3500意大利里(milliarum),比准确值小了大约5.3%,因而最后的“月地检验”的结果应该在重力加速度常数上表现出高达17%的误差。对于任何一种物理理论来说,这个相对误差显然是太大了些。

对于那个著名的苹果的故事,现代科学史家亦持基本相同的态度。

① RSW, p. 207.

② 除去1666年3月到6月曾回剑桥居住。RSW, p. 142. 牛顿此段时间的行止是根据他的Fitzwilliam笔记本上的账目推算出来的。

③ *annus mirabilis* 原是英国作家John Dryden用来赞美1666年的话,是年英国海军击败夙敌荷兰,伦敦又在大火后迅速复兴。后被牛顿的传记作家F. Manuel用作一章(第四章)的标题,RSW亦袭此例。惟后两作者均用复数名词,以后竟为俗成。

④ MS Add 3968. 41, b. 2, f. 85.

⑤ 意大利语,意为“生造的情节”。见 *Sci. Amer.*, 244 (1981) 179.

⑥ RSW, p. 143.

事实上,牛顿的第一个传记作者就没有接受这一说法。^①另一方面,牛顿的最重要的两个传记材料的来源,^②却多少肯定有这么一回事。经过伏尔泰的大力宣扬,遂为家喻户晓。因为这一故事与牛顿力学的最重要的概念有非常有趣的联系,所以它一直是牛顿学者讨论的热门话题。^③

近二十五年来细致研究表明,牛顿的早期思想是极为复杂的,远非一两个传奇故事可以代表。而且,这些主要见于牛顿数量极为巨大的笔记本里的“早期思想”,又和他后来主要的科学成就有不可或分的联系。下面为行文方便起见,分“光学”,“化学、炼金术和物质理论”和“力学”三个领域逐一讨论。这一划分决不意味着牛顿当时就已有相应的分门别类的研究。

二、光学

牛顿关于光学的研究,最早可以追溯到1664年,当时他还是剑桥大学的学生。这是现存于他早年笔记本 Waste Book 中的一则札记。^④在以后的笔记中,他还断断续续地记录过十二次,其中最重要的有《若干哲学问题》中的“论颜色”,^⑤《数学笔记本》里的“论折射”,^⑥和《化学笔记本》里的“论颜色”。^⑦在很大程度上可以说,牛顿以后在光学方面的工作,常以这些片断的研究为出发点。

1668年,牛顿做成了他的第一架望远镜,长6英寸,放大倍数大概是40倍。他用这架望远镜观察了木星的卫星和金星的位相。1671年,他

① David Brewster, *The Life of sir Isaac Newton*, London: John Murry, 1831.

② W. Stukeley, *Memoirs of Sir Isaac Newton's Life*, London: Taylor and Francis, 1936, pp. 19-20; J. Conduitt 在稍微含糊一点的措词中亦提及了“苹果”。

③ 总结性的讨论见于 D. McKie and G. Beer, *Notes and Records of the Royal Society*, 9 (1952) 46-54, 333-5.

④ MP, I, pp. 551-4.

⑤ QQP, pp. 430-3, pp. 452-63.

⑥ A. Hall, *Ann. Sci.*, 11(1955), esp. pp. 36-43.

⑦ QQP, pp. 466-89.

又建造了一架性能“远较以前优良”的望远镜,并在1672年元月11日皇家学会的会议上展示。应皇家学会要求,牛顿写了有关这一望远镜建造的说明,1672年2月19日发表在皇家学会通报上^①。这是牛顿公开发表的第一篇光学论文。

这篇论文主要讨论后来非常著名的棱镜实验。牛顿声称这一实验是在1666年完成的。光束射入黑暗的室内,通过三棱镜的作用,形成了光谱。牛顿报导说,光谱距棱镜22英尺,光谱最大长度 $13\frac{1}{4}$ 英寸,宽 $2\frac{5}{8}$ 英寸。他注意到光谱宽度对小孔所张的角是 $31'$ ，“与太阳的[角]直径相当”,但长度所张的角为 $2^{\circ}49'$ ，“较此一直径大五倍以上”^②。

牛顿接下来分析了种种可能影响这一光谱生成的因素,例如玻璃透镜表面的不平整,由太阳圆面所张的角造成的日光的实际上的不平行性。他的分析表明这些因素对于光谱的形成影响不大。为了要解释棱镜之所以能在纵向上张 $2^{\circ}49'$ 的角而形成光谱,牛顿转向他的“判决性实验”。这一实验可以描述如下:在棱镜后面紧靠棱镜处置一不透光的屏,由棱镜射出的光仅可通过一小孔射到与此屏相隔约12英尺的第二块屏上。第二块屏上亦做有小孔,光线通过此一小孔射到第二块棱镜上,并由此再射到后面的墙上。此一装置做成后,牛顿写道:“我把第一块棱镜拿在手中,并缓缓地将它绕轴转动,从而使得象(即第一块棱镜所形成的光谱)的各部分……依次通过小孔,而我则可以观察到第二块棱镜会把它们折射到墙上什么地方。”他观察到光谱一端的光线受到较之“另一端明显地更大的折射”。牛顿于是得出结论说:光是由可折射程度各个不同的光线组成的。这些光线依各自的可折射程度被传送到墙上的各个不同的位置。^③

① PT. 80 (1672) 3075 - 87.

② Ibid., p. 3067.

③ 这篇文章写于光学草创的时代,术语不同于今日。特别困难的是,牛顿使用了一些日常词汇来谈论现象。此处“传送”一词原文是“transmit”,原文 p. 3083.

牛顿根据这一结论指出“完善望远镜的可能性因此是有限的；”即使是完善的镜片，也不能避免由于“不同的折射”而引起的光线的发散。牛顿由此进一步提出，必须考虑反射望远镜。

文章的后半部是牛顿根据上述实验所推出的十三条结论。首先他指出，“颜色”不足以确立光之为光。“颜色只不过是光的一种最原本的和最本质的性质。”第二条结论指出，相同的颜色有相同的可折射程度，而相同的可折射程度对应于相同的颜色。第三条指出这种折射程度并不因折射、反射或其他任何原因而改变。第五条指出有两种不同的颜色，即原色与复合色，第七条说明白光是一切原色的复合。第九条利用这种复合色理论解释光谱的生成，第十条解释虹的形成。第十一条解释透明物体的颜色。第十二条解释了胡克(R. Hooke)在他的《显微术》中提及的一个现象：当透明的楔形容器分别充以红色和蓝色的液体时，它们各自有自己的颜色。当把它们放在一起时，变得完全不透明。——这是因为光透过其中一个容器时，只有一个成分的光线，例如红色，能通过其中的液体，但这一种光线却完全不能通过另一容器中的液体：因此两容器的合并使用就变成了全不透明的东西了。第十三条解释了固体的颜色。

牛顿接着断言：“事情就是这样，在黑暗当中是否有颜色，或者颜色是不是我们所见的物体自身的性质，抑或光是否为一物(a body)，均不能再作进一步的辩论。”

在这篇“1672年论文”后来的一个印件中，牛顿加上了一个注释，^①似乎意在说明他并无意特别偏袒后来被称为“光的微粒说”的那一种理论解释。他称“微粒”或“波动”的划分是“有些人从机械论假说发展出来的不适当的划分”，在另一处^②他还强调了上文中“抑或”(perhaps)一词，说他并不一定主张光作为一种物质的观念。^③

① 原件第一次作为复印件发表于 *Arch. intern. and hist. des Sci.*, XI, (1958) 357-75.

② C. I, p. 100.

③ A. I. Sabra, *Theories of Light*, London: Oldbourne, 1967, p. 240.

这篇文章引起了广泛的注意,并且几乎立即遭到了胡克、惠更斯(C. Huygens)和 I. G. 帕迪斯(Pardies)的批评。他们的批评主要集中在牛顿的结论部分,尤其是关于光的本性的揣测。胡克认为,牛顿的实验并不能必然地得出他的结论。换言之,利用已有的波动图象,也可以解释色散现象^①。惠更斯认为必须对牛顿关于颜色的理论作进一步的分析,以判定这一理论是不是“同所有的实验相一致”。^②帕迪斯开始对牛顿的“判决性实验”持有疑义,经牛顿解释始得“满意”。^③

牛顿的公开答辩除了再三解释他的“决定性实验”之外,还表现了一种关于光的本性的慎重态度。他重申要想断定“光是什么”决非易事,而且“我也不想把揣测混同于业已确定无疑的事。”^④

由光的色散引起的关于光的本性的争论持续了四年之久。从2月文章发表到是年11月,牛顿一共在皇家学会的《哲学通报》上发表了十篇关于光学的通讯或文章,以后四年又发表了近十篇文章,全力解说他关于光学的工作。这些论文的主要内容后来即发展成为牛顿关于光学的系统著作《光学》。

《光学,或关于光的反射、折射、拐射和颜色的论文》的稿子是1704年2月16日交给皇家学会的,同年有两个不同的版本印行。一是《光学》全文并附两篇短论 *Quadratura* 和 *Enumratio* 以及一部分的“疑问”。另一种版本仅含《光学》一书正文。牛顿未在这第一版上具名,而只是用了他的名字的缩写 I. N.。

《光学》正文分为三篇,前附牛顿自己撰写的“出版说明”,时间是1704年4月1日。在“出版说明”中牛顿称这书的主要内容写于1675年和1687年,只是第三篇和第二篇最后一个命题是从零散的论文中集起

① C. I, pp. 113-14.

② *Œuvres Complètes de Christiaan Huygens*, La Haye: Société Hollandaise des. Sciences, 1888-1950, tome VII, p. 165.

③ Pardies 致 H. Oldenburg, 1672年6月30日, *PT*, 85 (1672)p. 5018. 法文原稿刊于 C. I, pp. 205-6.

④ 见 R. S. Westfall, *Isis*, 53 (1962) 339-58.

来的。《光学》的三“篇”(Book)正文又各自分为若干“部分”(Part)。现在通行的版本是 1730 年伦敦第四版。

第一篇处理与棱镜实验有关的折射和色散现象。牛顿一开头就声称《光学》一书的目的不在于“利用假说解释光的性质,而是通过推理和实验展示和证明它们”。接着他引进了八个“定义”、诸如“光线”,“折射能力”、“反射”之类的概念,由此明白界定。定义概念以后,牛顿以“公理”形式引进了一系列当时已经完全明了的基本现象和基本关系。如入射、反射和折射角共面,入射角与反射角相等之类,被作为公认的事实而接纳入理论。完成这些预备性工作以后,牛顿展开了一套“命题”。对于第一篇来说,这些“命题”主要是关于日光分解的问题。命题 1 断言不同颜色的光有不同的折射率,命题 2 把命题一用于日光:“日光由不同程度地可折射的光线组成。”这一命题下的“实验三”中,牛顿叙述了棱镜实验。这一命题的陈述包含了七个实验,长达 37 页(从 26 到 63 页)。在这些实验中,有 1672 年曾引起严重关注的“判决性实验”。(实验 6 以及所附“说明”)实验 9 和实验 10 则是设计得更加精巧的分解太阳光的实验。命题六处理当时已经很著名的“正弦定理”。命题 7 总结了棱镜和光谱实验,指出改进和完善望远镜的可能性是有限的。这也是 1672 年争论过的大问题,牛顿为之花了 25 页的篇幅,引用了大量的具体数据。命题 8 结束第一篇的讨论,提出了反射望远镜的设计,并附有原理图。

第一篇的第二部分较上面介绍的第一部分简单得多,含十一个命题,处理颜色的本质。其中命题 2 用两个实验说明“均匀质的光有对应于其可折射度的一定的颜色,且这种颜色不因反射和折射而发生变化。”命题 5 论日光的白色由诸原色合成;命题 7 断言世间一切颜色不是由单纯光构成就是由单纯光复合而成的。命题 8 解释棱镜产生的颜色,命题 9 解释虹的产生,这是一个整个 17 世纪一直吸引着物理学家的大课题。第一篇第二部分的这些命题同于第一部分,均有“实验”证明。

第二篇主要处理今日所谓的干涉现象,分四个部分。但第一、第二部分均未列“命题”而仅叙及“观察”。第一部分罗列多达二十四项观察,

主要涉及“反射、折射和薄而透明的物体的颜色”。其中观察一到观察十六处理类似“两件微凹棱镜”压在一起那样的“薄而透明的物体”，因此产生的光学现象后来被称为“牛顿环”。牛顿测量、估算和描述了各种不同情况下的现象。观察 17 至 24 处理一些更复杂的形体，例如充满水的、充满肥皂水的各种水包所引起的光学现象。

第二篇第二部分比较简短，牛顿以“前述观察之评述”总领其文。这部分包含对前述材料的分析。他声称他所引述的这些“新材料”分别为他先前关于日光和棱镜的分析提供了新的证据。

第二篇第三部分由二十则命题组成，从“薄而透明的物体的颜色”通过“类比”转到“自然物体的永久的颜色。”较之前两部分，这部分的理论性明显增强。命题 1—7 主要发展了一套企图解释反射和折射原因的、或可戏称为“物质结构”式的理论；命题八则是一则与这种理论相关的否定式论断：“反射的原因并非如通常所想的那样，是光与物体的坚固的或不可透过的部分相撞。”命题 9—12 可能对现代读者说来更好解释：命题 9 指出物体反射与折射光的张力是同一固有张力；命题 11 指出光的传播不是瞬时的，而且，牛顿具体地指出，根据罗默(Roemer)的观察和他的进一步的计算，光从太阳到地球要大约七到八分钟。

命题 13 前牛顿加了一项“定义”，提出了“fits”概念，这一词有时被译作“突发”。牛顿企图利用这一概念以及相关理论，解释“为什么厚而透明的物体表面反射一部分入射光而折射其余部分。”一直到这一部分最后一个命题(命题 20)，牛顿全在解说他的 fits 理论。

第二篇的第四部分进一步讨论“厚而透明、而且表面磨光的平板的反射与颜色”。这一部分共含十三个观察记录。整个第二篇占全篇三分之一稍弱的篇幅，而第一篇占了二分之一弱。

第三篇虽然一开头就标出“第一部分”，但终其全篇未见第二部分。^①

^① 事实上，这一标题“Part I”仅在 1917 年英文第二版才出现，并不见于 1704 年的英文版和 1706 年的拉丁文版。

第三篇从内容上可以划分为前后两段。前段是“关于光线拐射以及由此产生的颜色的观察”。记录了若干“观察”以后,牛顿写道:“当我作以上观察时,我是想以更加仔细和精确方式重复观察的,……但那时候我的工作被打断了,而且现在也不能对这些事作进一步的考察。既然我还没有完成我最初计划的这一部分,我将仅以提出一些问题来总结,以利于别人作进一步的研究。”

牛顿于是转入了著名的《光学·疑问》部分。现在看见的附于本书的三十一个问题,实际上是分三次加入《光学》的,其内容也自然地相应分为三组。疑问 1—16 出现于 1704 年英文第一版的两个版本之一;现在编为疑问 25—31 的六个问题最初出现于 1706 年的拉丁文第一版中;而疑问 17—24 则属于 1717 年英文第二版。因为现在尚未明了的原因,这八个最后提出的问题被插在上述两组之间,形成了现在这样的编号系统。

如果说《光学》中的“突发理论”以及诸多的实验表明了牛顿的探索精神,那么《光学·疑问》集中反映了这种探索中牛顿所遭遇的困惑、曲折,以及他为获得一种对自然的真正理解而作的艰苦努力。

从内容上说,“疑问”也可分为与其写作时间相应的三组。问题 1—16 可视为第一组,讨论两个方面的问题,即问题 1—5 谈论光与物体的作用,6—16 讨论光和热,光与视觉生理现象。问题 1—5 都很简短,一般都是 5—6 行而已,这和后面的,例如长达 30 页的问题 31 相比,当然很不相称。这种差别一方面当然是因为这些问题根本不是在同一时期写的,另一方面也因为它们各自处理的问题根本不一样。问题 1—5 主要问光与物质的作用是不是“超距的”,其机制如何——这些问题对于三百年后今天的物理学来说,还不甚明了,我们当然也不能期望牛顿在当时能提出很多想法了。问题 8 涉及发光现象。“光是怎样形成的呢?”牛顿问道。他列举了暴风雨中的大海,在黑暗的地方抚摸猫背或马颈,磷火,等等。——是不是所有“被充分激动了”的物体,“不管这种激动是由摩擦、撞击、腐烂或由任何富有活力的运动引起的,都会发光呢?”问题 12 问

道,是不是落入眼睛深部的光线在视网膜上激起振动,这一振动又被沿着光学神经的组织传入大脑,从而引起视觉呢?问题 13 接着问道,是不是不同的光线引起的这种振动大小不同,从而引起不同的颜色感觉,一如听觉的情形呢?问题 15 问两眼的视觉在何处汇合,问题 16 提到一个更令人困扰的生理现象,即当用力压眼角时,为什么会有“类似孔雀尾巴羽毛的彩色环”出现在他面前呢?

在 17 世纪最后一段时间内,这些生理现象、颜色问题成了最先揭示当时的光学理论所遭遇的困难的课题。牛顿在《光学·疑问》的第一组问题中所提出的,正是这一类困难。

疑问的第二组(17—24)和第三组(25—31)则涉及更广泛的问题。为行文方便,将由下面“物质理论”和“力学”分别处理。

三、力学和天文学研究(1664—1686)

牛顿关于力学的工作几乎贯穿了他整个的科学生涯,从 1661 年起断断续续地持续了三十多年。

《论重性和轻性》^①可能是目前已知最早的牛顿的力学札记,出现于牛顿的三一学院笔记本中^②。这篇札记提起了一种用机械论物理学解释重量的方案。他首先假定了一种粒子流,这种粒子流穿行于物体的孔穴之间。这种粒子流射向地球,向地球方向的快些,离开地球方向的慢些;向地球方向的粒子流将穿入物体内部的“孔穴”,离地球方向的则不,这种粒子流不同的作用机制引起了重力。

这一现在看来颇为费解的理论带有明显的笛卡尔物理学的色彩。事实上,笛卡尔正是用这种“孔”与“螺旋”的模型解释磁现象的。^③而“重

① “Of Gravity and Levity.”这儿 Gravity 与日后的“万有引力”意义稍有不同。案此处两字均从相应的拉丁文 Gravitās 和 Leritās 套出,而这两个拉丁字又是 gtavis(重)和 Levis(轻)之意。中文中未有对应术语。查词根-tās 常译作“性”,如 æqualitās 译作“对称性”,今姑作此译。

② MS Add 3996, f. 19 97^r. 写满这一页后牛顿转到 f. 67 121^r 上,又继续写了两页,直到 f. 68 121^v 止。本段时间被断在 1661 年。

③ R. Descartes, *Oeuvres*, Paris: 1824, t. 3, p. 408

性”、“轻性”的提法则来自亚里士多德。就其行文而言,则更类似于玻义耳。^①

牛顿接下来设计了一种他认为可以测量物体在不同的地方,“例如在山脚及山顶上”,不同的重性的仪器。在同一篇札记中,牛顿还提及了“托里拆里真空”,特别是引用了伽利略的落体实验。他记录道,“据伽利略,100 佛磅(即 78 伦敦磅)的铁球下落 100 佛尺(或 49.01 肘,也许即 66 码)用时 5 秒钟。”^②

这一则札记所提示的是牛顿关于力学工作的起点。而他以后的工作则更多地表现出了他的独创性。时间断在 1664 年元月起的第 4004 号手稿^③常被认为上述 3996 号手稿后面最重要的发展。

手稿 4004 号是一本大笔记本,页码编到 1194 页。开头的地方有牛顿继父史密斯的手迹“1612 年 5 月 12 日”以及不少关于神学的记录,但整本练习本的左页全是空白的,大部分右页也不过只写了一些神学札记的标题。所以,牛顿很可能在 50 年代继父去世时得到了这一本子,然后用它来作自己的札记。在封面上牛顿写了“Waste Book”两字,其意义至今未能完全明了。这份手稿“蕴藏有牛顿最早的科学和数学观念”,^④并由科学史家作了系统的研究。^⑤

对于这份手稿中的各个段落的准确写作时间,各家研究者尚有不同意见。但整本札记写于 1664(或 1665)年以后,则是各家一致的意见。

第 1 页上的一段文字引起了普遍的关注。牛顿在此讨论了运动的

① R. Boyle, *Spring of the Air*, pp. 217-29. 这一分析参见 J. E. McGuire and M. Tamny, *Newton's Trinity Notebook*, Cambridge: CUP, 1983, p. 426.

② *Ibid.*, f. 68-121v. “佛磅”原文是 lb. Florentine, “伦敦磅”原文是 lb. at London avoirdupois Weight, “佛尺”是 Florentine braces or cubits, “肘”Ells, 译文拙劣, 谨待佳者。

③ MS Add 4004. 其中 10 页(f. 10)上有 1664 年元月 20 日(当指英国旧历), 所以整个这份手稿被判为“接近或晚于此时。”(J. Herivel, *The Background to Newton's Principia*, Oxford: Clarendon, 1965, p. 129.)。

④ I. B. Cohen 语, 见 *Introduction to Newton's Principia*, Cambridge: HUP, 1971, p. 12.

⑤ J. Herivel, *The Background to Newton's Principia*, Oxford: Clarendon, 1965. 以下常简称为 *Background*。

小球如何在“多边形的框”中受到约束，而其运动亦由直线、切向改变为封闭的折线。小球在边框上反弹的力亦可由此得出。牛顿接着假定，如果框的边数增加，变为例如 6, 8, 12, 100, 乃至 1000 边形，乃至“无穷多边形（即一圆周）”，则由此可以得出作圆周运动的小球的受力情况。

这一段相对于其他手稿说来颇为成熟的文字似未经很多修改，并明显地是笔记本中另外一些文字如 Ax. - Prop. 20 的后继文字，所以常被视为牛顿较晚的记录——尽管它被写在笔记本的第一页上。笔记本第 10 页标有“论反弹”的标题及“1664 年元月 20 日”，这是一则研究碰撞的札记。牛顿在这儿研究了重量^①与运动各不相同的两小球的碰撞前后的运动状况。这一论题简直和笛卡尔当年在《哲学原理》^②里讨论过的一模一样，只是牛顿引入了更多的数学运算罢了。

这一页的反面牛顿写下了一些“定义”。这些定义表明，牛顿早期关于力学基本概念的来源主要还是亚里士多德(Aristotle)和笛卡尔(R. Descartes)。例如在定义“移动”时他写道：当一量通过或穿过延展(的空间)，由一处立于另一处时，它被称为移动了。^③ 另一引人注目的定义是“力”：力是一物施于另一物的压力或挤压。

紧接着“定义”，牛顿引入了一套“公理-命题”系统。牛顿表明，他在此时已有颇为完整的惯性定律的概念。公理 1 称：“一量一旦运动，将永不止息，除非有外因阻止之。”公理 2 称：“一量将常在同一直线上运动（不改变方位快捷），除非有外因改变它。”

公理 4 谈论运动与力的关系，或可视为日后的力的守恒定律的最朦

① 牛顿的原文是“bulke”，显然不是今日“重量”一词能概括的。

② R. Descartes *Principles of philosophy* pt. 2, arts. 36-40; Eng. Trans. by J. Cottingham et al.

③ “延展”原文为 Extension，单独译为中文颇为不易解，则据牛顿手稿 MS Add 3958(5), f. 81 对 Extension 一词的运用加注“的空间”三字。在后一史料中，extension 与 space 连用。下文“挤压”的原文是 crouding，这一字是 crowding 的古英文形式。参见，例如 American College Dictionary 本条。

脱的形式，“为消灭一物中某一定量的运动需要的力恰如要产生此量的运动所需要的力；而要产生之所需之力亦恰如要消灭之所需之力。”

公理 20 似乎是与前述“论反弹”密切相关的一段。牛顿用了环状约束来讨论小球的运动。牛顿断言如果没有这一约束，小球将作切向运动飞离中心，而由于约束物“不断地修正或反弹”，使小球离开它的切向，从而使小球作距中心的等距运动。

从这份手稿的第 12 页起，牛顿引进了一套二十二条公理，其中最重要的几条之间的逻辑关系，经 J. Herivel 研究，有如下一些要点。牛顿首先把前面的公理 1 和公理 2 写成一个公理的形式，即公理 100：每一物均自然地保持其现有的状态，除非被某外因中断，由此得公理 1 及 2，……这或许可以被当作一种牛顿自己的工作，因为在笛卡尔的《哲学原理》中，运动的“状态”以及这种“状态”将被“自然地保持”是分为两条公理叙述的。牛顿把它们合写为一条，这似乎表明牛顿当时已经认识到“状态”就是指“运动状态”，从而把笛卡尔的形而上学向力学推进了一步。

公理 104：……这就表明运动物体中为什么有的需要更有力的或更有效的原因，有的则需要较弱的原因来阻止或帮助提高它们的速度。而这一原因的实际作用通常就叫作力。……

公理 108 被赫里维尔(J. Herivel)列作这一段论证的一个出发点，它指出：根据自然的启示，相同的力在相同的物体中引起相同的变化。从现在的物理学观念来看，本公理已经断言“力引起变化”了。换言之，这可视为第二定律在一特殊情况下的表述。公理 111 是上述公理的一个推论：“同理，物体 $a(=b)$ 之快捷之于 b 之快捷等于 a 赖以运动的力之于 b 赖以运动的力。”^①公理 117 几乎是公理 111 的一个逆命题，断言若力构成比例则“快捷”构成的比例与之相等。

^① “快捷”原文是 celerity，是用于描写快慢的先于 speed 的一个词，其意原来含混。“赖以”原文是 where with。

公理 118: 若物体 p 由于力 q 被置于运动, 而 r 由于力 s 被置于运动 (各自速度是 v 和 w), 则有 $qrw = pvs$ 。

对于现代读者说来, 公理 118 较之前面的一些公理似乎更加费解。这是因为在上述研究中, 力学过程、尤其是力的概念仍有待作进一步的阐发。独立于碰撞间的力的概念尚自阙如, 是牛顿 1661—65 年间力学研究的一个引人注意的地方。

关于两物体的相互作用, 牛顿在同一手稿中表现了相当成熟的认识。公理 121 旁的页边上写着: “关于被反弹的物体中的相互作用力。”公理本身则多少类似于日后的牛顿第三定律: “……而因此, 它们〔案指碰撞中两物体〕在它们的运动中一定承受了相同的相互作用。”^① 牛顿对此一公理的说明更清楚地阐明了他的 Mutation 的意义, “如果两物体 p 与 r 相遇, 各自的阻力相同: p 之给于 r 多少压力, r 亦给 p 相同的压力。”这简直就是第三定律了。

从手稿 4004 中所看见的, 是牛顿力学最初和最原始的形态。不仅如上所说力的概念尚自有待明确, 其他的用语亦多有不达。牛顿运用了颇多的日常词汇来谈论力学, 这使得他的手稿非常难懂。因为这些词汇既不精确, 而且往往有很多歧义, 在语录式的手稿上, 很难作细致的词义勘定。但是这种用词上的令人困惑的情形, 本身也是当时概念令人困惑的情形的反映。力学的下一步发展, 将有待于在概念上的突破。另外, 公理 118 也明白表示, 当牛顿企图谈论力或运动的“变化”时, 他的数学工具不够: 比例和复比例在描写变化量方面显得非常笨拙。如果没有数学上的突破, 力学的进一步发展也会成为一句空话。我们看到, 1665—1675 的十年时间, 牛顿关于力学的研究竟可以简略地归入这两个方向, 即概念和数学工具的发展。——牛顿当然不是有目的地这么去努力, 而只是发展肯定了他的努力方向。

牛顿早年把力作为独立的物理作用, 而不是仍在碰撞问题中才发生

^① “相互作用”的原文是 Mutation, 此译有“现代化”牛顿观念的倾向。谨说, 以待佳译。

的物理概念,这样处理的几乎是唯一的佐证是一页手稿,编号 MS 3958 f. 45。从“字迹和其他迹象”^①判断,这份手稿写于 1665—66 年。

这是一张带有两部分数字计算的草稿纸。牛顿的目的是估计重力与由于地球自转和公转分别产生的离心力之比。第一次估算此两比值分别为 1 : 3 749 和 1 : 144。他好像很快发现计算的结果不令人满意。现在尚未能断定他如何进一步完善此一计算的,“可能是因做了些粗糙的实验”,^②他把数值修正为 1 : 7 500 和 1 : 300,——差不多比以前小了一倍。

这份常被称作 Vellum 手稿的文件的史料意义在于,牛顿对力的作用有了新的诠释。17 世纪物理学一直在谈论作为“物体运动的力”,^③这种力只是在碰撞过程中表现出来。现在牛顿开始谈论一种新的力的作用,用现代语言来说,则是“向心力”和“离心力”的平衡作用。这种新的作用形式出现在圆周运动而不是在直线运动中,其作用方式是超距的而不是依靠碰撞时的接触。

这就更明确地提出了关于力本身的问题。牛顿后来发表的《光学》中所附的疑问 25—31 记录了大量他对这一问题的思考,这种思考的主要来源是牛顿的光学和炼金术-化学研究。

问题 25 引述了冰洲晶石的折射现象,^④接着讨论了当时流行的笛卡尔-惠更斯光学理论。该理论认为光是媒介的一种“激动”,这种媒质用笛卡尔的话说就是充斥于宇宙空间的 *la matière subtile*。^⑤但是牛顿在冰洲晶石的光学实验中所看到的,是一种“光本身的特性”,他从而考虑到了波动说的“一切假说”可能都是错的。牛顿当时一定觉得这种可能性很大,所以还特别引用了波动说的主要倡导者惠更斯的话,称对于所

① J. Herivel, *Background*, p. 183; 同书, § 6. 2。

② *Ibid.*, p. 183.

③ 这是笛卡尔物理学的用语,其发展史是 Westfall, *Force in Newton's Physics*, pp. 529—34。

④ 下文中的中译文如未经注明均出自上海自然哲学编译组译,塞耶,《牛顿自然哲学著作选》,上海:上海人民,1974。

⑤ 原意为“神奇的”,或“奇妙的”,或“妙不可言的”物质,与日后所谓的“以太”尚不完全一样。

有已做的工作,还没有一样是令人满意的。^① 如果波动说不能成立,作为波动说所要求的媒介 *la matière subtile* 也没有存在的必要。疑问 28 进一步指出,如果行星和大小天体都是在以太充斥的空间被“拖曳”着运动,那么,一固体球只要移过“三倍于它直径的长度,就会损失它的运动的一半。”^② 从行星的运动来看,媒介不仅未能帮助运动,反而“妨碍”了、干扰了,阻滞了“巨大天体的运动”,使“自然界衰退下去”。所以,媒介不仅不必保留,而且必须被扫荡。

问题 31 紧接着正面探讨没有媒介情形下的力的作用。这是牛顿关于力学的研究中最困难、最重要也是意义最深远的一环。问题 31 的篇幅几乎等于其他三十个问题的篇幅的总和,而牛顿一开始就从化学问题入手讨论一种独立于碰撞过程,作为物体自身性质——而不是过程的性质的力。牛顿这样写道:“物体的微粒是否具有某种能力、效能或力量呢?”不然的话,为什么酒石酸盐会潮解,而食盐、硝石或矾就不会呢?是不是后者缺乏一种吸引力呢?为什么所有金属中铁是最容易熔解,又最容易生锈的呢?为什么盐溶于水而不溶于油呢?牛顿注意到两块磨光的大理石在真空中压紧后可以粘聚在一起,两块平摆在一起的玻璃,当彼此距离很小时,只要底边浸在水里,水就会在板之间升高,很细的玻璃管在一端浸在水里时亦有相同的效果。

牛顿引征了一个实验,将两块 20—25 英寸长的平板玻璃平行地放置,然后一端接触,另一端微微抬起,相对接触的那一端张一个 10—15' 的角。这时如果在角的内部滴上桔子油或松节油的话,油滴会向两玻璃接合处移动。牛顿写道:“这是因为两块玻璃板吸引了油滴,使之沿着吸引的方向驰跑的缘故。”^③

① 惠更斯的原话见他的 *De la lumière*, c. 5, p. 91; 牛顿的引文见《光学》前引版本, p. 364。

② 上引中译本, 184 页。

③ 同上, 中译本, 203 页。

这个实验在时间上属于 18 世纪最早的阶段，^①当时第一个做这个实验的人 F. Hausbee 正在到处演示这一实验。牛顿引征这一实验，在于介绍他的“吸引力”概念——或许没有别的实验能如此形象地表现一物被另一物“吸引”的作用了。

牛顿不同于他同时代的其他学者，他只有数量相当少的关于力学的文字。在 1669—79 这十年中，他的注意力似乎也不在力学方面。现在可以比较容易地看到的、写作时间属于这四十年四份手稿表明，牛顿曾分别考虑过不少基本概念，也考虑过诸如圆周运动和摆运动这样的特殊事例。

《运动定律》^②一文经霍尔(Halls)研究可能是这四份手稿中时间上最早的一份。^③这份三页的稿子由小标题划为三部分，分别处理物体“如何运动”，“如何碰撞”和一个“一般评论”。这里牛顿似乎是第一次把“空间”、“速度”等基本概念作了尽可能一般化的定义。特别是第 3 条中提及了平行四边形法则。他还花了不少篇幅讨论今天称之为刚体的运动。

MS Add 3958, ff. 90 - 1 处理摆的运动，其时间很难定出，但一般以为在 1673 年惠更斯的 *Horologium Oscillatorium* 出版以后。牛顿在这里用不同的方法研究了惠更斯在上述著作中处理过的问题。另外一篇与此紧密相连的手稿，题为《论圆周运动》，^④则引起了更多的注意。^⑤这份手稿的年代颇难判定，从 1667 年到 1671 年都有可能，而通常大多数学者把它定在 1669—71 年之间。

这份手稿分为两部分。第一部分没有标题，但显然是理论部分，讨

① 把问题数字作为牛顿较早期的思想史料分析，其合理性见 R. S. Westfall, *Force in Newton's Physics*, London: MacDonala, 1971, pp. 377 - 78.

② MS Add 3958 ff. 81 - 3.

③ A. Hall and M. B. Hall, *Unpublished Scientific Papers of Isaac Newton*, Cambridge: CUP, 1962, p. 75.

④ MS Add 3958 ff. 87, 89^v.

⑤ 这份手稿由 A. R. Hall 在 *Ann. of Sci.*, 13 (1957) 62 中详细研究；后由 J. Herivel 在 *Background* 中再讨论，见该书 pp. 192 - 198；最后 R. S. Westfall, *Force in Newton's Physics*, London: McDonald, 1971, pp. 357 - 358.

论作圆周运动的物体的“倾向”。^① 牛顿把物体飞离中心的倾向用图形表示出来。图形中的某线段 DB 是如果上述倾向“未被克服的话”而在非常短的时间段中物体 D 可能离开圆周的距离。然后牛顿通过比例运算,求出以图形中的其他几何线段表达的 DB。他进一步说明,DB 就是由于“上述倾向”造成的结果。

这一处理方式表明牛顿当时的分析方法基本上还是笛卡尔式的。尤其有趣的是,他竟然得出了向心加速度而并没有理解离心力:^② 牛顿便在重力或“引力”的概念中用了“力”(vis)一字,而在谈论运动物体时,全还是“倾向”概念。

但在第二部分,标以“推论”的一段文字中,牛顿迅速把他的上述分析推广到月-地系统中去。他所用的地球半径(据推算)是 3 313 英里,所以推算出来的,相当于今日物理学所谓的重力加速度是 27 英尺/[秒]²,较之实验值 32 英尺/[秒]² 小了 16% 多。

这份手稿表明,牛顿当时显然没有后来非常重要的平方反比的作用概念,也没有万有引力的概念。但是重要的是牛顿已经力图利用力学来解决月-地系统的运动问题了。

写于同一时期的《论重力和液体的平衡》^③ 表现了牛顿在澄清力学基本概念方面的真正异乎寻常的努力。这是一篇很长的札记,而其四分之三以上的篇幅在研究今天看来几乎是哲学的概念。牛顿在一开头写道,“量”、[时间的]“延续”和“空间”三个术语全为人了解而不能用别的词来定义了。——他后来显然改变了这个先人之见而重新讨论了“空间”这一概念。接下来是四个定义,谈什么是“物体”,什么是“位置”,什么叫“静止”,而最后,运动被定义为“位置的改变”。牛顿花了很长的一段文字来阐发他的这些形而上的观念。这种阐发是建立在批判和摧毁笛卡

① “倾向”原文是 Conatus,这是一个典型的笛卡尔物理学术语。

② R. Dugas, *La mécanique au XVII^e siècle*, Paris, 1954, p. 360.

③ MS Add 4003, *De gravitatione et Aequipondio fluidorum*. = Hall, Unpublished Doc. 1, = HVL.

尔观念之上的。牛顿指出,笛卡尔的理论是“荒谬的”,不仅推理混乱,而且也不合于事实。从笛卡尔理论的推论推开去,牛顿还列举了八个方面的论证说明笛卡尔“荒谬”。接下来牛顿正面立论,为他日后的世界体系建造一个赖以生存的“空间”。他从六个方面立论。首先空间可被分割为部分,“其极限即通常所称的面”;这些面又可被分为部分,“其极限即通常所称的线”;这些线又可被分为部分,“其极限即通常所称的点。”^①然后空间是无限伸展的、本身不运动的。通常所说的牛顿的“绝对空间”概念在此微显端倪。牛顿定义,所有的“位置”、“距离”、“局部运动”之类的观念,都是以空间为参照的,空间在时间上是永恒的;并且没有任何东西可以存在于空间之外。空间可以独立存在,但任何存在必须以某种方式存在于空间之内。

那么“存在”是什么呢?牛顿接着写道,存在就是“不比物体更不实在的东西”,或者它们“很可以被叫做物质”。牛顿利用亚里士多德的 *materia prima*(元物质)的概念进一步阐发了他的物质概念。物质和空间的这种联系的合理性是由大段的关于上帝和创造的讨论保证的。

这些基本概念对牛顿造成的困惑可以从他的文字的繁缚和艰深晦涩看出来。在有了空间,有了物质以后,牛顿转向了“力”:

定义 5: 力是运动和静止的根本原因。接下来五条定义分别谈论不同的力:“倾向”(Conatus)、“冲力”(Impetus)、“惯性力”(Inertia),以及压力、重力。

力怎么测量呢?牛顿接着定义了力的“强度”*Intensio* 和“延展”(Extensio),前者是力的“量的程度”,后者则是其“作用的时间或空间之量”。力的“绝对度量”即是两者之积。

手稿的最后部分定义了“刚体”、“液体”。在手稿的差不多最后一页,突然出现了两条公理,其重要性决不在上述定义之下。第一条公理

^① 文中“极限”原文是 *limit*,但意在“尽头”,“边缘”之类,似异于今日数学中的极限概念。——后一概念在当时远未完善。

断言“相类似的条件导致相类似的结果”^①，第二条断言“物体在相互接触中各自对对方的压力相等”。

这四篇手稿表明，1666年以后，牛顿似乎并没有像最初史家推想的那样中断了二十年，^②而是仍在力学方面工作。上述手稿中所表现出来的困难和由之而来的困惑，是牛顿没有马上发表他的力学工作的一个原因：他既不能一蹴而就地建立完满的理论，他也就不愿意发表他正在进行中的工作，以免被别的作者“剽窃”。——这是牛顿时代大家最担心的事。^③同时，光学、数学和炼金术的研究也占去了他太多的时间；母亲汉娜的去世也使他不能专心工作。一直到1679年年底，他的注意力才由于一个相当偶然的机缘重新集中到了力学、尤其是行星运动的力学分析上。

1679年11月24日，当时的皇家协会秘书罗伯特·胡克致函牛顿，呼吁抛弃前嫌，言归于好。除了解释当年关于光学的争论并把双方的不快归为“有些人在你面前说了我的坏话。”^④在信的后半部，他向牛顿通报了他“最近的”一些想法，特别是把行星的运动视为一个切向运动和一个指向其运动中心的运动的合成。对于绕地运行的物体来说，后一运动就是指向地心的。牛顿在四天以后复信，但没有提及胡克的这一对于日后行星运动理论极为重要的分析，而转向讨论物体的下落。牛顿设想了一高悬于地面的物体，一旦失去约束开始下落，由于其距地心的距离大于地表物体，而又以相同的角速度绕地心旋转，这一物体的切向速度将稍大于地表的由于地球自转引起的切向速度。在下落过程中，这一切向速

① 原文是 *Ex paribus positis paria consequantur*，这一条后在《原理》第三编“推理原则”中有讨论。

② 此说最早见于 J. C. Adams 1887 年对 Portsmouth 手稿的说明，以后 W. W. Rouse 和 F. Cajori 均采此说，见 F. E. Brasch, *Sir Isaac Newton, 1727-1927*, pp. 127-88 载 Cajori 的文章。

③ 例如他 1673 年 6 月 23 日给惠更斯的信就经过仔细的删改，以确保不向收信人提示任何有用的分析。见 Sir D. Brewster, *Memoirs*, Edinburgh, 1855, 1, p. 451 以及 *Œuvres complètes d'Huygens*, v. VI, pp. 325-33。

④ 本信及下引诸通信见 C, II, p. 297 起。

度将保持,从而使此一物体移向其竖直向下的投影点偏东的地方,如果它能穿过地表,落向地心,这一物体将划出一条螺旋形的线。

这实际上是径向速度远远大于切向速度的一种极限情形。牛顿是把胡克的分析用于这一事例呢,还是他完全没有了解胡克方法的意义,自己另搞一套,现在无法判断。12月9日胡克回信,对牛顿的分析表示赞赏,并作进一步修正。胡克说,他的圆周运动理论表明下落轨迹全然不是螺旋线形的,而应该有点像椭圆,绕着中心转若干圈后再落入中心。12月13日牛顿回信,对胡克的修正表示赞同,并且进一步得出结论说,依照这样的分析,重物“将为其离心力和重力的交替控制之下,交替地上升和下落,作绕行。”次年元月6日,胡克复信,同意牛顿对作用力的分析,接着指出牛顿把重力当作一恒定力是不对的,“而我的假定是吸引力常与距中心的距离成平方反比,因而速度将与吸引力的平方成比例,即与距离成反比——一如开普勒所假定的那样。”

对于胡克上述通信在牛顿日后的工作中所起的作用,各家说法不一。^① 牛顿也未对此信作出答复。^② 元月17日,胡克再次致函牛顿,正面提出了问题:“现在仍旧未知的是那一由中心吸引力产生的曲线的性质,这种中心吸引力使物体从切线上(亦即直线运动上)常以平方反比于到中心的距离的比例下落……”胡克紧接着写道:“我决不怀疑你能用那绝妙的方法(案指流数法)发现这曲线为何,其性质为何,并提出这一比例的物理原因。……”^③

问题已经明确提出了,牛顿仍旧没有回信。1680年下半年起,接连有两颗彗星出现,牛顿很认真地研究了它们,并和当时最著名的天文学家弗拉姆斯蒂德(J. Flamsteed)通信,讨论彗星回归。但牛顿没有提出他

^① J. Lohne, *Centaurus*, 7 (1960) 5 对其工作作了很大程度的肯定; L. D. Patterson, *Isis*, 40 (1949) 327-41, *Ibid.*, 41 (1950) 32-45 专门讨论这种影响; 但 R. S. Westfall, *Brif. J. for Hist. Sci.*, 3 (1967) 246-61 则主要强调牛顿的工作。

^② C, II, p. 436.

^③ C, II, p. 313.

的看法,只是反驳了弗拉姆斯蒂德提出的一种利用磁性来解释运动的理论。^① 1682年,后来被叫做哈雷彗星的大星出现,牛顿亦做了详细的记录。^② 但是,他似乎没有全力投入把他的研究系统化、理论化、撰写成书的工作。一直到1684年8月,他的好朋友哈雷向他提起皇家学会同人讨论行星轨道的问题,并要求他把他的研究结果写出来以后,他才真正动笔写作。^③ 同年11月,一篇题为《论运动》的手稿,通过佩吉特(E. Paget)转到了哈雷处并送往皇家学会备案。这是牛顿第一次系统地处理力学问题,并常被视为《原理》的早期准备工作之一。

《论运动》有五个抄本传世。其中三个抄本约略近似,常被含混地称为 *De motu*; ^④另一个抄本据传时间较前三个晚一点,大概写成于1685年3月前的某个时候,内容似较前三个完整,是牛顿后来递交皇家学会的,常被称作 *Propositiones de motu*。^⑤ 此外,还有一份题为《论物体的运动》的手稿,残存三页多,似为 *De motu* 的开头部分的草稿。除这五份之外,还有一份未被描述也未被科学史家阅读过的草稿在 Shirburn 城堡。

《论物体的运动》包含五条定义。开头是“物质的量”和“运动的量”：“物质的量产生于其比重与大小之联合，……此一量我常以物体或质量之名称之。”^⑥质量是17世纪力学家所遭遇的最困难的概念之一。牛顿的此一陈述在他本人以前的工作中未见先例，但很可能来自对法国物理学家、航海家里歇(J. Richer)的《观察》一书第十章某些章节的分析。他后来在《原理》第3篇命题20中提及这一工作。《论物体的运动》后面残

① C, II, p. 340, pp. 341-347, p. 361, pp. 363-367.

② MS Add 4004, f. 105.

③ 这是 John Conduitt 的说法,见芝加哥大学图书馆藏手稿,MS 1075-7。一个世纪以来,史家均采此说为牛顿写作《原理》的直接原因。

④ 它们是: ULC MS 3965, ff. 52-62, 63-70 和 40-54.

⑤ 最初发表于 S. P. Rigand, *Historical Essay on the First Publication of Sir I. Newton's Principia*, Oxford, 1838, rpr 1972 N. Y.

⑥ 以下引的文字从 ff. 21-4.

存的三条定义都是关于“力”的，分别处理“物质的惯性力”，“冲力”和“向心力”。在 *De Motu* 中对此三概念的定义大大简于本稿。牛顿详细定义了“物质的惰性力”(Materiae vis insita)或“惯性力”(inertia)，称这是物体抗拒外来影响，保持其“或者静止或者匀速直线运动状态”的能力。他接着讲到 Impetus，称这是运动物体改变另一物体状态的能力。——虽然他马上加上说明说“静止”和“运动”物体本身也是相对的。最后一个定义关于“向心力”，这是牛顿独创的一个重要概念：“向心力是一种作用或潜在作用，这一作用拖曳、迫使或以任何方式使一物体趋于一个作为中心的点。”牛顿列举了使物体趋于地心的重力、使铁趋于磁体中心的磁力等等。他最后郑重申明他所谈论的“吸引”、“冲力”等等都是仅仅在“数学上”而不是“物理上”谈论问题的。

De Motu 最开头部分是三条定义，分别处理向心力，物体之力或“物体中的惰性力”，阻力。^① 与《论物体的运动》相比，没有“物质”和“运动”的定义，而后三条也大大简化。然后是五条“假说”，牛顿又称之为 Lex (定律)。定律 1 即日后所谓的惯性定律，称“如无阻碍，物体将由其惰性力保持匀速直线运动。”回看定义 2 关于惰性力的定义，可见这两条的意义是逻辑上循环的。定义 2 称“物体因之保持其直线运动状态的力为惰性力”^②。定律 2 几乎就是今日熟知的牛顿第二定律：“运动或静止状态的变化正比于所施的压力(vi impressae)并发生于此力作用方向之直线上。”后三定律所讨论的问题显然远非如“公理”那么明白易见，所以牛顿在稍后的《原理》写作中都把它们移到别的地方作为“命题”讨论去了。

再下是几条“辅助命题”(Lemmatas)，后来所知的“平行四边形法则”为其第一条。除了从数学上作了解说之外，牛顿未对这一命题作任何物理上的解说或解释。这可能是由于当时这一结论已为研究者熟知，亦可能是因为他决心建立一种数学理论而避免任何形而上方面的讨论。

① MS Add 3965, f. 40 上还多一条定义讨论 Exponentes quantitatum, 意义尚未最后明了。以下引文用 ff. 55 - 62 bis。

② Vim corporis seu corpori insitam ..., 译作“惰性力”以别于“惯性力”。

第二条给出具体的分析指出由向心力造成的物体移动在开头时正比于时间的平方。以后两条均是数学方面的定律。

这份手稿中的引人注目之处除了上述“定义-公理”系统之外，是一套冠有小标题“论物体在无阻力介质中的运动”的定理。定理 1 即著名的开普勒面积定理。牛顿在这儿谈到物体由其“惰性力”作直线运动，而向心力在 B 点以一种“点射”的方式作用于它，于是它移到了 C 点而不是直线上的下一点 c。下面即是众所周知的被费因曼(Feynman)称为“真正的物理的”证明。^① 这个定理后来以“命题 1”的编号出现在《原理》第一篇第 2 节中。定理 2 称作圆周运动的物体所牵涉的向心力为其矢径扫过的弧长之平方。其推论 5 从开普勒第三定律推出：如运行周期的平方等于半径的立方，向心力与半径成平方反比。这是对行星运动规律中力的大小的第一次理论推算，后来牛顿把它作为《原理》的第一篇命题 4 的推论 4。牛顿在紧接这一推论的评述中写道，这一推论的条件(案指 $3/2$ 次幂)由大行星绕日运行和木卫星绕木运行得出，这一条件已被天文学界广泛接受。

定理 3 是一条重要的预备定理，从物理上看，其意义颇不易解，但为后面证明所必须。正是由这一条定理，牛顿断言，任何作曲线运动的物体，只要已知其运动轨迹，其所受的向心力即可推出。定理 3 由此显然可以被看作定理 2 在非圆曲线轨道情形下的推广。作为例证，牛顿在附于此推论的问题 1, 2, 3 中解出了在物体做圆周运动时对于圆周上另一点而言的受力情形，做椭圆运动时指向椭圆中心的力和指向其中一个焦点的力。这些工作日后都在《原理》中占重要地位。^② 特别是此处的问题 3，实际上已经解决了做椭圆轨道运动的行星的受力情形。

定理 4 几乎是定理 2 推论 5 之逆：如果力是与距中心的距离为平方反比的，那么运行周期与椭圆轴成 $3/2$ 幂比例。两者不同之处在于，牛顿在定理 4 中已把运动轨迹推广到了椭圆。这一定理后来作为命题 15

① 费因曼，《物理定律的特征》，林多樑译，1968，25—30 页。

② 分别是《原理》第 1 编命题四，七，十，十一。

出现在《原理》第一篇中。牛顿在这一“论无阻力运动”的部分的最后加上了两个处理复杂运动情形的问题之后，^①就转而讨论在有阻力的介质中的运动情形了。

问题 6 和问题 7 描述了物体在有阻力情形下的运动和圆周运动。较之“无阻力”运动的片断，这部分显得简单得多。

De motu 手稿之所以受到重视，并且被仔细地分析，是因为科学史家相信，这是《原理》一书最早的构想，或者可以说是《原理》的一个纲要。这不仅是因为 *De motu* 已经包含了《原理》所包含的最重要的定义、公理和定律，而且两年后完成的《原理》前两篇表明，从整个结构和论证线索上说，*De motu* 似乎也是《原理》的原型。^②

可能是出于哈雷的要求，牛顿决定把 *De motu* 发展为一本完整的书，写作时间当在 1685 年 2 月到 1686 年 4 月之间。简直没有什么关于牛顿写作《原理》情形的史料留下来。在此期间，他好像极少和别人通信，也没有做很多的札记。原始材料仅为今存于皇家学会的一份 460 页的抄件，为汉弗莱 (Humphrey) 的笔迹，有牛顿与哈雷的修改字迹，但肯定不是原稿。

1686 年 4 月 21 日哈雷通知皇家学会牛顿关于运动的论文已准备就绪，4 月 28 日，皇家学会收到牛顿的手稿，是为今日所见的《原理》的第 1 篇。该书的第 2 篇和第 3 篇稍后在 1687 年 3 月 1 日和 4 月 4 日送交皇家学会。

《原理》初版的发行日期常被定作 1687 年 7 月 5 日，是日哈雷向牛顿寄送了 40 本刚刚印好的书。这是由哈雷出资印刷的，当时大概印了 300—400 本。^③ 每本售价 7 先令 (未装订本)。这个版本现在还有 187 本散见于欧洲和美国的图书馆，另外两本分别在澳大利亚和南非。^④ 这

① 后见于《原理》第 1 编命题 17 和命题 32。

② I. B. Cohen, *Introduction to Newton's Principia*, Cambridge: HUP, 1978, p. 59, et squ.

③ A. Munby, *Notes and Records of the Royal Society*, 10 (1952) 28 - 39.

④ H. P. Macomber, *The Papers of Bibliographical Society of America*, 47 (1953), 269 - 300.

一版在牛顿生前曾两次修订。第二版由科茨(R. Cotes)主持,1713年7月11—14日出版,第三版由彭伯顿(H. Pemberton)主持,1726年3月31日出版。第一版序言未署作者姓名,第二、三版均有牛顿署名的前言。三版的主要内容差不多一样,不同之处仅在于第3篇的“推理原则”和“总注”部分。

1727年3月,牛顿曾与他的第三版编者彭伯顿讨论过由后者主持出版英译本的问题。但第一个,也是迄今唯一一个英译本为莫特(Motte)兄弟完成出版,他们在与彭伯顿的翻译竞赛中捷足先登。1930年,瑞士出生的美国加州大学教授卡焦里(F. Cajori)修订了这一英译本。这一英译修订本于1934年出版,并成为现在通用的《原理》版本——尽管专家批评这个本子“既非牛顿原版又非忠实的现代文转译,因而既不能满足现代读者也不能满足历史学家”^①。

《自然哲学的数学原理》一书分为三篇。三篇之前冠以八条定义,一条注释 scholium 和三条“运动公理或定义”。第1,2两定义处理“物质之量”和“运动之量”,与 *De motu* 中的表达相比,唯强调了此量是一量度结果。例如定义二论“运动之量”为“运动之量即对该量的度量(mensura ejusdem),此一度量由速度与物质的量相联合而产生出来(orta)。”^②接下来的六个定义讨论力,即“惰性力”、“冲力”和“向心力”,以及它们的度量。把惰性力与冲力分开讨论似乎来自17世纪的力学传统,而牛顿在稍后又明白指出,“这种力的作用既可视为阻抗,又可视为冲力……”^③定义5—8处理向心力,占定义总数量的一半,而篇幅更占四分之三以上。定义8之后附有很长的说明,牛顿在此声称他的理论是为了给出一个这些力的数学概念而不是物理原因。定义之后有一长篇的“注释”,研究时

① I. B. Cohen, “Introduction” to *principia translated by A. Motte*, London: Dawsons, 1968, p. xii.

② 中译郑太朴译本作“……联合度之”。见郑译本,9页;新译本作“一起来度量的”,见《牛顿自然哲学著作选》,13—14页,均留意“度量”一词。

③ *Principia*, p. 2.

间和空间。世称牛顿的“绝对时空”即见于此。

与定义并列的是一套三条“运动的公理或定律”，即现在以牛顿命名的三大定律。细看这三条定律，第一条早已被笛卡尔表述过，^①牛顿最初是在手稿 MS 3970, f. 652^a 中提到这一定律的，并把它归于阿那克萨哥拉(Anaxagoras)、亚里士多德和卢克莱修(Lucretius)。^② 牛顿自己最早的表述是在他的早年笔记本中，这已在前文中讨论过了。定律二的最早形式见于 Waste Book 的公理 120：“物体必在其被压方向上移动。”另外一条与之相关的早期记录是“[物体]运动的变更与引起这一变更的力成正比。”^③其比较接近《原理》正文的表述见于 *De motu*，上文亦作了讨论。定律三即今日的“作用-反作用定律”，亦见于 Waste Book，定义七和定义八，以及公理 119 和公理 121。很多研究者认为，定律三中牛顿自己独立创造的部分最多。

三大定律后附有六条“推论”，包含平行四边形法则，动量守恒定律。牛顿接着花了很多篇幅讨论第二定律，他还设计了一个实验，这一实验曾由伽利略、马里奥特(Mariotte)做过，但牛顿的装置和做法更精巧，并计入了空气阻力造成的不准确因素。

《原理》第一篇冠有“论物体的运动”的标题。第 1 章(section 1)是数学准备，与各章体例均不同，问题的标目也用“辅助命题”(Lemmas)而不是如后文所用的“命题”(Proposition)；第 2 章以讨论开普勒运动为起点并含有关于开普勒行星运动规律导致力是平方反比的著名论断，命题 4 推论 6，第 3 章证明，做圆锥曲线运动的物体都受平方反比的向心力的影响。命题 11 证明，如运动轨迹是椭圆，则牵涉的向心力是平方反比力。这就是 1684 年秋天哈雷最初访问牛顿时带来的问题的逆命题。牛顿花

① *Principia philosophiae*, in C. Adam and P. Tannery, eds., *Œuvres de Descartes*, Paris, 1897, pt. II, Art. 37.

② 牛顿在手稿中引述了后两者的论述，经查对，见于 Lucretius, *De rerum natura*, II, 150-151, 157-162; Aristotle, *Physics*, IV, ch. 8, 215^a19.

③ MS Add 3965, f. 1.

了 22 行的文字,简单明了地把它解决了。——他甚至还提供了第二种证明方法。命题 15 则更进一步以七行的篇幅证明了,在这一情形下,作椭圆运动的物体将表现出开普勒当年从观察中得出的 $3/2$ 次方规律。至此牛顿给出了他的行星运动理论的大部分最精粹的内容。

以下第 4 章到第 11 章分别发展和完善上述结论。4、5 两章讲如何算出行星运行的轨道;第 6 章处理“开普勒问题”,回答了“在任一指定时刻如何算出在一给定椭圆上运动的物体的位置”,这样一个在天文学上有重要实用价值的问题(命题 31)。第 7 章似乎是一个独立于整个线索的章节,牛顿在此讨论了直线运动的物体。第 8 章把向心力的作用规律一般化,讨论“任何一种向心力”,第 9 章讨论轨道也在绕引力中心转动的物体。命题 45 给出了计算近圆形轨道的极点(apsides)的运动情形。通过相当繁复的计算,牛顿得出,一物从远日点(upper apse)出发,将经过 $180^{\circ}45'44''$ 的角运动达到近日点(lower apse)。第 10 章把讨论扩展到非共面情形,第 11 章进一步把讨论精确化。鉴于以前均把重力中心作为不动原点的做法导致不精确结果,命题 57 处理环绕共同质量中心的两物体的运动,而命题 56 及其所附的 22 条推论则构成了牛顿解决三体问题的最初尝试。第 12 章为以前的把质量和引力均视作集中于一点的做法提出证明。命题 75 断言对于匀质球而言,其引力行为与质量全部集中于球心一点的力学系统一样。

第一篇在篇幅上几乎占了全文的 38%。通过本篇的 98 条命题,牛顿完整地建立了他的力学,并从理论上解决了如何处理行星运动的问题。第二篇较短,占全书 30%弱,处理有阻力情形下物体的运动,不少人认为这一看来似乎应该仅为第一篇附录的内容之所以会被牛顿设计为一个独立的章节,与力学的基本定律、世界体系的解释鼎足三分《原理》的主要篇幅,是因为当时物理学界状况的要求。要证明、要使人信服牛顿的“新力学”,必须费很大力气批判当时流行的笛卡尔关于 la matière subtile 的理论。第二篇即担负这一任务。第 1—4 章讨论阻力的性质以及如何用数学方法分析它们;第 5 章讨论流体静力学,第 6 章讨论摆在

有阻力情形下的运动。

第三篇冠以“世界体系”的标题。这一篇的结构不同于上两篇，一开头有“推理原则”，接下来有“现象”，再下才是“命题”。这一结构上的变动可能与本篇的任务有关。从本质上说，本篇是第一篇所述诸理论对于行星运动的应用，而从目的上说，本篇则是对于那些“不懂数学而又自称是哲学家的人”的回答。^①

“现象”1—6可以分为两组：1, 2, 4 三条分别叙述木、土星的卫星和一般行星的 $3/2$ 次方规律；5, 6 叙述行星与月亮的等面积定律；而“现象 3”独成一条，断言行星绕日运行。显然，前两组是开普勒的工作，第 3 现象则是哥白尼的理论。

第三篇不分章，“现象”之下连列 36 条命题。命题 1—3 论木卫诸星，诸行星与月亮均受平方反比力的支配，命题 4 即著名的“月—地检验”的正式陈述。命题 5 的注释牛顿把他一直用数学语言谈论的“向心力”归为与“引力”同一的力，命题 7 断言引力大小与物体所含的物质的量成正比。命题 8—19 谈论行星轨道的特征，命题 20 谈论地球各处重量之不同，从而结束了 17 世纪学者对于重量和质量的长期困惑。命题 22 到 35 讨论月球，命题 36 讨论太阳引起的潮汐，命题 37 讨论月球对潮汐的作用。

第三篇的最大特点是引进了大量的经验材料，从而把《原理》与现实世界联系起来。另一方面，第三篇又包含了大量的理论推算数据与观察事实的比较，特别是引用了 1680 年 12 月 12 日起弗拉姆斯蒂德对于一彗星的观察。这一段被称为“例子”的文字，占第三篇篇幅的五分之一，成为第一篇所提出的理论，第三篇对此一理论的应用的重要支柱。

1710 年 8 月，伯努利(J. Bernoulli)发现《原理》第二篇命题 10 处理有阻力运动的证明有误。这一消息通过 N. 伯努利传到牛顿那儿。^②

① C, II, p. 443. 这是哈雷 1686 年 6 月 29 日给牛顿的信里的一句话。

② Acta, 1713, p. 121; *op. cit.* I. B. Cohen, *Introduction*, p. 255.

牛顿立即作了修改,另于1713年元月6日把新的证明交给了第二版的编者科茨。第二版《原理》即改正了这一错误,但未对伯努利表示任何谢意。

一个更严重的问题发生在《原理》的核心部分第一篇第3章。命题11证明了,如果有椭圆轨道的话,力应当是平方反比的。但是,这并不等于说回答了当时最重大的问题即如果力是平方反比的,那么行星应沿什么样的轨道运行。《原理》第一版在命题13推论1中作了回答,可是没有提供证明。这一问题亦由伯努利指出。牛顿在1709年10月曾向科茨提过类似的问题,并提出了一些他的想法。^①在稍后的命题17中,他还讨论了“如果向心力是平方反比的,那么在什么条件下轨道将是椭圆、抛物线或双曲线。”——但他始终未能给出一个正面的回答。

真正正面的证明由法国人伯努利与赫尔曼(Hermann)完成。他们的证明基本上是从牛顿的《原理》第一篇命题41演化出来的。牛顿为什么始终没有作出这一证明至今令人困惑不解。^②

1687年《原理》发表以后,牛顿实际上再未在力学方面做任何重要的工作,但他并没有停止工作:因为他的工作本身就不是我们今日所称的力学所能概括或限制的。天体运行的图景已经被揭示出来,现在牛顿所要做的,是对他所用的方法以及这一方法所揭示出来的图景作进一步的说明。

四、炼金术、化学和物质理论(1669—1696)

牛顿的早期研究者对于牛顿的炼金术-化学研究常常表示困惑,^③以为和他的力学研究不相协调。直到1975年,一系列的研究才真正令人

① C, V, pp. 5-6.

② I. B. Cohen, *The Birth of a New Physics*, Rvd. ed., N. Y.: W. W. Norton, 1985, p. 226.

③ 例如 D. Brewster, *Memoirs of the Life, Writings and Discoveries of Sir Isaac Newton*, Edinburg & London, 1855, v. 2, pp. 374-375.

信服地说明了牛顿这些研究在历史上的真实地位和作用。^①

牛顿对于化学和炼金术的兴趣是显而易见的。在他的藏书中,炼金术和化学的书籍共有 169 本,占他藏书总数的 9.5%,而物理学和光学书籍仅占 3%。^② 他关于炼金术的笔记长达 65 万字(word),仅次于神学笔记。据他当时的助手和仆人汉弗莱·牛顿(Hamphry Newton)说,在 1685—90 年间,春秋两季各有六个星期,牛顿实验室里的炉火“很少有熄灭的时候”。

牛顿这一方面的兴趣可以追溯到 1660 年代中后期。手稿 MS Add 3975 中含有大量的札记,而零星的记录还可以推到更早的时代。^③ 1669 年,他还买了两只炉子和化学药品,专门从事这方面的研究。^④ 1675 年,有一位 M 先生^⑤给他不少手稿,显然很大地引起了他向这方面进一步努力的兴趣。

尽管牛顿一直没有中断过他对炼金术的研究,其最重要的进展迟至《原理》写完以后才出现。把牛顿所有关于炼金术的手稿按时间分类,可得在 1675 年以前写成的仅占 20%,1675—1687 年期间占 30%,1687—1696 年期间占 50%,——1696 年以后他几乎没有写过什么了。^⑥ 这一时间分布表明,炼金术的研究是牛顿科学生涯极盛年代的一个重要组成部分。

从内容上说,早期的手稿多数是读书笔记。有时他在单纯的摘录之外还加上他自己的见解。他大概在学生时代就已知道大多数化学品的

① 1975 年有三篇最重要的研究问世: M. B. Hall, "Newton's voyage in the Strange Sea of Alchemy", in M. L. Righini Bonelli and W. Shea, *Reason, Experiment, and Mysticism*, N. Y.: Science History Publication, 1975; B. J. T. Dobbs, *The Foundation of Newton's Alchemy*, Cambridge: CUP, 1975; 以及 R. S. Westfall, "The Role of Alchemy in Newton's Career", 在上引 Bonelli 文集中。

② J. Harrison, *The Library of Isaac Newton*, Cambridge: CUP, 1978.

③ 例如 MS Add 3996, f. 92 133^v, f. 74 124^v 等等。

④ *Fitzwillian Notebook*.

⑤ B. J. T. Dobbs 上引书, chap. 4.

⑥ R. S. Westfall, *Never at Rest*, Cambridge: CUP, 1980, pp. 290 - 291, 530 - 531.

制法,大概在 1667 年或稍后,他阅读了玻义耳的《论形态》,并作了笔记,在笔记中表现出对嬗变的明显兴趣^①。接下来有很大一部分手稿是纯粹的摘录。1670—75 年间,牛顿从一位“Mr. F”处得到不少手抄的炼金术论文^②,并由此大量阅读了炼金术文献。他主要阅读的作者有 Basilius Valentinus, Eirenaeus Philalethes, Sir George Ripley 和 M. Sendivogius & J. d'Espagnent。^③ 1670 年代后期,牛顿的一份手稿总结了他的早期研究。^④ 这份手稿已经完全解读——虽然学者们尚不能断定这是牛顿自己的创造呢还是他抄录的别人的工作。手稿的主题是如何得到能化解所有金属的“哲人汞”philosophic mercury。从一能被称作 star regulus (帝星?)的锑的化合物和被称为 doves of Diana(戴安娜之鸽?)的银以及普通水银中可以制得这种哲人汞。从 17 世纪的炼金术传统来看,这种哲人汞是制造能够点石成金的哲人石的前提。虽然牛顿好像很看重这份手稿,把它叫做 Clavis 或“Key”,并说他已由此法成功地得到了哲人汞,科学史家并不把这一工作视为牛顿在化学上的主要成就。

手稿 MS 18 以后的工作,或“中期工作”,^⑤目前还很不清楚。韦斯特福尔(Westfall)曾注意到 1680 年前后牛顿在炼金术方面有“新的研究动向”,特别是他开始了自己独立创作,^⑥炼金术的范围也稍事扩大。他写了多篇显然包含他自己的见解的文章,例如“论绿狮”,“论双重汞”等等。^⑦ 稍后,他还写了标题为 Regimen(养生术?)的短文。^⑧ 在这篇文章以后不久,牛顿又写了一篇或许是他的最重要的化学札记, Index chemicus。

① MS Add 3975 ff. 32^r - 41^v.

② Keynes MS 33, Sotheby Lot 44, f. 5^r.

③ 分别见 Keynes MSS 64; 36 and 19; 17; 和 19。

④ Keynes MS 18.

⑤ B. J. T. Dobbs, *op. cit.*, p. 212.

⑥ R. S. Westfall, *Reason, Experiment, and Mysticism in the Scientific Revolution*, p. 200.

⑦ Keynes MS 30。手稿第 30 号是一组长达 113 页的各种文章的集子,超过两万字(word)。

⑧ 见于 Keynes MS 35 中,部分英译见前引 R. Westfall 文章。

这篇札记有好几个稿子流传下来，^①其最完善的一稿长达 100 多页，含 879 个标题，其中 46 个最重要的，占 42 页，涉及 100 个不同的作者的 144 本(或篇)不同的著作。这一大篇文字的原来目的还不清楚，大概是牛顿为自己准备的一种关于化学品的总索引。这份手稿似乎经过多次修改或重写，而牛顿从事这一项工作的时间肯定断断续续地占据了整个 1680 年代。

牛顿最后从事炼金术的阶段好像是 1690 年代的最初几年。他的最后的实验记录是 1696 年 2 月的，以后几个月他就被任命为造币厂的负责人了。同属于这一阶段的还有一份手稿，Ripley Expounded，是一篇“论文”。

尽管目前对手稿的解读取得了很多进展，仍旧有相当一部分内容不可解。尤其是对整个 17 世纪炼金术的背景目前尚未有完整的认识，因此对牛顿大部分已经解读的炼金术手稿的原来目的和具体内容还不甚了然。从牛顿在 1685 年前后关于炼金术的紧张研究，尤其是 1680 年他的手稿中出现的“新研究动向”看，《原理》中引进的完整的力的概念可能是从化学中转借过来的。物质微粒间的吸引和排斥之力，尤其是最后出现的万有引力概念，很可能最早是由炼金术原则中推演出来的。^②也有一些作者认为，牛顿科学思想在 1670 年代的最后几年有一最关键的进展。^③ 牛顿认识到，以太的观念对于力学说来并非必要，而且，最重要的是，没有实验事实支持以太的存在。——事实上，以太之所以未被排除出自然科学的主要基础概念，是因为为了要描述“作用”而必须有一种承当媒介，用以构造机制的东西。牛顿从化学-炼金术研究中看出，一种普遍存在、作用着的“力”很可以充当构造机制的角色。

① Keynes MS 30, Sotheby Lot 33; 两万字, 113 页; 另外有三篇内容类似的稿子, 五千多字, 49 页; Sotheby 34, 二千多字, 5 页。

② R. S. Westfall, *op. cit.*, p. 224.

③ B. J. T. Dobbs, *op. cit.*, p. 212.

牛顿还考虑过“排斥”力的存在,^①但他的主要注意力仍是吸引力。牛顿在1680年代的最初几年里,一定完全沉浸在这一非常困难的问题之中。吸引力在机械论物理学盛行的1680年,实在是大有可疑的。^②但是另一方面,牛顿又的确看见自然界中的重力、磁力和电力吸引作用,并且认为这种作用是“自然界的一种意向和趋势。”^③且不论其机制,这种趋势在牛顿看来是和自然的本性连接在一起的。他一再重复要求把关于自然的各种不同的“表现”综合加以考察,“因为自然本身必是极其简单并且极其和谐的。”^④

在《原理》完成以后的若干年里,这种关于力的理论进一步发展,并与关于以太的考虑结合在一起,形成了牛顿的物质理论。1718年版的《光学》中加入了第三组“疑问”,插在1704和1706年版的两组疑问之间,即现在所见版本的“疑问17—24”,全部讨论以太问题。“疑问21”特别讨论了引力,吸引力和以太的弹性力。所有这些,好像为以前写的关于物质结构的文字作了进一步的注释。

早在大学时代的札记里,牛顿就谈论了原子的概念。牛顿写道,“因此,元物质必然是原子”^⑤,而这种原子也不是“数学的点”^⑥。这种观念在《光学》中清楚可见,他写道:“上帝在开创之时把物质造成坚硬、结实、有形、不可入而可移动的粒子……甚至坚硬得永远不会磨损或破裂。”^⑦在《原理》中,他甚至把这些要求立作“所有哲学的基础”^⑧。

《原理》第一版出版以后,牛顿就致力于解释他的理论基础。1691

① *Principia*, BK II, prop. 23.

② 例如,在牛顿提出这一概念后,莱布尼兹还完全认为这是“神秘作用”(Occulte),见 C, VI, p. 251.

③ 《光学·疑问》,前引中译,190页。

④ 牛顿在若干处重复过这一观念,见 *Principia*, BK III, Rule; *Opticks*, Query 31, p. 376; p. 397; MS Add 4005, f. 25.

⑤ MS Add 3996 f. 3 89^r.

⑥ *Ibid.*, f. 1 88^r.

⑦ *Opticks*, p. 400, 中译参见前引译文,209页。

⑧ *Principia*, BK. III, Rule 3.

年,当时还是学生的本特利(R. Bentley)致函牛顿,要求牛顿帮助他阅读《原理》。牛顿很慷慨地向他提供了种种帮助。1693年,当本特利应邀作首届玻义耳讲演,讨论如何反驳无神论时,他再次向牛顿请教“宇宙的起源和结构”。他们之间的四封信后来由本特利的孙子在1756年发表^①。

不少学者相信,和本特利通信的一个直接结果就是在《原理》第二版里加上了一段“总注释”,正面处理了与《原理》有关的最基础部分的问题。在这段著名的文字的结尾部分,牛顿写道:“至此,我们已用万有引力的力量解释了天体和大海的现象,但未把这一力量归向任何的原因。”^②

五、晚年:哲学、优先权和上帝(1690—1927)

从1690年起,牛顿对于公共事务的兴趣明显地增长了。1691年,他曾直接写信给洛克(J. Locke)要求洛克推荐他担任公职。此事未能办成。1694年5月,牛顿以前的学生、他最亲密的朋友之一蒙塔古(C. Montague)被任命为财政大臣。1696年5月19日他给牛顿写信说他预备任命牛顿为造币厂总监并以此为“我的友善提供一个证明”。而且,这一份差事还是很清闲的。^③他后来坦率地承认,任用牛顿是因为他不能忍受“这样一盏灯,的确很亮但是很费油”^④。

牛顿接受了这一任命,但不久即对于工作和报酬表示不满。他认为他权限太小,工资太低。^⑤1699年,造币厂主管(master,案此为牛顿原先职务的直接领导,亦为造币厂的最高领导)T. 尼尔(Neale)去世。牛顿在1700年继任此一职务,一直到他去世。造币厂主管的职务报酬非常丰厚,这给牛顿的后半生带来了一个平静、安定的生活。1701年

① *Four Letters from Sir Isaac Newton to Dr. Bentley, Containing Some Arguments in Proof of a Deity*, London: R. and J. Dodsley, 1756.

② *Principia*, p. 546.

③ C, IV, p. 195.

④ Keynes MS 130.7, Sheet 4.

⑤ C, IV, p. 208.

11月26日被剑桥地方代表选入国会,12月10日辞去了卢卡斯教授职位。1703年3月,胡克去世,同年11月30日,牛顿当选为皇家学会会长。

牛顿对于他的行政工作很认真。他担任会长到去世的十三年中,皇家学会共举行175次大会,他出席了其中的161次。他提出了整顿、充实学会的办法。^①他提出要在五个主要领域,即数学和力学,天文学和光学,生物学,植物学和化学方面设立付酬的研究职位。他认为,由这五个方面,自然的构造和作用可以被充分地揭露出来。这些计划后来陆续得到了实施。

可是生活并非那么平静。牛顿的工作几乎无例外地被优先权问题搞得黯然失色。关于光学的争论虽然在1670年代末现出一些和解的迹象,但《原理》发表之后关于平方反比定律,尤其是关于流数法的发明权的问题,引起了一场真正的灾难。^②以英国学者为一方,大陆学者为另一方,唇枪舌剑,引经据典,各不相让。结果皇家学会在1712年任命了一个专门委员会来研究莱布尼兹(Leibniz)的关于优先权问题的指控,并且在次年元月29日正式公布调查结果,证明皇家学会的会长牛顿被莱布尼兹剽窃了。^③4月24日该报告的法文本出版,7月29日莱布尼兹匿名回答这一指责,^④“哲学家之间的战争”真正进入白热化。1716年,一大批外国驻英国的大使,欧洲的贵族被邀请到皇家学会,并向他们展示了有利于说明牛顿的优先权的文件。当这种争吵变得越来越没有意义时,De Monmont出面调停,牛顿和欧洲的主要代表伯努利都作了和解的表示。^⑤最后,他们又为了一德国人Nicolas Hartsoeker的回忆录里关于伯努利曾“自吹自擂”作了最后的交锋,^⑥牛顿一直保持沉默,从而这场旷日持久、大伤元气的争吵才最后平息下去。

① MS Add 4005, f. 2.

② A. R. Hall, *Philosophers at War*, Cambridge: CUP, 1980, 专题讨论牛顿-莱布尼兹的优先权问题。

③ C, V, pp. xxvi - xxvii.

④⑤ C, VII, pp. 42 - 6; 67 - 70.

⑥ C, VII, pp. 218 - 21.

除了应付造币厂和皇家学会的日常工作,应付来自大陆国家和皇家学会内部的种种指控和挑战之外,牛顿生命的最后二十五年还有相当一部分花在哲学和神学的研究上。从现存的手稿知道,牛顿在《原理》发表以后,曾花了很大气力修改和补充第三篇,尤其是其中的“哲学”部分。仔细比较他在世时刊行的三个版本即知,第一篇和第二篇几乎原封不动地重版,而第三篇以后则不然。他加上了他著名的“总注”(General Scholium);而且,现在通行版本中的“哲学推理法则”(Regulae philosophandi)共四条也全非原来面目。《原理》的第1版包括九条“假说”(Hypotheses),在准备第2版时,他显然对这些假说很不满意,因为这个词的意义可能会引起误解。牛顿把这九条“假说”划分为三个部分。第一部分包含原先第一版中的第1,2条假说,原来是关于推理方法的,被冠以 Regulae philosophandi,和一条新加上的“法则3”构成了第二版(1713)的推理法则部分。法则3强调了一种演绎推理方式:如果一性质对于所有实验所能确认的情形都表现出相同的结果,那么这一性质可以被认为是所有有关物体所通有的性质。这一外推法则的建立,使得只能处理有限个实验,只能接触有限范围的宇宙的科学家获得了处理实际上是无限的宇宙的无限的能力。

原来的第4条假说自成一组,仍冠以“假说”之名,移到了第三篇命题11之前。这一段假定世界的中心是不动的文字,成了《原理》中唯一的假说。牛顿后来在总注释中又再作说明,所谓“假说”是指那些“不是从现象当中推演出来的”东西。^①他之所以要把原来的九条假说分为三部分分别阐述,是因为“在几何学中,假说这个词常包含公理和推理前提的意思,而在实验哲学中,它不再含有这么一个广泛的意思,不再包括那些我称为‘运动定律’的第一原则和公理,……”^②从这些诠释来看,这一条“假说”确实合于牛顿的原意了。

① *Principia*, p. 547.

② 牛顿1713年3月28日致Cotes的信,原文#81,见J. Edleston, ed., *Correspondence of Sir Isaac Newton and Professor Cotes*, London: J. W. Parker, 1850, pp. 154-155.

第一版中第 5—9 条假说构成第三组, 标为“现象”列于 *Regulae Philosophandi* 之后。这六条现象同于今日通行版本的相应部分。这样, 经过这一番大的整顿, 牛顿的哲学观念相当程度上得到了澄清, 特别是《原理》的理论基础完全呈现。整个复杂的理论建立在严谨的数学(第一篇第 1 章 BK I, Sec. I)和物理假定(定义和公理)之上。这种物理假定又由方法论假定(推理法则, BK III, *Regulae Phil.*)导出。另一方面, 这些方法论假定还保证了理论和现实世界的正常联系。现实世界中最重要的经验事实被归结为“现象”(Phenomena), 而第三篇, 即理论对于现象的运用和现象对理论的证实使全书论证达到高潮。在 1726 年《原理》第三版即将完成的时候, 牛顿再增添了一条“推理原则”, 从而对他的哲学作了如下的总结^①: “在实验哲学中, 我们必须把那些从各种现象中运用一般归纳而导出的命题看作是完全正确的, 或者是非常接近于正确的; ……”

这样, 整个“实验哲学”就通过推理法则建立在“现象”之上了。物理学找到了它的经验源头, 任何自然哲学中意义含混的“假说”不再能出现在科学的厅堂之上,^②因此牛顿能够宣称 *hypotheses non fingo*。这句话的本来意义引起很多争议,^③但从牛顿在《光学》疑问 28 的一处文字看来, 牛顿是认为自然哲学的任务是“从现象出发推理”而不是“杜撰假说”。因为这是牛顿的英文原稿, 所以“杜撰”两字 (*feigning*) 意义无可争议, 而其拉丁文译本亦作 *Confingere*。查牛顿“总注释”的原稿, 知牛顿最初曾用过动词 *sequor* 和 *fugio*, 均无“构造”之意。近来一些牛顿学者据此作出新译, 即 *I do not feign hypotheses*,^④即“我不杜撰假说”。力学和天文学的经验基础由是完全确立。

① 这条 *Regula* 实际上在第二版完成时已经有草稿, 但因印刷原因未能排入, 见 I. B. Cohen, *Introduction to Newton's Principia*, p. 260.

② *Principia*, p. 547.

③ 问题开始于 1729 年的英译本, 当时此句译作 *I do not frame hypotheses*. (我不构造假说。) 以后法译作 *Je n'imagine pas d'hypothese*, 德译作 *Hypothesen erdenke ich nicht*, 均仍其说。

④ A. Koyré, *Newtonian Studies*, London: Chapman and Hall, 1965, pp. 35 - 36.

* * *

与哲学问题同时展开的是关于神学的研究。从很大程度上说,这种神学研究与上述哲学研究,以及更早的力学、天文学研究不仅是并行不悖的,而且是相辅相成的。因为在牛顿看来,“整个宇宙及其中的一切是一种谜,一种秘密,它可以通过把纯思维应用于某些迹象,某些上帝设制的关于这个世界的神奇的线索来解读。某些哲学家据此能凭他们的智慧发现其中奥妙的联系。”^①

早在1694—95年间,牛顿的亲密朋友就知道他有关于神学和神话学的手稿,^②其实牛顿的宗教感情和信念早在他童年时代的笔记里就有流露,^③并且以后断断续续不曾中断。重要的神学和宗教笔记本还有 Keynes MS 2 即“神学笔记”,这是牛顿在1670年代开始使用的。其中有一些条目,如 De Trinitate 长达九页,表明牛顿当时已经阅读诸如阿他那修斯(Athanasius)、格雷哥里(Gregory)和奥古斯丁的著作,并已形成基督教信仰了。这本笔记本还从封底倒着记载了一些和圣经有关的事。例如为了证明一个具体的神学问题,牛顿引用了12条圣经语录。^④

牛顿最重要的神学论文是一篇名叫 *Theologiae gentilis origines philosophicae* 的文字,^⑤一半拉丁文,一半英文。牛顿认为,古人的宗教或泛神论均建立在一种12神的体系之上,这12个神分别代表七颗“行星”,四大元素和“第五本质”quintessence。所有这些神中必有一个为最高的,一般说来总是一位老人,“与时间或大海联系在一起”。

但是这不是牛顿的完稿论文,所以从另一方面说来,它又是“混乱不

① Lord Keynes, “Newton, the man”, in *Newton Tercentenary Celebrations*, p. 29.

② W. G. Hiscock, ed., *David Gregory, Isaac Newton and their Circle*, Oxford 1937, p. 4.

③ 在 Fitzwilliam Notebook 中牛顿有不少忏悔言词,最早的可能在1662年,参见 *Notes and Records of the Royal Society of London*, 18 (1963) 10-15.

④ Keynes MS 2, f. VIII^v.

⑤ Yahuda MS 16. 2, 其他有关的手稿见 RSW, pp. 351-352, esp. n. 55.

堪、乱七八糟的”。和这篇论文差不多情形的还有题为《先知语言》的一份手稿，^①长达五万字(word)，可能分两次写于1680年代和1705—10年。这份手稿有九章，尚未被完全研究过。^②

牛顿还写过一些甚至被称作“经济学著作”的文字。^③但是他生平最后用力最大的一本书是《增补古代王国编年史》，1728年在他死后出版。^④本书的缘起至今不清，而且学者们对它内容的价值估计相差很多。对韦斯特福尔说来，这是一本“极其乏味的”书，^⑤而莫尔说它“几乎不值得一读”^⑥。但曼纽尔(F. E. Manuel)在1963年写了一本长达328页的书，^⑦专门研究牛顿的历史学工作。这本《编年史》共六章，研究从希腊到波斯王国的古代史。在第一章的前半部，牛顿叙述了他的编写编年史的原则，他要使“编年史合于自然的进程，合于天文学，合于圣史，合于希罗多德(Herodotus)，……”

与《编年史》密切相联的还有一篇写于1716年的提要性质的文字，当时卡萝琳公主要求看看牛顿在编年史方面的工作。牛顿呈送给公主的文稿全名叫作《从欧洲最早纪事到亚历山大大帝征服波斯的简明编年史》，但他好像很不愿意正式发表。^⑧几经讨论，结果是在1725年出了第一个法译本 *Abrégé de la Chronologie de M. le chevalier Isaac Newton*，英文本直到他去世才出现。

1725年元月，牛顿肺部出现发炎症状，他咳嗽得非常厉害。1726年8月，他的健康明显地变得非常坏。牛顿首先把自己的财产分给亲友，凯瑟琳的女儿凯蒂得到最多，别人则厚薄有差。然后，他

① Keynes MS 5, ff. I-IV et squ.

② 简介见 McLachlan, *Sir Isaac Newton: Theological Manuscripts*, Liverpool: Liverpool University Press, 1950, pp. 119-26.

③ F. E. Manuel, *Newton: Historian*, p. 1.

④ 草稿见于 MS Add 3987 和 3988, 正式出版时编者是 J. Conduitt, London, 1728.

⑤ RSW, p. 815.

⑥ L. T. More, *Isaac Newton: A Biography*, N. Y.: Dover, 1962, p. 615.

⑦ *Isaac Newton: Historian*, Cambridge: The Belknap Press, HUP, 1963.

⑧ C, VII, p. 322.

烧掉了他的相当一部分的手稿——至于他为什么要这样做,以及烧掉的是不是手稿,均只能存疑。^① 1727年3月2日,他出席了皇家学会的会议,但3月4日即极感不适。在3月15日短暂地恢复一下以后,他于3月19日完全失去知觉,次晨1点他平静地去世,^②未闻有遗嘱留下。

六、文献和研究现状

牛顿的著作大部分用拉丁语,笔记则拉丁语、英语兼用。其情形可简述如下:

1. 笔记。*Morgan Notebook*,今藏纽约 Pierpoint Morgan 图书馆,内容为零碎的数学和天文学札记;*Fitzwilliam Notebook*,今藏剑桥 Fitzwilliam 博物馆,主要是 1665—9 年他一些个人的记事;*Trinity Notebook*,今藏三一学院,主要个人记事。以上三本均被定为早期笔记,并主要涉及个人生活。《哲学笔记》,今藏剑桥大学图书馆,编号 ULC. Add MS 3996,主要为牛顿大学时的札记,其中大部分是一本称为 *Questiones Quædam Philosophicæ*,是牛顿早期研究的重要资料之一。*Waste Book*,今藏剑桥,编号 ULC. Add MS 4004,是研究数学和动力学的最重要的札记;《化学笔记》,编号 3975,论光学现象和化学、炼金术笔记;《数学笔记》,编号 4000,包含早期的微积分方面的记录;《炼金术笔记》,今藏耶路撒冷的 Yahuda 收藏,含重要的炼金术问题的标题。以上为主要的科学思想记录。《神学笔记》,今藏剑桥金斯学院,编号 Keynes MS 2,记录牛顿主要的神学思想。

2. 《自然哲学的数学原理》共出 11 个拉丁文版。最重要的是牛顿生前的 1687,1713 和 1726 年三版,其中彭伯顿(H. Pemberton)主持出版的第三版为定本,当时印 1 250 册。^③ 这一版后来又由科恩(I. B. Cohen)

① RSW, p. 868.

② Keynes MS 130. 15; RSW, p. 870.

③ H. Davis, *The Library*, *Transactions of the Bibliographical Society*, 6 (1951) 86.

和 A. Koyré 修订, 1972 年再版。^①

《原理》的第一个英译本由莫特(A. Motte)完成, 即成定本, 1729 年出版。1934 年, 瑞士出生的美国教授卡焦里(F. Cajori)的修订版由伯克利加州大学出版社出版, 为最通行版本。《原理》的法译出现于 1756 年, 德文全译本出版于 1872 年, 俄文本 1915—16 年, 瑞典文本 1927 年, 日译本 1930 年。郑太朴先生 1931 年中译, 由商务印书馆出版, 1957 年重印, 是唯一一个《原理》的中译本。郑本所据底本可能是莫特英译本的某一稍后修订本, 与现在通行的卡焦里注释本不尽一致。本文编号系统从卡焦里本 1962 年重印本。

3. 《光学》1704 年在伦敦出版, 英文; 1706 年出拉丁文译本。1720 年法译本完成, 1898 年德译, 1927 年俄译。现在最通行的是 1730 年英文第四版的重印本, (1931 年, Dover)。中译本 1987 年由科学普及出版社出版。

4. 通信见于 H. W. Turnbull 等, *The Correspondence of Isaac Newton*, Cambridge: CUP, 1960, 七卷本, 有注释。

* * *

要把浩如烟海的牛顿研究第二手资料综述一遍是不可能的。科恩在 DSB 条目后面已作了最简明的介绍。下面列出本文撰写时所用过的最主要的著作(其中科恩已列出的又重复列出):

R. S. Westfall 著 *Never at Rest*, Cambridge: CUP, 1980, 是公认的最好的牛顿传记。Westfall 有很重的宗教家庭背景, 又有对 17 世纪力学的精深研究, 因而在短期内似乎很少有人能望其项背。A. R. Hall 和 M. S. Mahoney 的新书评论分别见于 *New Scientist*, 90 (1981) 172 和 *Tech. and Culture*, 23 (1982) 655。但这本书不是为初学者写的, 有些考证和叙述比较艰深。

^① *Philosophiae Naturalis Principia Mathematica*, ed. by A. Koyré and I. B. Cohen, Cambridge: CUP, 1972.

光学方面的综合性研究有 A. I. Sabra, *Theories of Light*, Cambridge: CUP, 1981, 讨论从笛卡尔到牛顿在光学理论方面的发展。

力学方面的综合研究有 R. S. Westfall 的 *Force in Newton's Physics*, London: McDonald, 1971, 这是一本比较老的书, 很可能是 Westfall 在写作 *Never at Rest* 时研究力学的副产品。与之同时出现的 I. B. Cohen 的 *Introduction to Newton's Principia*, Cambridge: CUP, 1971, 处理与《原理》有关的更专门的问题。同作者的 *The Newtonian Revolution*, Cambridge: CUP, 1980, 研究与牛顿工作有关的历史问题, 展示了牛顿研究专家当时所达到的水准。P. M. Rattansi, *Isaac Newton and Gravity*, London: Wildwood House, 1974, 是一本专门研究。

把牛顿作为 17 世纪科学革命中重要一环进而研究整个科学革命的, 有两本重版书, 其初版曾在科学史研究中起过重要作用: I. B. Cohen, *The Birth of a New Physics*, N. Y.: Norton, 1985 (初版 1960) 和 A. R. Hall, *The Revolution in Science 1500 - 1750*, London: Longman, 1983 (初版 1954)。更专门的著作是 I. B. Cohen, *Revolution in Science*, Cambridge: CUP, 1985。

化学和炼金术是牛顿研究近年来最活跃的方面之一。^① B. J. T. Dobbs, *The Foundation of Newton's Alchemy*, Cambridge: CUP, 1975, 是建立在手稿研究上的, 作者因此为她自己赢得了普遍的承认。同年出版的 *Reason, Experiment and Mysticism*, N. Y.: Science History Publication, ed. by M. L. R. Bonelli 和 W. R. Shea 中亦含关于牛顿化学和炼金术的重要研究。

牛顿在神学和自然哲学方面的研究近来已不再被看做“胡言乱语”。F. Manuel, *The Religion of Isaac Newton*, Oxford: Clarendon, 1974, 和他的 *Isaac Newton: Historian*, Cambridge: CUP, 1963, 以及 I. B.

① R. S. Westfall, "Newton and the Hermetic Tradition", in *Science, Medicine and Society in the Renaissance*, ed. by G. Debus, N. Y.: Science History Publication, 1972, p. 183.

Cohen 主编的 *Newton's Papers and Letters on Natural Philosophy*, Cambridge: HUP, 1978, 代表这方面研究的最近进展。

牛顿工作对后续科学发展的影响有两本专著在近年问世并得好评。H. Guerlac, *Newton on the Continent*, Ithaca: Cornell UP, 1981 和 H. J. Steffens, *The Development of Newtonian Optics in England*, N. Y.: Science History Publication, 1977, 分别讨论大陆上和英国科学界对牛顿的反应。A. R. Hall, *Philosophers at War*, Cambridge: CUP, 1980, 讨论优先权。

我国对牛顿的研究工作大部分收集于《〈原理〉——时代的巨著》，戴念祖、周嘉华编，峨嵋：西南交通大学出版社，1988。

散见于各处的单篇论文见于 P. and R. Wallis, *Newton and Newtoniana, 1672 - 1975*, Dawson, 1977。这本书收集的牛顿以及有关牛顿的著作，包括书和单篇论文五千余种，详加罗列，并附有收藏情形。1975 年到 1985 年的主要资料，见于 D. Gjertsen, *The Newton Handbook*, London & N. Y.: Routledge & Kegan Paul, 1986, 但不及 Wallis 是专门的目录学著作。以后各年度的见于 *Isis* 各年的 *Critical Bibliography*。

经典物理学的经典

——纪念牛顿的《原理》发表三百周年

差不多整整三百年前,1687年4月5日,牛顿写完了他的《自然哲学的数学原理》,三个月后,该书印成出版。这部著作所处理的是当时科学界讨论的一个核心问题:如何说明行星的运动规律。它的出版受到普遍的关注,原也不足为奇。牛顿的最亲密的朋友们,甚至在这本书的写作开始之前,就意识到了这项工作必定是“革命性的”,但他们似乎没有想到,要解决这一问题,必须对几乎所有当时已知的物理知识作一次规模空前的综合;他们更不会想到,这本难懂的书在科学发展史上会如此重要,以至于拉丁语的“原理”(Principia)一词,如果不加特别的说明,就会被理所当然地理解为指牛顿的《原理》,好像这个词本来就是为他造的。

的确,《自然哲学的数学原理》无懈可击地解决了它所面对的问题,同时也建立起了经典力学的大厦。对于它以前一个半世纪的物理学,《原理》是一次综合,一个总结;对于它以后三个世纪的物理学,它则提供了一个不可或缺的基础,一种解决问题的范式。正是在这一意义上,后人称《自然哲学的数学原理》规范了整个经典物理科学发展的原理,这原理在三百年后的今天仍然深刻地支配着科学研究,就好像它刚被提出来的那时一样。

一、《原理》写作的背景

《自然哲学的数学原理》的写作，一共花了牛顿 28 个月的时间，对于这么一部大著作来说，这实在是够短的了。而且，决定进行这一工作的起因似乎也很偶然。

1684 年 1 月间，胡克、哈雷和雷恩在一次皇家学会的例会上又谈起了天体运行问题。当时，认为天体在运行中受一个和该天体到“中心天体”的距离成平方反比的力的作用，是一种很普遍的想法。这一想法最初来自布里阿德，布氏认为，既然行星受太阳驱动，这种驱动力必然要以某种方式传到行星。太阳所发出的光显然是携带这种驱动力的唯一可以想象的媒介。根据当时已知的知识，光的强度与它到光源的距离成平方反比，所以假定这种力是一种“平方反比”的力，当不会大错。布氏的想法听来顺理成章，但和当时物理学界的主流不相容，和当时已经掌握的、非常精密的天体运行规律即开普勒定理亦无明显联系，所以在物理学-天文学界得不到普遍接受。哈雷曾致力于这一问题的研究，但发现力不能及。显然，或者从平方反比的作用力导出行星运行的轨道，或者从轨道导出力的作用规律，都能把布氏的猜想纳入科学体系，但关键是要给出严格的证明。在那次例会上，哈雷承认他的努力因为“数学上的困难”而告失败，而胡克则称他“已经获得了”这一证明。哈雷和雷恩都表示怀疑，雷恩还说他愿意拿出一本价值四十先令的书作为奖赏，送给在一个月內提出这一证明的人。

七个月以后，仍旧没有人拿到这本书，虽然胡克坚持说他能够，但他要等到别人失败以后再公布他的证明。1684 年 8 月，哈雷在剑桥与牛顿谈起这事，哈雷问道，一个受平方反比力作用的行星应划出什么样的曲线，牛顿立即回答，“是椭圆”。哈雷大喜过望，立即要求牛顿把证明给他，牛顿找了一会儿，没有找到，但他答应尽快把证明补给哈雷。同年 11 月，牛顿给了哈雷一份题为《论物体在轨道中的运动》的手稿，证明是令人信服的。12 月 10 日，哈雷向皇家学会报告说他和巴吉特先生已获得

牛顿的一份手稿,并要求牛顿把证明完整地写出来。1684年12月到1687年春天,牛顿倾其全力写作《原理》。他与天文学家们通信,索取资料,连在给¹学生讲课的时候,谈的也都是他正在进行的、后来写进《原理》的研究,所以学生发现他的课变得非常难懂;他常常忘了吃饭,仆人把饭送上的时候,他会说他已经“吃过了”。终于,《原理》完成了,一门新科学也随之建立了。

二、《原理》的结构

《原理》最初是用拉丁文写成的,初版在1687年印行。1713和1726年又再次重版,均有增补。1729年,即牛顿去世两年后,由安德鲁·莫特翻译出版了《原理》的第一个英译本,以后又译为法、德、俄等欧洲通用的语言,我国直到1931年始由郑太朴先生译出中译本。1934年,美国物理学史家卡约里出版的,根据莫特英译改写的注释本《原理》,是比较通行的版本;A.克瓦列、I. B.科恩和A.威特曼合注的新版本则是现在最新的和最容易阅读的版本。

从牛顿的手稿,包括很多废弃了的手稿的研究中知道,牛顿最初打算把这一主题写成两本、或者三本相互独立的著作,现在合为一本的《自然哲学的数学原理》仍留有这样的痕迹。

《原理》的结构是严谨宏大的。全书分为三篇。第一篇和第二篇都题为“论物体的运动”;第三篇题为“论世界体系”。三篇正文之外,还有附于篇首的两段说明性文字,即“定义”和“公理,或运动定律”;此外还有几段序文。第一篇论述物体在无阻力的情形下的运动规律。篇下设章,除第一章是数学准备之外,其余13章均讨论物理内容。第二第三章分别讨论向心力和圆锥曲线上的运动,尤为重要。牛顿自己曾说,阅读了这一篇的首三章后,阅读第三篇当无困难。第4章到14章整整11章篇幅所处理的问题可以大略分为两类:一是反复讨论在某些已知运动条件(如给定轨道或给定力)情形下求别一些运动要素的做法;一是细致地讨论一些具体的运动情况。第一篇篇幅占全书的36%,是全书的主干。第

二篇在卡氏注释本里篇名被写作“论在有阻力介质中的物体运动”，意义当更明白。该篇分9章，占篇幅30%，但从内容上看，似只是第一篇的继续，或是第一篇若干结论在阻力不为零的介质中的应用，例如其第一章讨论阻力与速度成正比的情形，第二章讨论阻力与速度的平方成正比的情形。诸如此类的应用，何以要独占一篇？除了上面提及的可能与最初的分册撰写的计划有关外，科学史家还认为，由于在《原理》成书的1680年代，物理学界流行的还是笛卡尔的物理学。依照笛卡尔的说法，宇宙间充斥着透明的、不断作涡旋运动的小微粒。行星的运动起源于这种涡旋运动，或不如说是被这种涡旋“拖曳”着运动，光的传播也有赖于这种小颗粒的振动。因此，牛顿必须对这一学说作充分的探讨，以明其谬。另外，这一篇也讨论了不少流体运动的问题。我们知道，这也是当时物理学界极为关注的、长期未被解决的大问题。如命题36即讨论了流体从一水桶底部小孔穿出时的流动问题，而这一问题的研究，一直可以追溯到伽利略在1630年代撰写他的名著《两门新科学》。那时，伽利略试图讨论这一问题，但最终放弃了。但我们仍能在他废弃了的、本拟用作《两门新科学》中“第五、六天”的手稿中找到这样的讨论。又如，被帕斯卡详细讨论过、又由波义耳多次在英国皇家学会演示过的气压计及与其有关的流体力学问题，该也很引人注目。我们可以猜想，这篇对于三百年后的读者无甚特殊重要性的文字，在当时当是极为重要的课题，牛顿因而也花了相当大的篇幅。

第三篇最短，仅占全文的27%，但它一直最引人注目，且在牛顿生前的三个版本中，所作的修订也最多。这篇题为“论世界体系（数学处理）”的文字，不分章，体例与前两篇不同。从本质上说，该篇仍是第一篇所论原理的运用，但与第二篇不同，该篇讨论的是宇宙体系的运动，从正面回答了当时物理学界所关注的几大问题，即行星运动的原因，月亮的运动和彗星的运动轨道，大海的潮汐等等。

纵观全书，该书结构显然取法于欧几里得几何学：先建立若干最一般、最明白的定义、公理，然后用严整的推理建立起一个完整的演绎结

构。而不同于欧氏者,在于最后又把这种演绎,引向了可以与经验事实相比较的方面,逐一核对,以证明以前的推理为不谬。现代科学所要求的理论结构在牛顿的《原理》中已是蔚然显现。黑格尔尝称理论以公理为逻辑起点是其成熟的标志。那么在这个意义上,《原理》标志了力学作为一门科学已经成熟;而把逻辑结果引向可验证的经验事实,则在以后的科学发展中,几乎成了不可缺失的一环;这种演绎结果与经验的一致性,也就成为物理科学判断是非曲直的唯一标准。

三、《原理》的立足点

处于全书之首的是 8 条“定义”。第一条以密度和体积定义物质的量,从而第一次明确地区分了质量和重量两大概念,为全文找到了一个脱离地球引力场而独立存在的物理量;第二条用我们今日称为动量的“物质之量与其速度之积”定义了运动。从亚里士多德起,物体的运动常常被理解为“位移”,而本条定义则为物理学打开了通向动力学的大门。最令人寻味的是,8 个“定义”中有 6 个用于处理“力”这个力学中最难以说明、最令人捉摸不透的概念。而这 6 个有关力的定义中,又有 4 个是讨论向心力的。

向心力的概念是牛顿首创的。虽然曲线运动中的力的作用很早就为人注意了,但无论是笛卡尔还是惠更斯,都只是把注意力集中在作曲线运动的物体脱离曲线、力图向切线方向飞出的倾向。离心力的概念似乎是更加自然、更直接地和实验联系在一起。牛顿的问题是,既然如此,那么物体为什么不飞出而继续沿着曲线运动呢?在牛顿 1664 年的笔记本里,我们看到了牛顿对这个问题的考虑。在研究了惠更斯关于碰撞的理论之后,牛顿设想了一个作直线运动的小球,在一个四边形方框的四条边的四个中点上遭遇了四次碰撞,于是它的运动变成了一条封闭的框线。如果在各点的碰撞并未正好大到使得小球的方向转过 90° ,而仅稍稍向那个方向偏移,而且这种碰撞不是来自于一个方形的框而是来自于一种圆形的环,那小球就作圆周运动。对于任何外在的观察,小球

表现出一种力图飞离中心的倾向,或表现为受离心力的作用;但对于小球自身说来,它所承受的恰恰是一种指向中心的外力,这力迫使它偏离直线轨道而作曲线运动。

牛顿接着讨论了月球的情形。月球为什么没有飞离地球,沿着直线永远地离开我们呢?这是因为地球和月球之间有重力的作用。这种重力,迫使月球不断地偏离它的直线轨道,但又不足以使月球落向地球。在月球轨道上,月球的离心倾向和地球的重力正好平衡,所以月球就年复一年地在一条轨道上运行,既不飞离地球,也不落向地球。

四、牛顿三大定律

这种力的平衡观念,也是牛顿的首创。小球相互撞击的物理学,是17世纪法国物理学界研究的一大题目。笛卡尔最初提出了这一问题,并在他的《哲学原理》第二篇中仔细地讨论了碰撞的7种情形。很可惜,对其中的6种,他都作了错误的结论。笛卡尔朋友的孩子、他的崇拜者克里斯蒂安·惠更斯在1669年前后研究了这些问题,修正了前者的错误,并把结果发表在《因碰撞引起的物体运动》一书中。此外,伽利略等人,特别是法国物理学家E. 马略奥特,还研究了两个小球都被安装在摆杆顶端时的碰撞情况。在1673年发表的《物体的碰撞或撞击理论》中,马略奥特详尽地讨论了两个小球相撞时的相互作用。牛顿无疑阅读过该书,并归纳了上述工作,把它们进一步理论化了。他特别利用了相互作用的概念重新表达了物体在碰撞时的运动规律,即著名的牛顿第三定律,它与另外两条运动定律一起,被牛顿称作“公理或运动定律”,紧接在“定义”之后,构成了一个独立的章节。这三条定律,就是后来物理学中无人不知的“牛顿三大定律”。

第一定律即惯性定律,牛顿说来自伽利略,但大部分科学史家则更倾向于将它归于笛卡尔的工作。在《哲学原理》中,笛卡尔从两个方面论述了这一原理。该书第二篇第37节说,运动将保有它原来的状态,物体一旦运动,就将永远运动下去。同篇第39节进一步说明,运动就其本身

来说,是匀速直线的。牛顿阅读过《哲学原理》,因此可以想见,笛卡尔的这段论述是第一定律的渊源。

第二定律的情形最为复杂。今天,虽然 $f=ma$ 已是一个中学生的常识了,但其本源、逻辑结构和可验证性一直仍是物理学和物理学史的一个大问题。

困难在于方程左边的力 f 是一个无法测量也无法观察的东西。牛顿在稍后说这一定理来源于伽利略的重物下落的距离与时间的平方成正比的公式,但这似乎仍未给出令人满意的说明,因为伽利略曾断然拒绝在重物下落时谈论力。在他的名著《两大世界体系的对话》的“第二天”里,当辛普利邱试图用“引力”作为天体运动的原因时,萨尔维阿蒂断然拒绝说,这不过是给这个原因起了个名字,但对这个原因仍旧是一无所知。也许这是一个最典型的例子,说明了伽利略对科学解释的要求。正是在这一意义上,伽利略越来越倾向于一种“描述性”的解释,追寻一种由简洁优美的数学运算联结起来的、可以由实验测量的物理量(例加速度、距离和时间等等)之间的关系。马赫后来说伽利略的工作特点是一改中世纪以来一直追问的“为什么”,即自然的原因,而转向寻求“自然过程的描述”即“怎么样”,是很有见地的归纳。

显然,在第二定律上遭遇的困难仍然起源于力的概念,这个无法捉摸、又无时不在的作用。那么牛顿为什么这样建立他的体系呢?牛顿在《原理》中把第二定律表述为“运动的变化正比于所施的动力”,并非我们通常所说的 $f=ma$ 而是 $f=\Delta(mv)$,这儿 mv 按定义 2 即为“运动”。所以从行文上看,这一定律乃第一定律的一个必要的补充:既然物体一旦运动就永远保持原来状态,那么这一状态如何改变呢?第二定律就要回答这一问题。后人常讥第一、第二两定律不简洁,事实上,若 $f=0$,则常有 $\Delta(mv)=0$ 或 mv 为常数,即给出第一定律,或可说第一定律即第二定律在 $f=0$ 时的特例。但牛顿的考察当更深一层,即第一定律是可以(至少是在当时人看来)验证的,并不涉及“力”这一困难的概念,而第二定律又是必需的,因为它给出了运动改变的一种因果解释。

引进“力”作为原因,是牛顿对17世纪机械论物理学的重大突破,按照机械论物理学的要求,自然必定是有规律的,这种规律必然能在粒子碰撞的图景中用机械论的语言清晰地描述出来。1675年以前,牛顿也是这一哲学的信奉者。但在发表了关于牛顿环的研究以后,他的学术兴趣逐步转向一些当时尚不太引人注意的问题,诸如物体既然由小颗粒组成,那么为什么这些小颗粒不飞散开来?气体为什么会扩散?两种完全冷的物质混合时,为什么会产生热呢?当时普遍认为热是那些极其微小的粒子的运动,但冷的物体中何以会有这些运动呢?这不是无中生有吗?为什么有的液体可以浸润玻璃瓶的壁,有些则不能呢?为什么会有毛细现象呢?所有这些令人困惑的问题,把他引向他在大学里就反复思考过的问题,“物体的微粒是否具有某种效能、能力或力量呢?”他开始谈论“某些神秘的作用”——注意!这正是被文艺复兴的理性精神所摧毁的,为机械论哲学所断然拒绝的东西!但是,确有那么一大类现象,早在大学时代就引起过他的注意,而且现在越来越突出地引起他的注意,这些现象无法用机械论哲学所提示的微小粒子的形状、大小和运动来解释。虽然直到1704年发表的《光学》中,牛顿才第一次系统地表述了他的困惑,但科学史家们认为,这个问题一定是已经困扰他多年了。当1684年他把注意力重新转向天体时,起源于诸如“吸引”、“亲合力”这些可疑的化学术语的“力”的概念,也就潜入了力学;牛顿的这个最伟大的创造,也就成了他的理论的核心、基石,同时也成了这个理论中隐藏得最深的一个薄弱环节,牛顿深知这一点。《光学》问题31所展示的,就不是一个教导者牛顿,而是一个提问者牛顿。正是这种探索和追求的精神,引起了后人由衷的赞叹和钦佩。

五、演绎推理:平方反比规律

《自然哲学的数学原理》的第一篇处理理想情况下的运动,共14章。第一章是一个数学准备,牛顿在那儿介绍了本质上是极限运算的“首末比”方法。他大概深受他大学里的老师(不是导师)巴罗的影响,是从讨

论曲线上的点的运动入手而进入微积分领域的。这一方法在当时很不为人熟悉,所以先介绍一下当然是很必要的。我们以后会看到,正是对极限概念及其运算和运用的了解不足,使得牛顿同时代的其他物理学家未能真正提出天体运动的理论和证明。

第二章定理 1 是一个预备性定理,但意义极大。它考察一匀速直线运动的物体,在每隔一个单位时间受一恒大的向心力冲击时的运动规律,在这种力的作用下,该物体偏离原先的轨道,作折线运动。牛顿断言,在这种折线运动中,物体与中心的连线在单位时间内会扫过相等的面积,并以一种极其简单明了的方式作了严格的证明。这一证明对于今天任何一个初中学生说来都不难理解,但它所包含的物理思想非常清晰、非常深刻,以至于一直到现在,物理学大师们(例如费曼)仍把它当作物理证明的典范加以引用。

等面积定理最早是由德国天文学家开普勒在 1605 年发现的,并在 1609 年写进他的《新天文学》,从而引起世人注目。开普勒是从丹麦的第谷·布拉赫的大量观察资料中归纳出这一规律的。他断言行星在绕太阳的运行过程中,矢径在单位时间内扫过相等的面积。但他无法给出证明,只是以“发现了造物主的和谐”的惊喜心情接受了“这份礼物”。

的确,他对各种杂乱无章的观察数据有一种特殊的爱好,可以十年八年地沉湎于数字的海洋里,搜寻它们之间可能的联系;他对数字也有一种特殊的洞察力,在发现了等面积定律以后的十五年,科学界再次为他提出的一条经验定理感到眼花缭乱,开普勒第三定律断言,行星公转周期等于其轨道半径的 $3/2$ 次幂。留意他这次谈论的两个量:运转周期和轨道的平均半径。这是两个可以观察的,并且已经被精密观察过的量, $T=r^{3/2}$,这可不是假说,也不含推理,这可是一个实实在在的观察事实,被以往观察所证实,而且可以由新的观察来证实。如果说 $T=r^{3/2}$ 以其优美使人赞叹,那么对所牵涉的运动的物理基础的罔然无知则更使当时的人感到震惊。它是如此令人困惑,以至于 17 世纪的物理大师们——伽利略、笛卡尔、惠更斯以及英国的胡克、哈雷,都未能把它当作

一个真正的物理问题认真地研究过。

惠更斯宁愿研究一些更加看得见、摸得着的问题。他在1673年发表的一篇著作的附录里讨论了圆周运动,其中命题2和命题3分别讨论了在这种运动中物体所受的离心倾向和旋转半径 r ,及与运动速度 v 的关系。联合这两个命题,就有了我们今天的离心运动公式 $a=v^2/r$ 。

牛顿说他没有读过惠更斯的这一著作,所以他把上述结果重证了一遍,这就是《原理》第二章的定理4。在附于这一定理的推论6中,牛顿漫不经心地提及,把离心力公式与开普勒的 $3/2$ 次方定律合用,可以推出作用力是平方反比的,而且“反之亦然”!换言之,开普勒的 $3/2$ 次方定律与平方反比的力的作用规律是一回事:一者成立则另一者必然成立。而且,这一貌似复杂的问题的证明非常简单,事实上,牛顿在《原理》中只用了一行半就证完了,以至于后来的读者都觉得,在牛顿的书里,意为“证完”的Q. E. I. (拉丁文 Quod Erat Inveniendum,意为“此即所寻”)应读作“易于想象”(Q. E. I.),即 Quite Easy to Imagine。

这在牛顿看来似乎仍旧没有什么了不起——牛顿说,早在1666年,他已经解决了这个问题了。当时为了躲避瘟疫他在家乡度假,一只苹果正好落在这位24岁的大学生的头上,引发了这样的问题:为什么苹果下落而月亮不下落呢?答案几乎是现成的:因为月亮多一种因运动引起的离心力,该力平衡了地球的吸引力即重力。这一重力以地球为中心,以平方反比的形式渐渐消减。因为月球的运动、地面的重力加速度均可以测量,所以可以用月亮的运动来验证平方反比的假设。在那个“值得赞叹的”1666年,他做了这一检验,并发现结果“差不多密合”。牛顿后来在《原理》第三篇中的命题4及命题37的推论7里又给出了详细的计算:如果一切都和他假定的一样,那么在巴黎的重物在下坠的第一秒末应当划过15英尺1英寸1又 $1/2$ 英分的距离,这与惠更斯的测量结果15英尺1英寸1又 $7/9$ 英分符合得很好。

六、两大困难

问题毕竟没有那么简单。一般说来,易于想象的东西并不总是易于

证明的。在上面似乎清晰的推理中，还隐含着好几个重大困难。

困难之一：上面我们提及的定理 4 中的推理 6 所讨论的是圆形轨道，而开普勒所讲述的行星在宇宙空间划出的真实轨道是椭圆。《原理》第一篇第二章从定理 5 起即为转向椭圆轨道情形做准备，而整个第三章全都花在这一证明上了。其中命题 11 的证明最为关键，这一命题断言，在椭圆轨道上运行的物体所受的向心力与它到焦点的距离平方成反比。证明中，牛顿大量运用了古代阿波罗尼的圆锥曲线理论，而最精深微妙的是采用了运动的点相互趋近时比例的变化——被牛顿称为首末比法的新数学方法。

命题 11 以下的几个定理把平方反比的结论推广到其他圆锥曲线上，定理 6 和定理 7 在严格的开普勒条件下推出了面积定律和 $3/2$ 次方定律。至此，牛顿处理开普勒所提出的神秘的天体运动规律达到了高潮，他现在已经证明，行星运动的三大规律：轨道为椭圆且扫过等面积、 $3/2$ 次方定律和向心力作用的平方反比规律相互包容，即一者的成立必然导致另外两者的成立。

困难之二：前面谈论的距离应当如何定义，是从地球的表面算到月球的表面呢，还是从地球的质心算到月球的质心。在计算月-地系统的问题时，这两个距离差不多可以看作是一回事，对月地距离即 59.5 个地球半径说来，1 个地球半径可以忽略不计。但对地球表面的物体，即使是在海拔 1 000 米的山上，6 700 公里的地球半径可不能忽视。第 12 章定理 31 处理了这个本质上是一个积分的问题，断言可以认为质量在引起重力作用时，表现为集中在它自己的几何中心。

七、第三篇：“推理法则”、“现象”

第一篇除了我们提出讨论的定理以外，还有很多辅助性的、然而困难程度和重要性都很高的问题，但是为了给出一条比较清晰的线索，都不得不割爱了。第二篇的情形已在前面作简略介绍。现在让我们对题为“论世界体系”的第三篇作一较为详细的考察。

第三篇的结构不同于前两篇。首先,在正文之前,有两段独立的说明性文字,即“哲学中的推理法则”和“现象”。然后是“命题”和一篇题为“论月球节点的运动”的文字,最后是“总释”。在《原理》的第一版中,“推理法则”和“现象”被叫做“假说”,而“总释”只是在第二版中才加入的。在第三版也即是牛顿自己修订的最后一版中,“推理法则”由三个增加到了四个。在为第一版准备的手稿中,第三篇最完整,最少修改;在以后的各版中,第三篇修改最多,不仅不断有新的观察资料补充进来,而且论述性文字也大大增加了。

“推理法则”共四条。第一条常被叫做简单性原理,这是从哥白尼起就被科学革命时代的科学家所信奉和推崇的重要方法论原理。其次是一条关于原因和结果的论断,要求把相同的结果诉诸相同的原因。我们想起,伽利略在他的《对话》中,曾经谈论过各种不同的“力”:神力、助力、引力和内在力;牛顿在第一篇里也分别定义了固有力、外加力和向心力。要说明它们是同一的,没有别的办法,只有以它们引起的效果的同一反推出原因的同一。推理法则 2 就是针对这一点提出的。法则 3 谈论物质属性,法则 4 则为归纳方法的合理性作了申辩:“我们必须把那些以各种现象中运用一般归纳而导出的命题看作是完全正确的……在没有出现例外以前,仍应该给予如此的对待。”这条法则的意义在于,它打开了从经验中归纳出的规律进入精密科学的大门;在《原理》的结构上,它保证了下一段,即“现象”作为理论的一个支撑点的合法性。

“现象”共六项,可以分为两大类。一为开普勒提出的 $3/2$ 次方规律,这包括第一、二、四共三项陈述。确实, $T = r^{3/2}$ 实在太微妙了,它与椭圆运动、平方反比规律联系在一起,深刻地道出了我们的太阳系的运动规律;另一为哥白尼所提出的日心图景。牛顿亦从两个方面来对上述“现象”加以说明:他一方面引用 17 世纪物理学家、天文学家已经熟悉的证据,如水星、金星的盈亏和火星在冲时的全明现象;另一方面则用开普勒第二定律即面积定律加以说明:行星与地球的连线不构成等面积定理而与太阳的连线有此规律。

有了这些准备,牛顿就可以着手构造他的宇宙体系了。

八、第三篇:理论的结构

第三篇定理 2:使行星偏离直线运动而持续做轨道运动的力指向太阳,并与两者距离的平方成反比。

定理 13:行星做椭圆运动,太阳处于这些椭圆的一个公共焦点;行星的矢径在单位时间内扫过相等的面积。

前一条定理的提出,如果从布里阿德 1645 年出版《天文学哲学》算起,至《原理》的问世已有四十年了;后一条定理的出现从开普勒的《新天文学》的发表算起,到《原理》的问世也有近八十年了。现在,它们终于以一种严格的科学结论的面目,进入了精密科学。第三篇中对这两条定理的证明显得特别明白简单。事实上,只要引述一下第一篇中相应的定理就可以了,或者说把第一篇中对应的、对于抽象的“物体”所做的结论应用于太阳系就可以了。值得注意的是理论的结构。

我们前面曾提及,在第一篇里, $3/2$ 次方规律、椭圆轨道和力的平方反比作用三者可以相互导出;而在第三篇里,只有椭圆轨道和平方反比作用律被证明,即我们上面引述的定理 13 和定理 2, $3/2$ 次方规律被置于另外一个层次:现象。回答天体运动问题的线索于是变得清晰:行星运动的轨道为椭圆可以由行星运行中的作用力的平方反比规律推出,而平方反比的作用规律又可以由行星运行的 $3/2$ 次方规律推出;那么, $3/2$ 次方规律呢?当然,我们可以说它能由平方反比规律推出,但这样就构成了一种逻辑上的循环,这样构造的理论当然是没有意义的。现在, $3/2$ 次方规律在《原理》的第三篇里已不是一个由理论导出的结果,而是一个现象,是一个经验规律;它是从无数观察事实中归纳出来的,这种归纳虽然是不完全的,但“推理规则 4”告诉我们,如果没有例外,就应当认为是普适的。

“自然哲学的目的”,牛顿写道,“在于发现自然界的结构和作用,并且尽可能把它们归结为一些普遍的法则和一般的定律——用观察和实

验来建立这些法则,从而导出事物的原因和结果。”这就是《自然哲学的数学原理》为其日后的科学研究所建立的方法论规范。

科学理论常由三个层次构成。最基本的概念和公理构成了第一层次的内容,建立在这一层次上的是由数学或别种推理所构成的演绎体系,这一体系由概念和公理出发,最终要得出理论的结论。最高的一个层次是由这些理论结论导出的,可以与经验事实相比较的结果。理论的本质意义即在于此。当由理论导出的结果被经验肯定时,理论的真理性方始成立。《原理》的结构清楚地反映了科学理论这种形式上的要求。由定义、力的概念和运动定律所构成的第一个层次,是理论的实质部分,理论的精华亦在于此。然后是占据了绝大部分篇幅的演绎体系。这一体系,这种演绎推理的真理性,则由第三篇所引述的经验事实所肯定。

九、《原理》的哲学意义

和第一篇的处理方式相类似,第三篇在讨论了行星的椭圆运动以后,即转向沿开曲线运行的天体,也讨论了那些轨道偏心率很大的彗星。第三篇的定理 20 断言彗星的轨道是圆锥曲线,并立即给出推论说,如果恰是椭圆的话,那么前论 $3/2$ 次方规律亦将成立。由于开曲线在数学上比椭圆更难处理,牛顿在定理 40 之后花了相当长的篇幅作技术上的准备,然后利用弗莱姆斯蒂德和哈雷两人对 1680 年彗星的观察,作了几乎长达 20 页(占全书篇幅 $1/19$,占第三篇篇幅 $1/5$)的讨论,作为全书的结束。牛顿这样做,可能是 1680 年的彗星给他留下了极其深刻的印象,更可能是牛顿已经认识到,他的理论的最终判定,全在于与经验事实的一致性。在该例的讨论中,牛顿引述了哈雷的工作,指出 1680 年彗星是一颗周期为 575 年的引人注目的彗星,其第一次记录是在恺撒被杀之后的 9 月间;第二次出现在兰帕蒂厄斯和奥瑞斯得执政时期的 531 年,1680 年年底的出现则是继 1106 年 2 月出现之后的第四次回归。

显然,牛顿尽了很大的努力使《原理》成为一本包含最新科学成果和观察资料的完美的著作。在理论与经验事实的一致性上,在理论所导出

的结论上,他无疑做到了这一点。1705年,哈雷利用牛顿在《原理》中处理1680年彗星的方法,分析了1682年大彗星,指出1531年、1607年和1682年彗星的轨道根数非常接近,从而预言这颗彗星将于1758年年底再度回归。1759年3月12日,这颗彗星经过近日点,《自然哲学的数学原理》得到了辉煌的验证。

在基本概念方面,牛顿承认他虽然用重力解释了天体和海洋的种种现象,但未能回答这种力量应该归之于什么原因。万有引力,能穿越太阳和行星的中心,延伸到彗星的最远的远日点,从不消失,从无损耗。“我还未能从现象中发现重力所以有这些属性的原因”,牛顿在他的“总释”,也即是《原理》的最后几行里写下了他的著名口号:“我也不杜撰任何假说。”“对我们说来,能知道万有引力确实存在,并按我们已经说明了的那些定律在起作用,……就已经足够了。”

牛顿的话是耐人寻味的。物理学自开始形成的时候起,就有以伽利略为代表的数学描述和以笛卡尔为代表的原因推求两大传统,就有观察实验和理论推演两大传统。在《自然哲学的数学原理》中,这些相互排斥但又相互依存的对立传统同时得到了完美的表现。与其说牛顿消除了这种对立还不如说他强化了它们。《自然哲学的数学原理》表明,自然科学的出发点是经验事实,它的方法是观察和实验以及与之相联的逻辑推理,它的真理性在于理论在实践中与经验事实的一致性,它的目的在于揭示现象之间的因果联系。在这个意义上,《自然哲学的数学原理》成了经典科学的原理。

1727年3月20日,牛顿去世。在《原理》出版以后的三百年中,物理学研究的重心、问题和方法在不断更新,《自然哲学的数学原理》显得有点陈旧了。然而在无数图书馆的书架上,我们仍能看到它,提示着宇宙的无穷奥秘,也提示着人类理解力的尊严和力量。

(本文所采用的《自然哲学的数学原理》是加利福尼亚大学1934年英文版,与郑太朴的中译本在命题编号系统上稍有不同,文字上也小有差异。)

牛顿的《自然哲学的数学原理》

《自然哲学的数学原理》，是牛顿最重要的著作，也是物理学史，乃至整个科学发展史上数一数二的重要著作，常常被史学家简称为《原理》。拉丁文的“原理”一词，*principia*，如果不加说明，就是指牛顿的这部书，好像这个词是专门为他创造出来的一样。

《原理》最初是用拉丁文写的。1686年4月28日，它的第一部分提交给英国皇家学会讨论，到1687年的4月，牛顿才把它完全写完。1687年7月5日，这本大著作的印刷全部完成——从现在算起来，差不多刚好整整三百年。以后这本书经过两三次修订，并由拉丁文译成了英文，但总的改动不大。那以后，这本书又被翻译成世界上通用的主要文字，法文、德文、俄文，等等。中译本的《原理》首次由郑太朴翻译，1931年商务印书馆出版，离现在也差不多六十年了。

《原理》这部书，讨论的是我们现在称作力学的那部分物理学，它是如此的完整，以至于后来大家都把对于力学的非相对论性研究^①简单地称为牛顿力学。作为一门学科的经典著作，这本书里讨论的力学在原则上与我们现在物理课上学的那些定理、定律没有什么差别；作为这一门学科的开创性工作，这本书的论述比我们所熟悉的论述方法要严谨得

^① 参见本书对爱因斯坦的《狭义与广义相对论浅说》的介绍。

多,因而也复杂得多。

这是一部由三个大部分——牛顿叫它们做“篇”——组成的结构宏伟的著作。第一篇是基础,论述适合力学使用的数学工具,被牛顿叫做“最后比”的一种方法,这种方法我们现在已经不用了,而代之以牛顿创立的另外两种方法,微分和积分。不过牛顿那时候不叫这样的名字,而称它们作反流数法和流数法。这一篇还讨论力学的其他基本定理。我们熟悉的大多数力学定理:平方反比的万有引力定律,牛顿三个运动定律等等,都在这一篇里讨论,只不过用的语言、符号与我们今天的不一样罢了。第二篇研究物体在有阻力的介质中运动的情形。这个问题在现在看来好像不该占那么重要的地位,但是在牛顿的时代,整个学术界流行的是法国物理学家、数学家笛卡儿的物理学观念,这种观念认为,宇宙间无处不充塞着一种“元物质”,它非常精细微妙,光靠它传播,物质与物质的相互作用也离不开它。所以牛顿必须花很大力气说明,笛卡儿的原理有其不合适的地方,不能用于说明整个世界的运动。第三篇从本质上说来是第一篇的另一个应用,但其意义则远大于“一个应用”。在这一篇里,牛顿用他在第一篇里发展起来的力学,分析了日月星辰的运动,得出了一幅完整的、以物体运动的数学规律为基础的图景。在这幅图景中,因果关系是事物运动的主线,而当时的天文观察所积累起来的丰富的材料和经验规律,则是其基础。于是,数学方法的采用,感性事实材料作为基础和出发点的地位,对因果关系的追寻,构成了对自然研究的基调。这个基调自从在牛顿那儿清楚地显现以后,就一直存在于自然科学的研究之中,作为一个规范,贯穿了牛顿以后三百年的科学发展。从这个高度重新考察牛顿为他的著作起的题目《自然哲学的数学原理》,我们对科学会有更深一层的理解。

我们对《原理》作了如上的笼统的介绍,决不是暗示牛顿也在这样笼统地谈论问题。恰恰相反,他是非常细致、非常严谨、非常具体地推进他的论证的。他先从一些一般性的定义和约定出发,再引进几个由实验证

据充分支持的“现象”或公理,然后用严格的数学方法推演,一步一步地得着结论。只不过他所用的语言和数学方法在今天的读者看来是既别扭,又陌生,而在我们这么一篇短的介绍文章中,没有办法引用、介绍罢了。要直接阅读牛顿的书,必须花很长的时间做准备工作。幸运的是,对于今天的读者说来,逐个定义、逐个定理地研究他的书已经不是必要的了。重要的是通过有辅导的阅读部分章节,获得一种物理学上或是科学思想上的感受罢了。

的确,牛顿从提笔写这本书的第一个字到写完时间并不长,但是这本需要经过长时间准备才能阅读的书却是真正经过了长时间的准备才写成的。如果以大家熟悉的苹果打在牛顿头上那时算起,他大概准备了二十年;如果从整个著作涉及的科学基础知识算起,16、17世纪的科学家们,为它做了差不多一百多年的准备呢!这一百多年,即1543年到1687年,科学史上常称作科学革命时代。

1543年,住在现在波兰的一个小城堡里的尼古拉·哥白尼出版了他的《天体运行论》,提出了地球围绕太阳运动的日心体系。在以后的50年中,不断有人观测天象,并把结果和哥白尼的理论加以比较,其中做得最好的人是丹麦的一个天文学家,叫第谷·布拉赫。第谷制作的观测仪器很精密,他的观测态度也很认真,并且连续不断地干了三十年!1600年,他请到了一个德国人叫约翰内斯·开普勒的做他的助手。开普勒不是一个很能干的天文观测家,但却是一个优秀的数学家。他坚信哥白尼体系,坚信宇宙万物、日月星辰的运动是有规律的,而且这种规律十分简单。他花了十几年工夫,研究了第谷留下的观测资料,在无数的、杂乱无章的观测数据中,提炼出了后来被人称为“开普勒行星运动三规律”的经验定律。牛顿把哥白尼的关于太阳在中心,行星在周围绕日运行的宇宙图景和开普勒三大规律中的第三条规律,即行星运行周期与它离太阳的距离的 $2/3$ 次方幂成正比,作为“现象”列入《原理》,成为《原理》在经验事实方面的重要支柱。

和开普勒同时,意大利的伽利略·伽里莱正在研究地上的运动。开

普勒研究天体,用的是第谷的观察,伽利略研究地面物体,用的是实验方法。他耐心地让小铜球沿着厚木板滑道下降,一次一次地比较,提出了这种运动的规律。原来,在地球引力作用下物体下落距离,是与它下落时间的平方成正比的。他引进了一系列的概念,我们所熟悉的速度、加速度、位移、时间间隔,都是由他最先清楚表述的。伽利略还用数学方法研究了抛射物体的运动,提出了速度合成的假说,并汇集了他的研究成果,写进了他的《两门新科学》,1638年出版。牛顿读了他的书,学会了他的方法,还直接采用了他的不少概念。

伽利略的工作经过一个法国神父的介绍,在法国引起了广泛的注意。笛卡儿首先研究了两个小物体相撞时的力学行为,并提出了物体如果不受外力影响,应该是沿直线持续作匀速运动或者保持静止。他把他的研究成果写进《哲学原理》,1644年出版。牛顿读了他的书,采纳了他的很多说法,特别是上面提到的原理,被牛顿用作他的运动第一定律。笛卡儿朋友的儿子,荷兰人克里斯蒂安·惠更斯也研究了笛卡儿的工作,纠正了他工作中的不少错误,还用数学方法推导出了一个物体在作圆周运动时所产生的加速度,提出了运动的相对性原理。牛顿在《原理》中,利用了这些结果,但他说他事先并不知道惠更斯的工作,虽然他承认惠更斯先于他得出了上述结果。

牛顿系统地学习了他们的工作,并在巴罗的帮助下,发展了一套非常复杂的数学方法;在哈雷、胡克和其他英国科学家的帮助下,把上面我们简单地综述了一下的,欧洲最优秀的科学家一个多世纪的努力结果,融会贯通,特别是分析了一直使科学家困惑的“力”的概念,利用它澄清了已经为很多科学家所触及的力和加速度的关系,建立了牛顿运动三定律,并在此基础上,建立了一套完整的、关于“力”的科学。力学就这样诞生了,而论述这门科学的科学巨著《自然哲学的数学原理》也就成了他以后二百多年中物理学家的必读书,而且直到300年后的今天,仍旧没有完全失去其深刻的教育意义。

1692年,哈雷根据《原理》所提供的原理,算出了一颗彗星的轨道,并

预言这颗彗星将于 1758 年再现。1758 年 12 月 25 日,这颗彗星真的庄严地再现,神秘的天体运行规律终于为人类所把握。在这个意义上,《自然哲学的数学原理》展示了人类理解力的尊严和力量。

原载《名著集》,科学普及出版社 1987 年版

法拉第的《电学的实验研究》

英国科学家米歇尔·法拉第的《电学的实验研究》^①和一般的科学专著或论文不一样，它不是结构严谨、计划周详的一篇文章，而是对于作者在电学领域当中所进行的、探索性和开创性的一系列研究的报道。在当时，它们就是来自科研第一线的战报，随时向全世界的物理学家通报研究的进展；在一百多年以后的今天，它们又成了一本极好的教科书——不是教我们知道电学当中有“什么”发现（因为那些工作随着时间的推移和科学的发展，毕竟已经成了电学中最基本的、人所共知的内容了）；而是教我们“怎么”去发现，给我们展示了人从不知到知，从错误走向正确的过程。这个过程或许可以被称为“探索”过程，而探索正是科学研究活动的本质。

法拉第 1791 年生在英国伦敦附近，他是一个铁匠的儿子，所受的教育不多。从小就做学徒，干过很多种职业，最后在一家书籍装订社做工人。他利用工作之便，阅读了大量顾客送来装订的书籍，给他印象特别深的是《大不列颠百科全书》。他的童年和青年生涯，给他未来的工作积累了广博的知识，又锻炼了他的动手能力，这在他以后的实验工作中，都会表现出来。

^① 中译本由周昌寿译，1932 年商务印书馆出版。

当时电学是一个刚刚被揭示的最新的研究领域。1800年前后,伏打发明了电池。它有点像我们现在蓄电池的装置,能为科学研究提供连续不断的电流,在一个短的时间里还有相当稳定的电流强度。于是关于电流,当时称为“动电”的研究繁荣起来。在此以前,由于没有电池,依赖于起电机或莱顿瓶的电学实验基本上只能进行到静电学范围。英国化学家戴维首先研究了电流的化学效应,1807—1809年期间,他接连利用电移法发现了令人吃惊的新元素——周期表左边偏上的那些元素差不多都是他发现的,因此声名大振。稍后1819年,奥斯特发现了电流的磁效应,1820年安培发现了我们大家熟知的安培定理,1826年欧姆发现了部分电路的欧姆定律,差不多同时,施魏格发明了电流计,人类对于电流的知识以前所未有的速度增长了。

法拉第对电学的研究一直怀有强烈的兴趣。1813年前后,他写信给大名鼎鼎的戴维,表达了自己对科学研究的向往,不久被戴维接纳为助手。在辅助戴维工作的将近十年时间里,法拉第又受到了这位大师的提拔,科学能力渐渐成熟了。1824年当选为皇家科学会的会员。

《电学的实验研究》中最著名的工作是感生电流的发现。法拉第熟悉奥斯特关于“电生磁”的工作。根据奥斯特的实验,我们看到,电流能在它通过的导体周围产生磁作用,并且可以感应磁针,通过磁针的运动,我们可以感知这一磁作用的存在。法拉第最初推想,奥斯特效应的逆效应,磁作用影响电流,也应该是存在的。1824年,他根据这个想法设计了实验,企图在靠近磁体的导体中探测电流,但实验没有显示这种电流的存在。1825年,他用一根通有稳恒电流的导线和另一根与电流测量装置相连接的导线做成一个平行线框,但仍旧没有发现后一根导线中有电流。他变换了很多实验装置,但始终没有探测到在他想象之中一定会有的电流。稍后他又用螺线管作为磁源,用另一螺线管作为感受器做实验,仍旧没有成功。他又想到是不是可能要用不同的材料才能产生彼此的“感应”,就设计了由铁和铜不同的材料制作的螺线管,但是“电流计上总看不出对另一螺线管的效应”。是不是电池感力不够大呢?他把电池

与炭棒连接,强大的电流通过炭棒,使炭棒产生了耀眼的白光。这说明电池组是强有力的。他把电池组加大到大约 180 伏电压时,仍旧没有“任何效应”。这种艰苦的探索持续了七年,一直到 1831 年 9 月间,当他用一只软铁环作为导磁材料,在环上两边分别缠上两组线圈,这时他发现在开通和切断一边线圈时,与之相应的另一边线圈中出现一种振荡,但他似乎没有马上领会这一现象的意义。用他自己的话说,“它们可能是杂草而不是鱼。”但是,另一方面,他把钢针插入装置,在一通一断以后,又发现了钢针确已磁化,这个事实有力地说明在次级线圈中确有效应产生。1831 年 10 月 1 日,法拉第最终确认了感生电流——奥斯特效应的逆效应。这时,距他最初的猜想已经是不知经过多少次实验了。稍后,他搞清楚了这个效应的全部细节,尤其是关于“磁生电”中必要的关键环节,“变化的”电流或“运动的”次级线圈,至此,后来被称为“法拉第感应定律”的重要的电学定理被完全确立了。

所有的猜测、分析,希望和失望都记录在这本《电学的实验研究》里。法拉第在这本书里,不是手拿书本教导世界的先知,而是一个顽强的自然探索者,他巧妙又坚持不懈地盘问自然,渐渐地,隐秘的事物清晰起来。像电磁感应这样重要的发现,《电学的实验研究》里详尽地记录了近 10 项;至于稍次要一些的发现,更是俯拾即是。如果你认真学习过中学的物理学课程,你一定想知道,所有这些伟大的发明和发现,是怎么做出来的,那么,《电学的实验研究》就是一本关于“怎么做”的教科书。

在法拉第的时代,电学还是一门“纯科学”,只有在实验室里工作的人才会同它打交道。在一次为公众举办的电学讲座上,据说有人问法拉第,所有的这些电学知识有什么用处。而法拉第的回答据说也是一个问题:“新生的婴孩有什么用处?”科学的伟大力量,常常不是一下子可以显现出来的。《电学的实验研究》是一本“纯科学”著作,但是它的力量之巨大,在一百多年以后的今天,几乎是不言而喻的了。单说“磁生电”的感应定律这一条就可以明白。这是几乎任何类型的动力电流产生的源泉——没有电,我们的世界还可以想象吗?

法拉第一生获得过近百个荣誉称号,以一个学徒一直当到皇家学会的会长;完成了几百项发现和发明,受到了世界各国科学家和人民的尊敬,但他始终是一个诚恳、谦和的人。在他去世前几年,他曾专门为少年儿童作科普讲演。他以渊博的知识,生动的实验,把高深的科学理论讲得通俗易懂,深受广大听众的欢迎。他的不少通俗演讲,后来都成了科学名篇。在题为《蜡烛的故事》的一次讲演中,他以这样热忱的语言表达了他对青年一代的期望:“在结束这次讲演的时候,我诚恳地希望大家,希望你们年轻的一代,也能像蜡烛为人类照明那样,有一分热,发一分光,忠诚而踏实地为人类的伟大事业贡献自己的力量。”1867年,法拉第在工作室里安然去世。据我所知,没有专门为法拉第建造的纪念碑。对于法拉第来说,这样的纪念碑是不必要的,因为《电学的实验研究》本身就是人类理解力的一座丰碑,为人类的伟大事业贡献自己力量的人一直在从中汲取智慧和力量。

原载《名著集》,科学普及出版社1987年版

爱因斯坦的《狭义与广义相对论浅说》

爱因斯坦的相对论,这个名字对我们每一个人来说,一定不会陌生。可是内容呢?那可不一定。也许我们的年轻读者会说,“那是一个多么难的物理理论啊!我们怎么看得懂呢?”真的,要学习相对论,可不是一件容易的事,单看看书里出现的数学工具吧!张量分析,微分几何,……要学到这个程度,可不是一天两天的事儿。可是,另一方面,相对论的主要结论,比如光速是极限、时间会膨胀,又已经渗入到科学的很多领域,在各种问题中都可以感觉到它的存在;更不用说相对论所涉及的精深的物理思想,对于每个对科学感兴趣的人来说,都是极其宝贵的、带有强烈启发意义的科学遗产。可以说,相对论已经成了现代科学的一个不可须臾缺少的组成部分,没有相对论,就没有现代科学。但很显然,并不是每个人都有能力、有机会,甚至有必要对相对论作专门的研究的。那么,有一本为一般读者准备的、深入浅出地介绍相对论的书吗?有!爱因斯坦自己就写了这样一本,书名叫《狭义与广义相对论浅说》。(杨润殷译,1964年上海科学技术出版社出版,以后又重印过很多次)

这可是一本著名的书。它的英文原本,从1920年到1955年为止已经出了15版。科技出版社的内容介绍上称它为“经典著作”,真是一点也不过分。一本通俗读物会成为经典著作吗?听起来好像不可能。实际上,介绍相对论的通俗读物很多,可是唯有这一本,占有特别重要的地

位。不但一般读者要读它,物理学家和专业工作者也要读它。这不仅是因为这本书出自相对论创立者爱因斯坦自己之手,而且这本书真正做到了准确地、易懂地介绍了相对论,尤其是这一理论的概念体系。这本书常从经典力学和日常生活中的例子出发,经过分析,提出尖锐的问题,引向深刻的结论。相对论不是一门好懂的学问,但是经过作者一讲解,概念变得那么自然,推理变得那么清晰,没有学过相对论的读者,可以通过它对相对论作一概略的、但毫不走样的了解;已经学过的人,通过它会发现自己对很多关键问题理解得还不够深刻;真正的专家在阅读它的时候,则可以得到一种美的享受,从中领会到科学大师考察问题的方法和处理问题时所显示出来的非凡风度。

这本书篇幅不长,和牛顿的《自然哲学的数学原理》一样,也分为三篇,即狭义相对论、广义相对论和关于整个宇宙的一些考虑。

第一部分狭义相对论是全书的重点,篇幅占全书一半以上。粗略地说,这一部分可以分为三个层次。爱因斯坦先从经典物理学谈起。他谈的都是我们平时在物理学的学习中最熟悉的,也可能很多读者认为是最简单的概念:什么是位置,怎样测量时间,等等。你一定以为那一定是老生常谈,一定很枯燥。如果真这样认为,你就大错特错了。你会觉得他的每一步推理都很简单,都用不着多做思考,多作讨论,但几步以后你会发现,你被作者引进了一个困难的处境,你进退两难啦!于是转入第二个层次的叙述。作者从物理学的时间观这样一个核心问题入手,一下子抓住了刚才困难局面的要害。第七节是光的传播定理和相对性原理的表面抵触,第八、第九两节就通过消除这种“表面抵触”引进了时间概念的革命。原来,在两个相对做匀速运动的坐标系里,时间的进程是不一样的。要把“一个”时间换成“另外一个”时间,必须利用一个挺复杂的式

子 $t' = \left(t - \frac{V}{C^2}X\right) / \sqrt{1 - \frac{V^2}{C^2}}$ 。这个公式最早是由洛伦兹提出来的,所以

叫做“洛伦兹变换”。这种变换不止一个,而是有一套,第十一节向你详细地介绍这种变换。它告诉我们,在高速运动的坐标系里,时间流逝得

要慢些——这可能吗？我们很多人坐过飞奔的火车，乘过转瞬即逝的飞机，可是谁也没觉得时间变慢了呀。——别急，注意着上面的式子，式子里不是有 V/C 的项吗？原来，这儿谈论的速度，都是在和光速相比较的意义上而言的。和每秒 30 万公里的光速比起来，每小时 100 公里的火车就同静止的差不多。换句话说，上面式子里的 V/C 几乎等于零。用 $V/C = 0$ 代进上面的变换式试试， $t' = t$ ，这就是我们日常生活中体验到的情形。原来，狭义相对论是在物体运动速度极快，快到可以和光速比拟，也就是 V/C 明显地不等于零情况下的物理学。注意，它不是一些孤立的效应，而是一门完整的物理学，第十五节就向我们介绍了狭义相对论的普遍结果。然后，文章转入第三个层次，即经验和狭义相对论，或者说，“狭义相对论在多大的程度上获得了经验的支持呢？”值得注意的是，这一节是第一部分 17 个小节中最长的一节。在爱因斯坦着手准备这本书的草稿时，他还没有很多的材料表明相对论的结论与经验事实一致，但他仍以极大的注意力论述了这一问题。这是因为，在物理学家看来，与经验事实的一致性，是物理理论的真理性的最高、最后，也是最决定性的判决。通过这三个层次的论述，爱因斯坦把狭义相对论的缘起、主要内容和实验验证作了最清晰、最深刻的介绍。

第二部分 12 节，论述广义相对论。这是理论中更为困难的一个部分。据说著名的物理学家、广义相对论的一个重要实验验证的组织者爱丁顿有一次被告知说，全世界一共只有三个人，包括爱因斯坦本人在内，懂得相对论。他听了沉默了很久。别人问他在想什么呢，他回答说：“我正在想第三个是谁呢！”

当然，相对论也并非那么难。从狭义相对论与广义相对论的关系出发，爱因斯坦把问题说得非常清楚。第二十节中，爱因斯坦介绍了他的著名的“爱因斯坦电梯”：一个以匀加速运动上升的电梯。对于在这个电梯里的人说来，他的感觉就好像处在一个引力场中一样。然后分析“惯性质量”和“引力质量”两个概念。这时你会看到，你认为最没有问题，最简单的概念，质量，就是“物质的量”里面，还有很多需要进一步澄清的

事。当然,要严格表述广义相对论原理仍远非易事,爱因斯坦于是又花了7个小节做准备,并在第二十八节中作了严格表述。

广义相对论主要用在空间结构和引力场等问题上,它的实验验证更为复杂,爱因斯坦在本书写作时尚未得到这方面的证据,所以他作了一个预言,预言遥远的恒星射向地球的光在太阳附近会因为太阳强大的引力场发生偏转:以掠入方式经过太阳的光线的偏转值可能高达 $1.7''$ 。——光线在通常看来是一无所有的空间会转弯,这可是件令人吃惊的事。1919年5月29日英国天文学家专门为此做了实验,结果非常出色,相对论的普遍结论无可怀疑地进入了物理学。

第三部分很简短,是关于宇宙结构的、从广义相对论出发的一种讨论,在附录中又增加了两个片断。我们记得牛顿的《原理》也是以一个讨论“世界体系”的第三部分结束的。现在我们非常有趣地发现,标志着经典物理学终结的相对论,在《浅说》中也是这样。

爱因斯坦在本书的序言里希望,这本书能为读者带来“愉快的思考”。这是真的。我们从这本书里,不只是学到了一些死的东西,相对论和与之相联系的结论,而且学到了更多活的东西,即怎样思考。物理学绝不是一种已有的公式、数据、定理和实验事实的堆积,它是一种探索,它应该表现为从不知到知,从知之不多到知之甚多的探索过程。《浅说》的特点是,作者没有把自己作为相对论的创建者,一个和他的读者不可比拟的伟大人物来教导他的读者,而是和他的读者一同思索,一同探究自然的奥秘,让读者领会到探索的艰辛,也享受发现的愉快。在爱因斯坦度过他后半生的普林斯顿大学老物理楼二楼休息室的壁炉上方,镌着爱因斯坦的名言:“上帝高明,但无恶意。”他坚信物理世界是深奥复杂的,但决不会与探索者为敌。只要沉着、积极地探求,人一定能发现、能掌握其中的规律。

原载《名著集》,科学普及出版社1987年版

普朗克的内插方法和能量量子化

本文通过追寻普朗克(Planck)提出能量量子化的线索和原来方法,说明他的内插方法的本来意义和能量量子化的由来,并分析了普朗克进行这一工作的动因和使之完成的内在因素。

一、热辐射的热力学研究

1879年,Josef Stefan^①在研究J. Tyndall关于铂丝热辐射的实验报告时发觉,在1473K时的辐射能恰是798K时的 $\left(\frac{1473}{798}\right)^4$ 倍。他于是猜想辐射能量 E 与温度的四次幂成正比,即

$$E = \sigma T^4,$$

σ 称Stefan常数。这一工作引起了L. Boltzmann的注意。

1884年,Boltzmann^②利用意大利物理学家Bartoli的一个定性的理想实验从Maxwell电磁理论推出辐射压力和空腔能量密度 u 之间有如下关系:

$$p = \frac{1}{3}u$$

① J. Stefan, Wiener Berichte 79 (1879) 391.

② L. Boltzmann, Wiedemannsche Annalen der Physik, 22 (1884) 291.

利用这一结果和热力学第一定律, Boltzmann 得到

$$dQ = d(uV) + pdV = Vdu + (p + u)dV$$

即
$$dQ = Vdu + \frac{4}{3}udV$$

这儿 V 是体积。若以 dS 记熵变, 则上式可改写为

$$dS = \frac{V}{T} \frac{du}{dT} dT + \frac{4}{3} \frac{u}{T} dV$$

进一步有
$$\frac{1}{T} \frac{du}{dT} = \frac{4}{3} \frac{1}{T} \frac{du}{dT} - \frac{4}{3} \frac{u}{T^2}$$

或
$$\frac{du}{u} = 4 \frac{dT}{T}, \text{ 就是 } u = \alpha T^4$$

α 是常数。此式称空腔能重密度形式的 Stefan 公式。若用半球覆盖在空腔的小孔(模拟黑体)上并对半球积分, 可得 $E = \sigma T^4$, 这一辐射能与温度的关系后来被称为 Stefan-Boltzmann 定律。

下一步的研究目标是对确定的 T 求出 E 按辐射频率 ν 的分布 u_ν 。W. Wien^① 在 1894 年处理了这一问题。可能出于 Boltzmann 之利用 Bartoli 实验, Wien 设想了一个带有活塞的腔, 活塞以速度 v 在其中运动。考察腔内与腔的轴线成 θ 角的辐射; 这一方向的辐射每秒在腔内反射 $(c/2l)\cos\theta$ 次, l 是腔的瞬时长度。波长因 Doppler 效应的改变的平均值是

$$\frac{d\lambda}{dt} = \frac{c\cos\theta}{2l} \cdot \frac{2v\lambda\cos\theta}{c} = \frac{v\lambda}{l}\cos^2\theta$$

上式中后一因子是波长改变 $\Delta\lambda$ 。考虑辐射的各向同性, $\cos^2\theta$ 的平均值应是 $1/3$, 于是有

$$\frac{d\lambda}{dt} = \frac{\lambda}{3l} \frac{dl}{dt}, \text{ 即 } \lambda \propto l^{\frac{1}{3}}$$

^① W. Wien, Ibid., 52 (1894) 132

若以 A 为活塞面积, 则由热力学第一定律有

$$pdV = \frac{u}{3}Adl = -d(uAl) = -Au dl - Al du$$

积分即得 $u \propto l^{-\frac{4}{3}}$ 。既然 $\lambda \propto l^{\frac{1}{3}}$, $u = \alpha T^4$, Wien 得到

$$\lambda T = \text{const},$$

或 $\frac{d\lambda}{dT} = \frac{\text{const}}{T^2}$, 而 $\frac{du}{dT} = 4\alpha T^3$, 于是有 $\frac{du}{d\lambda} = u_{\lambda} \propto T^5$, 或者写作

$$u_{\lambda} = T^5 f(\lambda, T),$$

$f(\lambda, T)$ 是一个关于 λ, T 的函数, 于是关于能量随频率分布的问题即转变为构造这一函数的问题。

Wien 用半经验的方法把 u_{λ} 定为

$$u_{\lambda} = \frac{C_1}{\lambda^5} \exp\left(-\frac{C_2}{\lambda T}\right); C_1, C_2 \text{ 是常数}$$

二、普朗克关于 Wien 定律的工作

W. Wien 的上述工作很快得到实验的肯定。“Wien 位移定律”的有效性在直至 4000°K 的条件下未受到任何怀疑^①。自 1897 年起, 普朗克^②着手探求其更严格的理论基础。

Max K. E. L. 普朗克 1858 年 4 月 23 日生于德国基尔城一个大学教授的家庭里。在大学中, 随 K. T. Weiestrass、G. R. Kirchhoff 和 H. F. von Helmholtz 学习数学和物理。在此期间, 他还自学了 R. Clansius 的《热力学》, 这给予他日后的工作以巨大的影响。他尽可能独立地研究

① e. g. F. Paschen, *Ibid.*, 60 (1897) 662, 以及 F. Paschen und H. Wanner, *Berliner Berichte* (1899).

② M. Planck 在这方面的的工作, 分五次发表在 *Berliner Berichte* 上, 即 1. Feb. 4, (1897), p. 57; 2. July 8, p. 715; 3. Dec. 16, p. 1121; 4. July 7, (1898), p. 449 和 5. May 18, (1899) p. 440, 其摘要发表于 *Ann. d. Phys.* 1 (1900) 69.

这部著作，“直到我自己能说服自己为止。”1879年7月28日他以关于热力学第二定律的研究获慕尼黑大学哲学博士学位，次年6月14日再以热力学研究获 *venia legendi* (学位)。在后一研究中，他引用了熵的概念去处理不同温度下弹性力对物体的作用问题。

1883年，普朗克的好友 M. B. Weinstein 翻译的 Maxwell 的《论电与磁》出版了，这在当时德国物理学界引起了很大的兴趣。普朗克很自然地把他关于热力学不可逆过程的研究与 Maxwell 的类似研究加以对比，这种对比的结果表现为他 1887—88 年的一系列讲演，其中明显地援用了电磁理论，尤其是 H. Hertz 的实验及其对 Maxwell 理论的简化。普朗克的这些工作，从物理学史的角度而言，构成了他 1896 年以后工作的先声。

普朗克对热辐射的兴趣，从晚近发现的手稿可知，起源于 Tyndall 的论著^①。但不同于后者，普朗克引进了振子图景来处理热辐射的平衡问题。从 Hertz 的工作出发，他得到

$$u_\nu = \frac{8\pi}{c^3} \nu^2 U, \quad (1)$$

这儿 $U = U(\nu, T)$ 是在温度 T 时振子的平均能量。

然后，普朗克转而从热力学角度进行研究。在他早先的工作中，他已认定，“熵增原理必须推广到所有的自然力，……不仅仅是热的和化学的过程，而且是电的和其他的过程。”^②1899年^③，他引进了如下的辐射过程的熵的表达式

$$S = \frac{U}{a_\nu} \ln\left(\frac{U}{eb_\nu}\right) \quad (2)$$

由此易得

^① M. Planck 阅读的是 J. Tyndall《作为一种运动形式的热》(1865)的德译本(1867)，由 Helmholtz 译。

^② M. Planck, *Abhandlungen und Vorträge*, 1, 382.

^③ 参见 p. 247 注释 2 的第 5 篇文章。

$$\frac{\partial^2 S}{\partial U^2} = \frac{\text{const}}{U}, \quad (3)$$

这儿 e, a, b 都是常数。

引进这一猜想的具体途径可以追述如下。首先,普朗克认为,由热力学推得的 Wien 定律的可靠性必须予以充分重视,也就是说,任何新理论,必须包含此定律在内;其次,由电磁理论推得的(1)式 $u_\nu = \frac{8\pi}{c^3} \nu^2 U$ 也无可置疑,这两点联合的结果即是 $U = C \cdot \nu \exp\left(-\frac{\beta\nu}{T}\right)$, C 和 β 是常量。由此式解出 $\frac{1}{T}$, 并留意 $\frac{\partial S}{\partial U} = \frac{1}{T}$, 积分即得普朗克所猜想的式子。

然而普朗克当时处理的途径是由相当任意地写出的熵式(2)与式(1)联立推出 Wien 定律的。乍一看来,这似乎是由 Wien 定律出发的某种循环推论。但是,普朗克所做的,是把 Wien 关于一个函数形式的经验性猜测变为由系统的熵变出发的一种假定,有其深刻的物理意义。他认为^①: 问题的核心不是强度公式本身,而是把它和辐射能量、频率和熵联系起来。下一步,显然是给出作出(2)式这种假定的依据。

三、Wien 定律有效范围的发现和 Rayleigh 的工作

在普朗克完成上述工作的同年,1899年9月,O. Lummer 与 E. Pringsheim^② 在实验中发现低频段的辐射表现出对 Wien 定律的系统背离。不久他们的发现在 $12-18\mu$ 波段被进一步证实,他们于1900年宣称^③: “在我们所测量的范围内已经出现这样的情形: 黑体辐射不能由 Wien-Planck 谱方程表征。”

① 见 von Laue《物理学史》,范岱年、戴念祖译,p. 120。

② O. Lummer und E. Pringsheim, *Verhandlungen der Deutschen Physikalischen Gesellschaft*, 1 (1899) 23.

③ Ibid., p. 171.

1900年6月, J. W. S. Rayleigh^①在研究能量均分定理时, 发现了一个完全不同于 Wien-Planck 公式的能谱分布。由于 Maxwell 电磁理论空腔中与驻波相连的场方程 $\nabla^2 E - \frac{1}{c^2} \frac{\partial^2 E}{\partial t^2} = 0$ 是可分离变量的, 它的三个解 $x_i = \sin \frac{n_i \pi x_i}{l}$, $i = 1, 2, 3$ 中, n_i 满足

$$\sum_{i=1}^3 n_i^2 = \left(\frac{l\omega}{\pi c} \right)^2 = R^2$$

这儿 $\omega = 2\pi\nu = 2\pi c/\lambda$ 。注意到这是一个球方程 Rayleigh 得出单位体积内 $(\nu, \nu + d\nu)$ 区间驻波的数目是

$$n_\nu = \frac{8\pi\nu^2 d\nu}{c^3},$$

若以 $\langle \epsilon_\nu \rangle$ 记各驻波的平均能量, 则能量分布为

$$u_\nu = \frac{8\pi\nu^2}{c^3} \langle \epsilon_\nu \rangle,$$

由能量均分定理, Rayleigh 取 $\langle \epsilon_\nu \rangle = kT$, k 是 Boltzmann 常数, 于是

$$u_\nu = \frac{8\pi\nu^2}{c^3} kT \quad (4)$$

这式由于其推导尝由 J. H. Jeans^② 修改, 世称 Rayleigh-Jeans 公式。不难看出这式全然不同于 Wien-Planck 式, 且在 $\nu \rightarrow \infty$ 时发散。

四、普朗克的内插法及其结果

但是, 当普朗克在 1900 年 10 月重新研究 Wien 公式时, 有证据表明, 他并未以上述 Rayleigh 的工作为起点或主要研究对象。事实上, 他在 1900 和 1901 年的研究中, 都没有引证 Rayleigh 的工作。

① Lord Rayleigh, Phil. Mag., Ser. 5, 40 (1900) 539

② J. Jeans, Phil. Mag., 10 (1905) 91.

1900年8月在巴黎国际物理会议上^①,普朗克把单个振子的行为推广到 n 个情形的做法,受到了 Lummer 和 Wien 的批评;稍后9月在亚亨召开的德国科学家和医生会议上,又受到了 Pringsheim 的批评,但同时他也了解到不少很有意义的实验结果,这些可能是他重新考虑(2)式的原因。

然而直接的起因是1900年10月7日 H. Rubens 的来访。客人通报了他们实验中发现的对 Wien 律的背离,并告诉主人能量 U 与温度 T 成正比,普朗克于当天推出这即是要求

$$\frac{\partial^2 S}{\partial U^2} = \frac{\text{const}}{U^2}, \quad (5)$$

与先前由 Wien 律得出的熵条件式(3) $\frac{\partial^2 S}{\partial U^2} = \frac{\text{const}}{U}$ 对照,普朗克认为,真正的熵式应是此两式合并的一种结果,即

$$\frac{\partial^2 S}{\partial U^2} = \frac{\alpha}{U(U+\beta)}, \quad (6)$$

α, β 是常数。当 u 很大时,此式给出 $\frac{\partial^2 S}{\partial U^2} = \frac{\text{const}}{U^2}$; 反之则有 $\frac{\partial^2 S}{\partial u^2} = \frac{\text{const}}{U}$ 。这一由两个极限推得一般式的方法,普朗克称之为内插法。积分即给出

$$\frac{\partial S}{\partial U} = \int \frac{\alpha}{U(U+\beta)} dU = -\frac{\alpha}{\beta} \ln \frac{\beta+U}{U} = A \ln \frac{\beta+U}{U}, \quad A = -\alpha/\beta$$

留意 $\frac{\partial S}{\partial U} = \frac{1}{T}$, 即知

$$U = \frac{\beta}{\exp(1/AT) - 1}$$

^① 见 DBS. 12 p. 12.

由 Wien 式又知 $U = \nu \phi\left(\frac{\nu}{T}\right)$, 而 A 和 β 都是 ν 的函数, 则有

$$U = \frac{\nu \cdot C_1}{\exp(C_2 \nu/T) - 1} \quad (7)$$

C_1, C_2 是常数。再由他自己先前从 Maxwell 理论得到的(1)式知

$$u_\nu = \frac{C \cdot \nu^3}{\exp(C_2 \nu/T) - 1} \quad (8)$$

这儿 $C = \frac{8\pi}{c^3} \cdot C_1$ 。

普朗克^①将此结果, 作为对 F. Kurlbaum 关于他本人同 Rubens 的实验结果的报告的一个评述, 于 1900 年 10 月 19 日在德国物理学会会议上发表。次日, Rubens 经过彻夜苦战, 宣布上述公式已为实验所证实, 普朗克黑体辐射定律由此确立。

讲到内插法, 还必须说明一个问题。很多物理学的教科书中常常讲到, 普朗克是在 Wien 定律和 Rayleigh-Jeans 定律之间使用内插法而得到自己的结果的。历史事实并不是这样的, 前面也曾作过论述。关于内插法, 普朗克本人^②是这样描写的: 通过直接的实验, 得到了某一函数的两个简单的极限。在小能量时, 函数与能量一次方成比例; 在大能量时, 函数与能量的二次方成比例。这样, 在一般情况下, 就选择此函数的量等于这两项之和——一个是能量的一次方, 一个是能量的二次方。对小能量时, 第一项是主要的, 对大能量, 第二项是主要的。这样便得出了新的辐射公式。普朗克称这一方法为内插法, 也称半经验内插法。所以普朗克的内插法并不是两个定律之间的内插。

五、能量量子化

但是, 普朗克内插的结果(6), 毕竟只是一种“幸运的猜测”, 要使之

① M. Planck, 同第 243 注释②, 2 (1900) 202.

② M. Planck, *Nobel Lectures, Physics, (1901—21)*, pp. 407—18, Elsevier Publishing Co. (1967).

成为严谨的理论,普朗克进行了他“一生中最艰苦的工作”^①。从分析 L. Boltzmann 的熵定义 $S = k \ln W$, 他发觉,必须假定能量 U 是分立的,即 $U = P\epsilon$, P 是整数,而 ϵ 是分立的、等量的、有限的能量元。

普朗克作出这一假设的心理原因及细节,至今仍未能完全明了。一方面,他曾称这是“一个绝望的行动”^②;另一方面,他又曾向他的儿子吐露过他认为他已完成了一项或许只有牛顿的工作才能比拟的发现^③。

虽然如此,我们对这一天才见解还可以寻得如下线索。

在探索辐射公式时,普朗克着重研究了熵的概念。1900年9月在亚亨他曾与 Boltzmann 交谈^④,但很不幸,其内容未能记录下来。然而这一神秘的量在其本身意义尚未得到完全阐明时即已给了普朗克这么大的成功,看来深入研究其原因肯定不无意义。

E. Mach 对能量的研究予普朗克以重要启发^⑤。Mach 指出,所能被谈论的,并非能量本身而是能量的差。普朗克认为,熵也是一样,按 Boltzmann 的见解,是一种几率的量变。于是“引入适当的熵的绝对值是有用的,理由是靠它的帮助可以特别容易地建立相当的普遍定律”。

把熵理解为绝对量的努力导致了能量子的假说^⑥。把 P 个能量元 ϵ 分布在 N 个振子中, Boltzmann 的热力学几率 W 是

$$W = \frac{(N+P-1)!}{(N-1)!P!}$$

由 Stirling 公式

① M. Planck, Nobel Lectures, Physics, (1901—21), pp. 407—18, Elsevier Publishing Co. (1967).

② M. Planck 致 R. W. Wood, Oct. 7, (1931), 这封未刊行的信今存美国物理研究院“物理学史及其哲学”中心,这儿引的汉译见 R. Resnick《相对论和早期量子论中的基本概念》,许国保校, p. 158

③ op. cit. W. Heisenberg, Physica and Philosophy, p. 35.

④ 见 DBS. 12, p. 12.

⑤ 见第 246 页注释^②, 下面的引语亦见于此。

⑥ M. Planck, On the Theory of the Energy Distribution Law of the Normal Spectrum, VDPG (同于第 243 页注释^②) 2 (1900) 237.

$$S = k \left[\left(1 + \frac{U}{\epsilon}\right) \ln \left(1 + \frac{U}{\epsilon}\right) - \frac{U}{\epsilon} \ln \frac{U}{\epsilon} \right]$$

微分此式并注意 $\frac{\partial S}{\partial U} = \frac{1}{T}$ 可知

$$\frac{k}{\epsilon} \ln \left(\frac{\epsilon}{U} + 1 \right) = \frac{1}{T} \quad \text{或} \quad U = \frac{\epsilon}{\exp(\epsilon/kT) - 1} \quad (7')$$

要使后一式与 Wien 定律 $U = \nu \phi \left(\frac{\nu}{T} \right)$ 的要求相合, 必有 ϵ 为 ν 的常数倍, 普朗克记之为 $\epsilon = h\nu$, 比例常数 h 称为作用量子(现称普朗克常数)。普朗克还算出 $h = 6.55 \times 10^{-27}$ 尔格·秒(目前最好的数值是 6.626×10^{-27} 尔格·秒)。同样利用(1) $u_\nu = \frac{8\pi\nu^2}{c^3} U$ 可得

$$u_\nu = \frac{8\pi\nu^2}{c^3} \frac{h\nu}{\exp(h\nu/kT) - 1} \quad (8')$$

这就是今日熟知的普朗克公式。M. Planck 向德国物理学会宣读这一结果的日子, 1900年12月14日, 按照 M. von Laue^① 1947年10月7日在哥廷根 Albani 教堂普朗克的葬礼上说法, 是“量子论的誕生日”。

六、对普朗克公式的进一步分析

世纪交替的那几年, 对物理学说来是怎样的多事之秋啊! Wien 对热辐射的研究引导出了函数 $\phi \left(\frac{\nu}{T} \right)$, 对此的进一步分析使普朗克得出 $S = \frac{1}{a\nu} \ln \left(\frac{U}{eb\nu} \right)$ 的要求, 而长波段的实验结果更使这一要求扩展为 $\frac{\partial S}{\partial U} = \frac{\alpha}{U(U+\beta)}$ 。为给出其物理意义, 普朗克不得不提出了量子化的能量 $U = P\epsilon$ 。然而, 分立的能量在经典物理学看来无论如何是太离奇了, 而且 h 的作

^① Max von Laue, *Memorial Address*, delivered on Oct. 7, (1947) at the Albani Church, Göttingen, op. cit. *Scientific Autobiography*. p. 10.

用量纲也使人大惑不解。大部分人觉得,真理好像越来越远了。

但实验对普朗克的支持是强有力的,而在 $\nu \rightarrow 0$ 和 $\nu \rightarrow \infty$ 时普朗克式向 Rayleigh 式和 Wien 式优美的过渡也令人折服。将(8')与(4)作形式的对比,可知对普朗克公式有

$$\langle \epsilon_\nu \rangle = \frac{h\nu}{\exp(h\nu/kT) - 1}$$

即 $\langle \epsilon_\nu \rangle$ 是 ν 的函数。这就意味深长地指出,能量均分原理的使用肯定是紫外灾难的原因。联系到 Kelvin 勋爵^①把能量均分的理论视作动力学理论上空的乌云,就更容易使人相信普朗克定律的深刻意义。

但是, A. Einstein^② 在 1906 年指出,普朗克的上述工作在逻辑上不自洽。因为从分立能量 $U = P\epsilon$ 导出的关于能量 U 的表达式(7')是借助于由 Maxwell 理论而来的(1)式才得到(8')。如所周知,Maxwell 理论的一个基本前提是能量取连续值,而(7')由之导出的能量分立的要求显然与此相悖。困难发生在为取得(8')式的两个方向推导的联接点上, Einstein 认为,这表明这危机决不会被轻易克服。

与否定能量量子化的意见相反, Einstein^③ 不是要求放弃量子化的能量,而是认为必须把量子化一直推广到辐射中去,提出了光子的概念及光二象性。

然而量子化的物理图景,直至 1913 年 N. Bohr^④ 提出原子模型才逐步为人认识。进一步的研究又导致了描述上更为重大的困难,这些困难一直引导向量子力学的建立和哥本哈根解释的提出,这些研究因此构成物理学理解量子过程、探讨其认识论特征的第一次认真的尝试。

原载《华东师范大学学报》1981 年第 3 期

① Lord Kelvin, *Phil. Mag.*, 2 (1901) 1.

② A. Einstein, *Ann. d. Phys.*, 20 (1906) 199.

③ Idem, *Ibid.*, 17 (1905) 132, 英译见 *AJP* 33 367.

④ N. Bohr, *Nobel Lectures, Physics, 1922—41*, esp. p. 13; Idem. *Phil. Mag.*, 26 (1913) 1.

德布罗意波动概念的提出

——纪念德布罗意的《波和量子》发表六十周年

六十年前的9月10日,在法国科学院会议通报上发表了题为《波和量子》的小文章,当时几乎没有引起任何人的注意。六年以后,它的作者路易斯·德布罗意(Louis de Broglie)却获得了诺贝尔物理学奖。在这篇文章中,他首次提出了独特的波动概念。这一概念的提出,在量子物理的发展史上是具有重大意义的。下面我们拟依图1所示线索来追寻

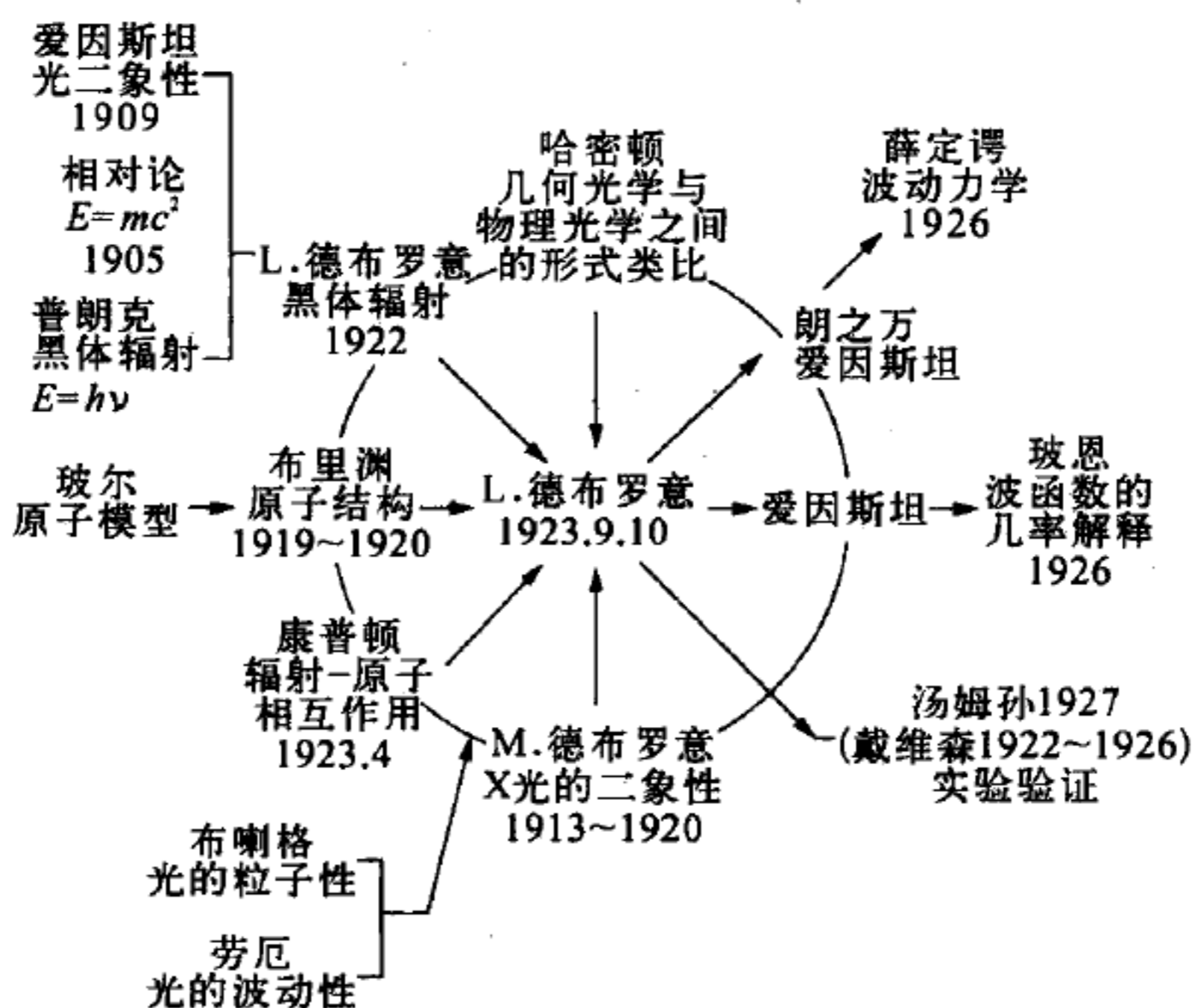


图 1

这一概念的渊源,并对这一概念的本来意义作一较为细致的探讨。

一、莫里斯·德布罗意: X 光的奇特性质

路易斯·德布罗意关于物质有波和粒子的双重性质的猜想,与他的长兄莫里斯·德布罗意(Maurice de Broglie)有很大的关系。路易斯·德布罗意后来追述:“我曾和我哥哥长时间地讨论他那些优美的实验解释……,这些关于 X 光性质的交谈,常使我陷入深深的沉思。”

莫里斯·德布罗意是以研究 X 光著名的实验物理学家。1908 年,他以“离子”运动的研究获法兰西学院的学位。他所研究的“离子”,是气体中悬浮的带电烟尘微粒,这一研究使他熟悉了布朗运动理论。稍后,他以工作人员身份参加了在布鲁塞尔召开的第一届 Solvey 物理学讨论会,这一会议大大增加了他与当时世界上最著名的物理学家的交往。布喇格(W. H. Bragg)也出席了这一次会议,莫里斯·德波罗意后来关于 X 光的工作,很大程度上是在布喇格的影响下完成的。

当时,X 光的研究是一个非常热门的课题。玻尔 1913 年所作的关于光谱的预言,1914 年即被莱曼(Lyman)确认;1912—1914 年间莫斯利(H. G. J. Moseley)利用 X 射线波谱验证了玻尔模型,同时强有力地提示了 X 光的微粒性。

另一方面,在慕尼黑,在伦琴和索末菲的领导下,劳厄(M. von Laue)和弗里德里希(W. Friedrich)、克尼平(P. Knipping)于 1912 年夏发现了 X 光的干涉现象。这种“劳厄照相”经过伦琴亲自辨识,立即为物理学界承认,劳厄为此获 1914 年诺贝尔奖。

X 光所表现出来的时而像波时而像粒子的奇怪性质,几乎直接提示了二象性。1912 年底,布喇格在一篇论文中写道:“对我说来,问题似乎并不在于判定关于 X 光的两种理论何者更为正确,而在于去寻求一种理论,这种理论能同时把握这两个方面。”

莫里斯·德布罗意是了解布喇格这些见解的。在同路易斯·德布罗意的交谈中,他曾提起过这些见解,并且说他自己认为,X 光应当是波

和粒子的一种“组合”或者“结合”，但他似乎过分严格地把自己限制在实验物理学的领域里，而未对这些想法作任何实质性的探索。于是这一幸运的课题就摆到了他弟弟的面前。

二、路易斯·德布罗意：重推普朗克定律

路易斯·德布罗意的最初研究是关于普朗克的辐射定律，他试图用新发展起来的量子理论“倒推”出维恩定律。他说这一工作可以看作是他关于二象性研究的出发点。

《黑体辐射和光量子》写于1922年初，路易斯·德布罗意声称这篇论文的目的在于利用热力学、(气体)运动论和量子论，而不借助于电磁学理论，来推出辐射理论中的一系列已知的结果。

整篇文章最突出的特点是采用光量子假说为出发点。光量子的能量和动量，按“相对论动力学”分别被定为 $h\nu/c^2$ 和 $h\nu/c$ 。

在推出了普朗克-维恩公式以后，作者写道：“光的量子论的假设，以及对于相对论动力学的采用，使得我们把光的‘原子’视作一种运动的微粒，其速度依其能量(频率)变化，但均非常近乎于 c 。”

作为这篇文章的两条基本结论的第一条，作者强调了光的量子理论同统计力学、热力学规律并合使用的重要性，在这种应用中，相对论动力学是其不可缺少的一环。

文章表明，路易斯·德布罗意当时主要还倾向于光的粒子理论，但已经注意到了这一理论中频率的运用；而利用相对论动力学的考察，则导致了他日后关于二象性的推演。我们或可以由此推测，路易斯·德布罗意较早地接受了爱因斯坦的光量子论，并将它看作是一种关于光的本性的、或者说是一种关于物理实在的理论。这一看法不同于当时流行的见解，它并不把光量子看作是一种仅存在于处理问题的方式之中的、概念上的或方法上的虚构。然而，支持光的波动说的那些论据，又常使路易斯·德布罗意回顾。所有这些，使得他有可能较长时间地、反反复复地考虑二象性问题。

三、爱因斯坦：光二象性

原子客体的“二象性”，最早由爱因斯坦在理论上注意到。为了考察普朗克在关于振子能量量子化的工作中所表现出来的固有的不自洽性，他计算了振子能量的均方差涨落。计算结果由两项组成。爱因斯坦分析这一结果的物理意义，发现第二项并无惊人之处，而第一项与维恩定律有关，并且可能起重要的作用。量纲分析表明存在着一个形如 e^2/c 的因子，对爱因斯坦来说，这似乎提示了辐射的微粒结构的存在。

爱因斯坦认为光表现出一种双重本质。但是，对于这种双重本质的物理图象，他没有给出成功的描述。他设想过电荷-静电场这种形式的微粒-波的联系方式，或不连续结构与连续结构的过渡方式，但未能给出进一步的说明。尽管如此，爱因斯坦毕竟提出了二象性问题。

在 20 世纪最初的十年里，爱因斯坦对于光的本性的研究，常从整个物理理论的结构出发考察。在 1909 年以及稍后的工作中，基本出发点仍旧未变，只是大大增加了热力学方法的应用；1916—1919 年间，引进了统计方法。从物理理论结构上的不自洽性出发，通过对波-粒二象性的研究走向统计方法，援引几率概念来说明原子过程，爱因斯坦的这一思想历程，从总的研究方向来说，简直是日后量子力学发展的一次预演。但对于爱因斯坦的大多数同时代人说来，波粒二象性的意义还远远没有展示出来，而且实验也没有尖锐地提出问题。恰如海森堡日后所说，爱因斯坦的见解在当时只是被当作不太深刻的矛盾而无人理睬。物理学还要等待实验。

四、康普顿：带有频率的粒子

1923 年 4 月 21 日，康普顿宣布了他关于光散射后波长变长的著名实验及其理论解释，这似乎是第一次由实验工作者提出的对光量子概念的要求。这一实验结果在大多数物理学家的预料之外，他们似乎必须在波和粒子之间作非此即彼的选择，可是两者有着同样强有力的实验支

持。物理学家们看来愿意花极大的代价来修补这个被波和粒子两难推论弄得不能自治的物理学。例如,玻尔、斯莱特和克雷默就曾尝试以放弃能量在严格的动力学意义上的守恒来完成上述修补;而还有一些人,甚至怀疑或否定康普顿实验的最初成果。

在长期的深思熟虑之后,路易斯·德布罗意从康普顿的工作中看出了突破的可能性。如所周知,康普顿实验是如此强烈地提示了辐射的粒子性,而德布罗意所注意到的,是光的量子理论的这样一个缺陷:它用一个包含了频率的式子定义光粒子的能量,而一个纯粹的粒子理论,不可能包含任何可用来定义频率的要素。仅此一端,即提供了在光的理论中同时引进粒子概念和周期性概念的必要性。

路易斯·德布罗意后来回忆说,康普顿效应使他最终确立了光二象性观念。他写道:“这样,就光而言的波和粒子的两难推论即以与日俱增的尖锐性提了出来,而无论人们愿意与否,对辐射的描述必须逐一诉诸粒子图象与波动图象。”

从布喇格或莫里斯·德布罗意关于二象性的模糊的猜测到由康普顿实验所确立的爱因斯坦关于光二象性的假说,这一段路路易斯·德布罗意走了大约三年的时间(1920—1923),这是他的物质波思想渊源的另一方面。

五、马塞尔·布里渊:原子核近旁的介质波

这一渊源的另一方面是对玻尔模型的研究。玻尔于1913年提出的原子模型,不久即为物理学界接受。1914年和1919年,能级的存在和光谱的莱曼系、布雷克特系相继被验证,1921年玻尔因此获诺贝尔奖,玻尔模型取得了引人称慕的胜利。但是,这一模型的基本概念和假设,即定态与跃迁甚至比它最初提出的时候更令人困惑不解。因此,可以期望对此的研究或许能取得重大的突破。法国物理学家布里渊正是这样考虑的。

但是,法国当时在原子结构的研究上尚称落后:它既没有像卡文迪

许或曼彻斯特那样实力雄厚的实验中心,也不像哥本哈根那样有着一大批思维敏捷、生气勃勃的年轻物理学家,更不像哥廷根或苏黎世那样有着持续百年的深厚的理论传统,因此它所产生出来的,相对说来是一种“局外”的思想,这些思想既未能引起他们的外国同行们的注视,也未能有计划地付诸实验。

布里渊认为,定态的存在已为弗兰克-赫兹实验所确认,问题只是为它找出一个物理学可以接受的机制。他觉得,在定态中,一系列整数的引进最引人注目,也最不自然,因而应该由此下手研究问题。从经典物理学出发,布里渊认为,整数只出现在与静驻波动有关的问题中,因此把定态诠释为一种与干涉相关的驻波该是可取的。

但是,爱因斯坦将近十年前提出过的问题就出现了:什么在波动呢?这个简洁的问题所要求的回答是非常深刻的。事实上,任何企图把物质本性诉诸波动的理论,都必须首先回答这个问题,布里渊教授当时所能想象到的只有以太。他假定原子核近旁有一以太层,电子作为振动源在其中运动。用我们今天的术语来说,布里渊所设想的是一种介质波。他假定粒子的速度比介质中的弹性波快很多倍,而玻尔电子运动的量子数 n 、 l 、 m ,可以用电子的振动与介质波动的某种意义上的共振来解释。

布里渊是近代第一个把波和粒子联系起来的人,或者更确切地说,他是第一个把这两个概念放在一起研究的人。利用这样的图象,他得出了用距离 r 标志的定态系列 $n(r)$,还得出了玻尔理论中的巴尔默光谱项,布里渊进一步引进拉格朗日函数,并企图把由此建立的方程用来取代表克斯韦方程。

布里渊把他的上述工作寄给了路易斯·德布罗意,后者后来多次确认这一点,他说他确实收到过这样的信件。在路易斯·德布罗意最初关于波动力学的文章和讲演中,也曾多次提及布里渊;在1927年的第5次 Solvey 物理学讨论会上,德布罗意称布里渊是“波动力学的真正的先驱”,对他表示了特别的敬意。

路易斯·德布罗意从布里渊那儿看见的,首先是玻尔定态和驻波之

间的联系——如果电子只能像它在宏观现象中所表现的那样是一个粒子,那么怎么解释奇怪的正整数系列呢?德布罗意后来追述说:“经过沉思,我感到为了标志定态而诉诸整数的做法似乎指明了研究的方向。整数,事实上只有在必须诉诸波动的那些物理学分支,如弹性力学、声学 and 光学中才会出现。”

但是,与布里渊不同的是,路易斯·德布罗意认为问题不应是如何向经典力学回归,而应当对经典力学的概念作一彻底的改造,德布罗意写道:“简言之,看来有必要创立一种具有波动特征的新力学,它之于旧力学一如波动光学之于几何光学。”

这一问题的正确提法,一方面来源于路易斯·德布罗意对光量子论的较早的、精辟的见解;另一方面也来源于他对玻尔量子条件的一种深刻的认识。他认为,玻尔的理论必须被看作是一种“中间阶段”,量子条件似乎仅仅是外在地加给经典力学的一种限制,因此,所必须全力寻求的是新的东西。在这个意义上,从牛顿力学到爱因斯坦力学,都只能被视为“旧的”。

路易斯·德布罗意日后总结说:“1923年前后,某些非常重要而且为数众多的迹象清楚地向我表明,波和粒子的观念在物理世界不同领域的各行其是,绝不对应于实物,因而有必要把这两种印象时时处处交织起来。”

六、路易斯·德布罗意:“内在的周期性现象”

但是,路易斯·德布罗意自己也承认,在没有任何实验事实的前提下赋予物质以波动性质,“可能被看作是一种没有科学特征的狂想曲”。进一步的描写是必要的——既然粒子概念在波的领域里成功地解释了康普顿效应,那么波动概念为什么不能在粒子领域里成功地解释令人困惑的定态呢?路易斯·德布罗意写道:“粒子力学,至少在原子尺度上,必须引入波的图象和传播方式,这些观念当时尚未被考虑到。”

考虑这一传播方式的第一篇论文《波和量子》于1923年9月10日发

表在法国科学院会议通报的 177 卷上。路易斯·德布罗意研究了一个以速度 $v = \beta c$ 运动的“适当质量”的质点,按相对论其内在能量为 $m_0 c^2$,而另一方面量子原理则将这一能量归结成频率为 ν_0 的一种简单的周期性现象。于是有

$$m_0 c^2 = h\nu_0$$

路易斯·德布罗意把注意力集中在他认为最重要的频率 ν_0 上。因为在他看来,用频率来定义一个粒子的能量无论如何是奇怪的。由于运动,对一个静驻的观察者来说,这频率为 $\nu = \frac{m_0 c^2}{h\sqrt{1-\beta^2}}$ 。但是,另一方面,如果注意这一波动现象来自动点内部,由于时钟变慢的相对论效应,这一观察者又将看到一种“缩减”,并由之得到另一频率

$$\nu_1 = \nu_0 \sqrt{1-\beta^2},$$

对于这一频率,波动现象按 $\sin 2\pi\nu_1 t$ 变化。

这样,路易斯·德布罗意导出了两个与动点的波动现象相联系的频率 ν 和 ν_1 。他日后说:“这种时钟频率与波频率的相对论性变化间的差别是基本的,它引起我很大的注意。仔细地考虑这个差别就决定了我研究工作的整个方向。”

他的考察如下:在时刻 t ,动点与原点的距离为 $x = vt$,与之相联的波动现象,从动点自身考察,应是 $\sin 2\pi\nu_1 \frac{x}{v}$ 。然而,如果从在 $t = 0$ 时即与动点缔合的波 $\sin 2\pi\nu t$ 的角度来看,此时它应具有 $\sin 2\pi\nu \left(t - \frac{x\beta}{c} \right)$ 的形式。此两者结合的条件 $\nu_1 = \nu(1-\beta^2)$ 恰为 ν 和 ν_1 的定义所满足。这就是说,确有一种波动现象与动点相伴前行。或者,按路易斯·德布罗意原来的说法:“如果在 $t = 0$ 时存在着波矢量与动点的内在现象之间的位相上的一致,这种位相上的一致将继续维持。”路易斯·德布罗意称这种相的一致性为“现实的”。他总结说:“依其总能量与频率 ν 的辐射等价的光的‘原子’是一种内在的、周期性现象的中心。在静驻的观察者看

来,这一现象在空间的每一点均与频率为 ν 的波同相,这种波以显然等于光速的速度,在相同的方向上传播。”

这是路易斯·德布罗意的波动观念第一次见诸物理文献。在这篇文章中,他利用了上述波动观念,对玻尔的原子模型及量子条件提出了一种解释,即把量子条件形象化为波和波的干涉及驻波的形成这样一个物理过程的结果。这种解释,从物理学的传统说来,较之玻尔的量子条件更易接受。

恰如一年后审批他的博士论文的专家们所说,这一工作的独创性给人以深刻的印象:与粒子运动相联的“周期性现象”,量子论与相对论的两个基本方程 $E = h\nu_0$ 和 $E = m_0c^2$ 的简单联立,利用参照系的不同来研究 ν 和 ν_1 的差别,所有这些从物理学的最基本的定义和定律出发的推理,都显得自然而清晰,使人耳目一新。

但是,独创性与可接受性几乎总是成反比的。要是没有爱因斯坦、朗之万等人的介绍和宣传,路易斯·德布罗意的波动观念很可能消失在卷帙浩繁的法国科学院会议通报之中。而且在波的直观图象上,在他那简单明晰的数学推导的物理意义上,他的观点仍然是令人费解的,诚如后来克罗珀(Cropper)所抱怨的,德布罗意所说的和他所没有说出来的想法“几乎一样多”。

七、路易斯·德布罗意:波动概念的本来意义

让我们稍微仔细地分析一下波动概念的本来意义。

首先,同爱因斯坦考虑问题的途径大略一致,路易斯·德布罗意也是从整个理论结构出发考察问题的。所不同者,他考察的是相对论和量子论的关系,联立了这两个理论的基本方程。

其次,他提出波动假说的目的,是为了解决玻尔量子条件问题。他所给出的,是一种诉诸经典波动形式的、存在于真实的三维连续时空框架中的因果解释。把量子条件诠释为波的干涉和驻波的形成,因而具有特别诱人的特色。所有这些努力,在本质上就是引进了一种波动概念。

路易斯·德布罗意最初使用了“简单的周期性现象”来谈论他的波动概念。他很快地注意到他所谈论的波动具有一个超过光速的相速度，并由此进一步断言，只能将他所提议的波视作一种“与动点运动相缔合的假想的波，它不可能对应于能量的转移”，并且引进了“相”的概念。在后来的一篇文章中，他又再三强调了这一点，并明确指出，讨论这波的物理意义，“将是一种推广了的电动力学的一件困难的任务”。

一年以后，德布罗意在他的博士论文中谈及这波的物理意义时，以更加明确的语言作了更大的保留。他写道：“我特意在相波和周期性现象的定义上留下了相当的含混之处……，因而现今的理论便可以视作一种物理内容尚未精密确定的构架，而不是一种已经完全完成、定义明确的教义。”

事实上，路易斯·德布罗意本人从来没有简单地定义过他的波动概念，而且，在以后所有的文字中，他也都避免使用“物质波”这一术语，在他看来，这似乎会导致误解^①。不仅如此，在1923年的另一篇文章中，他还明确称这种正弦波是“非物质的”，并在这几个字上加了着重号。

至于这种波与严格意义上的粒子之间的联系，或者说他们之间的连接方式，由于波本身未被定义，就更加令人费解了。在《波和量子》那篇文章中，路易斯·德布罗意先后使用了“相一致”、“相联系”这样的动词，并称粒子是一种内在的周期性现象的“中心”。但是所有这一些，显然都不是物理和数学的描述。在谈论波动现象时，路易斯·德布罗意也始终没有采用形如 $\psi = \sin 2\pi\nu t$ 的明显表达式，而只是说“现象按 $\sin 2\pi\nu t$ 变化”或用其他形式的迂回说法。五十年以后，当路易斯·德布罗意再次论及他的本来想法时，他甚至采用了更为含糊的说法，称他所建议的波是“物理的、真实的”，而波和粒子的关系是一种“共存”。

^① 物质波这一术语最初是由薛定谔在现今流行的意义上使用的，见 *Ann. der Phys.*, 82 (1927) 265；虽说在私人通信（例如，玻恩1925年7月15日给爱因斯坦的信）或“半科学”的文字中，这一词很早就被使用了。

八、德布罗意波动概念在科学史上的地位

路易斯·德布罗意在定义他的波动概念时所留下的空白,最终导致了玻恩的工作。但从科学史的角度看来,进一步的发展产生于一些更加直接的困难。而他的波动概念本身,也通过这些方面深刻地影响了物理学的发展。

第一方面的困难是实验证据的缺乏。在康普顿效应以几乎明白无误的方式展示了物质的颗粒性的微观结构的时候,引进一种与之相悖的波动假设,语近杜撰。而在1923年9月24日他的博士学位答辩会上,德布罗意也仅能含糊其词地说,他的实验验证,或可在穿过一个相当小的孔的电子流所显示的衍射现象中发现。

其实,当时在美国纽约西部电气公司工程部工作的戴维森已经获得了所要求的现象记录,只不过当时既无法确认,又不为人所知罢了。以后,戴维森在晶体表面反射的次级电子流方面,汤姆孙在穿透箔的电子流的衍射花样方面,均取得了进展。对于波动性质的研究,不仅在理论上,而且在实际应用上,蔚然成为微观物理技术的一大分支。

第二方面的困难是,路易斯·德布罗意的理论似乎未能给出新的结果。诚然,这一理论使得玻尔的量子条件变得似乎更可接受一些,但从本质上来看,他不过是引进了一个波动概念,使得玻尔的定态获得了一种图象,或者说一种图解。这种引进特异性假说来发展理论的做法,带有太大的任意性,因而同样难于接受。这样看来,德布罗意只不过是用一个较为隐蔽的困难取代了一个较为明显的困难,而理论本质上并未获得进展。

事实当然不是这样。奥地利物理学家薛定谔的工作,卓有成效地把德布罗意的波动概念发展成完整的理论,给出了波所服从的动力学方程,花了六个月时间,建立起了和矩阵力学前后辉映的波动力学,他得到一个合流超几何方程,由此自然地产生出了分立的本征值序列。物理学家们几乎立即认出,这就是玻尔能级。德布罗意的出发点正是在解释神

秘的玻尔条件,现在这种条件真的作为一种普适理论的逻辑结果出现了!薛定谔于是有理由骄傲地把他的论文命名为“量子化即本征值问题”,神秘的量子化问题,得到了一个使人可以接受的物理解释。

实验中波动现象的发现,理论上对波动概念的发展,一方面大大加强了德布罗意波动观念的地位,另一方面也使得这样一个问题尖锐起来:究竟是什么在波动呢?爱因斯坦在斯特拉斯堡提出的这个问题,构成德布罗意波动概念的第三方面的困难,简言之,路易斯·德布罗意必须回答他谈论的波在物理上究竟是什么。

路易斯·德布罗意在他的工作的早期,未对这一问题作正面探讨。以后,他曾致力于一种他称作“双重解”的注释,认为波是一种广延的物理现象,而粒子是波上的,或为波所围绕的一个奇异点。在这个方向上,路易斯·德布罗意倾注了大量的心血,寄托了极大的希望,但所有这方面的努力都未能取得成果。尤其是,这波到底是什么这一点也始终晦暗不明。更糟的是,种种误解比正确的解释百倍迅速地发展起来了,以至于大多数人都认为所谓的德布罗意波,就是一种实在的波实体。

玻恩根据他的好友弗兰克的散射实验,认为粒子图景不应简单地放弃。利用与经典散射理论的类比,玻恩发现,在薛定谔那儿代表德布罗意波的那个函数,与经典理论中的微分散射截面常成正比。由后者的统计性质,玻恩认为,将这种波视作“粒子的几率密度几乎是不言自明的”。

玻恩认为,德布罗意波是一种几率波,或曰一种几率分布。但是这种分布绝非数学的抽象,而是具有物理实在性的东西,因为它确实按照薛定谔方程在时-空中展开,但它又远非物理实体,它既无能量,又无动量,而这两者对于任一实体而言,都是不可须臾或缺的。

对物质的波动本性的认识,是人类从经典物理走向量子物理认识的一个必要阶段。路易斯·德布罗意最先提出波动概念,迈出了伟大的第一步,他在物理学史上的功绩是不可磨灭的。

玻尔原子模型的建立

一、发现发明史话

人类对于原子结构的研究开始得很早,但是科学地提出这一问题,还是 19 世纪末的事情。最初是电子的发现,这种亚原子层次上的粒子的发现,为研究原子的组成部分提供了可能性。在这个基础上,各种关于原子结构的设想、理论,相继提出;各种有关的实验,相继完成。经过十年的研究和试探,第一个成功的原子结构理论由丹麦科学家尼耳斯·玻尔完成。他的工作,除了囊括了当时所有实验事实,融合了当时已有的几套主要理论的优点之外,更提出了“定态”和“跃迁”两个概念。这两个概念的提出,标志着人类对原子认识的本质上的飞跃,对日后量子物理的发展也有极深远的影响,状态和状态之间的迁移,至今仍是量子物理一个重要的基本概念和研究问题的基本出发点。本文拟对这两个概念以及同它们相关的“对应”观念的形成与发展作一历史的追寻,以志对玻尔的纪念。

二、关于原子构造的最初探索

1899 年,英国物理学家 J. J. 汤姆孙发明了一种测定带电粒子的速度和荷质比的方法。利用这一方法,他发现,阴极射线的“载体”的荷质比

是一个常数。这一事实提示了自然界中的这种荷电基元的粒子性,电子的概念于是确立。由原子的电中性,人们很自然地推测,原子应是电子和另一带正电的组份的联合体,这就是关于原子构造的最初揣测。

汤姆孙认为,光谱是来自原子内部的主要信息,所以,他对于原子结构的考察,首先是从发光出发的。汤姆孙根据当时分子物理学的知识,把原子半径定在 10^{-10} 米,把上述未知的组份假定作为一种充斥整个原子空间的、连续分布的正电体,电子就悬浮在这正电小球中的平衡位置上。汤姆孙进一步利用物理的模拟方法,获得了多达二十个电子的原子中电子可能的排布。有趣的是,当电子增多时,这种排布自动地展示出一种圈层结构。这种随电子数增加而周而复始地变化的圈层,几乎使人立即想到了化学元素的周期律。而且,理论上算出的这种原子的发光频率,与实验结果在数量级上相符。

但另一方面,汤姆孙模型不能解释原子光谱包含多根谱线的事实,它所提供的圈层结构与化学元素周期律在数量上也没有联系。汤姆孙希望通过细节上的修正消除这两个困难,但是没有成功,他不幸在这死胡同里摸索了很久。当然,汤姆孙认定光谱为建立原子模型的主要依据,并将原子结构与元素周期律联系起来研究,这两点贡献是非常杰出的。我们将看到,这也就是玻尔建立原子模型的出发点。

几乎与汤姆孙同时,日本人长冈半太郎提出,原子是由一个小而重的核和绕这个核旋转的电子构成的,这一图景是通过与麦克斯韦的土星光环理论的类比产生的。但是,电动力学指出,这样作圆周运动的电子将因辐射而丧失能量,最终落到核上去,这样的原子是不稳定的。行星模型似乎很易为当时的物理学家接受。但是不稳定这一困难,又使研究者们裹足不前。亥尔姆霍兹曾有如下感叹:“啊!行星!是的。……进一步呢?行星……不,不可能!绝不可能!”

三、盖革-马斯登实验和卢瑟福模型

1909年,曼彻斯特的两位研究者盖革(H. Geiger)和马斯登(E.

Marsden)利用 α 粒子去轰击碾得非常薄的金箔。研究入射的 α 粒子飞行径迹的改变,可以获得 α 粒子与原子的相互作用的一些信息。按汤姆孙的模型,原子为一个正电荷均匀分布于其中的小球,所以单个原子对 α 粒子的作用是微弱的;实验观察到 α 粒子偏离原先径迹应是其经多个原子作用发生多次小偏转的累积效果,从统计学可知,偏转的粒子数正比于 $\exp(-\Theta)^2$, Θ 是 α 粒子的散射偏转角。显而易见,散射粒子在 Θ 角增大时将迅速减少,比如当 $\Theta=3^\circ$ 时,探测到的粒子应当不多于总粒子数的 10^{-4} 。

但是,盖革和马斯登发现,这个比例不是 10^{-4} ,而是 10^{-2} 。系统的测量甚至还发现了 $\Theta=150^\circ$ 的粒子,而按汤姆孙模型,被射入这个角的可能性小于 10^{-3500} ,几乎等于零。这对汤姆孙模型是一次致命的打击。

汤姆孙先前的助手卢瑟福考察了这一实验。由经典力学的散射规律,大角度散射的 α 粒子,只可能是在质量很大的刚性体上反射的。卢

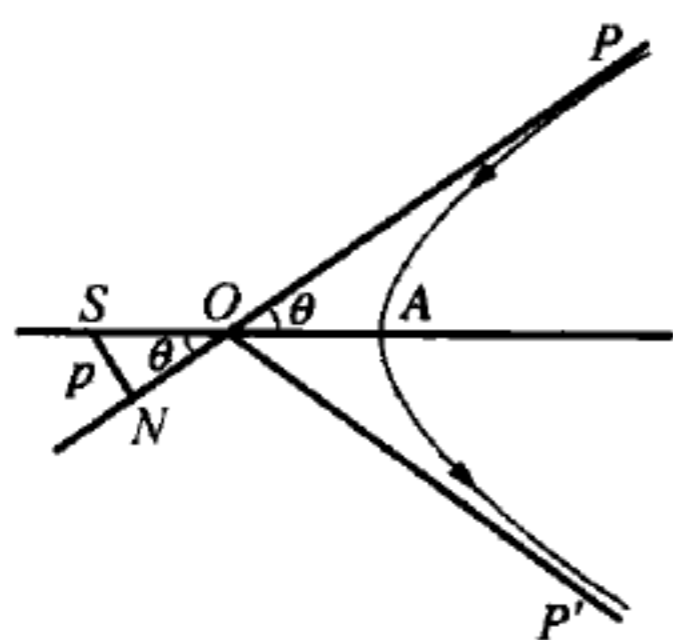


图1 卢瑟福所绘原子- α 粒子散射轨迹图

O点为原子核所在位置, α 粒子从P点入射,被原子核偏转以后从P'点反射出来。

瑟福假定原子与 α 粒子之间的相互作用是单纯的库仑斥力,并由此推出,原子质量大约凝聚在一个半径仅为 10^{-14} 米的微小区域内,他称这种质量的凝聚点为原子的核。于是,卢瑟福得到了如下图景:原子由一个假定的凝聚在一点的中央荷电体和等量的、符号相反的补偿电荷组成,后者均匀地分布在原子内。这种补偿电荷,卢瑟福推测为电子,由于其质量极小,所以对

散射 α 粒子无贡献(图1)。但是,对于这些电子的分布以及这样的原子的稳定性,他未作更深入的探究。进一步的研究表明,这样的原子即使存在,其光谱也不会是宽度清晰的线光谱而应当是散漫的连续光谱。

四、玻尔的第一步

汤姆孙模型被散射实验否定,而由散射提出的卢瑟福模型又为上述

光谱学理论与实验的矛盾,尤其是稳定性问题所困扰。爱因斯坦后来在谈到这一时期时的物理学时曾说:“就像一个人脚下的土地都被抽掉了,使他看不出哪儿有可以立足的巩固基地,而这种摇晃不定,矛盾百出的基础,竟足以使一个具有像玻尔那样独特本领和机智的人发现光谱线和原子中电子壳层的主要定律以及它们对化学的意义,这些事对我说来,就像是一个奇迹。”

被爱因斯坦如此称赞的成就绝不是一个侥幸的成功。玻尔在 1912 年着手原子模型工作时,即已具备了一些对于解决这一问题特别优越的条件。

首先是在思想上有了放弃经典理论的某些信条的准备。早在 1910—1911 年准备博士论文时,玻尔就开始意识到这一点。在博士论文的最后,他写道:“用现阶段的电子理论来解释物质的磁性,看来是不可能的”。

其次是熟悉当时已有的关于原子模型的理论。这对于创立新假说,融会贯通进而自成一派说来,显然也是非常必要的。玻尔在汤姆孙模型提出七八年后在汤姆孙那儿学习,对其研究所遇到的困难,更重要的是对于那些使之能够支持七八年的论据,有深入认识;在卢瑟福提出有核模型之初他又到卢瑟福那儿去,这就使他对卢瑟福的工作,尤其是曼彻斯特当时正在进行的一系列关于 α 粒子散射的实验,有较多的了解。

玻尔最初同达尔文(C. G. Darwin)一起研究 α 粒子,但感到后者的工作“在概念上不能令人满意”。从对盖革-马斯登实验的进一步研究,玻尔认识到,实验证实的是卢瑟福关于原子中心有核以及这种中心荷电体的大小的假说,而卢瑟福模型,长冈模型以及其他一切有核图景所面临的稳定性方面的困难,只牵涉外圈电子的运动状况,因此,必须把有核图景和不稳定性分开考察。用现代语言说,必须把原子的稳定性和核的存在分开考虑。

我们或者说,这就是玻尔模型的第一步,时间是 1912 年夏天。这一步是以区别原子的和核的两类现象,接受卢瑟福有核模型,并把研究方向明确指向核外电子为标志的。

五、定态概念的产生

既然采用了有核图景,玻尔所面临的,同样是他的前人所面临的稳定性问题,与之相联系的还有电子在核外的运行形式问题。

长冈曾经设想,电子如同行星绕日一样,绕着核运行,卢瑟福也作了类似的努力,把电子描述为盘状的或球状的运行形式,但均在这种运动的稳定性问题上失败。换言之,从长冈到卢瑟福,没有一个人能够构造出一种电子运行的图景,使得电子在其中以稳定的状态存在。而且,要想作出原子结构的理论,似乎也非构造这么一个图景不可。

然而玻尔从一个完全相反的方向考虑问题,并因此获得成功。他注意到,原子系统所具有的高度稳定性,尤其是被扰动以后必然能回复到原来的状态的特性,是任何行星系所不具备的。一般地说,行星系的力学状态,不仅为其物理特征,诸如质量、角动量所决定,而且有赖于其成形之时的初始条件;而原子系统在被激发以后,几乎必然地回复到未被激发时的状态,这种特有的稳定性似乎提示,原子外圈的电子运行的形式(玻尔称之为“轨道”),应完全取决于原子系统自身的物理参数,诸如电子和核的电量或质量。玻尔认为,以往所进行的所有“太阳系类比”,所有把电子视为行星并进一步求解的努力,失之未能把原子的这种本质的稳定性考虑进去。因此这种未触及本质的比附,不可能真正解决原子结构问题。在玻尔看来,问题正好倒了个方向:不应当由原子结构的构造出发去解释稳定性,而应当从原子特有的稳定性出发去寻求与之相适应的结构。

玻尔于是着手构造这种由原子系统自身的参数所决定的轨道,这一点是玻尔以前的诸位研究者都未能想到的。从最简单的情形开始,玻尔研究设想了由一荷正电的核与一以圆形轨道绕核运行的电子构成的原子模型。这样的轨道只有一个需要确定的参数,就是半径。从量纲分析,玻尔发现,电子的电量 e , 质量 m , 只有汇同了普朗克作用量子 h 以后,才能产生出长度量纲来。于是,半径为 h^2/me^2 的圆轨道,就是一种最可取的状态。

特征长度 h_2/me^2 中的 h , 标志着普朗克量子化思想进入了原子模型的研究。诚然, 玻尔绝非是引进量子概念的第一个人。但是, 他确实是第一个把量子化作为原子模型自身的要求, 进而研究这种模型的人。

根据尼科尔孙(J. W. Nicholson)、哈斯(A. E. Haas)关于量子化的考虑, 同样根据索末菲关于“不应当以原子的大小来解释 h , 而应当把分子的存在视作它的结果”的论断, 玻尔有理由相信, 核外电子所处的是一种定常的状态, 用玻尔自己的话来说, 这是“一种力学上可能的、又满足某种特定的量子条件的不连续的定常的状态”。

这种从稳定性得出的定常的状态, 常称定态, 是玻尔关于原子结构的一个重要的基本概念。电子处于定态时不辐射、不损失能量, 这一点与麦克斯韦的经典电动力学是完全不相容的。对于大部分物理学家来说, 放弃经典电动力学的概念, 就等于要求他们放弃若干世纪以来物理学的所有成果, 要求他们放弃光学、电磁学、热力学乃至力学的坚固宏伟的大厦。如果这一建筑一旦轰然崩溃, 那么整个物理学简直就无家可归了。

而玻尔注意到的是另外一些实验事实。当他还在剑桥时, 就已经熟悉了惠丁顿(R. Whiddington)关于 X 射线的某些工作。在这些工作中, 惠丁顿证明, 为激发 X 射线谱线所引进的阴极射线, 有一个极小的速度阈值, 即只有一定能量的阴极射线才能激发出次级射线。这个实验事实上是两年以后著名的弗兰克-赫兹实验在 X 射线领域中的表现, 而当时大部分研究者未能认识到它对于原子模型的重要意义。

六、光谱学所给的启发

惠丁顿的工作想必引起了玻尔对光谱的注意, 而且, 他同时还注意到英国天文学家尼科尔孙关于光谱的工作。1911年11月, 尼科尔孙在日冕和银河星云中观察到了一些新的谱线。为了解释谱线的产生, 尼科尔孙一方面借用了卢瑟福的有核图景, 另一方面又假定这些谱线来自在平衡位置附近作振动的电子。他计算了这些谱线的频率, 发觉结果非常

之好。他甚至还预言了一条谱线的存在。1912年6月,他进一步发展了他的原子模型,引进了普朗克作用量子。所有这些工作,对玻尔都是一种很重要的推动。

玻尔是在1912年年末注意到尼科尔孙的工作的,他在当年12月23日给他的弟弟的贺年片上提及尼科尔孙。当然,尼氏的工作,尤其是辐射的电子,与玻尔自己关于电子不辐射的定态观念大相径庭。事实上,玻尔最初曾经称定态为“永久的态”,而不是他后来所称的“定常的态”。从玻尔与他的弟弟海拉德以及他的老师卢瑟福在1912年年底到次年1月的通信中频繁地提及尼科尔孙这一事实,可见尼氏的工作对玻尔产生了重大影响。它一方面促使玻尔重新考虑了“定态”的观念,重新考虑了“永久的态”这种较僵硬的提法;另一方面是引起了玻尔对光谱的严重注意。

到1913年1月底,从玻尔给卢瑟福的信中可知,玻尔已经正确地猜测到,尼科尔孙所考察的状态,是原子处于“受激”的或“不断分裂而又不断重新形成”的状态,“就像在真空管或恒星星云那样的地方”。但是,光谱到底说明了什么,进而如何进一步与原子模型联系,当时玻尔仍不清楚。

这一次转折发生在1913年2月初。年轻的光谱学家,后来的哥本哈根大学教授汉森(H. M. Hansen)在去哥廷根的路上途经哥本哈根,在和玻尔的交谈中讨论了玻尔关于原子结构的想法。汉森问及玻尔,他的模型是不是能够解释光谱,玻尔回答说,光谱太复杂了,以至于难于考虑。汉森遂向玻尔介绍了光谱学中简单而优美的巴尔末(Balmer)线系的公式,依照这一公式任何一根氢光谱的频率,总可以表示为

$$\nu = Rc \left(\frac{1}{n_2^2} - \frac{1}{n_1^2} \right)。$$

这儿 R 是一个常数,称里德堡(Rydberg)常数, c 是光速, n_1 和 n_2 是两个满足 $n_1 > n_2$ 的整数。如果说光谱线系以其过于复杂而使人望而生畏,

那么关于谱线系的巴尔末公式则以其出人意料之简单使人困惑不解。然而,当已经对谱线和原子能级作过很多探究的玻尔注意到这公式时,公式中引人注目的两个整数标记的项的差几乎立即提示了原子模型工作的下一步。

从物理上来说,玻尔已经在对尼科尔孙的工作研究中形成了一个极为重要的观念,即谱线是受激的原子发出来的。而巴尔末式两边如果同乘以普朗克常数 h 就显示为一个能量关系式:

$$E = h\nu = Rhc \left(\frac{1}{n_2^2} - \frac{1}{n_1^2} \right) = E_2 - E_1,$$

这儿 E_2 和 E_1 分别是用整数 n_2 和 n_1 标记的两个能量,例如 $E_1 = Rhc/n_1^2$ 。对于巴尔末式的这一变换,玻尔是熟悉的。据玻尔在去世前两周的一次谈话证实,玻尔的这一观念来源于他在原子模型工作最紧张的那些日子里阅读的德国物理学家斯塔克(J. Stark)的书,即1911年出版的《原子动力学原理》的第二卷《基元辐射》。但是,由于斯塔克头脑中没有关于原子定态的概念,所以他对于上述整数标记的能量差并无深刻认识。而对玻尔说来,原子在受激或变化时发出谱线,谱线的频率通过普朗克能量式 $E = h\nu$ 与一种整数标记的、不连续的数项差相联系,这种整数标记可以理解为不同的定态,这一系列已有的观念几乎自动地构成了一条逻辑链条,指明了谱线的来源,即电子在定态之间的跃迁形成了光谱。玻尔在回忆这段历史时多次说过“我一看见巴尔末公式就什么都明白了”。巴尔末公式中的差项反映了定态的能量,其差值对应于定态能量差,这种能量差以光的形式释放出来。玻尔于是完成了原子模型的第三步,建立了定态间跃迁的概念。

七、对应概念和玻尔模型的完成

现在玻尔可以给出如下的原子图景,它几乎就是一个小小的太阳系:电子在分立的、特定的、被称之为定态的轨道上绕着很重的核运行,当电子在这些轨道间迁移时,发出线光谱,谱线频率通过普朗克公式与

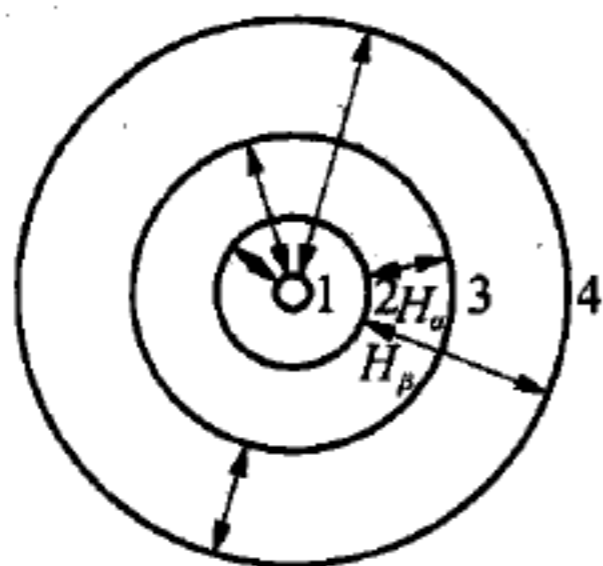


图2 玻尔所绘原子结构图

图中玻尔特别注明了 H_α 和 H_β 两根谱线的产生。关于 H_α 和 H_β ，玻尔曾经用音乐上相差八度的音阶来说明。

定态的能量差联系起来(图2)。

1913年3月6日，玻尔把论述原子模型的论文《论原子和分子的组成》的第一部分寄给了卢瑟福。从2月初汉斯·汉森来访到这篇物理学中具有划时代意义的论文的出现，恰恰是四个星期。在完成上述图景以后，玻尔通过进一步的运算，完成了整个模型的构造。

从与太阳系的类比出发，玻尔运用了四百年前开普勒(J. Kepler)用来计算行星公转周期的公式来计算电子绕原子核的绕行角频率 ω ，并得到

$$\omega = \frac{\sqrt{2}}{\pi} \cdot \frac{W^{3/2}}{eEm^{1/2}},$$

这儿 W 是能量， e 和 E 分别是电子与核的电量， m 是电子的质量。另一方面，他又利用了普朗克的能量-频率关系式写出了 $W = \tau \cdot h\nu$ ，这儿的 τ 是任意正整数。显而易见，上述关于 ω 的第一个等式是定态概念的发展，而关于 ν 的第二个等式则涉及电子跃迁中能量和频率的联系。

但是，稍微仔细一点的分析表明，这两式一个是经典力学的结果，它要求能量连续；另一个则是量子理论的基石，它是以能量量子化为自己的前提的；另一方面，这两式一个刻划电子在定态中活动的机制，另一个则牵涉我们在实验中观察的现象。要把这样两个在基础上不相容，在物理上又分属于不同领域的等式联接起来，的确是困难的。而且，从数学上看，上述两个式子中牵涉到 ω ， ν 和 W 三个未定的量，由此也不能得出唯一的结果。

玻尔认为，谱线的频率 ν 和电子轨道上绕行的频率 ω 既然都和一个电子有关，那就不能认为它们是相互独立的，用玻尔的话说，应当可以认为它们在某种意义下“相合”。玻尔根据他手头唯一可以信赖的实验依

据——巴尔末公式形式不变的要求,利用待定系数法得出 $\omega \longleftrightarrow 2\nu$ 。

玻尔把这一理论用于氢原子,推导出了理论的“巴尔末公式”,在这一理论形式中,巴尔末公式中原先出现的一个实验常数,被明确地表示为几个更加基本的常数的组合: $R = 2\pi^2 m e^4 / h^3$, 利用当时已知的 e , e/m , h 数值,玻尔得出这一常数值应为 3.1×10^{15} , 而当时的实测值为 3.29×10^{15} , 两者相差不到 6%。玻尔在他的论文中谨慎地写道:理论与实验值的符合程度在实验误差之内。

事实上,如果玻尔能有更好的 e , m , h 值的话,这种符合程度还可以进一步提高,例如在 1913 年 3 月 6 日给卢瑟福的信中,玻尔利用 3.290×10^{15} 的实验值“倒推”出普朗克常数 $h = 6.76 \times 10^{-27}$, 这个值与今天精密确定的普朗克常数 6.626×10^{-27} 非常接近,相对误差在 1.9% 上下。无论如何,这样的符合在当时也是非常令人满意的。

可以看出,把上述 ω 式和 ν 式连接起来,利用 $\omega \longleftrightarrow 2\nu$ 把大量子数时“通常的电动力学”即经典物理学的规律同量子规律联系起来,进而把微观机制与宏观现象联系起来,是构造氢原子模型的最后的、也是相当关键的一环。玻尔完成这一步所依赖的是一种他后来称之为“对应”的观念。但是,在玻尔的原始论文中,这种“对应”概念,不同于著名的定态和跃迁两大假设,不是用明显的公理或假定的方式,而是以一种“不言而喻”的方式引入的,对此,玻尔既未予特别的讨论,也未作明确的保留。这种比较简单的处理方式表明这种联系对于玻尔说来,简直是一种先验的信念,这种信念的起源,可以一直追溯到物理学深入到非直观的原子-分子过程的时候。

我们注意到,玻尔三年以后写的一篇总结性论文《论线光谱的量子理论》中,对应观念的地位较之 1913 年的原始论文明显地提高了,虽然未与定态、跃迁两大概念并列为第三公理,但从行文顺序看,鼎足之势已成。而对于氢原子模型说来,引进对应概念,推出氢原子能级,从而解释了巴尔末公式,从理论上算出了里德堡常量,这就可以说是无可怀疑地确立起来了。

八、玻尔模型在概念上的意义

1913年3月6日,玻尔把论文的初稿连同一封信,寄给了卢瑟福。3月20日,卢瑟福回信给玻尔。在回信中,卢瑟福尖锐地问道,当一个电子从一个定态转入另一个定态时,它怎样决定它将以什么频率振动呢?在我看来,您似乎不得不假定电子事先就知道它将在什么地方停下来。卢瑟福的物理洞察力是惊人的,这一问题的答案,在本质上必须诉诸量子物理学所独具的非决定论的描述特征,或按玻尔的说法,必须诉诸放弃在连续时空中无限精细地追寻现象。然而这一切在当时说来都过于深刻了,以至于一时无法进行更多的讨论。而且,卢瑟福在总体上说来还是赞赏玻尔的模型的,在卢瑟福的帮助下,文章于1913年4月5日改定。经卢瑟福的推荐,这一篇物理学中划时代的文献《论原子和分子的组成》,发表在1913年7月1日出版的《哲学杂志》第26卷第151期上。

物理学没有让玻尔等待很久。玻尔模型的实验验证在玻尔论文发表以后的一年中接踵而至,其中最引人注目的是伊万斯(E. J. Evans)对于氢谱线的识别和弗兰克-赫兹对于能级存在的直接验证。

1913年9月,爱因斯坦在苏黎士大学和理工学院的每周一次的物理讨论会上,力排众议,坚决肯定了玻尔模型。他说,我决不相信里德堡常数的绝对数值的导出是纯粹侥幸的。他还称玻尔模型是“极其巨大的成就”,是“最伟大的发现之一”。

英国物理学界的权威人士秦斯(J. H. Jeans)在该年9月举行的一次会议上称赞玻尔理论是“最为天才的、建设性的,或许我还应当加上最令人信服的关于光谱定律的解释”。

尽管科学界几乎立即给了玻尔模型以最高的评价,它在概念上的意义,它对于物理学的巨大推动,它的全部光荣,却还是在以后漫长的五十年中逐步显露出来的。

1913年,英国物理学家莫斯莱引进了原子序数概念,使得玻尔模型的表达更为清晰;1914—1915年,德国物理学家索末菲和威尔孙发展了

玻尔的圆轨道概念,解释了光谱的精细结构;1917年,爱因斯坦研究了跃迁理论,第一次引用几率概念,定量地描述了谱线的强度;1919—1923年,法国物理学家布里渊和德布罗意研究了定态概念、量子化条件及其物理解释,由此提出了德布罗意波,开创了波动力学研究;1925年,德国物理学家海森堡,系统地贯彻了玻尔的对应概念,一蹴而就地建立了量子力学的矩阵理论;1928年,奥地利物理学家泡利进一步研究了核外电子的排布,提出著名的不相容原理,发展了量子统计物理;稍后,中国物理学家王守竞、美国物理学家史莱特和英国物理学家哈崔等许多人把对于氢原子乃至各种简单分子的处理进一步完善,开创了量子化学的研究。

随着时间的推移,玻尔模型被更新的量子力学处理所取代,玻尔所用的方法也不断地被改造和重建,玻尔的原子图景和电子轨道的形象化描述也相继被抛弃,然而,玻尔模型所赖以建立的基本概念:状态、状态之间的跃迁,对应观念,却一直贯穿在以后整个量子物理学的发展之中,这三个概念至今仍是量子物理学的基石。诚如狄拉克(P. A. M. Dirac)在玻尔模型发表五十年后,量子物理学取得不计其数的、令人眼花缭乱的成功时所说,玻尔模型是量子理论建立过程中意义最为深远的一次突破。在玻尔模型建立七十年后的今天,我们仍然感到,玻尔关于原子体系的状态、状态之间的迁移和经典-量子理论的对应的概念,仍然是我们理解原子过程的出发点。

原载《自然杂志》第六卷第七期

对应原理的形成以及玻尔 对它的几种互异的表述

对应原理是量子物理学中的一条重要原理。它常被表述为：有关原子过程的量子规律在极限情况下应与经典规律渐近地合一。由极限情况和渐近的具体内容不同，这一原理又有互异的表述。

对应原理形式上是由玻尔(Niels Bohr)在1920年春天提出的，但其渊源可以追溯到他早年关于原子模型的工作^①。在物理学发展的过程中，对应原理一开始就是由旧量子论向量子力学过渡的主要工具；而在量子力学建立以后，它又成为一种方法论规范，一直存在于量子物理学的认识论基础之中。

在对应原理的形成过程中，玻尔对它有过几种互异的表述。比较这些表述，可以看出玻尔关于对应的观念的演变和从不同方面对它的理解，还可以看出这一观念本身对旧量子论的发展所起的“重要的和非常有益的作用”^②。

① Bohr, N., *Preface to "the Theory of Spectra and Atomic Constitution"*, (1922), *Niels Bohr Collected Works*, Vol. 3, p. 21.

② de Broglie, L., *La physique nouvelle et les quanta*, (Eng. Tr. 1954), p. 147.

一、玻尔在氢原子模型的研究工作中援用的对应观念

如所周知,玻尔的氢原子模型是建立在他著名的定态和跃迁两大假设之上的。但进一步的分析表明,这两条假设对于建立原子模型并不完备。让我们来考察一下这个问题。

从原子特有的稳定性出发,玻尔提出了定态概念,而定态之间的电子迁移,则导致了跃迁假设。玻尔认为,这种跃迁所牵涉的能量差,应当由 J. Stark 所猜想的方式与光谱频率 ν 联接:

$$h\nu = W_2 - W_1 \quad (1)$$

h 是普朗克常数,而 W_1 及 W_2 是所论及的定态的能量,原子模型由此与量子论相关。

从 Rutherford 的几乎被实验证实的原子有核图景出发,利用经典的 Kepler 公式,玻尔得出电子的绕行角频率为

$$\omega = \frac{2^{\frac{1}{2}}}{\pi} \cdot \frac{W^{\frac{3}{2}}}{eEm^{\frac{1}{2}}} \quad (2)$$

这儿 E 是核电量, W 是电子能量,而 e 和 m 分别是电子电荷和质量。显然,如何连接(1)和(2)就成了问题的关键。玻尔注意到,(2)中与定态假设相关的频率 ω 和(1)中与跃迁假设相关的频率 ν 属于同一个电子,只不过分别是它所引起的现象和它的运动机制两个方面的表征。玻尔认为^①,此两量必然在“某种意义下”“相合”。他因此假设 $\nu \leftrightarrow f(\tau)\omega$, 其中 τ 是所牵涉的量子数; $f(\tau)$ 则是表示上述“相合”意义的一个待定的函数系数。利用这一联系和上面的(1)、(2),可以解出

$$\nu = \frac{\pi^2 me^2 E^2}{2h^3} \left(\frac{1}{f^2(\tau_2)} - \frac{1}{f^2(\tau_1)} \right)$$

由 Balmer 光谱规律形式上的要求可知 $f(\tau)$ 必是线性的,即 $f(\tau) = c\tau$,

^① Bohr, N., *Phil. Mag.* 26 (1913) 1, 语见 § 3

c 是待定的常系数。

另一方面,氢原子随 $1/\tau^2$ 分布的分立能级在 τ 很大时趋于连续这一事实又启发了玻尔,使他进一步把他的多少有些神秘的“某种意义”明确地注释为在 $\tau \rightarrow \infty$ 的条件,这时 $\omega_{\tau+1} \rightarrow \omega_{\tau}$, 玻尔于是将它们简单地记作 ω 。由“通常的”电动力学规律,这时应有

$$\frac{\nu}{\omega} \xrightarrow{\tau \rightarrow \infty} 1.$$

以 ν 和 ω 的表达式代入此式,可定出 $c = \frac{1}{2}$, 换言之 $\nu \leftrightarrow \frac{\omega}{2}$ 。由此建立的玻尔理论所推出的 Rydberg 常量与当时的实测值相差不到 6%。

然而,在玻尔的原始论文中,上面的一系列考虑,由之而来的 ν 和 ω 的关系,不同于定态或跃迁,不是以公理形式,而是以一种“不言而喻”的方式引入的。玻尔对此既未予特别的讨论,也未作明确的保留。这种比较简单的处理方式表明,电子绕行频率与它的发光频率之间的联系,对于玻尔说来,简直是一种先验的信念。从更广阔的背景上看,从物理学深入到非直观的原子-分子过程的时候起,宏观上观察到的现象,如这儿的光谱 ν , 和理论所牵涉的微观上的机制,如这儿的电子绕行 ω 之间的对应,一直是一种基本的、直觉的前提。这一前提在物理学理论辉煌发展的 19 世纪,从未被投以任何怀疑。

二、“对应原理的第一次一般表述”

玻尔在原子模型中援用的对应观念,除了上述先验的特点之外,还有一个 ad hoc 特点,即这一观念是“仅用于此”的,并不具有一般性。第一次把对应观念推向一般的,按玻尔本人的意见,是下面我们行将讨论的一份手稿^①。

这份 8 页的手稿是在玻尔遗留下来的卷帙浩繁的文件中找到的。

^① Bohr, N., *Niels Bohr Collected Works*, Vol. 3, pp. 48 - 52.

它们被置于一个信封中,信封上有玻尔的母亲给玻尔的一句留言和玻尔亲笔用丹麦文书写的题签:“对应原理的第一次一般表述”。

据玻尔的助手们现在推测,这是玻尔稍后的一篇著作《论线光谱的量子论》的未刊残稿,由此可知写作时间当在1916年4月至次年11月之间。这一写作时间是重要的。因为一方面,玻尔在原子模型中所援用的对应观念,已由于它所导出的结果被实验证实而大大巩固了地位;另一方面,玻尔模型的困难,诸如跃迁机制和谱线强度问题也已充分显露。因此,如何维护第一方面的巨大成功,如何克服第二方面的巨大困难,一时为人所瞩目。同时,Einstein在1916年援引几率概念处理跃迁引起的光谱强度,又开拓了物理学家的视野,启迪了描述性的物理思想,深刻地提出了量子物理对经典概念的背离。这一写作时间,正是量子理论开始冲破经典框架,脱颖而出的决定性阶段。

值得注意的是,玻尔在这份手稿中,首先从微观客体的认识论特征对描述的要求出发,指出他早先所引进的“不连续性使得用通常的力学和电动力学对机制作详尽的描述为不可能”。正是在这一形势下,对应的方法作为一种绕过跃迁机制的具体研究的手段,作为一种“形式意义上的对通常辐射理论的自然推广”出现了。

玻尔接着利用与“通常的辐射理论”的对比讨论了量子跃迁。这一讨论自然地导致了跃迁时量子数改变量 Δm 只能为1的“选择定则”,这一定则最初由实验得出。玻尔宣称,这就是系统只能“一步一步地”亦即只能在相邻的量子状态中移动的原因。

玻尔最后讨论了光谱的Zeeman效应和Stark关于外场中原子光谱行为的实验。在这份手稿中,虽然对应原理还只是为了使量子理论和旧有理论一致、或相协调而提出的,但对应观念已或多或少地被赋予了一种普遍的意义。

从氢原子模型中反映出来的对应观念,到这儿把对应理解为“自然推广”,时间上经历了将近四年,玻尔本人的表述也经历了种种变化。这些变化或可为我们勾画出他思想发展的线索。

在1913年夏天关于原子模型的工作中,玻尔的对应思想表现为一种假设,这种假设对于得出 Balmer 光谱规律的理论解释是必须的。这一假设被表述为“系统在相连的定态之间移动时所发辐射的频率与电子在慢振动区域中的绕行频率之间该有一种合一”。^①

1913年12月20日,玻尔在一次讲演中,用“相等性”这样一个词^②来谈论上面的“合一”。

1916年3月,玻尔给出了对应思想的最初明确表述。玻尔在讨论了量子条件 $E_{n_2} - E_{n_1} = h\nu$ 以后写道,“在比值 $\omega_{n_1}/\omega_{n_2}$ 与1相差甚微的条件下,按量子条件给出的频率,不是收敛于 ω , 而是收敛于 $(n_2 - n_1)\omega$ 。这正是我们在与通常的辐射理论类比中所期望的……。”^③

从 ad hoc 假设到“相等性”到两种理论之间的类比,这几篇文章显示了玻尔从原子模型阶段中的信念,一种不言而喻的模糊的直觉,走向了一种为理论本身所要求的,我们上面提及的那份手稿所谈论的一种“理论上的自然推广”。

三、Q. o. L. 关于对应原理的阐述

Q. o. L. 是物理学史上常用的,对玻尔的经典著作《论线光谱的量子论》^④的简称。上面提及的那份手稿,即是我们现在看见的、完成于1917年11月的这篇文章的残页。在 Q. o. L. 中,玻尔以更大的篇幅和更深入的方式讨论了对应原理,它的主要特点是:对应原理不再表现为一种为与旧理论协调一致所必须的产物,而是被当作“为了获得实验资料与理论值之间的必要联系所必须引入的一种假定”^⑤,换言之,是一种探索未

① 见第275页注释①,“合一”是 Coincide。

② Bohr, N., *Fysisk Tidsskrift* 12 (1914) 97; Eng. Trans., in *Collected Works*, Vol. 2, “相等性”是 equality。

③ Idem, *On the Application of the Quantum Theory to Periodic System*, 原拟在 *Phil. Mag.* 31 (1916) 上刊出,后因故未刊,今收于 *Collected Works*, Vol. 2。

④ Idem, *On the Quantum Theory of Line-spectra*, (1918)。

⑤ 参见上引书 pp. 5—6,“假定”是 assumption。

知的武器。

玻尔认识到,定态的存在否定了通常电动力学用于原子过程的可能性,然而在“缓慢振动极限区域里”通常电动力学和力学能够处理热辐射这一事实又使人们有理由相信,“任何能与实验相一致的理论必然是对通常辐射理论的一种自然推广”^①。

这一陈述不仅把对应观念扩展到了“任何实验”中的物理量,而且对应观念也第一次作为一个与定态、跃迁相鼎足的逻辑出发点而出现。虽然玻尔没有把它写成第3条假设,但从行文顺序看,这是紧接着两大假设而陈述的一条普遍成立的公设。玻尔认为,通常辐射理论与量子理论之间的尽可能密切的类比,肯定能为量子论所遭遇的异乎寻常的困难带来光明。

在 Q. o. L. 中,玻尔^②首先把对应观念用到光谱强度这一困难的问题上,这一问题一直困扰着当时的量子物理学家。

玻尔的一个出发点是量子条件 $E' - E'' = h\nu$, 这最初是 Stark 的一个猜想,但在原子模型的工作中,其正确性似乎已无可怀疑,另一个是 Wilson-Sommerfeld 的量子条件 $I = \int p q dt = nh$ 。

玻尔认为,由于对应于不同的量子数 n 的电子绕行频率 ω 通常亦不相同,因而不能指望 ν 和 ω 之间有什么简单的联系。然而在 n 非常大的极限情况下,相邻的定态中电子的绕行频率 ω' 和 ω'' 之比非常接近于 1。因此,由刚才提及的 Stark 和 Sommerfeld 两式可得

$$\nu = \frac{1}{h}(E' - E'') = \frac{\omega}{h}(I' - I'') = (n' - n'')\omega, \quad (3)$$

中间一步的依据是 $\delta E = \omega \delta I$, 这不难从 Hamilton 正则方程导出。值得注意的是,这儿的两个出发点,与原子模型中关于 ν 的量子条件和关于 ω 的 Kepler 式一样,一个是关于光谱现象的 Stark 式,另一个是关于微观

① Idem, *On the Quantum Theory of Line-spectra*, p. 6.

② 同上, pp. 15 - 16.

运动机制的 Sommerfeld 式。玻尔进一步注意到,在经典电动力学中,周期系统中粒子的位移是

$$\xi = \sum_{\tau} C_{\tau} \cos 2\pi(\tau\omega t + c_{\tau}) \quad (4)$$

C_{τ} 和 c_{τ} 是常数。玻尔把这式与(3)式作了对比,看出量子规律中的 $(n' - n'')$ 与这儿的 τ 相当。他于是宣称:“为了能得到必要的联系,我们必须进一步承认,在大 n 数极限条件下,如同在关于频率的情形中一样,强度间也存在着一一种联系。”在(4)中,按通常的辐射理论,强度由 C_{τ} 决定。玻尔由此猜想对大 n 数这一系数该能决定量子理论中的自发跃迁几率。他认为,这一由 τ 标记的不同的谐振振幅和由 $n' - n''$ 标记的跃迁几率之间的联系,显然可以被认为具有普遍的意义。

但是,玻尔的这一套与其说是推理,不如说是论断的陈述,并不能解决经典理论与量子理论在发光机制上的严重分歧。

按经典电动力学,电子连续地发送着各种不同频率的谱线,也就是说,不同的谱线是同一原子同时连续地发出的;按量子假设,电子在定态并不辐射,只是在跃迁时才辐射一个单色的光子,不同的单色光是由各个同类原子在不同的跃迁中分别发出的,也就是说,辐射过程在本质上是不连续的。这两幅图景之不可调和是显而易见的。因此,玻尔一方面猜想“这一对应”肯定具有更深刻的物理意义,另一方面又多次提及这种类比仅具有“形式的意义”,或仅存在于理论的描述之间,而不是一种物理的真实。

Q. o. L. 一发表即得到热烈欢迎。P. S. Epstein, P. Debye, 以及 A. Sommerfeld 相继致函玻尔^①,称他计算谱线强度的方法“令人信服”,“意味深长”,“有着最重要的意义”。但是,这些最初的反应与其说是来自对于对应方法的深刻理解,还不如说是对其简捷的赞赏。而且,对应方法在具体物理问题的运用中所牵涉的技巧似乎也过于不可捉摸,以至于

^① Epstein, P., May 14; Debye, P., June 6; Sommerfeld, A., May 18, 分别引自 *Niels Bohr Collected Works*, Vol. 3, p. 637, p. 607 和 p. 682。

Sommerfeld 后来甚至称这一原理是“哥本哈根学派手中的一根魔杖”^①。

1918—19 年间,玻尔的学生 Kramers^② 在玻尔的指导下运用对应方法研究谱线强度及类氢原子光谱在电场中的偏振,接着他又和 R. Ladenberg^③ 一起从 P. Drude 的经典光散射理论直捷地推出了用于原子过程的公式。在对应观念的指引下,Kramers 引进了一种“改写”,^④改写以后的结果与实验显出良好的符合。稍后 A. Sommerfeld, Heurliger 又运用同一方法处理了多电子原子和分子光谱。恰如 Van der Waerden^⑤ 后来所说,1919—25 年间量子论的发展,就是在对应原理指导下的“系统猜测”。玻尔对于对应原理的第一次正面阐述,即在这一时期。

四、“光谱量子论的一般原理”

1920 年 4 月 27 日,玻尔^⑥在柏林德国物理学会会上作《论元素的线光谱》的讲演。这是玻尔第一次使用“对应”这个术语。在论述光谱量子论的一般原理的第 2 章中,玻尔专题讨论了对应原理。

问题的出发点仍是最初的频率对应。玻尔首先提到这样一个事实:在定态差别非常小的区域中,通常理论和量子论所引导的频率结果“完全一致”,虽然机制是完全不同的。“这两种方法所得出的频率之间的对应”,玻尔由此断言,“必有一更深刻的意义。而我们即可期望,对于强度也存在着这样一种对应。这就是说,在大量子数条件下,某一特定跃迁的有关几率得以通过一简单的方式与相应的运动的谐振分量相联接。”

玻尔认为,这就提示了定态之间跃迁存在的普遍规律。基于这一信念,他进而把在大量子数情形下得到的结论推广到小量子数情形,玻尔

① Sommerfeld, A., *Atomic Structure and Spectral Lines*, (1923), 引语在 p. 583.

② Kramers, H. A., *Intensities of Spectral Lines*, Ph. D. Thesis, *Kgl. Danske Vid. Selsk. 8e raekke VI*, 3 (1919) 327

③ Ladenburg, R., *Z. Phys.* 4 (1921) 451.

④ Kramers, H. A., *Nature* 133 (1924) 693.

⑤ Van der Waerden, *Introduction to the Sources of Quantum Mechanics*, (1967), p. 8.

⑥ Bohr, N., *Z. Phys.* 2 (1920) 423

称这种推广是一种“假定”。他预言这种预期中的联系在形式上可能是“非常复杂的”。他非常晦涩地用例子谈论了这一点。他说,从第4到第2定态的跃迁所对应的绿线 H_{β} ,“可以在某种意义上”被认为是比红线 H_{α} ,“高八度的一个音阶”,因为 H_{α} 所对应的恰是第3到第2定态的跃迁。但是,即便如此, H_{α} 的强度也不恰好为 H_{β} 的一倍。玻尔认为,从机制上说,这可能要诉诸原子的一种谐振动。

玻尔的这次讲演引起了大部分第一流物理学家的极大兴趣。A. Einstein, M. 普朗克和 A. Sommerfeld 后来都写信给玻尔对他表示了赞赏^①。1921年4月6日,第三次 Soley 国际物理学讨论会结束时会议主席 H. A. Lorentz 致电玻尔——他因病未能到会,“会议对对应原理深感兴趣并予以活跃的讨论。全体由衷感谢。”这个来自世界物理学精英大会的电报,可以看作是物理学界对这一原理的最终认可。

但是,我们前曾提及的在机制和图景方面与经典理论的尖锐矛盾,运用中的任意性和在整个物理理论中不自然的地位仍使对应原理的物理基础非常可疑。而清除这一可疑基础即建立逻辑上严整的量子力学的努力,却正是在这一可疑的基础上完成的。

简要地说,这种努力是从 Kramers 关于色散的工作开始的。在那里,为照顾到对应原理的要求,经典力学中的微商被任意地换作差商。Born 进一步在一般意义下总结出了这种“Kramers 程序”,并指出其物理意义如下:按对应原理,量子条件 $\nu(n, n') = \frac{1}{h}[E_n - E_{n'}]$ 左边的玻尔频率 $\nu(n, n')$ 应该对应于经典理论中的频率的一个 Fourier 系数,这一频率对于玻尔的 $\nu(n, n')$ 就好像是一个微分系数之于一个差商。Born 认为,新理论的特点即是:物理量不再经典地属于一条轨道,而是依赖于两个物理状态即跃迁的始末态而存在, Born 称这种量为“跃迁量”。于是 Born-Kramers 的工作就显示出一种依稀的希望:新理论或许可以在通

^① Einstein, A., May 2; Planck, M., May 7; Sommerfeld, A., Nov. 11.

过某一程序“一步一步地把经典概念的每一不适当的运用清除掉”^①以后,重新表达出来。这一任务稍后由 23 岁的 W. Heisenberg 一蹴而就地完成了。

五、玻尔对应观念的变化和它所提示的微观物理学的方法论特征

从渊源上说,对应观念发端于对可观察的现象和不可观察的机制之间联系的一种信念。但进一步的发展,却不是对这种联系的具体形式的追寻,而是向宏观理论和微观理论之间的形式对应的不断演化。在这一过程中,光谱学所提供的证据,起着指引方向和判定是非的作用。玻尔对应观念的这一变化过程,向我们提示了微观物理学在方法上的如下特征:

对应观念的起源和玻尔的出发点表明量子理论深刻地植根于经典物理学之中。量子理论不是根本抛弃经典理论的结果,而是对它的一种深化。经典理论是量子理论在量子数趋于极大时的极限,但同时又是构造量子理论的出发点和基础。

对应观念逐步变为理论之间的,形式上的对应,表明关于对应机制的追寻不仅是无希望的而且是无意义的。事实上,对应原理所牵涉的机制或关于它的物理图景至今仍晦暗不明。这种不问机制的“描述性”特征,玻尔稍后以个体性这样一个概念进一步概括,这一概念要求放弃对过程的连续追寻而仅诉诸一单元事件体的系列。

对应原理的真实性从来也没有形式地得到过证明。在量子力学的逻辑框架中,它仍旧不过是一种信念。但是,对它说来,最有力的支持是由它所引导的结果迄今为止总是对的。对应原理的真理性必须从而且只能从整个量子理论,从这种认识在实践中的成功,亦即从认识的实践性加以理解。

^① 玻尔语。见《原子物理学和人类知识论文续编》,郁韬译,引语在第 90 页。

研究对象越来越远离我们的感官所及,获取信息的手段日益间接,因此,这些信息的意义不再是不言而喻的了。经验性的直观渐次丧失,使得方法论逐渐具有决定研究工作命运的意义。对应原理产生于量子理论的建立过程中,从方法论的角度来看,有其深刻的必然原因。

对应原理的形成过程,正是物理学从旧量子论走向量子力学的过程,这是一个审慎的筛选、扬弃、改造和创新的过程。对应原理不仅给出了方向,而且给出了方法。一旦对应观念达到完善,量子理论也作为一种可以与经典理论相对应而存在的完整的理论出现了。在这一意义上,对应原理是弃旧图新的方法论规范,它所要求的量子理论和经典理论之间的、形式上的协调或结构上的连续,深刻地提出了量子理论在整个物理理论中的地位:它必须通过经典物理学,以此为出发点和依托,才能最后完成。

原载《华东师范大学学报》1982年第3期

为寻求真理所付的代价

——玻尔与爱因斯坦关于量子力学的争论

诺贝尔奖金获得者、苏联物理学家朗道(L. D. Landau)认为,物理学家必须“头脑敏锐、基础深广”。而在本世纪的物理学家中真正够得上这个标准的,只有爱因斯坦和玻尔两人。的确,他们对于现代物理学的贡献,称得上是开创性的、奠基性的和指导性的,他们的影响所及,超越了与他们同时代的物理学家。

但是,对于现代物理学最重要的基础之一的量子力学,他们却持完全不同的见解。由之导致的论战,断续进行了四十年之久,吸引了无数人的注意。这一论战所以为人瞩目,除了论战双方的代表人物是像玻尔和爱因斯坦这样的领一代风气的大师之外,还因为论战的内容涉及关于量子力学的基本结构、认识方式和物理图景等根本问题的评价,更因为论战在本质上牵涉关于现代物理学之所以不同于经典物理学的认识论上的根本变革。

一、本世纪最伟大的两位物理学家

对量子力学理解上的分歧深刻地植根于玻尔和爱因斯坦的物理思想,而他们的物理思想又是与各自科学研究的经历和所处的社会环境相联系的。

阿尔伯特·爱因斯坦(Albert Einstein)是当代最伟大的物理学家,他几乎一人独立地创建了相对论,对量子力学的基本概念亦多有建树;前者萌发于对经典电动力学的逻辑分析和对若干基本概念的深入研究,后者似乎更多来自他特有的天才直觉。爱因斯坦一生坚信理论的严谨和完美,追求理性的和谐、统一和简洁。

尼耳斯·玻尔(Niels Bohr),1885年10月7日生于哥本哈根。他的父亲克里斯琴·玻尔(Christian Bohr)是一位有声望的生理学教授,对自然哲学也有深入的研究和广泛的兴趣。以他为主的科学沙龙,每星期五晚饭后举行。玻尔兄弟总是被要求作为不准发言的旁听者参加,玻尔从中获得的不仅是关于19世纪经典科学整体的概貌,一种综观全局的见解,而且还有以丹麦哲学家基尔科嘉德(S. A. Kierkegaard)的学说为代表的一种变了形的矛盾学说,这对他日后的工作和思想产生了久远的影响。

1910年,玻尔以电子在金属中的运动为题的研究争取学位。正是在这一项工作中,他发现磁学性质不可能逻辑地从经典理论导出。他在论文的末尾写道:看来以电子论的现阶段发展去解释物体的磁学性质,似乎是不可能的。

在1913年初关于原子模型的研究工作中,玻尔摒弃经典概念,引入非决定性物理描述。一方面,他关于电子定态和跃迁的理论,令人信服地解决了原子光谱的频率、原子的稳定性和散射等问题;另一方面,他的理论不能回答“为什么”,而只谈论“怎么样”。换言之,物理理论第一次表现为描述性的,而以往的经典物理总以解释自然现象的“为什么”为自己的终极目标。这种以描述为目的的非决定性理论,构成了现代关于原子过程认识的一个本质特征。这一特征遭到了爱因斯坦的激烈反对。但是,有趣的是,通往这一种新的理论模式的下一步,并且是极端重要的一步,客观上恰恰是爱因斯坦本人迈出的。

二、对经典物理学信条的坚持与放弃

玻尔模型在谱线频率上取得了辉煌的成功,但在谱线强度上遭遇严

重困难。1916年,在关于玻尔模型跃迁理论的研究中,爱因斯坦取得了重大的突破。

爱因斯坦从整体上分析了跃迁的过程。他把跃迁看作为始末两态的一种联系,引进了具有几率意义的跃迁系数 A_m^n 及 B_m^n , 分别描述“非外部原因引起的跃迁”和外部原因引起的“受激跃迁”。利用跃迁过程的热力学平衡,从理论上导出了普朗克早些时候提出的黑体辐射定律和玻尔的量子化条件。这两者原先在原子理论中所处的逻辑上的不协调的地位曾使物理学家们深感困扰。

就理论的发展而言,爱因斯坦所引进的“非外部原因引起的跃迁”,启迪了玻尔日后提出关于描述的“个体性”概念;而跃迁系数 A_m^n 、 B_m^n 的几率意义,则被玻恩(Max Born)引为他的几率诠释的渊源。但对爱因斯坦来讲,事情以后的发展与其说是他天才思想的传播,倒不如说是对他初衷的一种误解。事实上,爱因斯坦早已明确表示,他所建议的统计性相当于一种像放射性衰变那样的规律,这种规律尚需引进一个因果性变量才能最后完成。几率概念的援用,恰恰表示了这种处理方式是一种权宜之计,是理论的一个“弱点”。为此,爱因斯坦特别称他的理论为“理论的现阶段”。

1917年11月,玻尔在援引爱因斯坦上述工作时,把后者加上了种种保留的“非外部原因引起的跃迁”称为“自发跃迁”,并在“自发”两字上加了重点。这一改动是意味深长的。

爱因斯坦所作的保留,在于他坚信原子过程可以被如同经典动力学过程一样地描写,也就是说,能够给出直接的原因和连续的机制,原子现象亦如同经典现象一样能被无限精细地划分。因为从经典力学来看,原子中电子的跃迁应该能从运动学和动力学两方面加以描述。但是,玻尔理论既不能从运动学角度回答电子在跃迁时怎样从一个定态跑到了另一个定态,也不能从动力学角度回答电子怎样在一个新的能级上重新变成轨道电子。用玻尔的导师卢瑟福(E. Rutherford)的话说,玻尔必须要求电子“知道”它自己应该在什么地方停下来。这些困难是玻尔的原子

模型所遇到的主要困难,他对此考虑很久,最后发现在经典物理范畴内是无法解决的。出人意料的是,对解决这一困难的戏剧性转折竟来自他的论战对手爱因斯坦。

被这个问题困扰了多年的玻尔在爱因斯坦那儿看到的,是一种不能追寻机制的跃迁,是一种只能作为一个事件、一个整体来认识的过程。对于我们,只有始末两态才有意义。可以认为,他后来关于原子过程在认识上不能再划分的“个体性”思想即由此发端。基于这一认识,玻尔将爱因斯坦原先提出的“非外部原因引起的跃迁”(实际上他认为是由内部原因引起的),改为没有任何原因引起的“自发跃迁”。

爱因斯坦很快感到,玻尔的解释隐含着对经典物理学某些信条的放弃。这些信条认定,物理学的目的在于追寻现象的直接原因。这种原因一旦被找到,被重复,现象即一无例外地以决定论方式精确地再现。而玻尔则认为,这一理想并不能总被满足。由于观察操作引起的扰动不能任意小,我们只能谈论一种“单元事件体”,例如,电子从激发态到基态的某一次跃迁,比这更细微的过程我们无法认识。原因在于,如要认识比一次电子跃迁更细微的过程,我们就要把过大的能量注入原子,这将使电子状态破坏无遗。

这种与观察操作相联系的认识方式,是经典物理学理论前所未闻的。如果事情确是如此的话,则经典物理学所信奉的、不扰动对象的、“纯客观的”观察和认识方式将因此再也不能维系。爱因斯坦与玻尔之间的分歧如此深刻,虽然他们当时可能并未认识到,但以后断续进行了四十年的论战却从一开始就是在这一意义上展开的。

三、认识的互补性

1923年4月23日,康普顿(A. H. Compton)发表了他关于电子-光子散射引起光波长变化的实验结果和理论解释。光的波粒二象性以前所未有的尖锐程度呈现在物理学家面前。对于这种从经典观念看来不可思议的两难推论的研究,直接地促进了非决定论物理思想的发展。

1924年1月,玻尔和克莱默斯(H. Kramers)、史莱脱(J. Slater)假设,辐射是连续的作用,而跃迁仅随机地发生,正如康普顿在实验中观察到的那样。这一努力固然保全了在单一图景中描述辐射-原子相互作用的可能性,但为此付出的代价却是沉重的:必须放弃能量-动量在严格的动力学意义下守恒。这一尝试,一方面保留了描述的经典时空框架,另一方面又引进了以几率为权重的统计平均值来构造可观察量的概念,从而可以被视为是一次承先启后的努力。

爱因斯坦尖锐地反对这一见解,他认为放弃严格的因果性(即为电子在反冲方向和时间上留下非决定性的尾巴)是不能容忍的。如果只有这一条路可走,那么他宁可到赌场里去当一名雇员。幸运的是,康普顿所提出的粒子图景,不久即被反冲电子-光子对在时间上的吻合和在方向上的严格因果决定的单一性所证实。玻尔等人力图回避二象性的努力失败了,但几率方法却由此渗透到量子物理学之中。

1926年,玻恩在能量甚高的散射实验中发展了一套近似方法。在与经典散射处理的类比中玻恩发觉,薛定谔早先在与经典波动类比中引进的表征波动的一个神秘物理量 $|\psi|^2$,常常表现出一种与经典微分散射截面对应的性质。因此,玻恩把 $|\psi|^2$ 视作一种几率的度量。由此发展起来的对量子力学体系的一种几率诠释,二十六年后使他获得了诺贝尔物理学奖。

玻尔作了更深入的考察。他坚持寻求海森堡(W. Heisenberg)获得的测不准关系的物理基础。从波粒二象性概念出发,利用 $E = h\nu$, $p = hk$ 和相对论的有关公式,玻尔指出,波的相速度和群速度在一般情况下并不相等,如果结合德布罗意(L. de Broglie)关于群速度在数值上等于粒子速度的观点来考虑,可以看出,波与粒子的概念并不总是能处处配合的。玻尔指出,能把这两个概念统一起来的条件,正是海森堡的测不准关系式,它提示了经典力学的适用范围。

可以精致地写为时空矢量和能量-动量矢量的最大精确度之间的这一反比关系是耐人寻味的,这一情况可以看作是时空描述和因果要求之

间的一种简单化的符号表示。要把粒子和波统一起来的要求,正是这种反比形式的约束物理基础。描述于是呈现出一种互补的特征,即只有综合实验所提供的关于波和粒子的、相互排斥的全部资料,才能对物理现象进行详尽无遗的描述。

玻尔认为,波粒两难推论提示了用经典概念描述原子过程时所遇到的一种深刻的困难。其实质是观察操作引起的扰动既不能简单地忽略,又不能恰当地补偿。按这一分析,哥本哈根学派认为,量子物理学的认识模式不仅可以是,而且应该是统计性的。这是非决定论物理思想的物理渊源。

这一见解的第一次正式表述是在1927年9月16日的科摩国际物理学会议上。为纪念伟大的物理学家伏打(Volta)逝世而召开的这次会议,拥有最杰出的参加者,而这些参加者对玻尔的见解反应是多种多样的:德布罗意、冯·劳厄(von Laue)、普朗克这些后来的反对者当时并没有表示异议;年轻一代的“学生们”克莱默斯、海森堡、费米(E. Fermi)、泡利(W. Pauli)以及玻恩则热烈地表示了赞同;还有一些后来的支持者如罗森费尔德(L. Rosenfeld)一下子不能理解,他说,我看不见,感觉不出这儿有什么深刻的东西。

四、量子力学理论是自治的

一个月以后,第五次索尔维国际物理学讨论会在布鲁塞尔召开。这是一次真正的物理学精英大会,它由比利时著名化学家索尔维(Solvey)赞助,由电子理论的提出者、德高望重的荷兰物理学家洛伦兹(H. A. Lorentz)主持。科摩会议的大部分参加者出席了这次会议,此外,听众席上引人注目地增加了爱因斯坦、埃伦费斯特(P. Ehrenfest)和薛定谔。

10月24日星期一正式开会。会议议程如下:布喇格报告了X射线反射的实验;康普顿作关于电磁辐射的理论和实验的偏差的报告;这两个实验报告后是德布罗意关于向导波理论的讲演,这一理论是作者关于物质波思想的进一步发展;薛定谔随后发展了一套真实空间中的波动理

论,这种空间是 $(3N+1)$ 维的,这一工作是他早些时候波动力学的继续。最后,玻恩和海森堡作了关于他们创立的矩阵力学的报告,他们的报告以这样论战式的言词结束:

“我们认为,量子力学是一种完备的理论,其数学物理基础不容作进一步的修改。”

在他们的报告结束后,玻尔应洛伦兹的邀请发言,他基本上重复了他的科摩演说。这是爱因斯坦第一次听见量子力学的互补诠释,但在会议上,他未对此作进一步的评论。

爱因斯坦在会上的发言,是他第一次在公开场合下对量子力学的发展表示不满。但攻击的主要目标,不是哥本哈根学派的发言,而是薛定谔的高维空间中真实的物理波。这一对纯波动解释的攻击是有力的。爱因斯坦接着宣称德布罗意的方向是“对的”,并说这是他唯一能赞同的量子理论形式。尽管没有在会上,但是在会前他仍然对玻恩-海森堡的诠释作了尖锐的批评。

1927年4月,玻尔应海森堡的要求把后者关于测不准关系的论述寄给爱因斯坦,并附言称由于测不准关系的限制,相互排斥的概念即不再同时显现,能量守恒定律与光的波动理论则有可能协调一致了。

爱因斯坦的反应如下:他设想了一个带有小孔的屏,孔上有活门(图1)。由经典力学关于两体问题的能量-动量守恒定律,可以算出活门和穿过此孔射向屏右边的粒子之间的动量转移,进而可能得到平行于屏的动量分量的精确值;而粒子的位置亦可由孔径任意精确地确定。爱因斯坦认为测不准关系可以由此而否定。

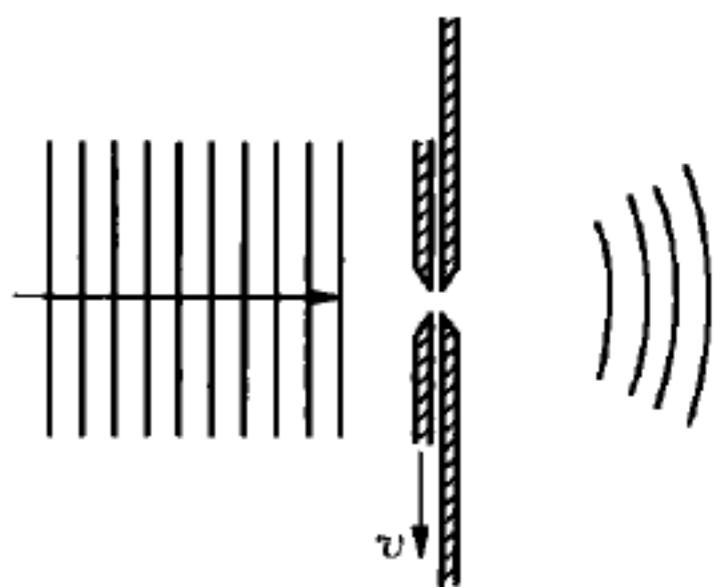


图 1

玻尔提出了如下反驳。考察屏右边的球面波列,其角孔径 $\theta = 1/k\Delta x$, k 是波数。由 $p = \hbar k$ 知 $\theta_p = \hbar/\Delta x$,而 θ_p 正构成了动量不准量的一种度量。对孔径的进一步考察可以自然地给出测不准关系式。

这使得爱因斯坦承认,在一次测量中同时确定一对共轭量是不可能的。他于是转而设计了一种分别测定两个量的实验:在图2中, S_p 是弹

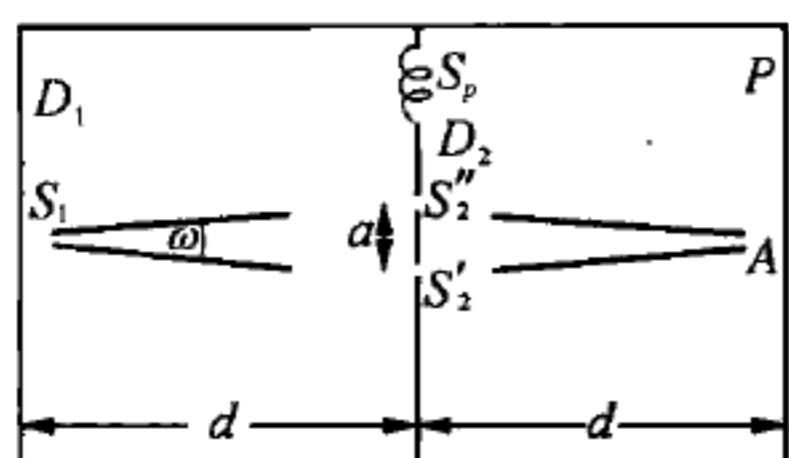


图2

簧,而处于屏 D_1 和 P 当中的屏 D_2 上开有相距 a 的两条窄缝 S'_2 和 S''_2 , $a \ll d$, d 是 D_1 到 D_2 的距离。入射粒子流非常微弱,以致于可以认为某一时刻只有一个粒子穿过实验装置。爱

因斯坦认为通过测量 D_2 所获得的动量,粒子的坐标和动量可以在超出测不准关系范围的精度上被测定,因为 D_2 所获得的动量依赖于粒子是穿过 S'_2 呢还是 S''_2 。

玻尔指出,这一实验仍包含有测不准关系所提示的那种不确定性。他认为,粒子的径迹和衍射花样是不能同时应用的相互排斥的概念,而上述实验恰恰提供了一个关于二象性互斥描述和互补概念运用的典型范例。

量子力学的哥本哈根解释具有两个认识论方面的特色,其一是玻尔在自发跃迁理论中最初提出的,以后又由玻恩、海森堡发展了的关于几率概念对于单元过程的应用;其二是海森堡最初提出的,以后又被玻尔解释为保证整个理论自洽的、以测不准关系为形式表现出来的对观察的限制。这两大特色都植根于玻尔的互补原理。如果说爱因斯坦在第五次索尔维会议上的主要攻击目标是几率对于单元过程的应用,那么其后他的努力更多地集中在证明有超出测不准关系限制的测量的存在。

著名的光子箱,是爱因斯坦在第六次索尔维会议上提出的一个理想实验。如图3所示,一个静止的悬在引力场 G 中的、含有某种计时机构 C 的箱子,其壁上有一个为快门所蔽的孔,可在任意精密地指定的时刻打开。于是,快门、计时联动装置使我们能任意精确地确定某一从箱内通过快门逃逸出来的辐射的作用时间 Δt ,而由逃

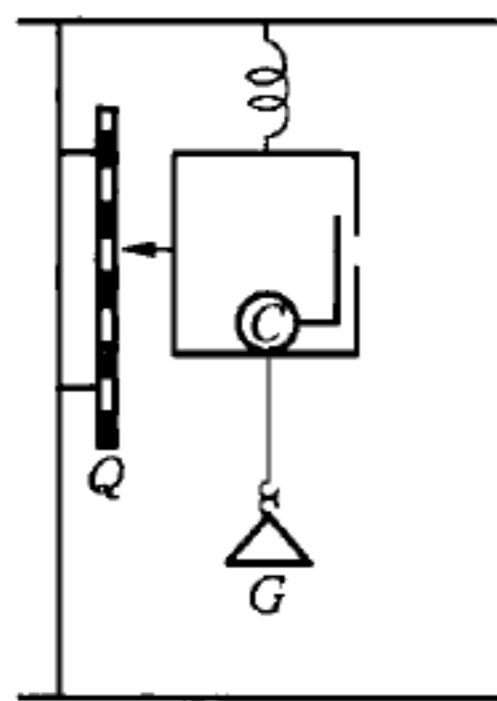


图3

逸事件前后箱子的质量差 Δm (这可由引力场中标尺 Q 的读数差 Δq 标记), 通过 $\Delta E = \Delta mc^2$, 求得任意精确的辐射能量。爱因斯坦力图说明, 这样就打破了由测不准关系 $\Delta E \Delta t = h$ 所表征的限制。

这是一次严峻的挑战。玻尔经过了一个不眠之夜的紧张工作以后, 第二天清晨在会上完整地给出了反驳, 胜利地捍卫了量子力学的逻辑一致性。

玻尔指出, Δq 和光子箱的动量增量 Δp 是由测不准关系连接的, 而 Δp “显然又小于引力场在称量过程的整段时间中所能给予一个质量为 Δm 的物体的总冲量”, 即

$$\Delta p \approx \frac{h}{\Delta q} < T \cdot g \cdot \Delta m,$$

g 是引力恒量。按广义相对论, 沿引力方向移动的时钟将产生时间改变量 ΔT , 且

$$\Delta T = \frac{1}{c^2} \cdot g \Delta q \cdot T,$$

于是 $\Delta T > \frac{h}{c^2 \Delta m}$ 。留意分母就是相对论能量, 即有

$$\Delta T \cdot \Delta E > h。$$

爱因斯坦被击败了。——有什么东西比他自己的红移公式更令人信服呢? 第六次索尔维会议因此成为一个转折点: 在此以前, 爱因斯坦的异议主要针对量子力学的自洽性, 换言之, 他力图指出量子力学在逻辑上的错误, 并由此认为量子力学“还不是真实的东西”; 在听了量子力学的创立者们的解释以后, 尤其是在玻尔正面打消了他对量子力学的怀疑以后, 爱因斯坦改变了他的想法, 认为量子力学是一种正确的统计理论, 而他的异议也随之转移到理论的完备性问题上了。

五、EPR 反例

1931年2月26日, 爱因斯坦等三人合作的《量子力学中过去和未来

的知识》发表了。从爱因斯坦整个观念的发展来看,这篇文章是稍后我们将要介绍的“EPR 反例”的先声,虽然其本身不构成针对量子力学的新的异议。从逻辑上说,它是由测不准关系式推出的另一物理结论,即量子力学也不能提供过去的确定知识。从内容上说,作者们所举的理想实验,虽然还是与光子箱一样的快门-辐射系统,但已明显地引进了两股辐射以及它们的相互联系。我们将看到,这两个辐射系统及其相互作用,正是 EPR 反例的一个特色。

在图 4 中,由箱 B 中逃逸出的辐射经过由快门 S 控制的孔,分两股经 SRO 和 SO 到达观察者 O,这儿 R 是一个理想的椭球面。观察者可能同时记录第一个粒子到达的时刻和动量,由已知的距离 SO 即可求得快门 S 开启的时刻。利用在光子箱例子中采用过的称量方法,可知逃逸事件引起的能量差;由第一个粒子的动量,可得第二个粒子的能量和速度。这样,在第一个粒子已经到达 O 而第二个粒子尚未到达时,即有可能同时确定第二个粒子到达的时刻和能量:

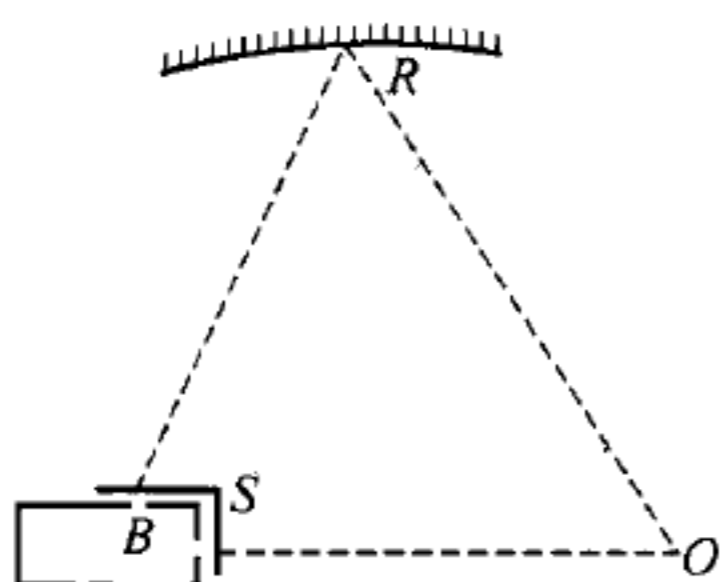


图 4

第二个粒子到达的时刻 = 快门打开的时刻 + 路程 SRO 所耗费的时间 = 快门打开的时刻 + $\frac{\text{距离 SRO}}{\text{第二个粒子的速度}}$,
第二个粒子的能量 = 总能量 - 第一个粒子的能量。

这显然与测不准关系相矛盾。而作者们认为,这一表观矛盾是由任意地假定第一个粒子的动量和到达时刻所引起的,换言之,第一个粒子沿路径 SO 速度发生变化的位置一定不能被任意精确地测定。

按爱因斯坦自己的说法,通往 EPR

的下一步考虑如图 5 所示。一端附有反射镜的水平滑道 K 上有包含计时机构 S 的箱子 B。观察者在 B,并拥有适当的仪器。K 被取为参照系。现在打开快门释放出一向 E 运动的光子,

按爱因斯坦自己的说法,通往 EPR 的下一步考虑如图 5 所示。一端附有反射镜的水平滑道 K 上有包含计时机构 S 的箱子 B。观察者在 B,并拥有适当的仪器。K 被取为参照系。现在打开快门释放出一向 E 运动的光子,

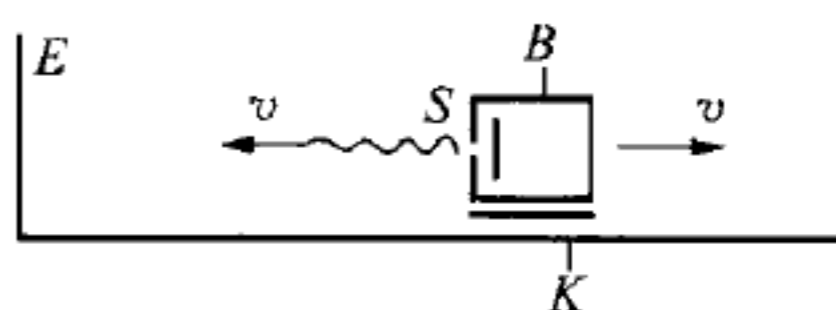


图 5

现在打开快门释放出一向 E 运动的光子,

于是他或者可以立即测定 B 的位置从而推断光子到达 E 的时刻；或者可以测定 B 对于 K 的动量，并由此推出这一光子到达 E 时的能量。

这一反例的要点在于，既然动量、位置或能量、时刻同是一个光子的属性，那么它们就不应当依赖于观察者自由意志的选择而存在，因为光子作为一个物理实在，其属性绝不能受远在 EB 之外的观察者影响。

在本例中引进的“物理实在的属性”这一概念，不久就在 EPR 反例中得到进一步的发挥。我们还可以看出，论战的方向也已经明显地由构造一种能超出测不准关系限制的测量，转为关于物理实在的一种要求是否能被满足这样一个问题。我们将看到，EPR 反例正是这一观点的细致展开。

爱因斯坦、玻多尔斯基(B. Podolsky)和罗申(N. Rosen)的文章《能认为量子力学对物理实在的描述是完备的吗?》于 1935 年 3 月 25 日为《物理评论》收悉，文中提出了以他们三人姓名头一个字母命名的 EPR 反例。文章在逻辑结构上是无懈可击的，它首先提出了理论的完备性和实在性的定义，并在第 I 部分中对量子力学理论建立了如下的非此即彼的抉择，即理论如果是完备的，则不可对易算子所表征的物理量不同时为实在；或者相反，如果理论是不完备的，则物理量同时为实在。这一逻辑结论可形象地列于下表的第 I 栏中：

文章的部分	完备性	实在性	逻辑关系	
I	+	-	或(二者必居其一)	和
	-	+		
II	+	+		

其次，在文章的第 II 部分中，作者们证明，如果波函数所提供的描述是完备的，那么所涉及的不可对易量必定是实在的，这一结论被列于上表的第 II 栏中。根据作者所建立的非此即彼的选择关系，易见唯一的结论是波函数所提供的描述为不完备的。

按照作者们的定义,理论的完备性是指物理实在的每一元素在其中都有自己的对应;而所谓“物理实在的元素”,作者们仅充分而非必要地要求其值可以在无干扰的情况下被几率为 1 地测定;这儿的测定是指由实验或度量的方式获得。作者们力图用“排除了一切干扰”的可能性,使得上述三个逻辑上相互关联的定义所牵涉的实在性要求,尽可能地独立于人的活动之外而带有更多的本体论意味,但另一方面,又必须最后诉诸“测定”,从而不能完全把认识条件排除在外,玻尔三个月以后的反击,恰由此突破。

上表中第 I 栏的结论,由作者们的上述定义和量子力学非常一般化的理论即可获得,而第 II 栏的结论则由下面的相干系统的分析获得。

设想体系 I 和 II,它们①在时间 $[0, T]$ 中有相互作用,在 $[T, \infty]$ 中无作用,体系 I + II 的波函数是 $\Psi(x_1, x_2)$;②对不可对易的算子 A 和 B,体系 I 有本征方程 $Au_n(x_1) = a_n u_n(x_1)$, $Bv_s(x_1) = b_s v_s(x_1)$ 。把 Ψ 在 u_n 和 v_n 上展开可得

$$\Psi(x_1, x_2) = \sum_{n=1}^{\infty} \psi_n(x_2) u_n(x_1),$$

$$\Psi(x_1, x_2) = \sum_{s=1}^{\infty} \phi_s(x_2) v_s(x_2)。$$

如果测量 A 得 a_k ,测量 B 得 b_r ,则由上式,体系 II 即可简单地用 ψ_k 和 ϕ_r 描写,一般地 $\psi_k \neq \phi_r$ 。作者接着构造了一个体系

$$\Psi(x_1, x_2) = \int_{-\infty}^{\infty} \exp\left[\frac{i}{h}(x_1 - x_2 + x_0)p\right] dp,$$

选取 A 为动量,则

$$n = \exp\left(\frac{i}{h} p x_1\right),$$

而

$$\psi = \exp\left[-\frac{i}{h}(x_2 - x_0)\right] p,$$

这恰是动量算子的本征函数,相应的本征值是一 p ;选 B 为坐标,则

$$v = \delta(x_1 - x),$$

而

$$\phi = h\delta(x - x_2 + x_0)$$

恰是坐标算子的本征值为 $x + x_0$ 的本征函数。以上叙述中的 x_0 是一个常参量。

这样,作者就客观上构造了他们所要求的所谓“排除了干扰的测量”。即对于体系 II 的 P 和 Q 两个力学量的值,可以在不干扰体系的前提下通过对体系 I 的 A 和 B 的测量而几率为 1 地获得。按前述实在性判据, P 和 Q 对于 ψ 和 ϕ 分别是实在的。但一如前已明白表示的, ψ 和 ϕ 不过是同一体系 I + II 在 $U(u_n)$ 或 $V(v_n)$ 表象中的波函数。这就证明了如果 Ψ 构成完备描述,则物理量 P 和 Q 必须都是实在的。这样,作者们不仅完成了逻辑上的诘难,而且还具体地构造了一个满足这种要求的体系。这就是通常说的“EPR 反例”。

爱因斯坦等人的文章发表四十五天以后,玻尔给出了反驳提要。1935 年 10 月 15 日,玻尔以相同的标题在同一杂志上公开回答了上述诘难。他的反驳要点不是在于发现 EPR 反例自身的逻辑矛盾或其他失误,而是尽可能阐明 EPR 所要求的,“排除一切干扰”的条件对于原子过程是不现实的。既然 EPR 的作者在“实在性”的定义中谈论了测量,那么就不应该把测量操作与被测对象隔裂开来讨论,而必须把现象同获取现象的条件以及器械包括在内进行描述,这正是玻尔所倡导的互补诠释的本质特征。

玻尔首先在他的文章的第一条注释中用更为一般的方式构造了 EPR 的两粒子体系,他以两对正则共轭量 (q_1, p_1) 、 (q_2, p_2) 按变换

$$\begin{pmatrix} \cos \theta & -\sin \theta \\ \sin \theta & \cos \theta \end{pmatrix}$$

构造两对新量 (Q_1, P_1) 、 (Q_2, P_2) , $[Q_1, P_1] = [Q_2, P_2] = i\hbar$, 其他组合则是可对易的。如果 $\theta = -\pi/4$, $P_2 = 0$, $Q_1 = -x_0/\sqrt{2}$, 即有 $q_2 - q_1 = x_0$, $p_1 = -p_2$, 这恰是 EPR 所设想的情形。

玻尔接着列举了一个粒子穿过一窄缝的实验,并指出,EPR 诘难中

对于 p_1 或 q_1 的测量,以及由此而来的对 p_2 和 q_2 计算所显示的在选择上的任意性,取决于实验装置的设置。他强调说,在所论现象中,我们所讨论的并不是由以牺牲其他元素为代价而任意挑选出来的元素为特征的那种不完备描述,而是来自实验装置和进程上的一种合理的差异。现存的任意性或选择观察的自由意志,仅指我们根据不同的实验思想选用不同的特征实验装置。各个装置反映了物理现象不同的侧面,并且互补地完成了对现象的描述。这儿多次提及的“现象”,玻尔后来说明,是指特定环境下得到的观察结果,这种环境包括整个实验装置的说明在内。从互补诠释的观点来看,表观矛盾事实上只表示习见的自然哲学观点对于合理地说明我们所关心的量子力学中的物理现象说来是不充分的。玻尔认为,“排除一切干扰”的前提,对实验的要求是含糊的。

玻尔最后通过对经典的和量子的观察过程的分析,正面陈述了他对原子过程在观察上的特点的认识,即观察仪器与客体之间的不可控制的相互作用,由此而来的原子过程在认识上的个体性,以及以此为基础的互补诠释。

在玻尔与爱因斯坦关于 EPR 反例的争论中,我们可以看出他们两人在物理思想以及考虑问题的方式上的巨大差异。玻尔所强调的,是物理实在作为观察对象的特征,换言之,是一种认识论意义上的实在;而爱因斯坦则更多地要求一种理想的本体论特征,即更多地追求一种脱离人的认识而存在的、自在的对象和一种不引起后果的、纯客观的观察。这种纯客观的要求未能本质地反映量子力学的认识特色,这种认识强调我们所认识的正是被我们所扰动了的客体,我们所拥有的手段正是变革。这是一种本质上必须诉诸实践的认识特色。

六、寻求真理与占有真理

第二次世界大战打断了上述讨论,爱因斯坦和玻尔直到 1949 年才有机会再次重申他们的观点。但这些纪念爱因斯坦七十寿辰的文章,更多地像是一种“各说各的”式的历史追述,而不是像以前那样的“针锋相

对”式的论战了。关于论战,爱因斯坦说,人们只会同兄弟发生真正的争吵,至于别人那就太疏远了。

爱因斯坦提到由他的“非常尊敬的同事”建立起来的量子力学时说:我完全承认,统计性量子理论为理论物理学带来了极其重大的进展,这个理论也是迄今为止唯一能把二象性以逻辑上令人满意的方式统一起来的理论;而且,在测不准关系所限制的范围内,它是完备的。在谈到EPR反例时,他说玻尔对这个问题的评价最近于公正。但他重申量子力学不是最终的理论,关于单个体系的完备描述终究应当是可能的。

据玻尔最亲密的助手罗森费尔德回忆,在每一重大问题上,玻尔习惯上总是先考虑爱因斯坦是怎么想的,他几乎“每天”检查一遍他的推理。1962年11月18日玻尔逝世时,人们在他工作室的黑板上发现了两张草图,这是玻尔11月17日晚间所作的最后一遍检查:一是他1920年第一次会见爱因斯坦时讨论的黎曼(B. Riemann)平面比喻;一是爱因斯坦光子箱,三十二年前,他曾为此度过了一个不眠之夜。

这是一场真正的论战,它持续了近四十年,这四十年正是物理学从经典地到非经典地理解现象的转折关头;它涉及量子理论的认识特色,这一理论正是现代物理学众多分支赖以沟通、诸多基本概念由之发育的基础;它发生于本世纪最伟大的两位物理学家之间,这两位伟人六十年来一直影响着物理学的发展。

现在,玻尔和爱因斯坦都已经去世了。他们为这场论战所写的文献也已经变成历史。论战沉寂了。然而,这一切却提示我们:

为寻求真理所付的代价,要比不担风险地占有它高昂得多。

原载《自然杂志》第五卷第三期

计入观察者影响的认识方法

以尼耳斯·玻尔(Niels Bohr, 1885—1962)为首的哥本哈根学派是本世纪自然科学研究中最有影响的学派之一。该学派的认识基础和方法论,涉及几十位非常优秀的物理学家和哲学家的几十年的工作。本文仅限于讨论其中的一个问题的一个方面,即由测不准关系所涉及的观察者地位和现象客观性这一方法论问题。

一、由量子力学引出的争论

创立于20世纪20年代后半期的量子力学,经过五六十年年的发展,已经成为现代物理科学和众多的相关技术分支的基石。现在自然科学的专门化发展是如此惊人,而在很大程度上说来,其中不少彼此貌似无关,各自独具自己的研究对象、方法和成果的分支学科,正是赖于量子力学才得以相互沟通。或者说,量子力学简直成了维系整个物理学科不致分崩离析的一大纽带了。在应用方面,光激光器、原子反应堆、晶体管 and 低温技术的成功,又使量子力学成为现代科学技术发展的不可缺少的理论基础。在取用其公式、计算方法和结果时,人们也未有半点犹豫,因为其计算结果在实践中的有效性本身就是其正确性的明证,这样一来,关于量子力学的讨论,似乎不再会有什么特别的意义。

可是另一方面,关于量子力学的认识方法和认识基础的争论,在量子力学建立以后的半个多世纪中,断断续续地始终没有停止。

这种争论有时是物理学的,有时是哲学和方法论的,而更多的时候是介于这两者之间,或者兼有这两者的观念。因为这两个方面常常如此紧密地交织在一起,以至于我们简直没有办法把它们断然分开。

这种状况在关于测不准关系式的讨论中,得到了最典型的反映。它一方面常被用做量子力学理论结构的基本出发点,另一方面又始终是关于量子力学认识论基础争论的焦点;而在更大程度上,它是作为量子力学的哥本哈根解释的主要支柱之一出现的。对它的研究对于理解哥本哈根学派对量子理论的解释有特别重要的作用,而在这一问题上,众多讨论者的意见也特别分歧。

在史包尔斯基的教科书里,我们读到了这样的论断:“测不准关系的另一种错误解释是非常危险的,因为它直接引导到主观唯心论。这种解释是许多西方物理学家、尤其以现代理论物理学家中所谓‘哥本哈根学派’为代表(玻尔、海森堡,约旦以及其他)所顽固地倡导的,在他们的哲学世界观上,他们是反动的马赫哲学的公开支持者或参与者。”^①

和史包尔斯基写下上面这段判决式的论断几乎同时,尼耳斯·玻尔写道:“正如海森堡所证明的,指示着量子力学中的统计描述和测量上的实际可能性之间的密切关系,这种所谓的测不准关系对于阐明那一佯谬是最为重要的,该佯谬是由于企图参照习见的物理绘景来分析量子效应而引起的。”^②

这种迥异的评论常使人困惑,而持续多年的争论又常使人厌烦。于是在争论的当事人中,两种截然相反的,但结果完全相同的倾向应运而生。

物理学家们在不适当地、有时甚至是错误地使用了大量的哲学术语

① 史包尔斯基:《原子物理学》第1卷,高等教育出版社,1954,434页。

② 玻尔:《原子物理学和人类知识》,商务印书馆,1964,44页。

发表了一大批近乎是自发的哲学理论以后,转向更为专门、更为具体的理论领域,而置整个量子力学的认识论基础和方法于不顾。对于那些主要是应用量子力学的结论,而不是在发展量子力学自身理论的专门家说来,这一态度是无可非议的。但对于那些力图在理论结构上作更深入探讨,把理论物理学视作认识整个我们存在于其间的物质世界的一种手段的人说来,这种单纯的应用态度是断乎不够的。事实上,对于那些不那么哲学化的工作者说来,为了学习和借鉴创立量子力学的大师们的方法和物理思想,了解一些这种基本问题的讨论也是很有意义的。但遗憾的是,上面这种实用主义态度是流行的。卢鹤绂先生在他于1984年出版的关于哥本哈根学派的专著一开头,就引用了欧洲核研究中心(CERN)的姚赫(J. M. Jauch)教授的抱怨:“……处处发现很多学生考过量子力学,并取得优等分数,但对其意义却无真正的理解。且常常是比这还坏。他们不仅仅以鹦鹉学舌般的方式来学习量子力学,而且竟把学习重点只是放在那些特殊的近似性技术。这就导致他们把这些有用的技术当作等同于理论的概念基础。”^①卢先生对此亦“早有同感”。出自姚赫和卢鹤绂这样的物理学家的如此尖锐的警告,当然应当引起我们的重视。

另一方面,哲学家们在欢呼或者批判量子力学的建立以后,即把注意力转向了自己理论的建立而置量子力学的成果或困难于不顾。

三百多年前,弗朗西斯·培根(Francis Bacon, 1561—1626)在讨论方法时,曾举了三个后来变得家喻户晓的比喻:有拘泥于具体事物而忽视整个理论的蚂蚁,有自管自编织体系的蜘蛛,也有博采群芳的蜜蜂。但是要做蜜蜂可不容易,培根说,一是种种“偶像”的干扰;二是探求真理的“表格”常苦于不能尽举有关例证因而流于失败。于是培根提及了“历史”的重要性,并把他论述具体事物的主要著作都冠以“历史”的标题。培根对“历史”一词的用法当然与我们不尽然相同,但这一想法肯定是有启发性的。在密如蛛网的公路系统上开车的时候,有时会一下子搞不清

^① 卢鹤绂,《哥本哈根学派量子论考释》,复旦大学出版社,1984,VI页。

自己的位置,而这种位置对于决定下一步怎么走无疑是决定性的。在这种时候,光有一张地图是不够的。我们必须回顾过去:……三个小时前我们出发于某地,又经过某地、某地;刚才我们看见的最后一个路标指示是某地,距此我们又行驶了15分钟,所以我们现在必然在地图上的这个地方。……既然我们要去那个地方,我们必须这样去——这种充满历史感的判断一般决不会错,只是这种判断好像太平常,所以很少为人留意罢了。另外,现实问题的复杂性也常使应用历史方法变得非常困难。但无论如何,这好像是一个值得一试的方法。

二、测不准关系的经典表述

测不准关系的表述在大多数权威著作中大同小异,下面兹举数例。例如,在提出这一关系后还不到三年,海森堡(Werner Heisenberg, 1901—1976)对测不准关系曾作了如下的解说:“测不准关系所讨论的,是在量子理论中同时测量几个不同量的精确度问题。这一关系对单独测定位置或速度的精确性并无限制,它的作用只表现在:任何一个测定位置的实验,必定会在某种程度上干扰对于速度的认识。”^①

在作上述解说之前,海森堡给出了一个相当长的数学推导,这一推导多次被其他书籍所引用,但其物理意义,引用得更多的是玻尔的解释。对于这一原理本身,玻尔的陈述如下:当一个实验安排或状态能够用位置确定在 δx 范围内的粒子来解释时,同一安排或状态就不能用动量比 $\delta p_x \approx h/\delta x$ 还确定的粒子来解释。

至于狄拉克(Paul Dirac, 1902—1984)的定义是:“我们发现,我们的波包表示一个态,对此态测量 q 时几乎肯定得到结果为在宽度 $\Delta q'$ 的一个区域内的值,而测量 p 时几乎肯定得到结果为在宽度 $\Delta p'$ 的一个区域内的值。……这两个误差的乘积是 $\Delta q' \Delta p' = h$ 。……这个式子被称为海森堡测不准原理。它清楚地表明,当两个不对易的可观察量是正则坐

^① 海森堡:《量子论的物理原理》,科学出版社,1983,16页。

标与正则动量时,对任意的特定态同时给这两个可观察量赋予数值的可能性所受的限制;它提供了明白的例证,说明在量子力学中可观察量如何可能不相容。”^①不爱说话的狄拉克用了这么多话来表述测不准原理,真是我们没有想到的。

苏联物理学家朗道(L. D. Landau, 1908—1968)是企图严格区分“测不准原理”和“测不准关系”的第一个人。在他的著作里,这两个问题,是在分属于两章的两个小节中讨论的,中间相隔 11 小节。作为开宗明义的第 1 章第 1 节里,测不准原理被表述得非常精彩:“如果作为一种测量的结果,电子被赋予确定的坐标,那么它即没有任何意义上的确定的速度。反之,如果电子具有确定的速度,它即在空间中没有确定的位置。因为坐标和速度的同时存在将意味着确定的轨道的存在,而这种轨道,电子是不具有的。……我们或者说,电子的坐标和速度是不同时存在的量。”^②

德布罗意(Louis de Broglie, 1892—1987)在他的《非线性波动力学》中,称测不准关系为几率解释的最重要的原理之一,并从纯粹波的图景作了考察。然后他说:“总括来说,粒子位置越确定,它的运动状态就越不确定,反之亦然。用波列的傅里叶积分表达式作严格分析的话,就可以更确切地表达这种定性的知识。……这就是‘海森堡测不准关系’。它们指出一个坐标的不确定值和与它相对应动量分量的不确定值的乘积的数量级总是 h 。”^③

最后,我们读到,在宣布测不准关系和“反动哲学”之间特别亲密的罪状之前,史包尔斯基对这一关系作了如下的陈述:“由这关系*可知, x 和 p_x 不可能有确定的数值:如果 x 的数值确定了,即如果 $\Delta x = 0$, 那么 $\Delta p_x \rightarrow \infty$, 因而 p_x 没有任何确定的数值,反过来也是一样。……由此可

① 狄拉克,《量子力学原理》,科学出版社,1965,100 页。

② L. D. Landau & E. M. Lifshitz, Shorter Course of Theoretic Physics, vol. 2, p. 8, 1974.

③ 德布罗意,《非线性波动力学》,上海科学技术出版社,1966,31 页。

* 指 $\Delta x \Delta p_x \geq h$ 。

知, Δx 愈小, 即粒子的位置愈准确地被决定, 那么冲量的相应分量的不确定性愈大。”^①

从上述引文不难看出, 各家对测不准关系本身的表述, 并无太大差别。其中突出的一点是, 各家普遍注意到测不准关系是在测量过程中展示出来的。离开了测量过程, 谈论测不准关系是没有意义的。这一点有时未被赋予应有的注意。因为在很多作者看来, 这一点似乎已经是太普通的常识, 以至于不必认真强调了。比如上引德布罗意的陈述, 就没有提及测量, 而只是谈论“粒子的位置越确定”, 其动量就“越不确定”。这容易引起一种误解: 似乎存在脱离观测的不准量。事实上, 德布罗意并没有提示这样的可能性。仅仅在几行以下, 他就列举了他对这个问题的专题论述, 题目是《波动力学中的测量理论》。

因此, 谈论微观客体的某些物理量的“不准量”, 决不意味着这些不准量是脱离了测量而独立存在的, 更不可能提出“电子的自由意志”之类的说法。这一说法最早见于发现了生物进化规律的 C. 达尔文的孙子 C. D. 达尔文的一种半开玩笑的提法, 当时他用这一用语来谈论电子在我们可以控制的范围之内的某些我们不能控制的行为。正如后来玻尔所说, “同一个实验装置可能给出不同的记录, 这种情况有时很形象地被称为这些可能记录之间的‘自然的抉择’。毋庸赘言, 这样一个词句绝不意味着自然的拟人化……。”^②

另一个显著特点是, 测不准关系在上述诸家的陈述中, 都占有基本原理的地位, 即构造理论的出发点的地位。朗道、德布罗意明确称之为基本原理之外, 狄拉克归之为“量子条件”, 而玻尔则称之为“合理的量子力学的基础”。物理学家的这一态度, 在后来的教科书中也得到了充分的反映。朗道的被公认的理论物理学权威教科书《量子力学教程》我们已经在前面讨论过了, 而且下面还要作进一步的讨论。此外, 席夫的《量

① 史包尔斯基,《原子物理学》第 1 卷, 高等教育出版社, 1954, 424 页。

② 玻尔:《原子物理学和人类知识》, 商务印书馆, 1964, 82 页。

子力学》和马兹巴赫尔的《量子力学》，都把测不准原理置于相类似的地位，后者甚至利用了玻尔从测不准原理引申出的、更为哲学化的“并协原理”或“互补原理”，作为整个讨论的起点。在更为抽象的公理化体系中，这种基础地位表现得同样非常明显。哈瑞斯的完全数学化的力学教程中，量子力学被置于两个定义和四个公理之上。在用纯数学语言叙述了这些公理，诸如线性微分算子的不可交换性以后，作者毫不迟疑地引进了这个从“公理三导出的”“非常重要的关系”。周世勋先生编著的《量子力学》曾作为我国最普遍地采用的量子力学教材，在这本书里，周先生没有把测不准关系列在“量子理论基础”之中。在一次私人谈话中，我有机会请教周先生这一安排材料的匠心。周先生说这纯粹是从学生易于接受的教学角度出发的，并不低估这一关系作为认识基础的意义。

我们已经看到，测不准关系实质上是一个关于量子力学中观察和测量的原则关系；我们还看到，这一关系在量子力学的理论结构中占据基石或出发点的地位。量子力学正是在这一点上继承了以往物理学的传统：它的理论以观察事实作为出发点，这一点的重要意义无论怎么估计也不过分。

三、测不准关系的物理基础

作为表达微观客体的观察和测量特性的测不准关系式本身，已如上述，并不面对严重的异议。问题是它的物理意义或更进一步的认识论意义。因为它正处于量子力学理论与这一理论所处理的现象之间的关节点上，后一意义似乎显得特别重要。哥本哈根学派对此作了大量的阐述，其主要的有三种：一是海森堡在提出这一关系的当年作出的一个纯粹从测量的数学分析上的证明；一是朗道后来在写作他的教程时对电子行为的讨论；还有一个是玻尔和海森堡在讨论这一关系时形成的，后来分别为他们两人在科摩和哥伦比亚大学演讲中发挥的理想实验。

海森堡最早的数学式证明见于他的《量子论的物理原理》，后为雅默(M. Jammer)的书引用。这一计算的实质是直接估计测量中的偏差值，

其具体步骤已在上引书中逐式给出。细看他的推导过程,不难发现,他必须明显地利用不对易的算子关系(原书中的 m69 式)和薛定谔方程的推广形式(m44),才能完成证明。所以,从更加根本的意义上说来,海森堡的这一证明,实质上并未证明测不准关系本身,而是证明这一关系与其他两个基本假定(算子的不对易性和薛定谔方程)的相容性。可能由于这一原因,这一论证未被更为广泛地引用。

朗道给出了一个更加物理化的解释。他首先举出了电子衍射的例子。众所周知,电子在衍射时表现出一种波的特性,在衍射孔后的图板上显示出一种干涉花样。实验表明,这种花样是在实际上无穷多个电子的单独作用下累积而成的,这种单独作用本身服从一种几率的规律。这种实验最早由毕伯曼(Bibermann)、苏什金(Suchkine)、法布里堪特(Fabrikant)于1949年完成,霍金斯(E. R. Huggins)的书上给出了一组很有意思的照片,其中第一张是在只有28个电子通过双缝时摄得的。从照片上可清晰看出具有定域性质的电子在与之缔合的几率波的作用下所表现出来的随机特性。

这一实验,以及别的很多实验,以最清楚的方式向我们表明,对于微观客体,经典意义上的轨道,即在四维时空连续区中粒子所描述的轨迹,不再具有任何意义,换言之,在这种情况下,电子的行为不再能由诸如 $F(x, t) = 0$ 的连续曲线所形容。

如果说电子衍射的例子还明显地牵涉测量或操作,这种深刻的本质困难还可以由玻尔原子模型的命运来加以说明。如果我们坚持电子的位置是可以连续追寻的,我们就无法得出后来称之为量子条件的最基本的假设。玻尔所建立并加之于核外电子的两大原则是定态和跃迁。前者要求电子只能处于某些特定的轨道之上,这些轨道通常由“量子数”来作分立的标记。这些轨道和轨道之间的相隔,对电子来说是非常辽阔的空间,但电子只能在这些定常的轨道上作圆周运动。跃迁的工作假定则牵涉电子在态和态之间运动或转换的可能性。依照这一假设,电子可以在态和态之间转移,可以从一个状态“跳”到另一个状态上去,同时辐射

出或吸收入与此两态能量差相当的能量。

现在,如果要坚持电子能够被连续地追寻这一原则,我们立即陷入如下悖论:按定态假定,电子只能在指定的轨道上运行,换言之,电子不能出现在定态之间的空间中的任意点上;另一方面,跃迁又要求这一个电子从一个状态转移到另一个状态,它就必须“经过”这两个状态之间的空间,换言之,它必须出现在被第一个工作假设所禁止的那部份空间范围里。

玻尔清晰地认识到了这一点。他指出,定态概念本身就是同跃迁中进行选择的指示不相容的。他解决这一矛盾的办法是:放弃轨道之类的时空中连续描述的概念,引进“始态”、“末态”和状态之中的“迁移”概念。这些概念稍后以一个更加哲学化的名称被概括为现象的个体性。狄拉克认为,这是整个量子物理学的精髓。

关于在原子模型理论中就已经潜在的这种深刻的、与经典物理学信念相背谬的概念,在原子模型提出伊始时尚未引起严重注视。对于黎德堡(Rydberg)常数的理论计算所获得的成功掩盖了一切,玻尔模型几乎立即就被接受了。

但是,我们怎么理解这种奇特的假定呢?怎么理解和电子缔合在一起的几率波,怎么理解放弃连续追寻电子的轨迹,转而谈论一系列分立的状态序列呢?

物理学没有别的办法了解世界,只有通过实验观察或测量。朗道接着细致地分析了测量过程。

他首先断定,对于微观客体的研究与经典物理学的研究的根本不同是,我们的感官无法直接感受微观过程。的确,谁能感觉到一个电子飞越他眼前的空间?根据这一基本事实,朗道指出,对于电子运动的定量描述的可能性,要求在令人满意的精确度上服从经典力学的物理客体的存在。电子和这一客体的相互作用引起了后者状态的改变,而这一改变为我们的感官所感知。朗道定义说:“在这一联系中的‘经典客体’常被称为仪器,而它与电子的相互作用被理解为测量。”

因为电子与仪器的相互作用的程度本质上依赖于电子的状态和仪器的类型,所以,这种相互作用的结果可以用来定量地表达电子的特性。

但是另一方面,因为测量的本质表现为一种相互作用,测量本身必定影响被测量的电子,而且原则上不能使得这种影响无穷小。这种由于测量引起的固有不确定性,朗道认为,就是测不准关系的物理基础。

玻尔在和海森堡的认真讨论中,发展了一个后来被称为“超显微镜”的理想实验。在这一实验中,朗道所谓的仪器和电子之间的相互作用,或者测量操作和客体之间的相互作用,以更加明确、具体的方式表达出来。

假定我们用一台威力强大的显微镜来观察电子,我们希望这台仪器能帮助我们尽可能精确地确定电子的位置。光学知识告诉我们,电子的位置不准量 Δx 正比于我们所用的照明光的波长而反比于显微镜物镜的孔径。我们必须用某一波长的光来照亮电子,这是不言而喻的。因为如果不是有至少一个光子从电子上反射回来,进入显微镜并进而作用了我们的视网膜,我们的感官就不能向我们提供关于这一电子位置的任何消息。但是康普顿(Arthur Compton, 1892—1962)告诉我们,光子同这个电子的相互作用是不可忽略的:对这个电子而言,它将受到一个数值上等于 $h\nu/c$ 的反冲,这儿 h 是普朗克常数, ν 是相关光线的频率, c 是光速。鉴于我们无法知道这一相互作用的细节,例如我们无法判定光子入射并在电子上反射的角度,我们好像在本质上无法回避下列恶性循环:为提高电子位置的确定程度,我们必须提高照明光线的频率,而这种频率的提高,又大大加剧了光子-电子的相互作用,因为光子的动量是和频率成正比的。这种相互作用的结果,是电子受到剧烈的反冲,因而其动量不准量也不可控制地急剧增大。

基于上述对于量子力学中的观察的比较细致的分析,我们可以作出这样的归纳:(1) 没有“纯的”量子系统;换言之,能为人所感知的量子系统,必然包含某些宏观客体作为人的感官和量子客体的中介,这种宏观客体,朗道称之为“仪器”;(2) 量子力学中的测量是量子客体与上述宏观

客体的相互作用,其作用痕迹同时依赖于量子客体的状态和宏观客体的选择。

于是产生了大量的问题:我们怎么能证明那种被称为“仪器”的东西,忠实地报告了量子过程呢?既然作用结果同仪器的选择有关,我们怎么能够断定这种结果的客观性呢?一句话,我们怎么能够保证,我们是在研究自然界自身而不是我们自己手制的幻象呢?的确,到此为止,没有人向我们保证,我们也没有办法证明上述客观性。我们的感官无法跨越现象而直接感知事物的本质。这种认识量子客体中牵涉的原则困难,有时被玻尔称为“认识论上的新形势”。

四、望远镜涉及的“认识论问题”

上述归纳的第(1)条,牵涉观察中的仪器的使用问题。用仪器延长我们的感官,扩大我们的感知范围,是物理学中的老问题。望远镜是这一类工具中最早出现的一个。让我们来简单地回顾一下望远镜所造成的“认识论上的新形势”,以及这种形势后来的发展。

望远镜的最早的历史,现在似乎已经不可考。在传闻中可能早至1570年以前,但有比较可靠的文字证据的说法,则在1605年前后。据沃尔夫(Abraham Wolf)说,一个叫汉斯·利佩希(Hans Lippershey)的荷兰人“纯属偶然地把这种透镜组合转到对准附近一座教堂的尖顶上的风标,他惊喜地发现这风标被大大地放大了”^①。

然而望远镜只是到了伽利略的手中才真正变成了科学仪器。1609年中,他完成了最初的观察,其主要成果发表在1610年早些时候出版的《星际使者》一书上。在这本书的一开头,伽利略即宣布了他利用望远镜发现月球表面不是如同人们想象的光滑平整,而是“粗糙而起伏不平的……就如同地球一样,到处有巨大的突起,深谷和裂口”。而“最最压倒一切的令人惊讶的发现,是四颗漫游在(水星周围)空间的、以前从未

^① 沃尔夫,《16、17世纪科学技术和哲学史》,商务印书馆,1985,90页。

被了解或观察的小星。就像金星和水星围绕着太阳一样，他们也有自己的中心。这一中心是我们已经知道的、令人注目的大星……。”

所有这一切都是有赖于一种叫做“天镜”^①的东西被了解到的。在伽利略的时代，哥白尼的太阳中心说的意义尚未全被明了，多数天文学家和哲学家尚以为这一学说是一种“方便计算的、数学上的技巧”，而不是一种物理真实，而且大多数非专业的知识阶层中的所谓“有识之士”，更是根据亚里士多德的哲学和他们自己的常识，断然拒绝哥白尼的学说。在这种情况下，有一个叫做伽利略的脾气古怪的教授，用一种叫做“天镜”的性能更加可疑的东西，要同时否定延续了两千年的亚里士多德的权威和每天、每个人都可以自己去体验的日常经验，那怎么能接受，怎么能想象，怎么能容忍呢？撇开那些愚蠢的谩骂和无知的怀疑之外，人们有理由提出这样的问题：我们有什么理由相信这台仪器向我们提供的一切呢？或者，甚至进一步，我们有什么理由相信我们的眼睛呢？

最初的反映可以由伽利略当时给开普勒的一封信里看出：“有些人信了，另一些人持否定态度。……这儿，在帕度亚，有一位领一代风气的哲学教授，我多次诚恳地邀请他用我的镜子看一看月亮和行星，可他固执地拒绝了我。”

除了宗教的原因之外，这恐怕也是因为“不屑一看”。但是另一方面，伽利略也有很有说服力的例子。他对他的内弟曾说起把他的望远镜献给威尼斯地方政府的情景：“……当时有传闻说，近两个月以前有人向毛里斯伯爵献上了一台天镜，利用它，两英里以外的人可以看得清清楚楚，……后来，我做成一台的消息也传到了威尼斯……我被要求表演这一仪器。无数绅士和显贵，尽管年事已高，都不止一次地登上威尼斯最高的观察处去观看海里的海轮和帆船。这些船只离港口非常远，即使是全速驶向港口，也至少要在望远镜观察的两个多小时以后才能到达。”

^① 望远镜的名字是后起的，当时有时叫“天镜”(Skyglass)，有时叫“荷兰镜”。见 E. Rossen, Naming of the Telescope, 1947, New York.

我们可以猜想,望远镜提供的图景,可以简单地由一种“亲眼核对”的方式校验。从那个看教堂风向标的荷兰人,到伽利略描述的威尼斯这些令人尊敬的达官显贵,校验的最好办法就是“亲眼看一看”。而且他们可以做到这一点:派一个人爬到教堂顶上查看风向标的细节,或者等两三个小时去看一看那艘才进港的海船,应该说望远镜提供的图景的真实性是无可怀疑的。

可是且慢。还有别的事不能这么简单地校验。月亮表面的山峰,木星周围的卫星,太阳光轮上的黑子,前者在1969年7月20日之前没有人直接见到过,后两者至今,而且在看得见的将来似乎也很难有什么人有幸用肉眼看一看。对于这些,它们的真实性如何校验呢?

我们或者说,这是不必要的,因为既然望远镜提供的知识的真实性已由两英里外的人和威尼斯港口外的帆船无可辩驳地证明了,那么月亮和木星的知识的真实性可以自然而然地视为上述论断的一种外推。事实上,我们也明确不该要求验证每一个观察结果,当这种仪器的有效性被验证以后,其结果的真实性即是不言而喻的。

但是这种真实性和论述方式,对于伽利略时代的人说来,并不是不言而喻的。恰恰在这一点上,亚里士多德曾指出,必须清楚地划分“月上”和“月下”两个观察领域,物质和规律在这两个领域中是截然不同的。我们恰恰没有而且绝对没有这种权力进行这种未经验证的外推。伽利略于是进入如下困境,他好像一直在论证逻辑上兜圈子:如果望远镜提供的图景是真的,那么亚里士多德的论断是错的。但是只有断定亚里士多德的论断是错的,我们才能推出望远镜的图景是真的。这可不是一个容易挣脱的圈子。而且,这种否认也常常不只是无知的、专断的,其中有一些,即使是在今天看来,也是很难简单否决的。

伽利略的《星际使者》发表还不到一年,1610年4月间,Hasdale在布拉格看到一封马奇尼的来信,认为伽利略的仪器是一种欺人之谈。他指出,用一种特殊的颜色玻璃在日食时观察太阳,可以有三个太阳同时存在。“显然”,马奇尼写道,“伽利略是受了他的仪器的骗。”第二年,布

拉格方面更进一步提出,伽利略的发现是因为使用了望远镜而无中生有地产生出来的幻象。这一说法的流传一定很广,因为后来伽利略似乎不得不写信给他的最好的朋友,在布拉格的比埃罗·蒂尼(Piero Dini),愿意悬赏一千斯库提,^①征求能够利用望远镜在一个没有卫星的行星附近“创造”出卫星来的人。

尽管如此,伽利略并未能直接证明望远镜提供的天空图景的真实性,而且这一真实性迄今为止还没有人直接证明过。在这一点上,伽利略转而诉诸理性。他精辟地指出:“按照哥白尼的看法,一个人必须否定自己的感觉。”^②“……所以我要再重复一遍,当我想到亚里斯塔克和哥白尼能够使理性完全征服感觉,不管感觉表现为怎样,依旧把理性放在他们信仰的第一位,我真是感到无限的惊异。”^③在这一本被爱因斯坦称为“每一个对西方文化史……感兴趣的人”的“知识宝库”中,伽利略详尽地论证了哥白尼体系。望远镜所提供的天空图景不时被加以引用,但其真实性并不是用直接的、亚里士多德的信徒们所要求的方式证明的。伽利略的论证方式是一种更为复杂的方式,即望远镜的图景的真实性,哥白尼体系和我们周围的世界的物理学的自洽性,间接地说明了整个理论的真实性亦即客观性。或者我们可以这样归纳伽利略的论证方法:(1)反对哥白尼体系的主要论据可以被实验、经验或者逻辑否定;(2)望远镜所提供的天空图景和哥白尼体系所要求的一致;(3)望远镜的可信赖性在地面上已获验证;(4)哥白尼体系虽然难于理解,可是应用起来颇为方便,所以,把望远镜的天空图景和哥白尼体系一同接受是可以想象的。

显然,这远远不是论证。事实上,如果要从严格的论证逻辑的角度来考察,哥白尼体系的最终确立应晚至1838年的视差的发现。但是,从科学史上说,这时望远镜的可信赖性早已不是问题了。

我们显然冒了离题太远的风险大段地讨论了这一历史,而我们的目

① 当时意大利币名(Scudi)。

② 伽利略,《关于托勒密和哥白尼两大世界体系的对话》,上海人民出版社,1974,329页。

③ 同上书,426—427页。

的则在于说明,首先,仪器观察的真实性问题,或仪器的可信赖性,绝非量子力学所首先提出的,而是自从仪器一开始进入物理学研究的同时,即摆在物理学家和哲学家面前的大问题;其次,这种可信赖性或真实性的证明,常需经过科学自身很长时间的发展,并且通常说来不能被直接论证,而有赖于出自整个理论结构的综合考察和研究。这一证明不是一个逻辑问题,而是一个认识论问题。

五、仪器“创造”出来的客观现象

现在让我们转向上面提出的第二个问题,即我们怎么保证我们研究对象的客观性呢?换言之,我们怎么知道,我们是在研究自然本身而不是我们自己手制的幻象呢?这种要求的实质,这种意义上的客观性的最高理想,是一种对自然界的“纯客观”即站在自然界对面的研究。这种研究要求尽可能小地扰动被研究对象,在理想情形下,再现“好像观察者不存在时的”自然的本来面貌。这一要求的合理性如此明显,以至于它从未被投以最小的怀疑。从科学史的角度来看,这或许也是哥白尼革命为我们留下的最无争议的财富。

在这样一篇文章里细致地描述哥白尼的工作当然既无可能,亦无必要。从某个意义上说,哥白尼工作的本质,就在于把自然现象从人的感觉中解救出来,把人,作为自然观察者的人的自身的运动,从表观的天体视运动中分离出来,再在这种视运动中扣除了上述人自身的运动,从而得出了“客观的”和真实的宇宙图景。自哥白尼以来,天体的运动就被明显地划分为“真”的和“视”的两大类,一个不言而喻的看法是,“真”运动当然比“视”运动更加客观一些。

这一遗产可以从两个方面加以接受:我们面对的、我们的感官向我们提供的世界图景,包含有两个部分。一是自然现象,二是我们自身的影响,包括感官的限制和自身的运动。由此出发,我们或者说,在研究我们感官所提供的图景时,我们必须扣除我们自身的运动、即上面说的第二方面的影响,才能得到真实图景;或者说,在研究自然图景

时,我们必须计入我们自身的运动,以期得到和观察相一致的理论。这两种表面看来相类似的陈述,实质上包含有深刻的差异。让我们来更加细致地考察一下这种差异。

把观察者自身的运动“扣除”从而得到真正“客观的”描述的做法,在哥白尼关于太阳中心的理论中,得到了最完整的表现。而“计入”观察者作用的认识,似乎没有引起足够的注意。虽然如此,我们还是可以从科学的发展中看出一些有意思的启示来。

1671年2月6日*,作为剑桥大学的数学教授,29岁的牛顿写了一篇文章送到皇家学会,提出了一种新的颜色理论。依照这种既不同于他的先人,又不同于他的同时代人的见解,牛顿提出,白光是一种各种不同颜色的光的混合物。

牛顿似乎完全是偶然地做了这个实验,至少他在上述信中没有说明他何以想到用棱镜去分解白光。据牛顿自己说,这是在1666年年初做的。一束从百叶窗小孔中射进黑暗的小屋的光线被棱镜所截断,白光不见了。白光哪儿去了呢?这是第一个问题。不久他发现了彩色的光带,今天我们称之为光谱的现象。牛顿远非如很多人相信的那样一下子领悟了这一发现,事实上,他说:“……我简直不能想象,玻璃的不同厚度会对光线有任何影响,从而产生这一效果。然而我又不认为(实验本身)有什么错,首先我要检查一下这种环境……。”

他分五步检查了五个方面的影响——结果实在太令人困惑了,怪不得在西方语言中,“光谱”(Spectrum)和“幽灵”(Spectre)是同源字!** 牛顿首先检查了窗上通光的小孔的大小,没有影响。可能是镜玻璃的偶然的不均匀性造成的吗?但不同的棱镜显然导致相同的结果,而两块不同的棱镜会发生相同的偶然的不均匀性,几乎是不可能的。牛顿转而考虑到,是不是光的来源,即实验中利用的日光来自日轮圆盘上

* 旧历,当时新历在英国尚未完全通用。

** 同出于拉丁字 Spectrum。Spectre, 注视; Spectrum, 现象的显现, 幻觉的出现, 等等。

的不同部分可能产生这样的结果。计算表明这是可能的,但最多不会超过 $31'$,然而测量表明,我们日后叫做散射的那种光线的偏转,“对应的测量给出的数值大概是 $2^{\circ}49'$ 。”以后,第四步,他进一步转动棱镜,得到了 4° 和 5° 的偏转。他还根据当时的理论试验了“发光体”的微粒假说,但也未获成果。

牛顿的这一系列工作,意在断定光谱不是棱镜产生出来的幻象。在这一系列完整的分析以后,牛顿进行了著名的“判决实验”:他让一束已经被散射的光线落在第二块棱镜上,他发现,已被散射过了的光线中的某一部分,用我们今天的术语说,一束单色光,不再能被进一步分解为光谱,而只能发生角度为特定值的偏转。于是牛顿得出如下结论:“……那一个像的长度已被标明并非他物,只不过是光是由具有不同的折射[率]的光线组成。光……由于它们折射率的不同,被传输到墙上的不同的位置。”

事实上,光线通过棱镜时发生折射、产生色彩的现象,在牛顿以前很久就被注意到了,并且关于这一现象的理论也提出了不少。笛卡尔(René Descartes, 1596—1650)讨论了这一现象,并根据他自己关于光的本性的理论,构想了“光微粒体”。这种微粒体自我旋转。在碰到棱镜的介质和空气的交面时,这种旋转被扰动,形成不同的、方向特定的转动。他认为,这就是颜色的产生原因。惠更斯(Christian Huygens, 1629—1695)从他的波动理论导出光线的折射现象,并力图用波及其干涉解释这些现象。

细致地叙述笛卡尔或惠更斯的工作再次为本文主题所不容。但是,分析他们所做的工作,我们很容易发现如下两个特点:(1)他们都力图给出一幅同经典力学多少相似,至少相关的图景来描述光折射的机制;(2)他们都力图回答,颜色是“实物”呢还是“性质”?事实上,从三百年后的今天看,我们知道,这是非常难于回答的两个问题。牛顿的看法是:“问题是,黑暗中是否有颜色,颜色是否是我们看见的客体的性质,或者光是不是一种实体,已经毋庸再辩。因为,颜色是光的性

质……此一物事实上将被称为实体。要不是它们的可感知的特性,我们不会知道物体之为实体,而从别处发现的这些存在物的主体,我们不得当作常识来认定是一种实体。”牛顿紧接着写道:“但是,更绝对地决定光是什么,依照其折射的方式,以及它在我们心中产生出来颜色的印象方式及作用来决定光是什么,是不那么容易的。而我将不把猜想混到确定的东西里去。”

什么是确定的东西呢?牛顿所说的,就是实验所显示的光可以被棱镜分解,以及实验所展示的光谱。牛顿的处理较之笛卡尔、惠更斯以及其他很多他的同时代人的不同在于,他把注意力从光在棱镜的作用下发生的变化了的机制转到了这一作用的后果,不再追寻光在棱镜里的遭遇而重视光在通过棱镜前后的状态的不同。在他看来,这是把理论建立在“确定的东西”之上。这一做法对牛顿说来是一贯的,只要我们回忆一下他的著名声明:“我不杜撰假说”,我们就容易理解他的这种态度的一贯性。简单地说,一方面,他拒绝作出机制描述把光学的研究从当时盛行的力学研究中划分出来;另一方面,他这样做又保证了实验和实验事实在整个理论中的根本基础的地位。

和牛顿关于光谱的工作在方法上一脉相承的是狄拉克。在他的《量子力学原理》一开头,他讨论了一个光子在方解石晶体里的遭遇。

对于入射光束是垂直或平行于光轴的平面偏振,我们可以假定,垂直于光轴偏振的每个光子都无阻碍也无变化地通过此晶体,而平行于光轴偏振的每个光子都被阻止住并吸收。但是斜偏振的情形却造成了困难:有时人们会在晶体背后找到一整个光子,其能量等于入射能量,另一些时候,什么都找不到。重复这个实验多次,我们渐渐发现,找到光子的机会常常是实验次数的 $\sin^2\alpha$ 倍,这儿 α 是光子的偏振面与光轴的交角。

这就是一个斜偏振的光子在到达方解石时出现的情况。狄拉克接着说:“关于决定光子是否通过的因素是什么,以及当光子通过时偏振方向是怎样改变的等问题,是不能从实验中研究出来的,因而应当被认为

是在科学领域之外的。”^①但是,量子力学仍可提供进一步的描述。我们可以设想,斜偏振的光子是部分地处于平行于、部分地处于垂直于光轴的偏振态,而“我们让光子遇到方解石晶体时我们就是让它接受一次观察。……做这种观察的效果也就是强迫光子完全进入平行偏振态,或者完全进入垂直偏振态”^②。

牛顿和狄拉克的处理方式可以说是完全一样的。首先,他们把自己限制在实验可以提供的宣判的范围里,并以此作为自己的出发点;其次,他们拒绝谈论光子在观察时作用的模式或方式的机制而只讨论可以实验地确定的、观察前后的状态;最后,他们都毫不含糊地承认他们所观察到的客体同仪器(在牛顿是棱镜,在狄拉克是方解石晶体)有着一种相互作用,而作为观察结果的实验显示,正是这种相互作用的结果。

牛顿的反驳者提出的问题再次显得很重要,那么我们观察到的是“性质”还是“实体”呢?或者用我们今天的话说,这种观察中显示出来的现象,是物体“客观上”具有的呢,还是我们的实验操作所“创造”出来的呢?

回答是:是我们创造出来的客观实在。如果不观察,不用棱镜去分解光束,那么光谱永远也不会自动显现,所以说,这是我们创造出来的;另一方面,用棱镜可以把白光束分解成为某种特定格式的光谱,光谱的组成、强度和其他物理特性并非操作者可作任何改动的,或者说,它们是独立于操作者的主观愿望的。不操作不能有光谱,但操作了也不能出现随心所欲的东西,而只能是一定的、不随任何人主观意愿转移的东西,在这一意义上,操作结果表现为客观的。问在瓶子里的盐咸不咸显然是没有意义的,只有在“尝”,也即在盐和我们的舌头的某一特定的生理部分相互作用时,“咸”才显示出来。不尝就不会有咸味。另一方面,不管怎么尝,盐的味道总是咸的,而不可能是其他味道,这一点又不可随人的意

① 狄拉克:《量子力学原理》,科学出版社,1965,6页。

② 同上。

志转移。在这一意义上,咸是盐的“客观”特性。如果我们问盐罐子盐咸不咸,而且它也能作出我们能理解的答复的话,我猜想答复是:不咸。

这是诡辩吗?博学多闻、洞察精微的哲学家们会对我们的说法说什么呢?伊曼努尔·康德(Immanuel Kant, 1724—1804)恐怕是第一个谈论这一类问题的人。在16、17世纪自然科学迅猛发展的冲击下,哲学家们开始注意自然科学提出的问题。康德作了这样的评述:……一线光明就给所有自然的研究者打开了。他们认识到,理性所能洞察的只是它根据自己的计划所产生的,它必须随同它基于不变的定律的判断法则前进,迫使自然回答它的问题。……理性,一手带着原理,……一手抓住实验,……它去接近自然是为了受自然的教诲,但这种受教并不像学生那样事事坐听教师讲授,而应如法官一样,强迫证人回答他所提出的问题。^①

我们所面对的自然界,有两个根本的、断然不可分割的特征,那就是,一方面它是客观的,即脱离或独立于人存在的;另一方面它是可以认识的,即它必为人的感官所感知、摹写。单独地谈论任何一个特点都是没有意义的。从我们讨论的角度而言,我们或者说,那种追寻“客观的”自然界,即人作为认识主体但置身于其外,或者作为惊愕的观众,站在其对面观看其雄壮的表演的大自然界,是自从哥白尼建立了他的宇宙体系以后发展起来的、并且迅速被推向整个科学研究的一种规范。这种规范构成了经典力学的主要认识论特色。物质及其运动可以由在四维时空连续区中以适当的微分方程所精确描写,它的解对于时间的连续演化构成了因果律的科学基础。在这里,既无上帝的地位,也无人的地位。对此,物理学家感到一种庄严的光荣。

六、玻尔模型与“非连续描述”的思想

当我们把目光转向光学的时候,这种光荣感必然稍稍减退:他们不得不谈论和幽灵相去不远的光谱,而光本身是波还是微粒实体则更是因

^① 参阅康德,《纯粹理性批判》,蓝公武译,三联书店,1957,11页。

扰了物理学达几个世纪之久。一直到 19 世纪后半期,物理学家们才有机会庆贺波对于微粒的巨大胜利,那时候,由麦克斯韦方程组导出的光传播方程成功地给出了光速。但是这种全盛局面没有维持到四分之一世纪,就被一系列与之有关的实验所粉碎:黑体拒绝以和麦克斯韦理论相一致的方式辐射;阴极射线以明白无误的方式表现了它的粒子性;关于原子结构的十多年的探索,最终导致了玻尔模型,我们已经提到过,根据这一模型,电子将在定态之间作“跳跃”——Jump,没有错,物理学家可不喜欢这个粗俗的字眼儿,可是没有办法,他们找不到别的字表达这种奇怪的概念。

尽管玻尔模型必须建立在这种奇怪的概念之上,尽管它置麦克斯韦于不顾,这个模型仍旧很快地成为谈论的中心。物理学家的态度,可以由下面几段近乎戏剧性的引文中看出:

在玻尔发表其模型前的几个星期,他的恩师卢瑟福(Ernest Rutherford, 1871—1937)勋爵写信给他,坦率地指出了他对模型弱点的看法:“在我看来,您的假说中有一个严重困难,我毫不怀疑,您也充分意识到了这种困难;那就是,当一个电子从一个定态转入另一定态时,它将怎样决定以什么频率振动呢?在我看来,您似乎不得不假定电子事先就知道它将在什么地方停下来。”

在玻尔模型发表两个月时,在英国科学促进会伯明翰会议上,“曾经对阐明辐射问题有如此决定性贡献的伟大的老前辈”瑞利(John William Strutt Rayleigh, 1842—1919)勋爵在被问及他对物理学最近发展的看法时回答说:“我在年轻的时候很强烈地保持过许多看法,其中一种看法就是,一个过了六十岁的人不应该对摩登的见解表示他自己的看法。虽然我必须承认,今天我的看法不再那么强烈了,但是我仍然足够强烈地保持着它,因而我不能参加这种讨论!”^①

差不多与此同时,在苏黎世大学和理工学院的每周一次的物理学讨

^① 玻尔,《原子物理学和人类知识论文续编》,商务印书馆,1978,53页。

论会上,爱因斯坦坚定地肯定了玻尔模型:“我决不相信里德堡常数的绝对数值的导出是纯粹侥幸的。”玻尔模型是“极其巨大的成就”,是“最伟大的发现之一”。

正是对实验提供的证据的坚定信念和对理论结构的完美性的热情向往,使得爱因斯坦作出了上述判断。从物理学家的直觉而言,玻尔模型是不言而喻地正确的。但卢瑟福的问题也的确困扰了整整一代物理学家。玻尔的著名合作者和学生海森堡也再三提过类似的问题,而他最终循着一种本质上起源于玻尔的定态观念的“克莱默斯程序”,一蹴而就地建立了量子力学的矩阵形式,进而由矩阵的不可交换性导出了测不准关系,这一关系我们在本文开头的地方已作了详细讨论。

七、玻尔论测不准关系的认识论基础

现在的问题是这种测不准关系的物理学基础或认识论基础。我们曾引述过的玻尔“超显微镜”的理想实验表明,我们在观察电子时,不可避免地陷入一种恶性循环:为更好地确定电子的位置,我们必须提高照明光束的频率,而这种频率增高的一个直接后果是,我们必对电子施以更大的能量,这种能量所导致的反冲,使得电子的动量更不确定。

我们也已经看到,光束由通过棱镜前的白光变成通过棱镜后的光谱,在方解石晶体前后具有不同偏振态的光子,以及在定态之间跃迁的电子,再加上我们现在谈论的观察前后的电子,在认识论上都有一个显著的共同点,即它们都是以一定的、不连续的状态出现的,我们不能在通常时空中连续地追寻它们变化的动力学机制,而只能谈论一种单元事件的时间序列。

玻尔有时把这种特点称为“个体性”,但在他较晚的著作中,则更多地使用“整个性”这一术语。事实上,关于这一特点,他最初亦不甚了然。在1920年的一个报告中,他只含混地称定态 H_α 是比定态 H_β “高八度”的关系。但是这一思想是如此优美,以至于爱因斯坦在三十多年以后回忆这段历史时,仍称它为“思想领域中最高的音乐神韵”。

玻尔对“物理学所面临的认识论的新形势”所做的分析,常被称作哥本哈根解释的精髓之一。他的这种分析最初是从对海森堡测不准关系的物理图景即超显微镜作出的。1927年9月16日,玻尔应邀在纪念意大利物理学家伏打(Alessandro Volta, 1745—1827)的会议上发言,这就是著名的“科摩讲演”。玻尔的基本思路是:由于亚原子客体极端微小,我们在观察中必须使用仪器。如前所述,仪器——亚原子客体间的相互作用是不可避免的。从能量的观点来考察,这种相互作用所涉及的能量转移,按普朗克(Max Planck, 1858—1947)的量子假设,必不少于 $h = 6.625 \times 10^{-34}$ 焦耳·秒,这就提出了由测不准关系表示的测量的最大精确度。而且,玻尔进一步指出:“量子公设意味着,原子现象的任何观察,都将涉及一种不可忽略的和观察器械之间的相互作用。因此,就既不能赋予现象又不能赋予观察器械以一种通常物理意义下的独立实在性了。”^①

在分析了“超显微镜”的物理图景以后,玻尔归纳说:“这种考虑的精华所在,就是量子公设在估计测量的可能性时的不可避免性。”^②

这种以普朗克常数为特征标志的相互作用中能量转移的最低限度或者事件的“不可再分性”,构成了哥本哈根学派对量子论解释的基本的认识论基础。用玻尔在两年以后为他的文集所写的序言中一个比较简化的表述,我们可以看出他的意思是:从对海森堡式的物理基础中分析出测量时客体-仪器相互作用(或者叫“测量干扰”),从普朗克量子公设出发,我们可知这种相互作用不可能为无穷小,因此,在观察中必须诉诸仪器的行为和性质。

这样是不是限制了我们的认识呢?玻尔本人有时也谈到“认识的极限”之类。他在1932年的一篇精心写作的论文中这样回答了这一问题:“当新的发现使我们认识到一向认为不可缺少的那些概念也有其本质的

^① 玻尔,《原子论和自然的描述》,商务印书馆,1964,40页。

^② 同上书,46页。

局限性时,我们就获得了这样的报酬:我们得到更全面的看法和更高的能力,可以把过去甚至可能显得互相矛盾的那些现象联系起来。”^①

这种计入观察仪器的状态,即观察仪器和亚原子客体的相互作用的认识方法,以后即为哥本哈根学派认识方法的中心法则,而玻尔也在很多论述中一再强调这一点。1938年的一个讲演中的提法是玻尔很多提法中少见的精晰表述之一:“……任何实验结果都是和某种特定情况有着内在联系的,在这种特定情况的描述中,必不可少地会涉及和客体相互作用着的测量仪器。”^②

十年以后著名的和爱因斯坦的商榷,其出发点与此相类似。^③ 这篇文章是如此著名,以至于任何摘引都是不必要的了。然而在差不多相同的时候,玻尔还写了一篇值得注意的文章,题为《论因果性和互补性的概念》,给出了似乎更为清晰的表述。在重述了客体和仪器的相互作用以后,玻尔讨论了客观性问题——仪器当然可以视为观察者感官的延长。在仪器-客体相互作用不可避免又不可更细致地加以分析的情形下,观察结果还有什么客观性可言呢?玻尔斩钉截铁地肯定了这种客观性,他写道,现行的量子力学不会给出模棱两可的解释,这一点是依靠仪器上的永久记录和这种记录的不可逆过程来保证的。

在50年代的一些论述中,玻尔更多地用“整体性”来谈论这种“认识论的新形势”:普朗克作用量子的发现,使得“观察问题以一种出人预料的方式被提到了重要的地位;作用量子表示着原子过程中的一种整体性特点,该特点使人无法分辨现象的观察和客体的独立行动,而这种分辨是机械自然观的特征。”^④

他接着讨论了“观察者的地位”问题。在他生前发表的最后一篇文章中,玻尔集中讨论了这一问题。在谈论“相同的装置可以导致不同的记录”

① 玻尔,《原子物理学和人类知识》,商务印书馆,1964,7—8页。

② 同上书,29页。

③ 同上书,36页。

④ 同上书,108页。

时,他写道:“这些表观佯谬的阐明已由下述认识给出:被研究客体和我们的观察工具之间的相互作用,……形成现象的一个不可分割的部分。”^①

稍后他又写道,当我们用望远镜观察月亮时,太阳光的反冲是如此之小,以至于我们可以忽略其影响,而在观察亚原子客体时,我们当然不能那么处理问题。

对于玻尔本人关于“量子论构成的认识论新形势”的论述的冗长回顾,意在建立一个尽可能符合玻尔原意的叙述。事实上,玻尔论述的费解和晦涩在物理学家中是著名的。玻尔70岁寿辰时,追随玻尔25年之久的德国物理学家冯·魏扎克(Carl Friedrich von Weizsäcker, 1912—2007)遍读了玻尔的早期论文,写出一篇长达20页的文章,以重述玻尔关于量子力学的认识论观点。在这篇文章的写作中,魏扎克觉得自己又对玻尔的理论有了进一步的理解,并觉得以往25年的理解都不够完善。他把文章连同他自己的一封信送给玻尔,问是不是准确地重复了玻尔的观点。不久,玻尔回信,给了他一个“明白无误的否定回答”。虽然如此,因为这种认识论态度和观点是如此的有趣和重要,关于它的研究工作始终没有停止。雅默(M. Jammer)的工作可能是最为系统的,虽然在个别问题上,似乎稍嫌穿凿。

综上所述,按照我们的理解,玻尔所说的“认识论的新形势”,就是指一种计入观察者本身影响的认识方法。我们已经看到,在诸如光学这样的领域里,即便在牛顿时代,也已经发生了不能把操作机械地从现象划分出去的问题;我们也说明一种追寻“纯客观”描述的科学规范,在很大程度上是与以哥白尼天文学为代表的经典力学理论相适应的。当我们的认识对象变得如此微小,以至于我们的感官不能直接感知其各种性质、甚至不能感知其存在时,我们不得不依靠起中介作用的经典客体的帮助去认识它们。我们依靠微观客体与这些经典客体的相互作用来认识前者,而把后者称为仪器。当客体是如此微小,以至于这种仪器-客体相互作用既不能无后果

^① 玻尔:《原子物理学和人类知识论文续编》,商务印书馆,1978,22—23页。

地忽略,又不能恰如其分地补偿时,我们就遇见了以海森堡测不准关系为表征的不确定性;而这种相互作用之所以不能缩减到无穷小,是因为作用量子的限制。这种阻止我们对事件的无限精细的划分的限制,玻尔称之为“个体性”或“整体性”。这种限制并不提示任何意义上的“认识的极限”,而只是某一种认识方法的使用范围。事实上,当我们认识到这种限制存在时,另一种认识方法已经被卓有成效地付诸运用了。

这种通过相互作用而认识客体的方法,颇为迂回曲折。但我们只能这样:一方面,直接认识的可能性,它因为认识对象的特点而消失了;另一方面,事物又具有这样的特性,它能在他物中产生出些什么来,并通过特有的方式在自己和其他事物的关系中显露自己。

这种计入观察主体影响的认识方式,破坏了观察的客观性吗?我们怎么知道,我们的仪器向我们提供的图景不是手制的幻象呢?我们已经看到,从伽利略、牛顿的时代起,这个问题已经困扰着物理学家和哲学家。多少年来人们力图证明或否定这种客观性即真理性,但谁也没有成功。无论是伽利略机智的反驳,要求别人用望远镜在没有星星的地方“创造”出星星来,或是玻尔的晦涩的诉诸“仪器的明白无误的记录和不可逆的过程”,都最多只能说明这种客观性而不能证明它。因为客观性的证明本来不是一个理论问题而是一个实践问题。当我们利用我们的仪器所提供的材料进行分析、加工,最后推出一些新的结论、对现象作出某些预期,而这些预期又在进一步的观察中果然出现时,我们就有理由认为我们原来的认识是具有客观的真理性。当我们的认识对象超出了我们感官所能感知的范围时,这种认识方式即以更加明确和更加尖锐的方式显示出它的重要性来。仪器向我们提供的关于亚原子客体的图景的真实性亦即客观性,也只有依赖于这一图景的知识在实践中的证明。半个世纪来,物理科学及其相关的应用科学的迅猛发展,已经为这种真实性提供了坚实的保证。