



(一)

张 端 明

天街夜色凉如水
卧看牵牛织女星。

瑰丽的夜空,闪烁的繁星,自古以来,都在人们的心目中引起神思遐想。人们不会忘记,在那风光明媚的江汉之滨,峨冠高髻的诗人屈原对着浩瀚的苍穹所发出的“天问”……

随着时光流逝,到我们时代人类征服蓝天的能力已愈来愈大了。然而,人们愈深入到无边无际的宇宙海洋,就愈清楚地看到,宇宙中的许多奥秘,是与客观世界的另一个极端——微观世界息息相关的。于是一门新的科学诞生了。这门新学科叫做粒子宇宙学。

粒子宇宙学的对象是宇观世界(以后我们叫大宇宙)与微观世界(下称小宇宙)汇合的地方,也就是它们共同的领域。看来,宇宙的演化与现状的物理基础离不开高能基本粒子的物理规律,而宇宙,天体世界则为高能物理提供了宏伟的实验场地。要知道,许多重要的粒子物理发现都来自宇宙来客呢!

从八十年代开始,人们提出关于极早期宇宙的暴涨理论(the inflationary Scenario),它更是以粒子物理大统一理论关于真空对称自发破缺的相变为基础,堪称大宇宙与小宇宙理论相互渗透的典范。

一、从大数微说谈起:楔子

1937年,鼎鼎有名的英国科学家狄拉克(Dirac)提出了一个大胆猜测,就是所谓大数猜测。事过四十三年,1980年,狄拉克在美国佛罗里达州任教,他再一次宣称,从阿波罗登月艇上取回的岩石样品表明,根据大数猜测可以解决奇怪的月亮问题。

什么叫大数猜测?什么叫月亮问题?这还得从宇宙有多大谈起。

天文观测资料告诉我们,人们所生活的这个宇宙

的直径大约100亿光年。一光年是天文学中量星星之间距离的长度单位。大约相当于10万亿公里或100亿亿厘米(10^{18})。这是难以思议的一个庞大数字。我们试想想,太阳离我们有一亿五千万公里,如果我们坐火车去,日夜不停地行驶,也要5000年。但是光从太阳到地球不过8分钟而已。

基本粒子世界——小宇宙中,质子或中子的直径则只有一费米,即 10^{-13} 厘米左右。狄拉克注意到:

$$\frac{\text{宇宙直径}}{\text{中子直径}} \sim 10^{40}$$

这个不可思议的无量纲大数是一个与宇宙之谜有关的数字,你看 $\frac{\text{强相互作用强度}}{\text{万有引力强度}} \sim 10^{40}$ 。这难道是巧合吗?

狄拉克认为不是,实际上现在人们还发现,在强相互作用中衰变的粒子,其寿命为 10^{-23} 秒左右,现在一般认为宇宙寿命约为一百亿年。于是 $\frac{\text{宇宙寿命}}{\text{强衰变粒子寿命}} \sim 10^{40}$ 。

如此等等。

真是太巧了。狄拉克据此大胆提出著名的大数猜测。如果作用强度以强相互作用强度为单位,时间以亚原子世界——小宇宙的典型时间 10^{-23} 秒为单位,并认为在宇宙“开始”时,引力作用等于强相互作用,则万有引力常数G应随时间而减弱,即

$$G \propto t^{-1}$$

式中t为宇宙年龄,奇怪的大数 10^{40} 不是别的就是以小宇宙的典型时间为单位的宇宙寿命。

我们知道,行星的公转、双星的旋转、星云的涡漩运动,恒星的演化、超新星的爆发、黑洞的神秘辐射……这种种现象都是由于引力作用的结果或者与引力作用有密切的关系。如果引力常数不断减弱,那么必然导致许多重大的后果。

大数猜测可以解释宇宙的膨胀。1929年哈勃(Hubble)从遥远星系的退行现象,指出我们周围的宇宙在不断膨胀。天文学家史仑弗尔1912年就察觉到河外星系的红移现象,就是遥远星系中所含元素的谱线和地球上同种元素的谱线比较起来,移向光谱的红色端。这就意味着,星系在远离我们而去,光谱的红移类似于声音的多普勒现象,我们都知道,火车急剧离站而去时,其汽笛鸣音会变得不那么尖锐。哈勃根据红移和距离的测量资料指出,星系愈远,红移愈大,远离的速度就愈大。距离每增加1千亿亿公里(10^{19} 公里),离散速度每秒钟要加快55公里。在人们观测到的最远的星系,竟以每秒7~8万公里速度在背离我们而去,这样快的速度已达到光速的四分之一。

根据大数推测,引力在不断减弱,各星系云间距离就会越来越远,从而导致宇宙的膨胀。

如果引力常数G变化,那么爱因斯坦的广义相对论就要用其它引力理论取代。在这方面最有趣的尝试是1961年斯坦福大学的迪克博士和布朗斯(Brans)提出的所谓“标张量理论”。在他们的模型中引力也是在减少,不过比狄拉克理论要慢得多,每年减少的幅度只有后者的十分之一到百分之一。

由于引力减弱,就会改变太阳及其它恒星的温度。如果在一百亿年当中,引力减弱了三分之一,那么,四十亿年前太阳的亮度将是以前学者所估计的两倍。因此,我们的蓝色的摇篮地球看来在过去岁月中处于比以前学者所推断的温度要高的高温状态。这对于星球的演化和生命的起源和形成绝非一件小事。

由于引力减弱,地球及其它星体的半径就不断扩大。地球地貌中许许多多的大峡谷、深沟也许就是这个原因形成的吧。

迪克理论中还预言宇宙中存在着一种奇怪的 φ 波,它比引力波要强得多。 φ 波与物体相互作用会导致引力强度的减弱。 φ 波与引力波都来自宇宙深度的超新星爆发。最近有一种地震机理的新学说,主张有一些地震是由于 φ 波——空间的“海啸”——对地球“袭击”的结果, φ 波“袭击”地球,地球引力被削弱,于是地球发生膨胀,地震……。

诚然,地球地震频率似乎有某种规律的变化,例如,1900年到1910年间地震发生较少,从1930年到1940年,则发生较多。这种规律性的变化,是否暗示某种地球之外的原因在诱发地震呢?是不是奇怪的 φ 波的袭击地球呢?……。

现在要谈到月亮问题了。从阿波罗采集的月亮表面岩石来说,最古老的大约四十五亿年。地球上最古老的岩石大约三十九亿年,此外,陨石的年纪都是四十五亿年这似乎暗示我们,地球-月亮系统,也许还有整个太阳系都是在四十五亿年前形成的。地球上更老的岩石大概是风化了吧。

另一方面,很早人们就知道,由于地球的潮汐作用,潮汐与地球的摩擦作用,月亮绕地球的轨道,离地球最近的地方与最远的地方都会不断发生变化,月亮运行速度会逐渐减少,而离地球距离则逐渐增大。麦克唐纳(McDonald)的计算表明,大约在十六亿年到二十五亿年前,月亮离地球距离最近,只有地球半径的三倍。时间再倒溯过去,这个距离就又增大了。

显然,当月亮离地球只有一万八千公里时,巨大的潮汐将高达几千米而不是目前的几米了。怒潮的惊涛骇浪应该在水成岩的形成中起破坏作用。但是奇怪的是,这惊心动魄的一幕在水成岩中没有留下痕迹!地质学家根本不相信在地球上曾经有过这样的潮汐存在过!

这就是月亮问题。

1975年J.G.福特在一篇综述文章中提出一个新的思想:天文学的时间标度与地质学中的不一样。前者是以地球绕日公转周期为计算单位的,即所谓星历时,在计算中用的是这个时标。后者则是以放射性衰变或原子钟为标志的。

也许在过去的岁月,相对于星历时而言,放射性衰变比现在进行得快一些罢。这样一来,若用星历时,岩石也许要更加古老罢。而根据放射性资料估算的月亮的年龄,实际上要年轻得多。

星历时与原子钟的差异是可以实验检验的。范·弗兰登(Van Flandern)自从1975年就观察月亮在天空中的角运动以进行这种比较。开始时结果似乎不甚美妙,但到了1978年实验结果似乎表明,星历时与原子钟的差别的确存在,而且似乎有助于月亮问题的解决。

下面一个饶有兴趣而且是更为关键的问题自然是,这两种时标为什么会不同呢?

狄拉克兴致勃勃地指出,这就是引力常数G随时间不断减少的缘故呵。引力不断减弱,所以相对于原子钟而言,星历时在不断延长,他进行了一个简单演算,说明情况确实如此,他写道:“这样,对月亮历史的探讨,提供对G变化和大多数假说的一个有利证据。”

当然,对于大多数假说以及迪克等理论持异议的人很多。我们不想一一介绍这些论争了。我们将大多数假说作为一个实例,说明宇宙学与粒子物理相互渗透已到了何等难以分离的程度!真是“大中有小,小中有大”,月亮问题从表面上看来,是关于大宇宙的问题。但是1980年狄拉克讨论这个问题的论文却被收集在“高能物理新发展”一书第一篇。这难道不是意味深长的一件事吗?

二、一份不完整的清单

小宇宙与大宇宙发生的事到底是怎样相互影响、互相渗透呢?当然这是一个漫长的故事……。

但是,我们不妨在这里开一个不完整的清单。首

先是对小宇宙的研究促进对大宇宙中所发表的现象的理解的例子：人们在实验室中制成激光发生器以后，又出乎意料地发现宇宙微波激射（Masers）。核反应的深入研究，使我们得以了解恒星中永不熄灭的天火从何而来。引力场的探索，使人们大胆推测中子星与黑洞的存在，某些 X 射线源似乎就是神秘黑洞的候选者。

相反的例子也很多。大宇宙的研究教会物理学家更好地认识小宇宙。我们知道，诺莫尔(Roemer)在 1675 年测定光速正是通过木星卫星蚀现象的延迟进行的，而直到上个世纪人们才能在实验室中测定光速。

天体力学的发展，刻卜勤等人的卓越贡献才使得牛顿引力定律在 1686 年建立。一百多年后，即 1798 年人们才在卡文迪许实验室测定引力常数。

难道不正是大宇宙给人们提出现代高级实验室所不能提供的许多信息么？提供许多基本粒子珍贵的资料么？

太阳系天体力学极精确地证实广义相对论，观察资料表明，理论进一步修改的余地是不大的。因此，由

广义相对论预言的引力波，应视为已间接证实。量子力学则告诉我们，引力场的场量子——引力子是自旋为 2 的无质量的玻色子，它们理所当然应该存在。尽管引力波还没有被确切探测到，但泰勒等人 1979 年对双星脉冲星的观察似乎带来一个好消息。

广义相对论中重要的原理之一——等价原理是大家都知道了。引力质量跟惯性质量的相等，现在以 10^{-13} 的精度被证实，这表明，质能关系 $E=mc^2$ 对强、电磁以及弱作用都是普遍地成立的，实验是对不带电的物体进行的。

此外，对于地球、木星和银河系磁场的测量表明，麦克斯韦的电磁理论是完全正确的，就是说，光子质量为零，至少其下限也是比目前实验室中所得到的结果小得多。

但这一个不完整的清单只是大宇宙与小宇宙相互影响的少数例子。实际上，两者关系的新纪元却是在二十多年前，那时现代宇宙学勃兴，尤其是热宇宙模型被实验证实……。

于是真正的故事还得从热宇宙模型开始。

（待续）