

以天之语 解物之道^{*}

李政道

(1 Columbia University)

(2 中国高等科技中心)

今天我讲的题目是《以天之语, 解物之道》. 共有四个部分: (1) 望远镜的发明; (2) 中国古代的天体物理; (3) 20 世纪物理学的发展; (4) 21 世纪物理学的前景.

1 望远镜的发明

大家知道, 望远镜发明已经有 400 年了. 1608 年秋天在欧洲传播着一个消息, 说有人发明了望远镜. 不久伽利略就发表了他划时代的著作“星际信使”(Sidereus Nuncius). 他说: “10 个月之前, 有一条消息传到我的耳朵, 说有一位 Fleming 地区(今荷兰、比利时)的人制造了一种小望远镜. 利用这种望远镜, 可以来看物体, 虽然物体离眼睛较远, 但仍然能被清晰地看到, 好像它就在眼前. …”于是伽利略也制造了一架望远镜, 如图 1 所示, 就是伽利略制造和使用过的望远镜. 当时天主教认可的说法是一切星体都是围绕着地球在转动, 地球是中心. 可是伽利略用他自己制造的望远镜观看木星, 却得出了不同的结论. 1610 年 1 月 7 日, 伽利略在观察时, 发现木星右边有一个小星, 左边有两个小星, 见图 2 第二天看就变成右边有三个小星, 左边没有小星; 再过两天看, 右边小行星不见了, 左边却有两个小暗星; 再过一天, 左边的一个小暗星变大了; 又过一天, 所有的小暗星都不见了, 变成右边一个小星, 左边二个星. 再过一天(1 月 13 日)木星两旁的小星阵式又有大变, 成为右三左一! 根据这七天的观察结果, 伽利略推断这些小星都是木星的“月亮”, 就是说木星有四个月亮, 而这些木星的月亮都是绕着木星转, 而不是绕着地球转! 这就是说, 并不是一切星辰都围绕着地球转, 推翻了当时天主教的错误说法.

伽利略的重大发现还有, 1591 年提出惯性质量和引力质量等价. 1609 年以后发现月亮上有山脉和陨石坑以及金星的位相等. 1632 年他又发表了重要的著作



图 1 伽利略使用过的望远镜, 现珍藏在意大利佛罗伦萨 (Florence) 的物理博物馆内 (Alinari 摄影)

木星(Jupiter)的四个卫星

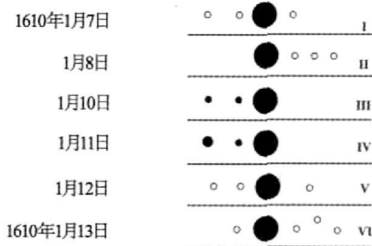


图 2 伽利略对“天之语”的初步“解语”

“对话”. 可是在这之后, 1633 年, 伽利略被罗马天主教会软禁起来了. 在教皇的命令下, 不准他发表论文, 不准演讲, 不准教导, 不准和朋友讨论学术问题. 四年以后, 1637 年伽利略的眼睛瞎了, 五年后 1642 年 1 月 8 日他就过世了. 伽利略的去世有可能使处于萌芽状态的近代科学夭折. 但是就在同年, 也就是 1642 年 12 月 25 日牛顿诞生了. 由于当时的罗马教皇的势力没有达到英国, 没有达到全欧洲, 使得牛顿能够接替伽利略继续发展了近代科学, 否则欧洲的近代科学必然延迟发展, 也很可能中断. 而在中国, 两年之后, 1644

^{*} 本文是作者 2008 年 10 月 12 日在人民大会堂举行的“纪念望远镜发明 400 周年科学大师讲演会”上的讲演

年, 明朝崇祯皇帝自尽, 明朝灭亡, 中国科学的发展停滞, 近代科学未得萌芽, 更不用说快速发展了。

1991年, 为了纪念伽利略“惯性质量和引力质量等价”实验的重要发现 400周年, 中国发行了纪念明信片, 那是我设计的 (见图 3)。



图 3 1991年李政道设计的明信片

1993年梵蒂冈教皇约翰·保罗二世代表天主教为伽利略平反并向全球的科学家道歉。当时是由我代表全球的科学家发言 (见图 4)。我面对教皇说, 是地球绕太阳转, 还是太阳绕地球转, 这两个说法都不错。因为这是相对论。在伽利略时代, 人们还不明白这个原理。不对的是教皇强逼伽利略放弃自己的观点, 强逼伽利略不能讲学并将他软禁。现在能为他平反, 我感到很高兴。



图 4 1993年 5月 8日梵蒂冈 (Vatican) 教皇约翰·保罗二世 (John Paul II) 平反伽利略, 向全球科学家道歉, 李政道代表全球科学家发言

2 中国古代的天体物理

在各种不同的天体星辰中, 有两类星辰最为突出。一类是“新星”; 另一类是“超新星”。新星的亮度

大约是太阳亮度的几万倍, 超新星的亮度是太阳的百万倍。新星和超新星都是中国最早发现的。发现新星是在公元前 13 世纪, 这在一片甲骨上有记录 (见图 5)。这片甲骨上刻有“新大星并火”几个字, 上面记录说, 某月的第 7 日傍晚月亮出来的时候, 发现了新大星。实际上还有另一片甲骨, 说两天以后这个星就消失了。超新星的最早发现也在中国, 是在宋朝仁宗至和元年。记录说, 1054 年 8 月 7 日天空突然出现一颗很亮的星, 大如鸡蛋。每天都记录它有多亮, 一直记录到 1056 年 7 月看不见为止。

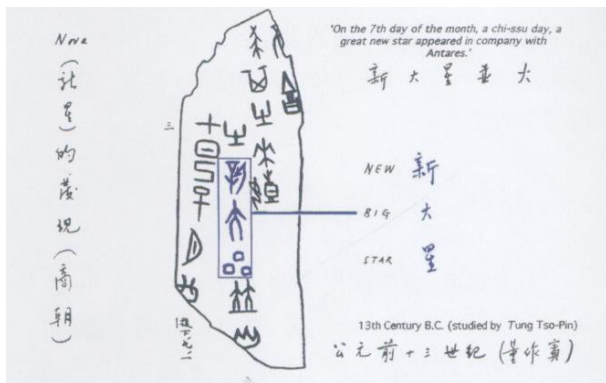


图 5 刻有“新大星并火”几个字的甲骨

《周礼·春官·大宗伯》说: “以苍璧礼天, 以黄琮礼地”。苍璧是什么? 黄琮是什么? 它们都是玉器。苍璧是圆形的, 代表天; 黄琮是方的, 代表地。苍璧是圆的, 但中间有一个洞; 黄琮是方的, 中间也有一个圆洞。为什么礼天的苍璧和礼地的黄琮这两件周代的玉器中间都有圆洞呢? 还有一件商周时期的玉器叫璇玑 (见图 6), 根据《书·舜典》记载: “璇美玉也, 玑为转远, 径八尺, 圆周二丈五尺强, 玉者正天文之器。”原来, 璇玑是一架庞大的天文仪器。可是今日看到的璇玑是商周的遗物, 直径仅约 30 厘米左右, 想来这架商周前的巨大天文仪器, 到了商周时代已经缩小成为象征性的玉器了。

可是商周前的璇玑, 径八尺, 那是什么样的天文仪器呢? 如何用来观察, 又观察什么呢? 中华民族的文化是炎黄文化, 是大陆型文化, 与其他文化发源不同。可以想象, 五千多年前我们的祖先, 每天夜间仰观星辰, 一定会注意到所有星辰均在转动, 每十二时辰转动一周。而这转动有一个轴心, 它的位置是“正极”。我的假定是, 商周前的“王者正天文之器”的“璇玑”是用来定“正极”的一架巨大天文仪器, (见图 7)。这台“璇玑”有一直径约八尺的转盘, 盘周有三个凹口, 用来确定三个不同星座的位置, 随天而转。转盘的轴是一长约 20 尺的竹管, 内取微孔, 以定正极之位。假

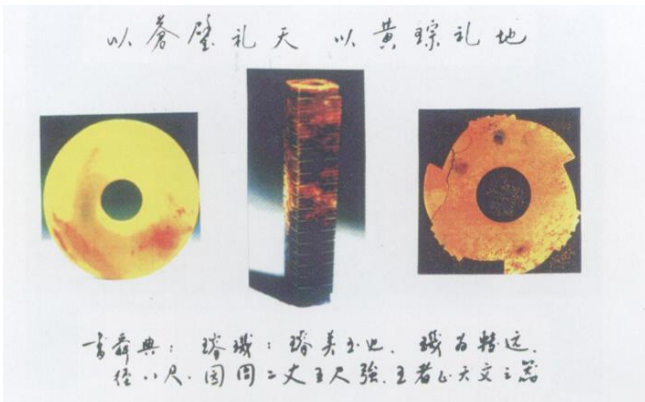


图 6 以苍壁礼天, 以黄琮礼地

设微孔直径约 2 毫米, 则所测定的正极大角位的精确度可达 0.013° . 为了固定这个竹管, 在它的外面包以大理石块. 这长长的“石柱”就演变成后来的“琮”, 而这大转盘则演变为后来的“璧”和“璇玑”.

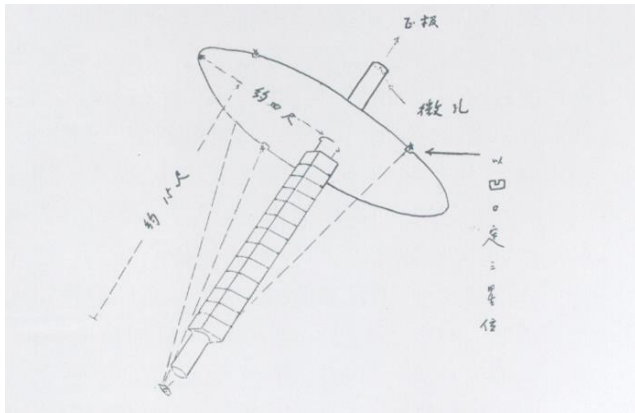


图 7 假设用“璇玑”来定“正极大”的天文仪器

可是地球的自转轴是在进动的, 其进动周期约为二万五千年. 现在正极大位置恰好是北极星 (见图 8). 可是商周前就完全不同了. 另一个条件是, 转盘三个凹口必须各对着一个较大的星. 什么年代有较大的, 各相距离约 120° 的星而“璇玑”也正好能够定位在正极大方向呢? 从天文历中, 我们可以查到, 能适合这些条件的, 大约是公元前 2700 年. 那时候紫薇星的右枢正好在现在北极的位置, 比现在的北极星离正极大还更近一点. 周围刚好有三颗较亮的大星对着凹口, 它们是紫薇星座的“少宰”、“上辅”和北斗星座的“摇光”, 刚好就是这三个位置 (见图 9). 假如这个想法是对的, 就表示说, 在公元前 2700 年, 我们的祖先已经有天文仪器可以把当时正极大位置定位到约 0.013° 的精确度而紫薇星正是那时候的正极大, 这就是为什么紫薇星座自古以来, 一直被认为跟帝王和国家的兴亡有关系的原因. 这大约是公元前 2700 年, 离现在约

4700 年时的情形, 也可能是炎黄文化发源开始的时代. 我们现在看紫薇星座, 就很难看出它有什么重要性.

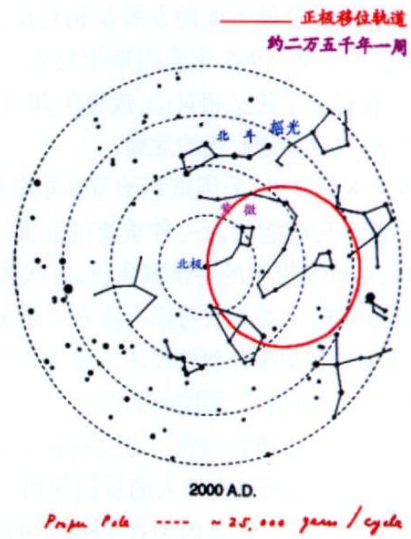


图 8 现在北极星附近的星图

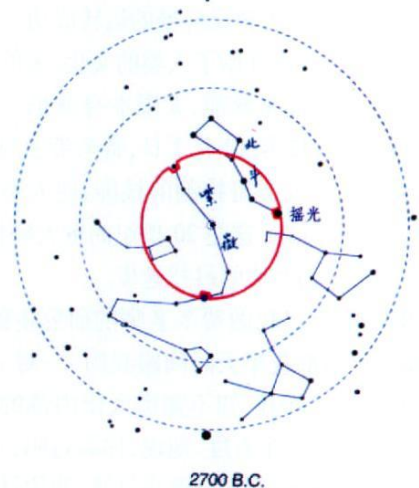


图 9 4700 年以前的北极星是紫薇星

太阳黑子的观测, 古代中国也是领先的. 据李约瑟著《中国之科学与文明》一书称: 欧洲人因为有天体完整的成见, 就不注意天体现象的显著事例, 譬如太阳黑子的发生. 在欧洲, 观测太阳黑子, 是由伽利略使用望远镜观测而得到的. 最初发现是在公元 1610 年末, 这是科学前进的一步. 但是, 中国太阳黑子的记录就我们所知是最久而最完备的, 比西方要早一千六百多年. 那就是公元前 28 年刘向时期的记录. 从那时到公元 1638 年, 中国正史中记录显著的太阳黑子现象有 120 次, 不包括许多地方志、传记及其他出版物所做的记录在内. 太阳的黑班在中国书中被称作“黑气”、“黑子”或“乌”, 其大小常被描写如“钱币”.

3 20世纪物理学的发展

20世纪物理学最重要的发展是相对论、量子力学和对核能的了解。1905年爱因斯坦发表了5篇论文,其中一篇提出了狭义相对论,接着在20年代出现了量子力学,这都是划时代的发展。

1939年8月2日,爱因斯坦给罗斯福总统写信,指出铀元素不久可能成为一种重要的能源。1942年12月2号,由费米带领的科学家队伍,首次实现了人工可控制的核能。人类首次可以不依靠太阳而获得能量。当时芝加哥大学康普敦教授从芝加哥大学打电话给总统科学顾问康南特,用隐晦的语言通报了核反应堆实验成功的消息。康普顿说:“意大利航海家刚抵达了新世界。”康南特问:“本地人的反应如何?”康普顿回答说:“非常友善。”这是因为在1942年的时候,意大利和美国在打仗,所以通电话要非常小心。康普敦说的意大利航海家就是指费米,他借了当年哥伦布发现新大陆的故事,报告核反应堆的运转成功。

火的发现和应用开始了人类的文化。火的能量来源是太阳能,太阳能是核能,太阳本身就是一架庞大的氢核反应堆。1942年12月2日,费米带领的科学家队伍,首次实现了人类可控制的核能,使人类能够通过太阳而获得能量。这是20世纪的重大科技进步,也是人类历史上划时代的科技进步。

记得在40年代我做费米老师的研究生的时候,费米老师每星期都花半天时间跟我用“一对一”的方式讨论。有一次他问我,知不知道太阳内部的温度是多少。我说大概是一千万度。他说,你算过吗?我说我没有算过。他说这不行,一定要自己算。我说计算太复杂,计算太阳的温度有两个公式,其中之一需要温度的18次方,另一式需用温度的6.5次方。因此计算相当麻烦。费米说我帮你做一个专用算尺,可以化简计算。于是我们一起动手作了一个大的木头计算尺(见图10)。计算尺上的刻度,位于上边的是 $18\lg$ 下边的是 $6.5\lg$ 有了这个算尺,我就像用玩具似地把太阳内部的温度算出来了。这件事就是老师对学生的一对一的言传身教,使我终身不忘。

4 21世纪物理学的前景

上面说过,在103年前,就是公元1905年,爱因斯坦写了五篇论文。这五篇论文影响了全球人类文化的发展,因此三年前联合国决定2005年为世界物理



图10 1948年,费米和李政道手做的,为计算主序星内部温度分布专用计算尺。上边是 $18\lg$ 下边是 $6.5\lg$

年。爱因斯坦的第一篇文章是测量分子大小的新方法。第二篇提出了光子。第三篇是讲布朗运动。第四篇是狭义相对论。第五篇提出了著名的质能方程式 $E = mc^2$ 。今天我想讲的是,爱因斯坦的科学成就,对21世纪的影响可能会与上世纪相同,甚至更大。

现在我们知道,在我们“大爆炸”(big bang)宇宙中像我们这样的已知物质的能量只占总能量的5%,此外暗物质的能量占25%,暗能量则占70%。这是很奇怪的。什么是暗物质,我们不清楚,什么是暗能量,我们也不清楚。像我们这样的物质也就是已知物质,是由电子、质子、中子和极少量的正电子、反质子构成的。暗物质不是我们这样的物质。通过天体间引力场的测量,可以推理算出,暗物质的能量约是我们已知物质能量的5倍。不仅如此,最近几年通过哈勃望远镜发现我们的宇宙不仅在膨胀,而且是加速地膨胀。膨胀的原因是因为有负压力。这个负的压力,就是由于有暗能量的缘故,而这负压力是爱因斯坦较早提出来的。这个负压力就是暗能量,它占我们已知的物质能量的14倍。2004年我发表了一篇论文,探讨暗能量的来源,观念是“天外有天”。什么是天外有天呢?我认为,暗能量的存在,很可能说明在我们的大爆炸宇宙之外,会有更多、更多的宇宙。

2005年我另有一篇论文,是探讨一种强相互作用夸克-胶子等离子体的产生和结构。它的观念是“核天相连”。我认为在暗能量的负压力下会产生新的物质。这新物质可能和核能相连。最近在美国布鲁克黑文实验室,用高能量的金核离子相撞,试图发现这种新物质的存在。美国布鲁克黑文国家实验室已经有了许多结果,产生了新的核物质,我们称它“SQGP”就是Strong Interacting Quark-Gluon Plasma(强相互作用夸克-胶子等离子体)。因为夸克模型的核子中也含有负压力,核能也许可以和宇宙中的暗能量相变相连。

爱因斯坦最早提出的负压力——暗能量在我们

宇宙中占据了如此重要的地位,所以说爱因斯坦对21世纪科学发展的影响也可能比20世纪更大.了解暗物质,了解暗能量是21世纪物理学面临的很大挑战,我相信我们会成功的.

1952年我和杨振宁合写了两篇统计力学论文.爱因斯坦看过我们的论文后,请他的助手考夫曼(Burja Kaufman)来问我们,是否可以和他一起讨论.我们到了爱因斯坦的办公室,看到在他的桌子上放着我们的论文.他说,这两篇论文很有意思并询问了“格子”的细节.他的问题都着重于物理的基本观念.我的回答使他很满意.他说的英语带有很浓厚的德国口音,讲得较慢.我们讨论的范围很广泛,进行了大约有一个多小时.最后,他站起来和我握手说:“祝你未来在物理学中获得成功.”我记得,他的手大、厚而温暖.

对我来说,这实在是一次难忘的经历.他的祝福使我深深感动.

今天,我们要纪念400年前望远镜的发明,我们也纪念100多年前爱因斯坦对物理的贡献,和他五十多年前的过世,我们更要纪念伽利略和爱因斯坦一生对人类的贡献,为科学的献身.我们的地球在太阳系是一个不大的行星,我们的太阳在整个银河系四千亿颗恒星中也不怎么出奇.我们整个银河系在整个宇宙里面也相当渺小.可是因为我们有炎黄文化,有400年前望远镜的发明,因为爱因斯坦和伽利略在我们小小的地球上生活过,我们这个黄土蓝水的地球,就比宇宙其他部分有特色,有智慧,有人的道德.谢谢大家.

◦ 封面故事 ◦

大天区面积多目标光纤光谱天文望远镜

封面大图是2008年10月16日在我国落成的大天区面积多目标光纤光谱天文望远镜(The Large Sky Area Multi-Object Fiber Spectroscopic Telescope, LAMOST),它是一架完全由我国科学家自主创新设计和研制的反射施密特望远镜.它的光学系统包括:5.72米 \times 4.4米的反射施密特改正镜MA(由24块六角形平面子镜拼接而成,右小图),6.67米 \times 6.05米的球面主镜MB(由37块球面子镜拼接而成)和焦面三个部分.应用主动光学技术控制反射施密特改正镜,使它成为大口径兼大视场光学望远镜的世界之最.由于它的大口径,在曝光1.5小时内可以观测到20.5等的暗弱天体;由于它在相应于5度视场的焦面上放置了4000根光纤,连接到16台光谱仪上,可以同时获得4000个天体的光谱,成为世界上光谱获取率最高的望远镜.

光学光谱包含着遥远天体丰富的物理信息,大量天体光学光谱的获取是涉及天文和天体物理学诸多前沿问题的大视场、大样本天文学研究的关键.但是,迄今由成像巡天记录下来的数以百亿计的各类天体中,只有很小的一部分(约万分之一)进行过光谱观测.LAMOST作为天体光谱获取率最高的望远镜,将突破天文研究中光谱观测的这一“瓶颈”,成为最具威力的光谱巡天望远镜,是进行大视场、大样本天文学研究的有力工具.

在技术上,LAMOST在其反射施密特改正镜上同时采用了薄镜面主动光学和拼接镜面主动光学技术,以其新颖的构思和巧妙的设计实现了在世界上光学望远镜大视场同时兼备大口径的突破.并行可控式光纤定位技术解决了同时精确定位4000个观测目标的难题,也是一项国际领先的技术创新.

LAMOST工程分为8个子系统:光学、主动光学和镜面支撑、机架和跟踪装置、望远镜控制、焦面仪器、圆顶、观测控制和数据处理、输入星表和巡天战略.

LAMOST于1996年7月作为国家重大科学工程项目正式启动,国家计委于1997年4月批准项目建议书,2001年9月正式批准开工建设.该望远镜坐落在国家天文台兴隆观测站,作为国家设备向天文界开放.随着项目建设在二十一世纪初的完成,它将使我国天文学在大规模光学光谱观测中,在大视场天文学研究上,居于国际领先的地位.

(国家天文台 LAMOST办公室)