

物理名著之旅
聚焦物理
JU JIAO WU LI

当代物理发展

古清杨 冯丽 任平君 / 主编

远方出版社

物理名著之旅·聚焦物理

当代物理发展

主编 古清杨、冯丽、任平君

远方出版社

责任编辑:李 燕

封面设计:阿 明

物理名著之旅·聚焦物理

当代物理发展

主 编	古清杨、冯丽、任平君
出 版	远方出版社
社 址	呼和浩特市乌兰察布东路 666 号
邮 编	010010
发 行	新华书店
印 刷	北京兴达印刷有限公司
版 次	2005 年 1 月第 1 版
印 次	2005 年 1 月第 1 次印刷
开 本	850×1168 1/32
印 张	760
字 数	4790 千
印 数	5000
标准书号	ISBN 7-80723-004-5/I·2
总 定 价	1660.00 元
本册定价	19.20 元

远方版图书,版权所有,侵权必究。

远方版图书,印装错误请与印刷厂退换。

第四章 中国当代物理世纪成就…………… (123)**第一节 20 世纪上半叶中国物理学家的
重要成就…………… (123)****第二节 20 世纪下半叶中国的物理学研究 …… (164)**

第一章 宇宙学的进展

在物理学研究深入发展的同时,人们也在力求对时空大尺度上,即从整体上认识宇宙。宇宙的起源、结构和演化都是人们关心的课题。物理学与高科技的结合,创造了口径相当于 25 米的巨型光学望远镜、空间 X 射线和红外线望远镜以及地域甚大的天线阵列射电望远镜,这不仅使人们观测宇宙的窗口从红外、可见光一直延伸到 X 射线和 γ 射线整个波段,还使观测宇宙的时空尺度伸展到了 170 亿光年。如今,在人类面前,已展现出一幅生动壮丽的宇宙画面。

以现代高能粒子物理与广义相对论为基础建立起来的理论宇宙学,已能从理论上描述出从原始火球大爆炸,到星系形成和演化的整个过程。大爆炸模型已经由现代天文学的观测,如河外星系谱线红移、3K 微波背景辐射以及氦丰度等得到了一定的证实。与此同时,在解决这一模型自身的问题,如视界问题、平坦性问题和磁单极问题等的过程中,与高能物理真空相变理论相结合,又发展成更为完善的暴胀宇宙模型。

虽然具有暴胀机制的大爆炸模型为宇宙学的发展奠定了基础,然而随着量子引力理论的发展,有关量子宇宙学的一系列更深层次的问题,如宇宙时空拓扑结构、基本耦合常数的真空参数问题、宇宙常数的动力学解释等,又引起了更新一轮的激烈争论。这场理论研究的重要进展的源头,即把世人的目光从一般天体引向宇宙整体的就是哈勃定律的建立。

哈勃定律与膨胀的宇宙

研究表明,宇宙的年龄、演变及结局,在很大的程度上决定于它的膨胀速率。对宇宙膨胀的观测大体分成两个方面,这就是测定星系的运动速率与测定地球到星系的距离。前者关系到宇宙的形成模型及有关理论的发展,而后者则是估算天体亮度、质量和大小的重要依据,然而无论哪一种,都取决于哈勃常数的测量。哈勃常数已成为近代宇宙学中最重要基本常数之一。20世纪初,几台口径1米的大型望远镜陆续建造成功,它们为河外星系的系统观测创造了条件。美国天文学家哈勃(Hubble, Edwin Powell 1889~1953)在这种条件下,为现代天文学与宇宙学做出了重要的贡献。哈勃1910年毕业于芝加哥大学天文学系,后到英国牛津大学读书,在那里获得法律学硕士学位。1914年至1917年在耶基斯天文台攻读天文学博士学位。第一次世界大战期间,曾在法国服役,战

后在威尔逊山天文台从事星系的观测研究。当时的威尔逊山天文台已建成 100 英寸的天文望远镜。利用这台望远镜,哈勃把观测的目标集中在他所称的“一片片的亮雾”之上,这就是星云。与哈勃同时代的一些天文学家也在对这些星云做了大量的观测工作,例如在里克天文台工作的美国天文学家柯蒂斯(Curtis, Heber Doust 1872~1942)致力于河外星系的研究,他借助对新星的观测及利用星系角大小估算距离,认为所观测到的绝大部分星云都属于河外星系。热衷于星系观测与研究的还有美国天文学家沙普利(Shap—ley, Harlow 1885~1972),他曾任美国哈佛大学天文台台长,1915~1920 年间,曾用威尔逊山天文台 100 英寸望远镜研究旋涡星云,他利用勒维特(Leavitt, Henrietta Swan 1868~1921)发现的造父变星作为量天尺,确定了这些星云的距离,认为它们大约距太阳 5 万光年左右,应该属于银河系,因此将银河系的尺度扩展到原有的 3 倍。沙普利还第一个提出,太阳系不处在银河系的中心,虽然他把太阳从银河系的中心地位赶了下来,却又把银河系放到了宇宙的中心之上。柯蒂斯的看法则不同,他认为宇宙中充满着大量的像银河系那样的恒星系统。1920 年,在美国国家科学院,柯蒂斯与沙普利的两种不同观点正式交锋,虽然在这场论战中柯蒂斯占了上风,却并未有得出公认一致的结论,直到三年后,哈勃给出的观测事实,才使上述论战有了

决定性的结果。1923年,威尔逊山天文台建成了2.5米口径的天文望远镜,哈勃利用它在仙女座星云外缘找到一颗造父变星,根据其光变周期与光度之间的关系,他推断出该星的距离为15万秒差距(实际为80万秒差距),比沙普利的银河系要大得多。这表明,仙女座大星云是一个河外星系,从而结束了河外天体是否存在的辩论,使天文学家的研究领域迈出了银河系。与哈勃同时代的另一位天文学家斯里弗(Slipher, Vesto Melvin 1875~1969)也对星云研究感兴趣。他对星系光谱做了大量的观测。1921年,他首先把多普勒-斐索效应应用于仙女座大星云,发现所观测到的星系光谱波长大多比实验室观测到的要长,这表明,这些星云都在远离地球退行,其退行速度大大地高于恒星的视向速度。1929年,在同行们研究成果的基础上,哈勃仅以24个已知距离星系的观测资料为依据,做出了速率—距离的关系图。图中显示速率与距离值成正比,即 $v_r = H_0 r$, v_r 为星系对银河系的视向速率,上式即为哈勃定律,式中的常数 H_0 就是哈勃常数,由这一常数得到的宇宙年龄 $H_0^{-1} = 1.84 \times 10^8$ 年,该值恰与当时用散射方法观察到的地壳中古老岩石年龄 1.8×10^8 年惊人地一致,哈勃的结果,很快地得到认同。哈勃的这一结果,不仅证明了整个宇宙处于膨胀之中,而且这种膨胀速度与距离 r 成正比,因而既是处处没有中心又是处处为中心的。为了扩展观测的范

围,需要能观测到更为遥远星系团中的星系。由于工作量的骤增,哈勃开始与赫马逊(Humason, Milton LaSalle 1891~1972)合作。哈勃负责测量星系的亮度,赫马逊负责测量红移量。赫马逊并非科班出身,最初只是威尔逊山天文台的一位看门人,工作之便使他热爱上了天文学,在为别人假期代班的天文观测中,显示了他出众的才华和娴熟的观测技巧,不久即正式投入天文学研究。在哈勃去世后,他继续了哈勃的天文观测事业,1956年,他又与其他人合作,利用观测到的资料,改进了哈勃定律,因而与勒梅特和盖莫夫的大爆炸理论取得了一致。

哈勃常数值修正的三次高潮

从原理上看,似乎哈勃常数的测定是简单的,即只要测出星系距离与退行速率,即可由哈勃定律得到哈勃常数。然而在实际上并非如此,星系的速率可以直接从谱线红移获得,可是距离的测量却是既困难又复杂的。对于1000万光年以内附近星系的距离,天文学家们的测量结果都比较一致,这种测量以造父变星为量天尺进行。1908年,在哈佛天文台工作的勒维特在南非观测时发现,造父变星的亮度周期性变化,光变周期越长,平均亮度也越大。这一发现具有不寻常的意义,因为观察亮度变化的整个过程,就可以得到光变周期和视亮度,

随后即可计算得到它的绝对亮度。再根据距离加大,视亮度递减的关系,即可由绝对亮度与视亮度之比;确定造父变星的距离。因此,把造父变星作为量天尺,利用三角视差法,逐步扩大测量范围,不仅可以量出银河系的大小,还能测量出各河外星系的大小和距离。在 20 年代,哈勃用造父变星证实了银河系以外还存在有其他星系以后,从 30 年代到 50 年代,哈勃与桑德奇(Sandage, Allen Rex 1926~)等人,又在附近星系中寻找更多的造父变星以确立更新的量天尺,为此做了大量的工作。他们成功地测量了十几个星系的距离,改进了确定哈勃常数的基础。

最初的哈勃常数值为 $H_0 = 550$ 千米/秒/百万秒差距(以下单位略)。1936 年,考虑到星际消光因素,哈勃常数被修定为 $H_0 = 526$ 。在最初,这一数值被认为是准确的,因为按 H_0^{-1} 得到的宇宙年龄恰好与当时的地质观测结果相一致。二战之后,利用造父变星为量天尺,使哈勃常数逐渐得到了修正。1952 年,在威尔逊山帕洛马天文台工作的旅美德国天文学家巴德(Baade, Walter 1893~1960)掀起了哈勃常数修正的第一个高潮。这次高潮是由修改量天尺引起的。此时,帕洛马天文台 5 米口径天文望远镜建成并开始运转。巴德利用他的精确而系统的测量,不仅在仙女星座中找到了 300 个以上的造父变星,而且还发现恒星分为两种星族,每一星族都有

自己的造父变星,它们只适用于附近星系,而原有哈勃定律所针对的则都是建立在第一星族基础上的造父变星。随着对造父变星周光曲线的修定,随着观测尺度的加大,必须更换原有哈勃常数测定中的量天尺。经巴德计算,遥远星系的距离比原来的估计值增加了一倍,哈勃常数将比原来减小一倍。1952年,巴德在罗马举行的第8届国际天文学大会上,宣布了他的结果, $H_0=260$ 。

哈勃常数修正的第二个高潮由哈勃的接班人桑德奇掀起。桑德奇是一位著名的实测天文学家,从1956年开始,他在帕洛马天文台对哈勃常数进行了系统的测量工作。在几年的时间内,他得到了600多个星系的数据,最大的红移量值达到 $Z=0.202$,所得到的哈勃常数值为 $H_0=180$ 。在此基础上,桑德奇又对哈勃常数做了进一步的修正,他们再度更换量天尺并把观测范围进一步加大,此时原有确定距离的方法已不再适用,因为当星系距离达到了几百万秒差距时,望远镜已无法区分星系中单个的星,必须寻找代替造父变星作为新距离标准的“指示体”。他们通过天体的绝对星等和视星等的关系,先确定指示体的距离,再由指示体确定星系距离。他们认为能作为距离指示体的有,造父变星、H II 区、球状星云、超新星和椭圆星系等。1961年,桑德奇在美国伯克利召开的国际天文学大会上宣布,总估各种测量结果,哈勃常数值应在75

与 113 之间,最或然值为 $H=98\pm 15$,一般可取为 100。这一结果表明,宇宙的尺度要比人们早期预期结果远大得多。

进入 70 年代以来,哈勃常数的测定日益受到天文学家们的重视,对它的测量方法也更加系统,测量的精度也日益提高,因而形成了哈勃常数修正的第三次高潮。然而,这次修正高潮之后,局面却日益复杂化。哈勃常数的各次测量值越来越多地接近高低两个值上。桑德奇和他的合作者塔曼得到的值是 50,而德克萨斯大学的德瓦科列尔(de Vaucouleurs)的结果却是 100,两个值的测量方法都是以造父变星为起点,其后选用不同距离的指示体进行的,结果竟然相差一倍,不仅出现了哈勃常数纷争的局面,也使人们在实际运算中,出现了任意选择的局面,有人选取 50,有人选取 100,还有人选择平均值 75,虽然这些值的选取都具有权威性,但是仍无法最后判定哪一个最准确。目前,对哈勃常数做出裁决为时尚早,但是,从其他方面得到的佐证中,仍然可以提出带有倾向性的意见。

根据哈勃常数值,宇宙的哈勃年龄应为 $t_0 = 19.7 \times 10^9$ 年和 $t_0 = 9.8 \times 10^9$ 年。然而宇宙的年龄还有其他的估算方法。一种方法是测量矿石中放射性元素的含量,根据其半衰期加以估算。对各种放射性元素综合测量的结果,所给出的宇宙年龄是 1×10^{10} 年另一种较为有效的方法是测定球状星

团的年龄。根据球状星团的赫罗图,得出它们的年龄在 $(10\sim 20)\times 10^{10}$ 综合这些从不同角度得到的估算结果,宇宙的年龄不超过 200 亿年,这表明取小值哈勃常数更符合实际。

由于哈勃常数已成为近代宇宙学中最重要也最基本的常数之一,近年来,对它的研究已成为十分活跃的课题。正式发表的有关哈勃常数的论文已有数百篇。1989 年,著名天体物理学家范登堡(Van den Bergh)为天文学和天体物理评论杂志撰写了一篇权威性论文,它综述了截止到 80 年代末所有关于哈勃常数的测量和研究结果,最后认为,哈勃常数的取值应为 $H_0=67\pm 8$ 。

多余天线温度的发现

1963 年初,在贝尔实验室工作的年青物理学家彭齐亚斯(Penzias, Arno Allan 1933~)和射电天文学家威尔逊(Wilson, Robert Woodrow 1936~)合作,测量银河系内高纬星系的银晕辐射。他们所使用的射电望远镜原是用接收人造卫星“回声号”回波用的大喇叭口天线加辐射计制成。他们还采用了当时噪音最低的红宝石行波微波激射器,并利用液氮制冷的波导管作为参考噪音源,因为它能产生功率确定的噪音以作为噪音的基准,使噪音的功率可以用等效的温度表示。由于当时的手头正好有一台 7.35cm 的红宝石行波微波激射

器,他们就先在 7cm 波段上开始了天线的测试工作。

彭齐亚斯和威尔逊的测量结果表明,天线的等效温度约为 $6.7 \pm 0.3\text{K}$,天线自身的温度为 $3.2 \pm 0.7\text{K}$,其中大气贡献为 $2.3 \pm 0.3\text{K}$,天线自身欧姆损耗和背瓣响应的贡献约为 1K ,扣除这些因素,最后得到,天线存在有多余噪音,它的等效温度约为 $3.5 \pm 1\text{K}$ 。尽管他们采用了各种措施,把各种估计到的噪音来源尽量消除,这个多余噪音的等效温度值依然存在,它不仅稳定,而且均匀无偏振,在任何方向都能接收到。

彭齐亚斯和威尔逊观测到天线多余噪音温度现象,带有一定的偶然性,因为实验并没有在理论的预言或指导下进行。然而可贵的是,他们重视观测的结果,忠实于原始资料,不但没有轻易放弃偶然观测到的现象,反而抓住它们一追到底。并想方设法挖掘观测事实背后的意义,这就使他们能不失时机地做出重大发现。在这一成功之中,更难能可贵的是贝尔实验室对实验工作的支持。这一当今最大的工业实验室,拥有数千名才华出众的科技工作者,他们在进行电话、电报技术发展及开发业务的同时,始终重视基础科学,特别是基础物理学的研究工作。它在世界通讯事业中起着中流砥柱的作用,在物理学的研究中,也取得了许多令世人瞩目的成果,例如,在天体物理学方面,1931年,贝尔实验室的电信工程师央斯基(Jansky, Kart Guthe 1905~1950)首先发现了来自银心的

周期性噪音射电辐射,从此开创了射电天文学的新领域。这次彭齐亚斯与威尔逊的观测是贝尔实验室与国家射电天文观测台合作进行,贝尔实验室远见卓识地从人力、设备与资金上给予了大力支持,提供了当时世界一流的灵敏毫米波谱线射电望远镜、热电子辐射计、液氮制冷参照噪音源,为实验的成功起到了至关重要的作用。

宇宙微波背景辐射的证实

在与彭齐亚斯、威尔逊实验观测的同时,另一些人也在对同一目标搜寻着。他们是以迪克(Dicke, Robert Henry 1916~)为首的普林斯顿大学的一个研究小组,正在开展一项有关宇宙学的探索性研究。1941年,迪克从罗彻斯特大学获得博士学位。1946年前,他在普林斯顿大学物理系执教。迪克成名于他的一项重要成果——标量—张量场论的提出。这一理论与爱因斯坦的引力理论并驾齐驱,也能成功地解释引力研究中的一些观测现象,以致在引力场研究中,谁是谁非还一时难见分晓。在60年代,随着宇宙学研究的兴起,迪克对伽莫夫的宇宙原始大爆炸理论产生了浓厚的兴趣。他曾设想,至今宇宙应残存有大爆炸的遗迹,例如宇宙早期炽热高密时期残留的某种辐射。他与他的合作者认为,这种辐射有可能是一种可观测到的射电波。迪克建议罗尔(Roll, P. G.)和威尔

金森(Wilkinson, D. T.)进行观测,还建议皮布尔斯(Peebles, P. J. E.)对此进行理论分析。皮布尔斯等人在1965年3月所发表的论文中明确指出,残存的辐射是一种可观测的微波辐射。叙述了极早期宇宙中重元素分解后,轻元素重新产生的图景。皮布尔斯后来在霍普金斯大学做过的一次学术报告中,也阐明了这个想法。1965年,彭齐亚斯在给麻省理工学院射电天文学家伯克(Burke, B.)的电话中,告之他们难以解释的多余天线噪音,伯克立即想起了在卡内基研究所工作的一个同事特纳(Turner, K.)曾提到过的皮布尔斯的那次演讲,就建议彭齐亚斯与迪克小组联系。就这样,实验上和理论上的两大发现由此汇合并推动事态迅速地发展起来。先是彭齐亚斯与迪克通了电话,随即迪克寄来一份皮布尔斯等人论文的预印本,接着迪克及其同事访问了彭齐亚斯和威尔逊的实验基地,他们在离普林斯顿大学只有几英里之遥的克劳福德山讨论了观测的结果之后,双方协议共同在《天体物理学》杂志上发表了两篇简报,一篇是迪克小组的理论文章《宇宙黑体辐射》,另一篇是彭齐亚斯与威尔逊的实验报道《在4080MHz处天线多余温度的测量》,虽然后一篇论文考虑到自己尚未在宇宙论方面做出什么工作,出于慎重,论文并未涉及背景辐射宇宙起源的理论,只是提到“所观察到的多余噪音温度的一种可能解释,由本期 Dicke、Peebles、Roll 和 Wikin-