

物理学概论

南京航空航天大学

2001.7.

第1章 人类在宇宙中的位置	1
1-1 人类在宇宙空间中的位置	1
1-2 人类在时间中的位置	10
1-3 现实社会中的人类	16
1-4 有限资源、有限地球环境制约下,人类历史进步新思考	22
第2章 力学概论	24
2-1 力学发展史	24
2-1-1 亚里士多德的力学理论	24
2-1-2 伽利略和实验科学的兴起	25
2-1-3 牛顿三定律的建立	29
2-1-4 牛顿万有引力定律的建立	32
2-2 力学的基本内容	41
2-2-1 质点运动学	41
2-2-2 质点动力学	41
2-2-3 力的时间、空间累积效应	49
2-2-4 动能定律、功能原理、机械能守恒定律	52
2-2-5 振动与波动	62
2-2-6 牛顿力学的方法论及其哲学思考	68
第3章 热学与能源工程	72
3-1 热学发展史	72
3-2 热力学物理基础	78
3-2-1 几个基本物理概念	78
3-2-2 热力学定律	79
3-2-3 气体状态方程与等值过程	79
3-3 耗散结构理论与“热寂论”	95
3-3-1 耗散结构理论	95
3-3-2 “热寂论”问题	97
3-4 能源工程	98
3-4-1 机械能间的转换工程	98
3-4-2 热能和机械能间的转换	101
3-4-3 化学能源的利用	104
3-4-4 电能变为其他能	106
3-4-5 光能变为其他能的转换	109
3-4-6 核能	111

第4章 近代科学重要基础——电磁学	116
4-1 电磁学发展史	116
4-1-1 电磁现象的早期知识、研究和利用	116
4-1-2 电磁学的大发展期	119
4-1-3 法拉第电磁感应现象的发现和电磁感应定律的建立	122
4-1-4 电磁场理论的建立与启迪	124
4-2 电磁感应与电磁波	129
4-2-1 电磁感应基本定律	129
4-2-2 动生电动势与感生电动势	130
4-2-3 电磁场方程与电磁波	133
4-2-4 作为物质一种形态的电磁场	136
第5章 物理学发展中的革命风暴	138
5-1 引言	138
5-2 相对论简介	143
5-2-1 相对论产生的历史背景	143
5-2-2 迈克尔逊实验与洛伦兹解释	145
5-2-3 彭加勒的相对性原理	147
5-2-4 爱因斯坦相对论的建立及其得出的结论的介绍	148
5-3 量子论的产生和量子力学的发展	158
5-3-1 量子论的产生	158
5-3-2 原子光谱的规律	163
5-3-3 玻尔的氢原子模型	164
5-3-4 量子力学的发展	167
第6章 原子核与基本粒子的研究	172
6-1 核结构与核裂变	172
6-2 基本粒子的性质及其规律	176
6-3 中国科学家在近代物理和粒子物理方面所做的贡献	184
第7章 物理学研究的常用思想方法介绍	193
7-1 分析与综合	193
7-2 归纳与演绎	196
7-2-1 归纳与穆勒五法	196
7-2-2 演绎法	206
7-3 类比	207
7-4 从原型到模型	213

参考书目

习题与复习思考题

第一章 人类在宇宙中的位置

§ 1-1 人类在宇宙空间中的位置

速率法测量距离

世界有多大呢？在这个世界上，我们周围的物体又有多大呢？日常生活中所接触到的东西，我们能够立刻感觉到它们的大小。我们的眼睛能够看得清的最小长度是一根头发的宽度，也就是大约一毫米的十分之一。人体大约两米高，这个高度比一根头发的宽度要大一万倍还多一些。周围其他的东西，例如家具、工具、车辆、房屋，粗略地说，都和我们的身体具有相同量级的尺度；如果不是这样，那我们就不能那么容易地掌握它们了。

我们凭窗远眺，看到更大、更远的东西，例如高山和平原。我们可以计算需要走多少步路才能走到，从而知道它们离我们多远——这就是把它们和我们的身体直接作个比较。我们发现，看得见的远处的东西——高楼、丘陵和树林——离我们只有几公里，用计算步伐的数目来测量大陆，那就太难了，更不用说用它来测量地球了。所以，比方说，对于 100 公里以外的东西，其大小和距离的概念就必须利用间接的方法来获得。一种方法是用速率去测量距离。如果一个人以一定的速率，例如每小时行走 100 公里，从一个地点旅行到另一个地点，若知道所花费的时间，那么，就能够计算出这两个地点间的距离。利用现代交通工具很容易进行这种计算。飞机飞行 100 公里约需十分钟；在两海岸之间飞行一次约需 500 分钟。因此，两海岸间的宽度约为 5,000 公里。同样一架飞机绕世界一周，需要几乎十倍的时间，因此，地球的圆周应大约为 50,000 公里，实际是 40,000 公里。我们知道地球是个圆球，这就容易从它的圆周算出直径——13,000 公里。这就是我们自己的住所——地球这个行星的大小。

反射法测量距离

宇宙空间的许多星体，距我们是很遥远的，为了显示出我们在宇宙中的位置，让我们把视野再扩大一些，我们先考虑月亮、太阳和一些星星，一般的大体，我们不可能直接测出其距离我们的实际距离，但我们可以用简单的方法来测量较近天体的距离。最简单的方法是根据雷达技术而得到的一个十分新颖的方法。即把雷达束对准目标，并发出一个短信号，等候雷达波从目标上反射回来，并测量出信号往返所需的时间。当信号对准月亮这一目标时，所需的时间间隔是 2.6 秒，即雷达信号从地球到达月亮，再从月亮回到地球，历时 2.6 秒。雷达波与光波一样，都有同样的速率——每秒钟 300,000 公里。于是我们得出结论：地球—月亮—地球的距离是 $2.6 \times 300,000$ 公里，这就告诉我们，月亮离我们大约 400,000 公里。当然，反射法也是利用速率来测量距离的。

知道了地球到月亮的距离，那就要问，月亮有多大呢？我们看到的月亮象个圆盘。把同月亮一样大的圆盘从地平线西端挨个儿摆到天顶，再从天顶摆到地平线东端，摆成这么一个巨大的半圆形，需要 360 个同月亮一样大的圆盘，这就可以看出月亮的大小。我们已知到月亮的距离，也知道以该距离为半径的这个半圆形的周长，即 $\pi \times$ 半径，或 $\pi \times 400,000$ 公里。

月亮的直径必然是这个半圆形周长的 $1/360$, 这是 3,600 公里, 相当于地球直径的三分之一。月亮与地球间的距离只有地球直径的三十倍多一点。月亮几乎是一个属于地球范围内的物体。

现在我们看一看其他的天体, 不过, 首先只看我们太阳系的成员, 即太阳和其他行星。人们对行星运转已观测了许多世纪, 但并不知道这到底是怎么一回事。从哥白尼那个时代起才弄清楚, 原来我们从地球上看到的行星的奇怪运动, 是它们环绕太阳按圆形(实际是椭圆形, 近于圆形)轨道运转, 地球本身也环绕太阳运转。地球是行星之一, 从太阳往外按行星轨道来数, 地球是第三个行星。从地球上仔细观察行星运转, 就能看出不同行星的轨道的相对大小。例如, 我们观测到, 水星总是靠近太阳的, 它离太阳从不超过 23° ; 从这一事实得出结论: 水星轨道的半径是地球轨道半径的 0.38 , 即三分之一多一点。同样, 我们得出, 金星轨道是地球轨道的 0.7 , 即三分之二多一点。这样, 我们就能作出一幅比例正确的太阳系图, 但是太阳系实际有多大, 我们还不知道(图 1-1)。

那么我们又怎样求得这些轨道的大小, 从而知道太阳系确实有多大呢? 我们已经知道太阳系所有成员彼此之间的相对位置, 所以, 只要把一个成员的确实距离测量出来, 就能知道所有行星轨道确实有多大。这里, 我们仍然能够用雷达方法来测量太阳系以内的距离。

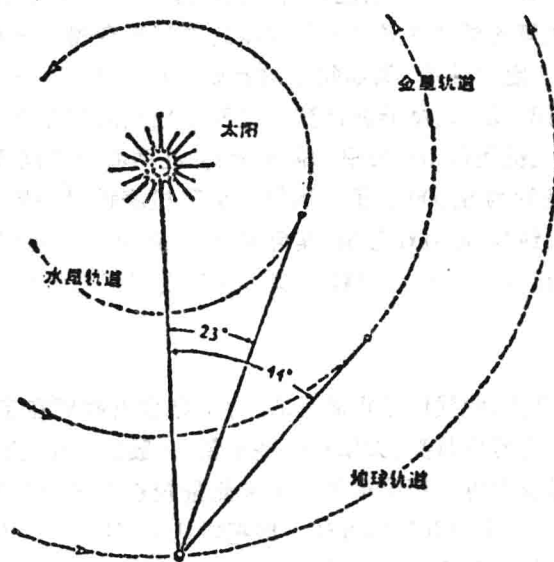


图 1-1 我们见到的水星与金星离太阳最大的角度。
这此角度决定地球轨道和水星与金星的轨道之间的比率

现在, 虽然人们已经做过一些有成效的实验, 但是我们还没有能够用雷达束的技术来得到地球到太阳之间距离的有效测量结果。可是, 我们能将雷达束对准靠近地球的一个行星。对于金星就曾这样实验过, 而雷达信号簇返回所历时间在五分钟到十五分钟之间, 这要看观测时地球和金星各自在其轨道上的位置而定。根据光的速率可以算出, 金星的距离属于若干百万公里的数量级。于是我们得到足以表示太阳系特征的一个距离。光从太阳系的一个行星到

达另一个行星,要走若干分钟,由此可以得知,太阳系究竟有多大了。一旦把单独一个距离,例如金星—地球距离测定下来,要找出太阳系其他任何一个距离就不再有困难了,因为我们已经知道了行星轨道的比例及其相对的大小。这样我们马上就能得出,对我们地球上的人来说是最重要的距离,即太阳—地球距离。原来太阳—地球距离有一亿五千万公里;光从太阳到我们地球要走八分多钟。

太阳有多大呢?看起来,太阳和月亮是一般大小,可是我们很容易算出,太阳离我们比月亮远 375 倍。所以,太阳的直径一定比月亮直径大 375 倍。利用乘法,就得出太阳直径是一百四十万公里。太阳比地球大一百多倍。(图 1-2)

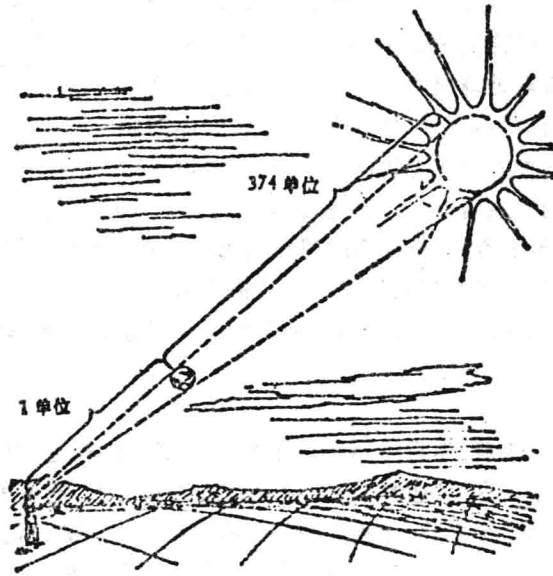


图 1-2 太阳和月亮对于地球上观察者的关系

我们已经测量过太阳系的大小了。其实,比起单独一个地球行星来,太阳系更应当称为我们的住所。太阳毕竟是我们的光、热和能的主要来源。太阳是我们所从属的星体,也是我们生活的一部分。太阳系是我们生活所在的世界。现在再让我们往太阳系外边看一看。

我们所看到的尽是星星。它们叫做“恒星”,因为看起来,它们和行星相反,是不动的,而行星环绕太阳运转,则是明明白白可以看得到的。实际上,星星之所以为“恒”星,只是由于它们离我们太遥远了,以致它们的任何运动,都会慢得使人们一辈子也观测不出来。事实上,它们都在运动。精确的天空照片表明,相隔许多年后,星星的位置就有微小的变动。我们能从古代文献推断,好几千年以前,有些星座看来和现在的大不相同。

可是星星有多远呢?这里介绍一个常用的测量方法。

三角视差法测量距离

三角视差法比较可靠,但测量范围很狭窄,只适用于近星,为了说明三角视差法,举一个简单的例子,在一个人的前面放一个苹果,当他交替闭上一只眼,用另一个眼单独视察苹果,右眼见到的苹果在书橱前,左眼见到的苹果却是在窗户前。即被观察物体的位置相对于远处的景

物移动了一个角度,测出这个角度的大小和两眼的距离,用简单的几何学就可以算出视观察物体离眼的距离,其中,从不同位置(例如左、右眼)观察同一目标(例如苹果)所出现的相对于远方景物(窗户,书橱)的位置差别,称为视差,描述视差的角度称为视差角,不同观测位置之间的连线称为基线,这种测量目标距离的方法,称为三角视差法,在地面上,对于某些难以直接丈量的目标,如河对岸的目标,大楼的高度等等,可以采用三角视差法确定距离,天文学中,三角视差法是测量恒星距离的基本方法,不难设想,当目标很远时,如果基线不够长,那么视差角太小,就会影响测量的精度,甚至根本无法测量。

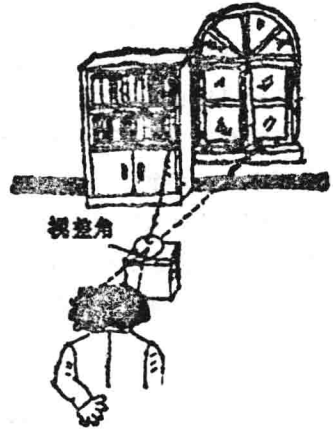


图 1-3 视差角显示

在天文测量中,通常取地球绕太阳公转的轨道直径(3 亿千米)为基线,当被测天体的视差角为 1 角秒时,该天体的距离称为 1 秒差距,写 1pc,秒差距和光年(光在一年时间内经过的距离)是天文学中常用的距离单位,1 秒差距 = 3.26 光年 \approx 30 万亿千米,天体越远,视差角越小,测量就越不准确,也越困难,最小可测的视角约为百分之一角秒,但较准确的测量只能达到 20~30 秒差距。在太阳附近可以观测到的恒星的密度为 $0.08/(\text{秒差距})^3$,在 20 秒差距范围内可观测到的恒星只有 2681 颗。格里瑟(Gliese)在 1969 年测量了 20 秒差距内的 1049 颗较亮的星。

光学法测量距离

三角视差法虽然比较准确,但只适用于范围相当狭窄的比较近的恒星,需要以此为基础,由近及远的一步步迈向宇宙深处,通常,在三角视差法的基础上,把各种测量星系距离的方法分成三级“宝塔”。在具体介绍之前,让我们先作一些原则和方法的讨论。

当我们迈向宇宙深处时,为了测定天体的距离,天文学家的基本办法是认为,天体越亮离得越近,越暗离得越远,即“亮近暗远”;以及认为观测到的天体的范围越小离得越远,范围越大离得越近,即“近大远小”。显然,以天体亮暗论远近的前提是,被比较远近的各个天体的亮度相同且已知;而以大小论远近的前提是,被比较的各个天体的真实大小相同而且已经知道。

例如,在看天狼星时联系到一个所熟知的事实:两个亮度相等的光源,其中一个离我们比另一个远 n 倍,那么,较近的光源看来就比较远的光源亮 n^2 倍。我们把这个定律应用于天狼星和太阳。太阳看来比天狼星亮得多。把它们的光强度比较一下,就发现太阳比明亮的天狼星要亮(百万) 2 倍。因此,照上述定律推算,天狼星一定比太阳远一百万倍!其他的星星,例如北斗七星,它们的亮度大约比天狼星弱九倍。如果上述关于相等亮度的假设是正确的话,那么,北斗七星一定比天狼星还远三倍。因此,如果大多数星的亮度是大致相等的话,那么就容易得出所有星星的距离,也就容易得出我们的可见宇宙的大小了。

先一般介绍亮近暗远的测定星系距离的方法,首要的任务是寻找这样一些天体:它们的亮度固定,而且在测距宝塔的前一级方法中,能够把近距的该天体的距离和亮度测出来,因为它们亮度固定,每一个这种天体都仿佛是具有相同亮度的同样的蜡烛,因此被称之为“标准烛光”,经过前一级测距方法定标后,如果再测出它在远处的视亮度,两相比较,即可推断它的距离。显然,“标准烛光”愈亮,就可以在更远的地方观测到,从而可以测定更远的距离,宝塔第一

级所用的几种方法都属这一类, 宝塔第二级中属于这一类的有球状星团亮度的办法, 球状星团中亮星的方法, 星系中最亮恒星的方法, 第三级中的超新星方法, 亮星系方法也属这一类。

近大远小的方法在天文上应用也较普遍, 在天空中, 太阳和月亮的大小看起来相仿, 都是 32' 左右, 这是因为太阳直径比月亮大 390 倍, 而距离又恰好远了 390 倍, 所以角大小几乎相等。对于大小相同的天体, 即“标准尺”, 它们的角大小必然是近大远小, 即我们看到的的天体的角大小与天体的距离成反比, 所以, 只要我们能从前一级测距方法中确定他们的真实大小, 再与观测的角度大小相比, 就可以得出它的距离。

为了这样由近及远的估计天体的距离, 需要作一个重要的假设, 关于自然界一致性的假设: 假定在较近处的任何天体的基本特征, 与在更远处类似的天体应该相同, 但是, 我们往远处观看时, 我们也就是在往过去观看, 因为光由远处向我们传来需要很长的时间, 由于存在着天体的宇宙学演化, 所以远处天体有可能与近处的类似天体有所不同。例如, 现在已经可以肯定, 宇宙早期射电星系和类星体的数密度及它们的亮度都比我们附近要大, 因此这时就需要慎重处理, 但在大部分情况下, 这个假定与观测并不矛盾, 例如, 河外星系中的造父变星与银河系中造父变星的光谱和光变曲线就颇为相似。

以上就是测量天体距离所遵循的一般原则和基本假设, 现在, 我们可以对测量星系距离的三级“宝塔”逐级具体介绍了。

在第一层“宝塔”中, 用来作为标准烛光的天体是造父变星, 天琴座 RR 变星和新星。

随着测量的星系越趋遥远, 在第一层宝塔中作为标准烛光的造父变星、天琴座 RR 变星及新星, 或者由于太暗淡而无从观测, 或者由于待测量系中不存在这些作为标准烛光的天体而无能为力。因此, 为了适应更广泛的需要, 必须寻找新的更有效的可以作为标准烛光的天体或天体群。它们应该更亮更遥远, 并具有可以用来定标的特征。于是, 球状星团和星系中最亮恒星的方法应运而生了。

用来作为标准烛光的球状星团不是一颗星, 而是成千上万颗甚至几十万上百万颗恒星密集而成的球状集团。同一球状星团中各成员星的运动方向、速度以及离我们的距离都大致相同, 第一层“宝塔”中的天琴座 RR 变星, 通常就出现在球状星团之中, 利用天琴座 RR 变星, 可以测出它所在的球状星团的距离, 再根据观测到的球状星团的视星等即可定出该球状星团的绝对星等。

标准烛光之三是超新星, 超新星也可以看作一种变星, 是恒星演化到其生命终点时发生的, 其爆发规模远远超过新星, 爆发时能增亮千万倍甚至上亿倍, 最亮时的光度可与整个星系的光度相比拟, 绝对星等可达 -20 等。因为目前光学望远镜不难测到 20 等星。故超新星适用的距离模数(视星等与绝对星等之差)约为 40, 即可测至几万万秒差距的距离。近年来, 观测到的河外星系中超新星的数目增加很快, 1910 年前观测到的只有 3 个, 1940 年累计到 38 个, 至 1988 年底累计观测数目已达到 661 个。

超新星确定距离的办法与新星相同, 把超新星达到最亮时的视星等与其绝对星等相比就可以定出超新星及其所在星系的距离。这个方法的一个复杂之处是超新星有多种不同的类型, 它们最亮时的绝对星等并不相等, 因此, 需要通过光谱的观测对超新星作出分类, 目前最适合于定距离的是 I_c 型超新星, 它的绝对星等弥散很小, 可以发生在各种类型的星系之中, 又是最明亮的一类超新星。是当前宇宙学研究中确定星系距离的最佳选择, 可惜发现超新星的星

系还不很多,能够同时有分类的就更少,1988年底已知分类的河外超新星只有267个,只占观测总数的40%。

总之,人类通过不断地改进和发展各种观测手段,不断地寻找各种可以作为标准烛光的天体,提出了很多测量星系距离的方法,构筑成上面描述的三层“宝塔”,拾级而上,循序攀登,逐步迈向宇宙的深处。不难设想,下一层测量的不准确,将对上一层产生不利的影 响,越往上误差越大,目前,在一百秒差距以上的恒星定距就有争论,近星系距离的测定误差至少在10%左右。远星系距离估计误差可达50%以上。可能这种估计还是过于乐观。实际上,自从发现星系以来,对于星系距离的估计已经有过几次修正了。通过以上叙述,希望读者获得一个印象,即对星系距离的测定还不能像在地球上所习惯的各种距离测定那样的精密和准确,另外,对非常远的距离测定还要考虑宇宙学演化的影响。

现在让我们再来观看天空,并想象出一幅太空中的星的图画。我们看到明亮的星,也看到暗淡的星,暗淡的比明亮的多得多。乍看起来,天上星的分布好像是不规则的。但是,如果用一副放在坚固基础上的望远镜更系统地观看,就能清楚地看到,暗淡的星决不是均匀地分布在天空中的。银河以内或靠近银河的暗星比在银河以外的区域中要多得多。用性能良好的望远镜向远离银河的方向去看,就看到少数明亮的星,十分暗淡的星则几乎没有。但在银河以内,视野的本底上则有千千万万颗星闪闪发光。

这是怎么回事呢?这是说,星不是均匀地分布在空间的,而是集中在一个扁平的圆盘里。我们太阳系就在圆盘里的某一个地方。当我们往圆盘里面观看时,就看到许多星以及许多暗淡的、遥远的星;但当我们的视线同圆盘的平面垂直时,就只看到少数的星,而且由于离我们较近,因此这些都是比较明亮的星。

那么包含着我们能见到的天上全部星的这个圆盘有多大呢?我们仍能运用我们的假设来测量对着圆盘(银河)观看时以及对着圆盘平面以外的区域观看时所见到的最暗淡的星的表现亮度。为此,就需要能够辨别银河里面每一个星球的强大望远镜。然后,就能应用我们前面所讲的测定距离的简单方法。结果是:往圆盘里面所看到的最暗的星比往圆盘以外所看到的最暗的星还要暗大约一百倍。因此,圆盘的半径一定比它的厚度大约大十倍。银河里最暗的星比天狼星大约暗一亿倍;它们的距离比天狼星一定远10,000倍,即大约十万光年(图1-4)。

天上暗淡的和明亮的星的分布告诉我们:这些星构成一个圆盘,直径 10^5 光年,厚度 10^4 光年。太阳和地球位于从圆盘中心到边缘的一半的地方。这个扁平的群星聚集处叫做星系;它是我们的银河系,在这个星系中,众星间的平均距离大约为十光年的数量级。这是太阳和我们周围最近的恒星之间的距离,看来也是银河系以内相邻的恒星之间的正常距离。由此就能够粗略地算出银河系内有多少颗星。得到的结果大约为五百亿颗星的数量级。

现在我们关于银河系结构的知识已经比过去多得多了。银河系不仅有星,而且有气体和尘埃,特别是在中心部分。这种星际物质给我们在应用简单方法测量距离时造成困难。通过尘埃和气体区域看星时,这些星要显得暗一些,我们就可能作出星比实际距离还要远的错误结论。但是天文学家已经研究出许多方法去克服这些困难。例如,现代的射电天文学提供了一个测量星际气体位置的好方法;这种气体发射出表示氢原子特征的某些明确的无线电波,氢则是星际气体的主要元素。用这种方法和其他方法,我们发现群星聚集成巨大的星流,而星流又形成巨大的旋臂,围绕着圆盘平面的中心,构成银河系的群星聚集处是我们生活所在的宇宙环

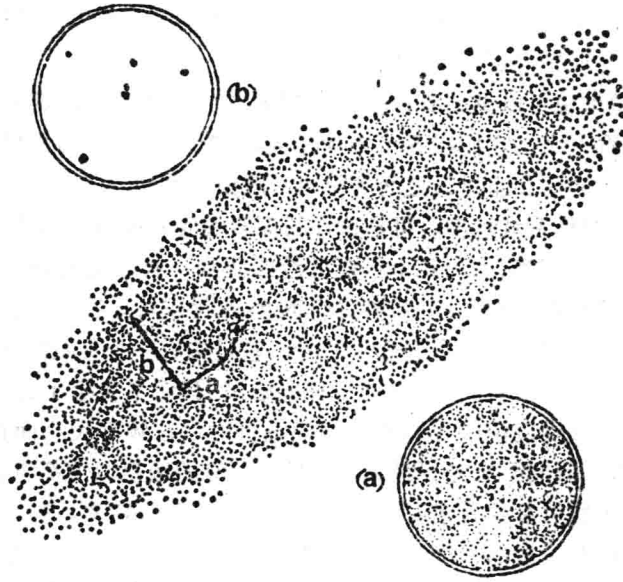


图 1-4 银河系的略图。其中标志着太阳的位置以及 a 与 b 两个视线方向。

(a)用望远镜往银河系里面看到的星。(b)往银河系外面看到星

境中比太阳系更大的单位。我们首先是把地球,然后把太阳系看作我们的住所。现在,我们认识到,太阳、连同它的行星,仅仅是银河系这个大集体——有几百亿颗星——中的一小部分。那么,在银河系以外,又有什么呢?

我们用望远镜再来观看更遥远的星空,我们能看到银河系里有几百亿颗星。但是,我们有时也看到某种并非星球的东西;那是星云,一种扩展的光区。猎户座星云就是一个著名而美丽的星云。已经认出,猎户座星云和其他许多星云是巨大而发光的气体云。但是,还有其他星云——最突出的是仙女座星云,用小仪器来观看,它们像圆盘形的发光区。用十分强大的望远镜来观测这些东西,就会发现它们包含着数量巨大的极其暗淡的星,排列成圆盘状的涡旋形阵容,就和我们的银河系一样。这可是个了不起的发现!我们的银河系并非唯一的星系。还有其他类似的星系。这些星系的数目很大。望远镜越大,能看到的星系也越多。而且它们看来延伸到空间深处。它们有多远?又是怎样分布的呢?

我们再一次能从这些天体的表观亮度来得到它们的距离的概念。我们来看仙女座星云。粗略地说,它的总亮度等于距离十光年左右的一般星的亮度。十分强大的望远镜显示:这一单位量级距离上的星的数目同我们银河系的星的数目相似,大约五百亿颗。因此,我们的结论必然是,仙女座星云实际上比我们邻近诸星之一要亮五百亿倍。仙女座星云看来和邻近的星一样亮。因此它的距离必然比邻近星的距离大 $\sqrt{500}$ 亿倍,即十光年乘 $\sqrt{500}$ 亿,这就是大约二百万光年。经过更加准确的方法核对,这个数字大体上是正确的。银河系和紧挨着的另一个星系之间的距离大约是银河系直径的二十倍。我们看到的来自仙女座星云的光,在它离开光源的时候,人类还没有从猿猴般的祖先那里演化出来呢。

同样的方法可以应用于我们所见到的天上其他星系;拿另一个星系的表观亮度同仙女座星系的亮度来比较,并发现,比方说,前者要暗 X 倍;那么,我们的结论是这一特定的星系大约

远 \sqrt{X} 倍。这样一个结论是以所有的星系,十分粗略地说,都是大小相等、实际亮度相等这个假设为依据的。许多细致的观测肯定了这个假设。

这样,对于用强大望远镜可以见到的许多涡旋星云的分布情况我们就有个概念了。今天已知的涡旋星云有好几百万个。它们在各个方向相当均匀地分布着,相邻星云之间的平均距离是几百万光年。银河系同仙女座星云之间的距离一般说来大约等于各个星系之间的平均距离。我们看得越远,发现的星系就越多。可是这样的探索到底有没有个尽头呢?

这个问题不能够肯定地回答,因为几十年前已经探测到一种非常有趣而又出人意料的现象。所有这些星系都在离开我们而去,星系离我们越远,跑得越快。我们是怎么知道的呢?

我们必须更加仔细地观察从这些星云发来的光。它是构成一个星系的五百亿颗星的光的总和。我们在中学学习物理学时就知道,光是一种电磁波,其频率决定了光的颜色,通过棱镜等方法可以使展成光谱。如在棱镜中我们先通过棱镜折射后按频率大小而排列,较低的频率在一边,较高的在另一边。研究了星光,我们知道,虽然所有的颜色似乎都有,但是某些频率却消失了。当我们观察大多数恒星的光谱时,确实发现缺少了某些频率。这些缺少的频率是被恒星表面的寒冷气体所吸收了的那种光的频率。我们见到的光谱上的暗线恰恰就位于这些频率的光如果没有被吸收就会被发现的地方。例如,大多数恒星光谱在紫色部位有两条暗线,它们表示气态钙的吸收。发现遥远星系的光谱中都有同样两条暗线时,我们并不惊奇,因为它们的光不过是它们所有的星的光的总和。但是,使人或曾经使人惊奇的是,同样的两条暗线不在意料中的频率处发现,而是朝低频方向移动。就十分暗弱的星系来说,这种位移很大,以致我们看到的暗线在光谱红色的一端,而不在紫色的一端了。

人们已经熟识了这种频率的位移,并可以直接地解释为目标对观测者相对运动的结果。当光源离开观测者时,它发出的光的频率似乎变低,正如汽车从我们这里开走时,汽车喇叭声就低下来一样。频率位移同速度成正比,因此能用来确定目标离开我们的速率。

于是,必须做出这样的解释:观测到的遥远星系的光的频率位移证明,这些星系正离开我们而去。这种运动的速率是同距离成正比的。像仙女座星云这样靠近的星系,它们的运动简直观测不到,可是距离约为一亿光年的星系就以每秒 3000 公里的速率飞离而去。已经发现,这种由每秒所飞的公里数表示的速率总是以一百万光年为单位的距离的三十倍左右。速度与距离的这一关系是美国天文学家埃德温 P·哈勃于 1929 年首先发现的。现在,我们最大的望远镜能够探测远达三十亿光年的星系。它们以每秒 90,000 公里的速率飞离我们而去,这几乎是光速的三分之一。

由星系组成的宇宙的膨胀运动给我们指出,我们到底能看到多远,极限在哪里。我们可能建成更大的望远镜,试图看到更远的星系,但是它们会以越来越接近光速的速率离我们而去。目标以接近光速的速率离开我们时,它的辐射看来就会减弱;事实是,它的速率越接近光速,它就越显得隐隐约约,越是难以见到。

之所以如此的原因是容易理解的。只要你把光源所发出的光比作从一支枪向四面八方射出来的子弹。很明显,枪支以几乎等于子弹的速度离开我们后退时,子弹命中的次数就少,力量也弱。

因此,即使还有很多星系离我们比大约一百亿光年还要远(按照哈勃关系式,距离为一百亿光年,则退行速率等于光速),即使星系无限多,我们也不能看到;它们飞离我们如此之快,因

而它们的光再也到不了我们这里。

宇宙中星系之间的距离不断膨胀,使我们面临一个饶有意味的情况:很可能有无限个星系扩展到无限的距离。但是,我们只能看到以适当地低于光速的速度而退行的那些星系。因此,所发射的光能够到达我们这里的星系为数是有限的。即使宇宙确实是无限的,就我们来说,宇宙还是有限的。我们能加以探索的只是能以其光信号送达我们的那一部分宇宙。

值得注意的是,我们今天所掌握的天文仪器,例如帕洛玛山望远镜,已经深入到退行速率为三分之一光速的距离。这与我们今后终于能看到的最远距离相差不太多了。如果我们再能深入宇宙三倍左右,那就实质上看到了全部可见宇宙。因此,我们今天亲眼看到人类发展史中一个伟大时刻,可与麦哲伦 1520 年首次绕地球航行一周这一成就相媲美。那时,人们绕行地球这个行星,认清了地球上旅行的极限。今天,我们开始把深入宇宙的极限圈定下来。我们可能正在开始观测我们所能观测到的最后目标。现在我们推论出的东西总结一下,就可以看出我们人类在自然界中的位置,但是,我们只是向距离,长度变大的方向发展,为了有个全貌,下面我们把物理上所常见的一些距离写出供大家参考。

单位:m

一个“基本”粒子的大小	$< 10^{-18}$
质子的大小 $8.9 \times 10^{-15} \text{m}$	10^{-15}
重元素核的大小	10^{-13}
密度高的恒星中原子间的距离	10^{-12}
金属、结晶中原子间距离	10^{-10}
橄榄油等的单分子层单层的厚度	10^{-9}
常温下普通空气中气体分子的平均自由程	10^{-8}
带色肥皂泡最薄处的厚度	10^{-7}
鞭毛细菌的大小	10^{-6}
人的毛发粗细(0.06mm~0.12mm)	10^{-4}
铅笔芯粗细、窗玻璃厚度	10^{-3}
铅笔粗细、一分硬币半径	10^{-2}
人手掌宽度	10^{-1}
实验桌宽度,门的宽度	10^0
房间的宽度	10^1
一列火车总长,大型船舱	10^2
步行 13 分钟	10^3

远景目标	10^4
马拉松距离 42.195Km, 200 海里 = 3.7×10^5	10^5
月球的赤道半径(1738Km)	10^6
地球大小(赤道半径 6378.14Km, 极半径 6356.755Km)	10^7
地球—月球平均间距	10^8
地球—太阳间距 1A.U. = 149597870Km	10^{11}
太阳—冥王星最大距离	10^{13}
最近的恒星与地球间距(1 光年 = 10 兆 Km)	10^{16}
太阳—天狼星间距	10^{17}
视差法测定的最大距离	10^{18}
银河系大小	10^{21}
邻近星系间距离	10^{22}
宇宙大小(1 百多亿光年)	10^{26}

从上表来看太大, 太小的概念使我们的直觉开始糊起来了, 用人类的一般的理解, 难以得到直觉上的答案。

§ 1-2 人类在时间中的位置

时间的间接估算

日常生活涉及的时间的自然单位是日和年, 有文字记载的历史, 可以追溯到 5000 年前的远古时期。如要知道人类史前大事年表, 就必须应用间接的方法。

那么, 世界的年龄有多大呢? 无直接记载的文献可查, 应用间接的方法就是考虑我们周围环境自然物质形态的变化。

我们四周的大型自然形态——高山、丘陵、河流、海洋、平原等等——在有史记载时期没有发生多大变化。难道它们一向是这样, 永恒不变的吗? 显然不是, 它们受到风雨冰雪的侵蚀。

外国有人考察了位于意大利和瑞士之间的阿尔卑斯山脉之中的马特洪山, 它高出紧邻地带大约 2000 米, 山麓宽约 2000 米。因此, 粗算起来, 它含有岩石 2×10^9 立方米, 山坡面积约为 10^7 平方米。由于天气——雨、冰和暴风雨——的作用, 主要是裂缝里的水冻结成冰的结果, 山上到处有小块岩石碎裂下来, 巍峨的结构就慢慢地毁掉了。把马特洪山化为平地需要多久呢? 我们来作一次简单的计算。平均来说, 每平方米每年有几寸大小的一块岩石碎裂下来, 这是个合理的假设。于是马特洪山每年约有 10^3 立方米的岩石掉下来。一百万年以后, 半座山就没有了。像马特洪这样的高山的寿命必然属于几百万年这一级。

当我们研究由河流运送给海洋的泥沙时,得出了同样的结论。我们能够测量在一年内经雨水从陆地冲刷下来,并由河流输入海的细粒状的岩石、细沙和土壤的总量。这些泥沙如果均匀地散布在江河所流过的地面上,就会铺成很薄的一层,只有一厘米的 $1/300$ 厚。但是,经过一百万年,就有三十米厚的一层了。细粒状岩石等不是从各个地点均匀地冲刷下来,而是从有坡度的地方冲刷下来,因此,我们明白,在一百万年里风雨冰雪能够搬掉成百上千米高的丘陵,地貌的改变也就可观了。所以,我们看到的四周地貌的年龄能以百万年来计算。

风雨侵蚀是造成地壳形状,使之平面化的破坏性力量。如果没有其他力量起作用,世界就全是平坦的了,因为高山和丘陵早就在几百万年里清除掉了。但是,还有建设性的力量在起作用,它缓慢而不断地改变着地壳。地球内部由于负担外层的全部重量,经受很高的压力。这种压力有时在一处消除,或在另一处增强。压力的变化引起地壳上下运动,造成高原和深洼地,有时地壳作横向运动,地壳褶皱起来,造成山脊和峡谷,就像把一幅布从两头往中间推时,布就褶皱起来一样(图 1-5)。山的形成和随后的侵蚀是不断地相互作用的。我们生活的时代和一个十分剧烈的山脉形成的时代相隔只有几百万年;这就是为什么地壳现在呈现出这么多不同山脉的原故。从现在起大约五千万年以后,地球可以变得平坦得多,也就不像现在这么有趣,如果在此期间不发生新的形成山脉的事件的话。

利用放射性计测时间

山脉形成和大气对山脉破坏的不断相互作用究竟进行了多久呢?我们怎样才能把过去发生的一件件地质大事之间的相隔时间计算出来呢?我们必须使用一种天然计时器,它转动得非常慢,足以使我们认得出它所计量的悠久时间。幸运的是,自然界提供了一种非常缓慢而又有规律性的过程,能用来测量时间。这就是放射性,即法国人亨利·贝克勒耳在 1896 年发现的奇异现象。但是,放射性又怎样当作计量器来使用呢?

当发现放射性时,人们都感到迷惑不解,因为放射性把化学元素不可改变这一旧信念加以否定了。放射性现象说明,某些化学元素不是不可改变的。一种放射性物质变成另一种物质。这种放射性物质的原子放射出射线,经过衰变,成为另一种元素的原子。



图 1-5 像一幅布似的地壳

我们来考察一个实例——放射性铷。

铷是比较稀有的金属元素,和钾与钠有点相似。在自然界发现的铷有两种(两种“同位素”)。它们重量不同;一种铷的原子量是 85,另一种铷的原子量是 87,其中较重的一种是放射性元素。一块纯铷⁸⁷原子变成另一种原子,即变成一个铯原子。这种变化以固定的速率缓慢而稳定地进行,这个速率不因任何外界影响而加速或减慢。每年有一点儿铷⁸⁷变化成铯。就铷来说,这一点儿极其微小,每年只有 1.6×10^{-11} 。这就是说,每年有一千亿分之一的铷⁸⁷变成铯。在自然界发现的大部分放射性物质都是这样缓慢地变化的。铀的“衰变常数”是每年 2×10^{-10} ,这就是说,每年只有一百亿(10^{10})分之二发生变化。钾⁴⁰也是放射性元素,衰变常数是每年 0.7×10^{-9} 。

自从发明了高能加速器(原子击碎器)以后,有关放射性的知识就大大增加了。在加速器里,微粒子带着高能被投掷出来,打击各种物质的原子,并使原子产生变化。例如,正常的非放

放射性元素在这些机器里受到轰击,就变成新的、多半是自然界里找不到的,并且往往是放射性的元素。因此,人们能够生产新的、“仿真”的、人造的、在物理学和医学研究方面具有重大价值的放射性材料。它们的大多数变化起来比天然放射性元素要快得多。例如,人们能够生产放射性钠(原子量 24),它以每小时百分之六的速率变化成镁。

因此,地球不可能是永恒地存在下来的。在地球上,有的东西也不可能是永恒地存在下来的。如果地球存在的时间是无限的,我们在地球表面就找不到天然放射性物质如铷⁸⁷、铀和钾。其实,如果地球年龄大大超过 10^{10} 年,那么前面提到的自然产生的放射性物质就已几乎全部变成它们的子体产物,而不会被人发现了。我们也就必须假定,制造这些元素的过程不再继续了。

那么,地球的年龄有多大呢?看一看在自然界发现的放射性物质的衰变常数,我们注意到,衰变常数总是小于每年十亿分之一。可是人造放射性材料——我们自己生产的元素——具有各种衰变常数;从缓慢的衰变,例如每年衰变小于百万分之一,直到真正迅速的衰变,例如在大约半秒钟之内就衰变一半。在这两个限度以内的所有的衰变常数的实例都已找到了。但是,我们在自然界看到的衰变物质,总是以慢于每年十亿分之一的速度而衰变的。这一点是比较容易解释的。衰变速度更快的物质之所以找不到,是因为在地球存在时期内,它们已经消失了。

由此,我们得到的结论是,构成地球的物质以其目前情况而存在下来的时间一定有几十亿年,但也不会超过得太多。天然放射性元素衰变最快的是铀(铀²³⁵)(每年十四亿分之一),铀²³⁵已接近消亡,在普通铀中只占很小的百分比(百分之 0.71)。因此,构成我们地球的物质“年龄”必然比十亿年大一些,也许大五倍或十倍,但不会大很多。

在地球上找到物证,说明地球并非是永恒地存在下来的,那是我们对世界的科学认识史中给人以深刻印象的一个时刻。放射性物质仅仅是地球的一个微小部分,它们极其罕见。尽管如此,它们的存在就是某种起源的见证。

地球的起源是怎么回事呢?显然,地球最初不可能象现在这样。那时,构成地球的物质必然受到能够产生放射性元素的一些条件的支配。这些条件就是我们在大型核加速器里所制造的条件。粒子和原子必然以极高的能量并在很大的密度下运动,以很快的速度互相碰撞。产生这些条件所需的温度范围为一亿度上下。我们有充分的理由相信,这些条件产生于星球的中心,不是在一般情况下都有,而是当星变为不稳定而且爆炸的时候才有。爆炸中的星叫做新星,因为它们作为新的星在天空突然出现,并在几个月内隐没不见。它们并不是很不寻常的东西。使用巨型望远镜,我们能在一个星系的五百亿颗星中每年发现二、三十颗新星。

因此,我们得到的结论是,构成地球的物质必然经过可能是从星星爆炸中产生的极大的热和加速度,时间大约发生在五十亿到一百亿年以前。我们可以认为这些事件创造出了我们的环境所有构成的种种元素。那时,创造了许多放射性元素和非放射性元素,包括能用我们机器制造的所有元素,而且肯定还要多一些。可是寿命较短的放射性物质早已衰变并变为稳定元素。少数寿命较长的天然放射性物质是形成各种元素(这些元素组成今日地球上的物质)的重大时期的最后见证者。它们是从百亿年前创造我们现在所见到的地球上四周物质的宇宙烈火中留存至今的最后一点余烬。

我们对天然放射性衰变过程进行更为细致的分析,就能测定比元素之诞生要晚一些的其

他事件。大多数含有天然放射性产品的矿石也含有放射性的衰变产物。例如,在含有铷的岩石里,也找得到由放射性铷变化而成的元素——铯。把岩石里铷和铯的相对量比较一下,就能算出铷在这块岩石里保存了多久,换句话说,就能计算出这块岩石自从凝固以后已经历了多久。计算很简单。每年有 1.6×10^{-11} 的铷变成铯,于是人们对观测到的总量能够推断出需要多少年才能形成。

这里只有一个困难:岩石里的全部的铯未必都是由铷变化而来的。这块岩石里也许就有一点原来的铯。要避免这个困难,有个很好的办法。从铷变化来的铯是很特殊的一种铯,即铯⁸⁷。正常铯只含有百分之十二的铯⁸⁷,大部分是另一种铯同位素,即铯⁸⁸。因此,人们需要做的只是把岩石里的铯⁸⁸的量也测量一下。如果岩石里面没有铯⁸⁸,那么,铯⁸⁷必然全部都是从放射性铷那里来的。如果岩石里有一些铯⁸⁸,那么,我们就知道岩石里掺杂了多少普通铯,并能测定,由于放射性衰变而加上了多少铯⁸⁷。

可以用同样的方法来测量含有其他任何天然放射性物质的岩石。为此目的,广泛地利用了钾和铀的放射性。

天然放射性物质不仅充当地球起源的见证者;当它们有规则地衰变而缓慢地消失时,还能当作计时器来用。

测量放射性衰变产物,例如由铷变化而来的铯,我们就能确定在元素形成之后的几十亿年里所发生的重大事件的时代。每逢新山脉出现,每逢海洋把沉积物留在海底,物质里所含有的放射性元素就开始积累它们的衰变产物,把积累起来的总量测量一下,我们就能计算事件发生的时代。这样,我们就得到了相当精确的地质大事件发生的时代。这样,我们就得到了相当精确的地质大事件的时间表。例如,我们发现喜马拉雅山脉很年轻,只有几百万年(图1-6)。阿帕拉钦山的平坦山脊竟老达两亿五千万到三亿年,虽然山峰表面的实际形状从那时起已经改变过多次了。



图1-6 喜马拉雅山一山峰

到现在为止,已发现的最古老岩石的年龄是二十六亿年。因此,地球的年龄至少有这么大。地球年龄很可能超过二十六亿年,但是,这个行星现有的表面所经历过的变化太大了,以致今天找不到能够说明地球年龄更大的岩石。

岩石和沉积物的不同层次里含有动物和植物的化石。所以,地质构成的时间表和生命发展的时间表是直接相连的(图1-7)。我们发现,最早的生命记录约在六亿年前以海藻和海绵的化石开始。显然,还有更早的、未在岩石里留下记录的、更处于原始状态的生命。据估计,原始细菌的存在,总有十亿年或十亿年以上了。已经找到大约三亿年前的鱼类和蜗牛,开始有爬行动物约在二亿七千五百万年以前;后者是等到树木花卉第一次出现则在四亿前以前。哺乳

动物的发展只是一亿五千万年前的事,而自有人类以来,不过一百万年而已。这样,放射性计时器也有助于说明生命发展的年代。

利用陨石计测太阳系年龄

有时候,一块物质突然从外层空间进入到我们的大气中。这些东西——叫做流星——进入大气时,大多数由于高速度穿过空气,产生炽热而气化了。但是也有较大的块头,完整地到达地面(图1-8)。人们研究了这些物体以及把它们引导到我们这里来的途径。陨星大概不是从很远的地方来的。它们可能是太阳系历史初期某个时代一个或几个小的行星分裂瓦解时所产生的断片残块。这些岩石的年龄必然和太阳系本身的年龄相近;它们可能追溯到



图1-7 三叶虫(Olenellus),寒武纪,研究地球史的最著名的化石形式之一

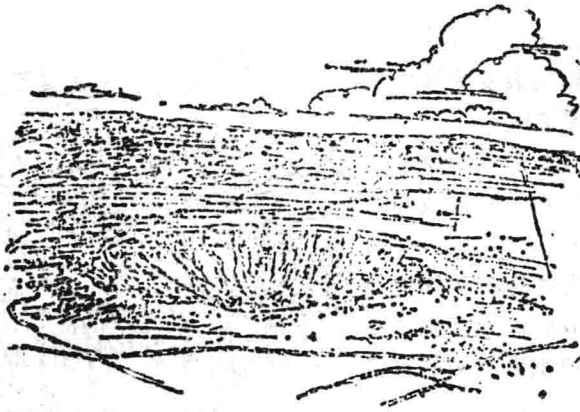


图1-8 美国亚利桑那州陨星坑。陨星大概是几万年前坠落下来的。坑的直径约1360码,深约650尺。大概是由一颗巨大的铁和镍合成的流星爆炸而成的,陨星位置大约在坑底以下400尺处,偏向坑的一侧

物质聚集为太阳和行星的那个时代。因此,当我们能够测定这些碎块的年龄时,大概也就测量了我们太阳系的年龄,或行星形成的时代。幸而,陨星有时含有放射性物质及其衰变产物及其衰变产物的痕迹。衰变产物的数量能用来测定,这块来自外层空间的物质中放射性物质衰变了多久。测量结果总是很一致的;所有的陨星好象年龄都一样,都是四十五亿年。于是我们必须作出这样的结论,即物质聚集为我们太阳系行星以来已经经历了四十五亿年。十分可能,我们地球和其他行星作为环绕太阳运转的巨大球体而存在以来,也有了四十五亿年了。

利用光推算星体年龄

我们能够测定其他星的年龄吗?由于没有物体从太阳系以外来到我们这里,因此,我们就不能够利用放射性计时器了。我们唯一的联络工具是光。然而,尽管缺少直接的接触,天文学家总在试图取得有关星的年龄的间接资料。仔细研究星的颜色和亮度,以及运用我们对于维持一颗星球长期发光、发热所需全部巨大能量之产生过程的新的概念,有时可能得到某些推测