

中西文化交流中中国学者对待实验的态度

——以揭暄《璇玑遗述》中的实验为例

王元春

(安徽财经大学信息与计算科学系,安徽 蚌埠 233041)

摘要: 明清之际中西文化交流过程中,中国的学者诸如方以智、揭暄等人的著作中有大量的实验,表明他们都很注重实验的运用。本文分析了揭暄《璇玑遗述》中的实验,指出实践经验和类比法是其实验思想的主要来源。并同时阐述了揭暄等学者对待实验的态度,指出实验成为明清之际中国学者构建知识体系的重要手段,遗憾的是并没有得到发展。传统思维方式的特点和局限性导致实验科学没有能够在“质测学”高度发展的明清之际建立起来。

关键词: 明清之际;揭暄;实验

中图分类号: N09

文献标识码: A

文章编号: 1003 - 5680(2004)05 - 0080 - 05

谈到明清之际的中国科学发展,人们通常把中国学者如何抵制或者接受西方科学知识作为其主题,而忽略了当时十分有影响力的另一股学术潮流:即试图在传统和西学的基础上建立一种同时超越二者的自然知识系统。方以智堪称是这股潮流的开山大师,而揭暄则是这股潮流的积极推动者和实践者。值得注意的是,在构建新知识体系的过程中,揭暄和方以智等人普遍认识到实验的价值,经常会使用一些实验验证他们的观点。而这种现象的出现和近代科学方法的兴起是同一时期,此时的西方,在培根对实验方法的倡导下近代科学方法很快兴起了,而中国的学者虽然重视实验,却没有能够在“质测学”高度发展的状况下产生实验科学,这是值得关注的一种现象。目前,还没有对明清学者中出现的这种现象进行评述或者研究的文章见到。

中国古代有很强的实验传统,沈括、赵有钦都是这方面的重要代表人物^[1]。明清之际的科学家诸如方以智、揭暄的著作中大量采用实验,他们的做法仅仅是传统实验方法的继承,还是受到了西学的影响?这些实验的目的、实施过程和结果如何,客观性怎样?是如何被用来论证他们的思想的?实验方法的使用反映了他们对实验的何种态度?为什么在“质测学”高度发展的明清之际没有能够产生实验科学?这些都是很值得反思的问题。本文旨在对《璇玑遗述》中揭暄所作的实验为代表进行分析,籍此来看明清学者的实验具有

的特点以及他们对待实验的态度。

一 对揭暄所作实验的分析

1. 证明气的普遍存在的实验

揭暄认为“无空不气,无气不空”,并试图从实践的角度对气的客观存在加以证明。在《物理小识》注以及《璇玑遗述》中都有这样的记述:“罌瓶挈水,闭其一孔,水自不入,气塞中也;倒而悬之,水亦不出,气未入也。万斛之石,不能压一气球,必气出尽而后合。”^[2]这个实验的意思是,取一个两端有口的瓶子,将其中一口堵住,头朝下插入水中,水就进不到瓶里,揭暄认为是“气塞中也”,如果把上口打开,水进入瓶中,这时再堵住上面开口头朝下拿出,水也不会流出,因为“气未入也”,证明了“空皆气所实”。揭暄通过这个实验证明气的客观实在性,为其自然哲学体系奠定了坚实的物质基础。有人说这个实验初步证明了大气压力的存在,事实固然如此,但是,当时揭暄用这个实验的目的不在此,他仅仅为了证明气的客观实在,天体之中凝形之外的空间,真气填满不容空隙。同样的记述在熊明遇的《格致草》中也有:“即如地上空界似属虚空,而真气填满,即罌瓶之孔不虚也。试以瓦罌盛水,必置两孔,塞其一孔,水便不出,气闭其外耳”^[3]。不过这个实验,可能不是他的独创,而是受到程颢、熊明遇等人的影响。^[4]证明了气的实在性为揭暄的天地起源与演化提

【收稿日期】 2004 - 01 - 05

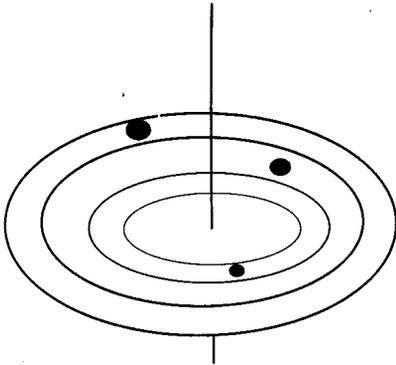
【作者简介】 王元春(1975 -),女,安徽蚌埠人,中国科学技术大学硕士,安徽财经大学讲师,主要研究方向:科学技术史与科技哲学。

供了物质基础,气的运动性又为天体运行提供了动力机制。

2. 说明宇宙结构和天体运行的实验

关于天体结构与运行,揭暄认为“七政之行属于天,而月与五星又系与日”^[5],辨西氏天有九重,天左旋等说法,揭暄提出“天只一动,更无二动,只有左旋更无右旋,日月星附于天,只有高下气位,从内流转,无九轮之隔别也”^[6]。至于“诸政丽天转者,从东达西,一日一周,然各自为行者何?”^[7]揭暄认为:“盖天之体厚而凝,而中通有道,惟其凝,故诸政列有高下,而载之以转,惟有道,故诸政各循其道,而往来不息”^[8];“诸政在天,有似倒滚,人多不得其说,遂谓势与天违,不知其正与天相顺也,说之如何?有槽进丸退之说也”^[9]。为了证明他的观点,揭暄设计了“槽进丸退”实验:

“试以平板作一盘型为沟槽,六道验之,其槽皆环规深滑,层层相裹,自内至外各置一圆珠,共置一方,如日月合璧,五星贯珠式,板之中心竖一圆杆,以手授之,使盘左旋而盘行势急,珠必倒退。……盘转一周,珠倒几何?积久自周与内外大小间,又可以征迟速不等之别。”^[10]这个实验如下图所示:



在一个圆盘上刻出一系列同心沟槽,槽内保持光滑,选用几个光滑的小球分别放在不同的沟槽中。这样,当整个圆盘绕其轴线刚开始转动起来时,由于惯性,小球就会先“倒退”,后又随着盘转动,转动的同时,小球还会在槽中滚动。实验中有这样一句话:“以铜铅为之,使小而滑”,说明这个实验揭暄确实亲自动手做过。西方传教士的著作中有无这样的实验还有待考察。在这个简单的实验中,小球的滚动反映了星体的自转,不同的小球倒退的程度不一样,反映了不同星体的迟速不同,倒退实际上是一种视觉效果,并非真的倒退。这个实验很好地反映了星体的运动机理:诸政都是在天之气的带动下运转的,只有左旋没有右旋,珠之倒退恰恰是为了顺天而行。

可以看出,这个实验的设计思想源自他的天体运行模型以及他对天体运行的动力机制的认识。在这个实验中,圆盘代替了整个天体,沟槽表示星体运行的轨道,豆黍代表各星体。豆黍的滚动表征了星体的自转,豆黍随盘转动反映了星体在气的带动下运行。揭暄根据同样的模型,解释了小轮的生成,并由此揭示迟留逆行的现象:“天掣急诸政体小,不能与之俱,故激而倒退。天掣甚急,间与俱西,俱西不能,则必

激跃而转于空而成小轮”^[11],同时解释了“诸政之体,各有大小,故其迟速亦异”^[12]。揭暄在同游艺讨论天文学的过程中,还做过一个水的涡旋实验,来演示天体的运动机理:“取盆水而轮之,只见水转而泥沙自聚中,浮物动者动,静者静,迟者迟,速者速,伏逆者伏逆,无不由此一气运之使然也。”^[13]

为了证明地球位于宇宙中心,不致下坠,揭暄设计了脬豆实验:“吹脬置豆,豆自居中,故能知天地之位,以阳吹豆,豆必直上,故能知形以气举,冬至以灰入脬,令童男女吹之,则气带灰旋转不已,久之凝中成块,此初分天地之实征也……”^[14]首先,对于“天本轻清,能有实体可指乎”的问题,揭暄的答案是肯定的,他认为有,“均气也,有凝形之气,有虚游之气,虚游之气,虽虚而实,故天体之中,真气填满,不容空隙。”^[15]在此基础上,揭暄进一步指出:“凝形之气,虽柔而劲,使非脬能包气,豆何以居中而不动乎!”于是就有了上面的实验。

揭暄反复引用了这个模型。方以智说:“脬豆者,以豆入脬,吹气鼓之,则豆正居其中央,或谓此远西之说也,愚者曰,皇帝问歧伯,地为下乎?歧伯曰地,人之下,天之中也,帝曰,凭乎?曰大气举之。”^[16]这里,方以智的目的似乎为了说明这种思想中国古已有之。值得一提的,揭暄对这个实验做了改造,用以演示日月的相对运动:

“以甘遂甘草为二丸纳脬,一上则一下,此往二彼来,相交相距亦可以知日月之离合。”^[17]

汤若望《主制群征》中有:“用猪腭蹠薄置小圆物于内,以虚实而转之,圆物即悬处于中,屹然不动,不少偏倚。”^[18]与脬豆实验类似被揭暄引用。石云里认为,汤若望的这种说法实际上是从中国古书中来的,因为明前期的学者,黄润玉在成化八年出版的《海涵万象录》中提到:“天包地外,而地是大气载之…予幼时戏将猪水胞盛半胞水,置一大干泥丸于内,用气吹满胞。毕见水在胞底,泥丸在中,其气运动如云。是即天地之形状也。此太虚之外必有固气者”。这种观点是有道理的。因为并不是传教士的著作中的所有东西都是从西方来的,相反,为了说服中国人,他们往往会引用中国古书的内容。《主制群征》就不是译著,使用中国古书的可能性很大。传教士也用脬豆的说法来表达宇宙的结构,反映了他们的良苦用心,中国学者的接受恰说明这种论证天体结构的方式中西方产生了共鸣。

但是,黄、汤二人的实验很值得怀疑,因为无论是“小圆物”也好、“干泥丸”也罢,实际上都无法悬浮在腭蹠正中不动。方以智,揭暄引用这个实验,让人怀疑他们是否真正做过这个实验。但是,他们明显对这个实验进行了一些改造,最重要的就是改变了圆物的重量,或者用小豆,或者用甘草。也许是他们意识到了汤若望实验中的问题(他们没有引用黄氏,说明他们不知道黄氏的实验),从而试图加以改进,并强调了实验过程的动态性质,也就是在吹气的过程中能够看到小豆等悬中等现象,而不是吹气结束后如此。在这种情况下,也许可以看到他们所要证明的现象。关于这个实验的传承关系以及揭、方等人对它的改造还有必要从文献和模拟实

验两个角度来做进一步的讨论。

不过,从以上三个实验的提出来看,揭暄充分认识到实验在说理中的重要性。所以,他首先在会通中西的基础上提出自己的宇宙模型,然后以类比的方法加以说明和解释,最后结合实验手段来验证。揭暄对实验还加以变通,反映了揭暄对实验手段的重视。

除此之外,还有为说明“金水二星,随日而行,时在日前,时在日后”而设计的实验:“试以竹篾外作一圈,缀金星,内折半作一圈,缀水星,最中缀一体,共为一轮,别以大圈环外,用前激轮法切其一边,相挨而转,则金水抱日,西行东洄,迟留顺逆,合伏弦望,无不可见。持金迟水速难,作二层活圈,日东星西,虽缀三颗活珠耳。惟挈瓶注水,长泻于盘,其所浮泡屑随泻周转,内急外缓,升降顺倒亦活亦显,于漩涡之势同。”^[19]

3. 光学实验

光肥影瘦是方以智在物理小识中提出的一个全新的概念。方以智误以为,传教士说太阳到地球的距离只有太阳直径的三倍多^[20],对此,方以智提出光肥影瘦的概念,是为了解决太阳实际大小问题。他说:“细考则以圭角长直线夹地于中,而取日影之尽处,故日大如此耳。不知日常肥、地影自瘦,不可以圭角直线取也”。方氏用了一些实验说明光肥影瘦。王永礼、胡化凯曾对方以智在光肥影瘦说中所做的实验进行过模拟实验研究,并揭示了方氏实验并不是描述光的衍射现象。揭暄也进行了大量的实验,来证明他对光肥影瘦的看法:“光之照物,尝溢于形数之外,光尝肥影常瘦,不可以直线取之。”^[21]其中写道:

“试以楮叶通针芒,小窍毗几照之,所照适如其分,甫离寸许,摇光倍也,又攒四五穴照之,各具一光也,稍移而远,光合为一,又举以向日,从後视之,觉孔小光大,所隔之畔,不复如正视者。”^[22]

这个试验实际分为三个部分,前面是取一楮叶,用针穿一小孔,对着光源大约距离一寸,可以观察到楮叶后面影子比物大得多,然后再在叶子上,穿取四五个孔,对着光源,每一个孔后面都成一个影像,距离稍远,影子重合在一起,若透过孔对着太阳望去,所隔之畔,和正视太阳时不一样。实际上这三个部分反映的是不同的情况,有学者依次做过模拟实验,认为前面部分仅仅是小孔成像^[23],我赞成这种说法,但是“所隔之畔”一句很接近光的衍射现象。我尝试用一片树叶,穿一小孔,在傍晚的时候透过孔看太阳,当距离合适,可以看到一卷卷彩色的条纹,这是光的衍射现象。这大概就是揭暄所说的“所隔之畔,不复如正视者”的意思。揭暄虽然注意到了光的衍射现象,但是没有给出解释。

对此揭暄还做了第二个实验:以“竹篾空以映日光,重布冒眼,以对白光,俱见圆片层叠,互相交卸,大孔百十倍。”^[24]这是光直线传播的表现。第三个实验:“又于暗室作孔,指大,转透白光,以纸对孔,不远十步,其光盈尺,凡隔山隔城所不见物,悉倒影照入。”这个实验目的是证明光非直行。这个实验非常象平面镜经过多次反射而成像,但是揭暄的描写非常简单,从他的描写中也难以看出实验的细节,甚至让人怀

疑小孔成像怎么可能看到被山和城市挡住的景象呢?但是很明显的这是他对实验过程和结果的实实在在的描述。

这里揭暄采用的三个实验,都是为了说明有时候光不走直线。仔细分析起来,其中包含了光的衍射、光的折射及光的直线传播三种现象。其中光的直线传播并不能说明他的观点。最能反映揭暄对光肥影瘦看法的是:“盖日对火镜而成返照,日对所冲之天乃大火镜,大返照也。日包晶球而成折照,日包大地乃大晶球大折照也。”^[25]即“光体渐大,影则渐小,地影之易穷,此其一也”。揭暄认为地球仿佛是个大透镜,光经过它以后将发生折射,这似乎能够解释为什么光影易穷以及光常肥而影常瘦。

二 实验具有的特点

综上所述,可以发现揭暄做的实验具有以下特点:

首先,采用了“模型方法”进行类比,“槽进丸退”实验与用“猪脖”证明地圆的实验就是按照他的宇宙观设计的模型。文艺复兴之后,近代科学在欧洲兴起。通常以哥白尼日心宇宙体系的问世——《天体运行论》的出版作为近代科学兴起的标志,随之而来的是实验方法以及与此相关的一系列观念的确立^[26]。其中科学的实验方法具有一个鲜明的特征,就是强调用“模型方法”去认识和描述世界:即先通过观察和思考构造出模型(数学公式、几何图形等),再通过实验(在天文学上就是进行新的观测)来检验由模型演绎出来的结论;若两者较为吻合(永远只能是一定程度上的吻合),则认为模型是成功的,否则就需要修改模型,以求与实验结果的进一步吻合。揭暄在宇宙观方面也建立了天体起源、演化以及运行的模型,而他的实验则是取一些日常生活中很容易取到的材料对模型进行模拟,还不能算作严格意义上的科学实验,也往往不能够很好地证明观点正确与否,实验与命题之间仅仅是一种类比,所以它还完全不能与真正意义上的近代科学实验同日而语。在近代的实验——模型方法中,演绎推理是其中重要的环节,以至于使人觉得有些实验只需要在头脑里进行即可。在脑子里进行的不能算是真正的实验。对揭暄的实验仔细分析起来,有不少的实验揭暄实际做过的可能性不大,很像是一种在头脑中进行的“思想”实验,比如猪脖实验。固然如此,我们看到,明末清初就是这种不是严格意义上的实验已经开始与当时的西方科学研究方法接轨。

其次,实验没有能够达到量化的水平。因为这种模型方法比较形象地类比了所要证明的观点,又由于缺乏形式逻辑体系的传统思维方式,揭暄虽然大量运用了实验手段,却没有能够进一步地定量计算。最明显的例子:在揭暄用实验证明光肥影瘦时,西方光学知识已经大量传入,其中对光的反射、光的折射的解释都伴有光路图,并结合光路图进行了严格的推证。揭暄在用到那些光学知识时往往一笔带过,不加分析解释,更不要说去计算了。如“月自转征”一节写道:“火镜凹照,影恒倒,凸者不然”,“平镜照物,物体相当,洼镜照物,其像则大,球镜照物,其像则小。”^[27]对于影像之间的关系只用了“相当”、“大”、“小”之类的语言来表达,没有进一步探讨其原因以及物与像之间的量的关系。

最后,揭暄实验还有一个显著特点是,仅仅限于对现象的描述,没有分析产生的原因。此外,实验的设计往往直接来源于生活经验,实验条件不够严密,在尺寸、大小上的要求很模糊等特点。比如“甫离寸许”,“稍移而远”,就非常不准确,反映了设计者对实验只有一种感性上的认识和要求。导致实验结果往往不能支持他的观点,而且由于传统思维方式的限制,他们所运用的实验也仅仅是一种现象上的描述,对实验的要求也不够精确。

三 从揭暄的实验看明清之际的学者对实验的态度

首先,从揭暄、方以智的著作中大量的实验来看,表明揭暄与同时代的学者们在融合传统与西学、并求超越的过程中注意到了实验的重要性,并自觉或不自觉的开始运用,反映出对实验的浓厚兴趣和足够的重视。对实验的兴趣与重视可能存在这样一些原因:首先,中国有实验的传统。在中国科学的发展中,宋代的沈括已经开始使用系统的观察方法,实验方法,在有的问题上,还采用了实验和推理相配合的方法。沈括研究过凹面镜成像的原理,他通过反复观察和实验,得出了较《墨经》等更更进一步的结果。他指出,用凹面镜照物,中间有一被称作“碍”的点,即现在所说的焦点,物在此点之内,成正像;在此点上,不成像;在此点之外,成倒像。他还用窗隙、腰鼓等常见事物,来形容凹面镜成像现象,试图解释凹面镜成像原理。尽管这些解释并不完全正确,但不失为极有益的尝试。他对凸面镜、平面镜也做了细致的观察和研究,科学地解释了古人制镜,镜大则平、镜小则凸的道理。为了说明月亮的盈亏现象,沈括做了模拟实验。他用一个弹丸,将其表面一半涂上白粉,这样侧视之则粉处如钩,对视之则正圆,从而直观地和形象地演示了月亮的盈亏现象,具有很强的说服力。其次,大量实验仪器的传入。十七世纪初,耶稣会士阳玛诺、汤若望都在他们的著作中介绍了伽利略的望远镜及其天文学发现,明末清代的皇家天文机构中也使用天文望远镜,其中有的是耶稣会士携来,有的则是中国工匠自制,为中国天文观测提供了新的手段。除此之外还有星盘、黄道浑仪、简平仪以及一些光学仪器;再次,仪器随着西学传入,激起了一股研究热潮,一时间有人制造西氏科学仪器、另一些则做中西对比研究、用西方的方式方法进行科学观测和实验。另一方面,宋代以来的“格致”理论和方以智提倡的“质测”研究,对后来的学者们影响很大,在他们的工作中,实验已经成为一个非常重要和常用的手段。

其次,实验具有传统科学重实用的特点。传统科技大多是生产经验和对自然现象的简单总结,实用性强,一般能直接满足人们生产、生活的实际需要,却很少能用逻辑方法对这些经验材料进行整理,作出理论概括和分析。揭暄实验亦如此。从实验的目的来看,揭暄作实验不是为了弄清实验现象的根本原因,比如槽进丸退实验,他只要求实验能够反映他的宇宙观就可以了,他没有分析盘的转动速度多大时,槽内的小球才会“激跃倒卷”,也没有分析小球的大小与转动快慢之间有什么关系;从实施过程来看,实验没有在改变条件的情况下重复进行。而且,至于实验的每一个部分加以具体

分析,揭示现象背后的机制等方面,则是很薄弱的,只言其然,不言其所以然,缺乏“打破沙锅问到底”的探讨,这与近代实验科学方法有着显著的差别。近代科学研究的一般程序是在观察实验基础上,经过推理和计算对现象提出假定性的说明和定量描写,并用数学公式表示出来,然后再用实验方法去考核推理的结果是否正确。在近代科学的开创者之中,伽利略创造并示范了新的科学实验传统,以追究事物量的数学关系为目标。而揭暄、方以智的实验不是为了实验而实验,更不是为了找出实验现象的内在原因和规律而实验,而是为了模拟某种现象。这种差别反映出中西方文化传统的差异。方以智、揭暄等人竭力构建超越中西方的新知识体系,但是这种构建只不过是儒学的重构,没有也不可能走上西方的路。所以实验虽然成为方以智、揭暄等人新知识体系构建工作中的常用手段,没有也不可能中西交流的过程中产生质变。而且,与更早的沈括相比较,从实验的多次反复和探讨其中量的关系方面揭暄还有所不及。所以实验作为揭暄研究自然的方法之一,与揭暄同样重视的逻辑推理的方法相比,处于一种辅助的地位。

宋明理学讲求“格致”,明清之际的学者注重质测与通几,并开始重视实验方法,但是这一切都没有能够使中国在此基础上建立起实验科学。而同时代的西方,从培根开始,科学实验开始运用并兴起,近代科学正是以实验为标志、依赖于实验独立发展起来的。因此探讨明清之际实验在中国学者构建知识体系中的作用是一件有意义的事情。同时,这样的对比,总是不可避免的让人想到李约瑟难题。1944年10月24日下午7时,李约瑟(当时是中英科学合作馆馆长,中国科学社名誉社友)在贵州湄潭浙江大学内举行的中国科学社湄潭区年会上作了题为“中国之科学与文化”的讲演。李约瑟在演讲中,首先批驳了“泰西与中国学人”的“中国自来无科学”的论点,指出:“古代之中国哲学颇合科学之理解,而后世继续发扬之技术上发明与创获亦予举世文化以深切有力之影响。问题之症结乃为现代实验科学与科学之理论体系,何以发生于西方而不於中国也。”而对李约瑟难题的诸多解释,最终也必然要回到中国传统科学内部找原因。中国古代科学技术的显著特点是极强的实用性。希腊人不讲实用,而是为理论而理论。中国明清时期虽然有了一些实验方面的思想,由于具有以上那些特点,实验显得并不影响大局。爱因斯坦指出:“西方科学的发展是以两个伟大的成就为基础,那就是:希腊哲学家发明的形式逻辑体系,以及通过系统的实验发现有可能找出因果关系。”^[28]从揭暄的实验工作中反映出明清之际的中国学者具有了实验的思想,却未能掌握实验的精髓,实验科学没有能够在当时活跃的学术氛围下建立起来,中国科学的发展渐渐跟不上西方科学的脚步,这是值得探讨和反思的。有人认为是中国一直没有形式逻辑,这对科学的发展和实验科学的建立有很大的消极影响。这不能不说是其中的一个原因。

致谢:本文在撰写过程中,得到了我的导师石云里教授的悉心指导,在此深表谢忱!

【参 考 文 献】

- [1]李迪.中国科学技术史论文集(1)[C].呼和浩特:内蒙古教育出版社,1991.84-88.
- [2][16]方以智.物理小识.四库全书存目丛书:子部.济南:齐鲁书社,1995.753-765.
- [3]熊明遇.格致草.薄树人主编.中国科学技术典籍通汇.天文卷(六).郑州:河南教育出版社,1998.76-77.
- [4]冯锦荣.熊明遇《格致草》内容探析.自然科学史研究.1997(4).
- [5][6][7][8][9][10][12][14][15][17]揭暄.璇玑遗述(卷一)“象纬意证”[M].薄树人主编.中国科学技术典籍通汇:天文卷(六).郑州:河南教育出版社,1998.292、293、295、295、294、297、297、294.
- [11]揭暄.璇玑遗述(卷三)“诸政激轮”,323.
- [13]揭暄.天经或问前集序.天经或问前集.薄树人主编.中国科学技术典籍通汇:天文卷(六).郑州:河南教育出版社,1998.161.
- [18]揭暄.璇玑遗述(卷二)“天地悬处”,306.
- [19]揭暄.璇玑遗述(卷三)“金水绕日”,327.
- [20]李志超.《物理小识》的光学——气光波动说和波信息弥散原理.《天人古义》.郑州:河南教育出版社,1995.8.
- [21][22][24][25]揭暄.璇玑遗述(卷四)“日小光肥”,345-346.
- [23]王永礼.方以智“光肥影瘦”说的实验研究[J].自然科学史研究.2002(4).
- [26]卢嘉锡主编.中国科学技术史·科学思想史卷.北京:科学出版社,2001.468.
- [27]揭暄.璇玑遗述(卷四)“月自转征”,333.
- [28]爱因斯坦文集[C].北京:商务印书馆,1976.574.

(责任编辑 魏屹东)