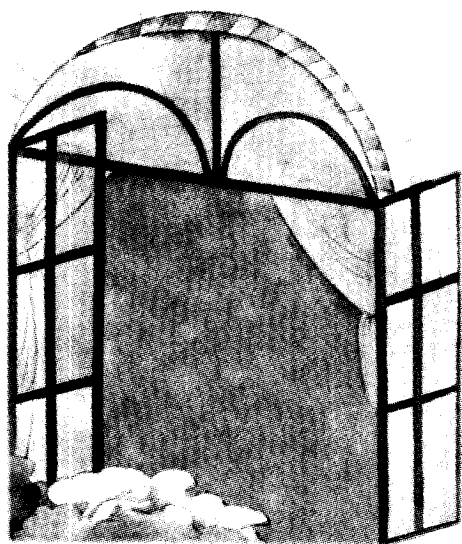




文科大学物理教程





人类在宇宙中的位置

1 - 1 人类在宇宙空间中的位置

1 - 1 - 1 速率法测量距离

物体有多大？离我们有多远？这是我们经常碰到的问题。日常生活中所接触到的东西，人们能够立刻感觉到它们的大小，肉眼能大体估计出它们的远近。精确一点 用尺量等简单的方法就可以有结果。但对更大、更远的东西 如高山、大漠，就必须用更有效的方法来确定其大小和距离。一种方法就是用速率来测量。例如 汽车每小时行驶 100 公里 (km)，从甲地行驶到某一地点需 5 小时 (h) 我们就知道某地距甲地为 500km。如按时速每小时行驶 100km 绕大漠一周 费时 32 小时 (h) 大漠的周长为 3 200km，由此可算出大漠的面积。同样 用速率可以测量地球的大小。飞机飞行 100km 约需 10 分钟 (min) 若在两海岸之间飞行一次约需 500min 则两海岸间的宽度约为 5 000km。同样一架飞机绕地球一周 几乎需要它的 10 倍的时间 地球的圆周大约为 50 000km 实际是 40 000km。我们知道，地球是个圆球，这样就容易从它的圆周算出直径 —— 13 000km。这就是人类自己的住所 —— 地球这个行星的大小。

1 - 1 - 2 反射法测量距离

为了显示出人类在宇宙中的位置，让我们把视野扩大到宇宙空间中的许多星体 它们距地球是很遥远的。先考虑月亮、太阳和太阳系中的星星 如何测量它们与地球之间的距离呢？最简单的方法是根据雷达技术发展出来的一个十分新颖的方法。即把雷达束对准目标月亮，并发出一个短脉冲信号，等候雷达所发出的信号从目标月亮上反射回来，测量出信号往返所需的时间。如所需的时间间隔是 2.6(s) 即雷达信号从地球到达月亮 再从月亮回到地球 历时 2.6s。雷达波与光波一样 都有同样的速率 —— 每秒钟 300 000km。于是我们得出结论：地球 — 月亮 — 地球的距离是 $2.6 \times 300\,000\text{km}$ 这就告诉我们 月亮离地球大约 400 000km。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 我们看到的月亮像

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，这样就可以通过简单计算得出月亮的大小。我们已知地球到月亮的距离，也知道以该距离为半径的这个半圆形的周长，即 $\pi \times \text{半径}$ 或 $\pi \times 400\,000\text{km}$ 。月亮的直径必然是这个半圆形周长的 $1/360$ 这是 $3\,600\text{km}$ 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 10 倍多一点。月亮几乎是一个属于地球范围内的物体。

现在再来看一看其他的天体，首先只看太阳系的成员，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。在哥白尼之前，盛行的是地球中心说，如毕达哥拉斯的地球中心说模型，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。从地球上仔细观测行星运转，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。同样的观测方法可得出，金星轨道是地球轨道的 0.7，即三分之二多一点。这样，人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，人们还不知道（图 1 - 1）。毕达哥拉斯的地球中心说模型如图 1 - 2 所示。

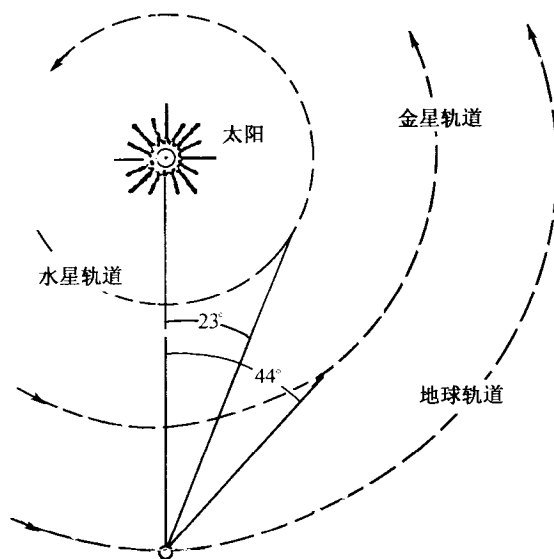


图 1 - 1 人们见到的水星与金星离太阳的最大角度
(这些角度决定地球轨道和水星与金星的轨道之间的比率)

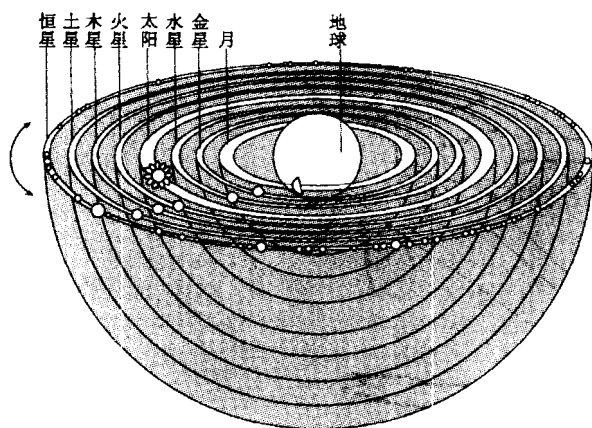


图 1 - 2 毕达哥拉斯的地球中心说模型



哥白尼 (1473—1543)

波兰天文学家

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切距离测量出来，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。

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的测量结果。可是，我们能把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 5 ~ 15min 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 我们可以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 1 亿 5 千万千米，光从太阳到达地球要走 8 分多钟。

太阳有多大呢？初看起来，太阳和月亮在人们视觉中是一般大小，可是我们很容易算出，太阳离地球比月亮远 374 倍。所以，太阳的直径一定比月亮直径大 374 倍。根据月亮的直径，就得出太阳直径是 140 万 km 太阳比地球大 100 多倍 (图 1 - 3)。

人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。太阳是人们的光、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。

太阳系行星比较 见图 1 - 4 表 1 - 1。

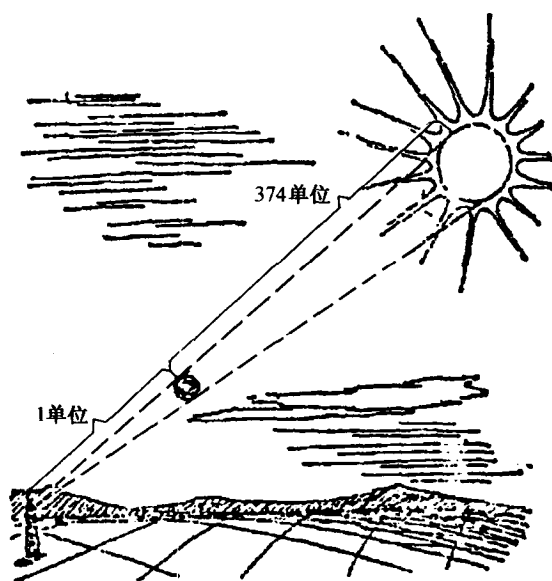


图 1-3 太阳和月亮对于地球上观察者的关系

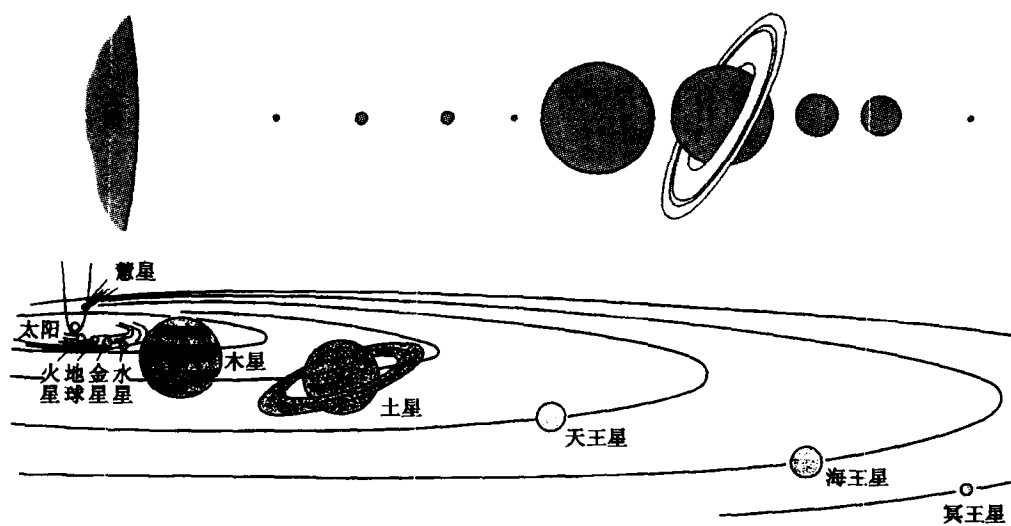


图 1-4 太阳系行星

表 1 - 1 太阳系行星比较

行星	水星	金星	地球	火星	木星	土星	天王星	海王星	冥王星
太阳距的平均距离 (地球 - 太阳间 = 1)	0.387	0.723	1	1.524	5.203	9.539	19.13	30.06	39.44
公转周期	88 日	224.7 日	365.26 日	687 日	11.86 年	29.46 年	84.01 年	164.8 年	247.7 年
自转周期	59 日	243 日 逆行	23 小时 56 分	24 小时 37 分	9 小时 50 分	10 小时 14 分	11 小时 逆行	16 小时	6 日 9 小时
赤道直径(km)	4 880	12 104	12 756	6 787	142 800	120 000	51 800	49 500	6 000
质 量(地球 = 1)	0.055	0.815	1	0.108	317.9	95.2	14.6	17.2	1(?)
密 度(水 = 1)	5.4	5.2	5.5	3.9	1.3	7	1.2	1.7	?
大 气(主要成分)	无	CO	N ₂ O ₂	CO ₂	H ₂ He	H ₂ He	H ₂ He 甲烷	H ₂ He 甲烷	未检出
可视表面的平均温 度(℃) (固 = 固体)	350(固) 昼 ~ 170 (固)夜	33(云) 480(固)	22(固)	- 23(固)	- 150(云)	- 180(云)	- 210(云)	- 220(云)	- 230(云)
卫星个数	0	0	1	2	13	10	5	2	0

人们所看到的众多星星。它们叫做“恒星”因为看起来它们是不动的，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。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。

1 - 1 - 3 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（图 1 - 5 图 1 - 6），在一个人的前面放一个苹果，让他交替闭上一只眼，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。

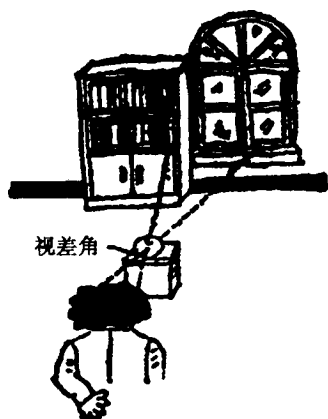


图 1-5 视差角显示

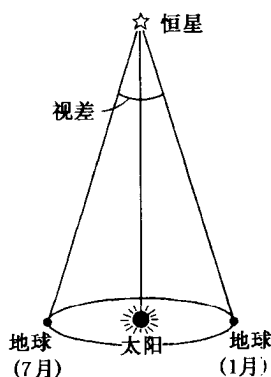


图 1-6 利用视差测恒量位置

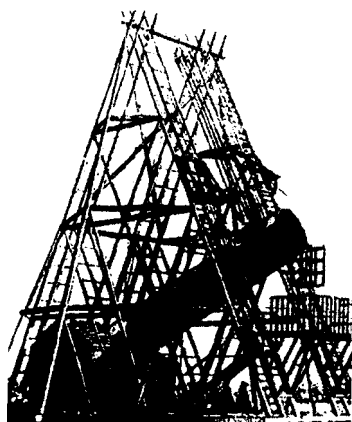
在天文测量中，通常取地球绕太阳公转的轨道直径（3 亿千米）为基线，当被测天体的视差角为 1 角秒时，该天体的距离称为 1 秒差距，写成 1pc。秒差距和光年（光在一年时间内经过的距离）是天文学中常用的距离单位。1 秒差距 = 3.26 光年 $\approx$ 30 万亿千米。天体越远，视差角越小，测量就越不准确，也越困难，最小可测的视角约为百分之一角秒，但较准确的测量只能达到 20 ~ 30pc。在太阳附近可以观测到的恒星的密度为 $0.08/(\text{pc})^3$ ，在 20pc 范围内可观测到的恒星只有 2681 颗。格里兹 (Gliese) 在 1969 年测量了 20pc 的 1049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

1-1-4 光学法测量距离

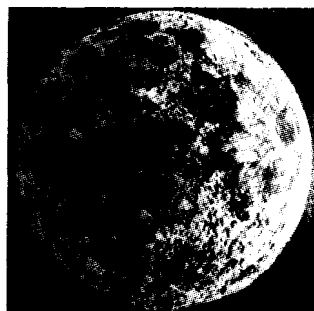
三角视差法虽然比较准确，但只适用于范围相当狭窄的比较近的恒星，需要以此为基础，由近及远的一步步迈向宇宙深处。通常，在三角视差法的基础上，把各种测量星系距离的方法分成三级“宝塔”。在具体介绍之前，让我们先作一些原则和方法的讨论。

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”，并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，以天体亮度论远近的前提是，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 $(100 \text{ 万})^2$ 倍。因此，照上述定律推算，天狼星一定比太阳远 100 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 9 倍。如果上述关于相等亮度的假设是正



大型天体望远镜



月面上的环形山

确的话，那么，北斗七星一定比天狼星还远 3 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 374 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，即我们看到的天体的角大小与天体的距离成反比，所以，只要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 又例如 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。

所谓“变星”是指在不太长的时间内(几小时到几年内)亮度有周期性变化的恒星。而造父变星是中国古代所取星名叫“造父一”的星，“造父一”的亮度随时间变化的曲线叫做光变曲线，其周期为 5.37 天。随着时间的推移，变星数会增加，现在把这些变星统称为造父变星。

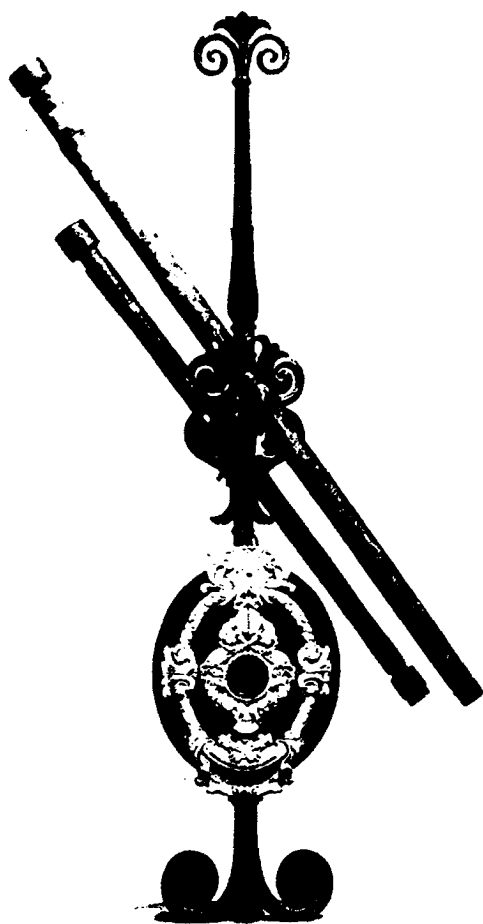
随着测量的星系越趋遥远，在第一层宝塔中作为标准烛光的造父变星、天琴座 RR 变星及新星，或者由于太暗淡而无从观测，或者由于待测量系中不存在这些作为标准烛光的天体而无能为力。因此，为了适应更广泛的需要，必须寻找新的更有效的可以作为标准烛光的天体或天体群。它们应该更亮更遥远，并具有可以用来定标的特征。于是，球状星团和星系中最亮恒星的方法应运而生了。

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。首先讲“新星”，“新星”是爆发变星的一种，通常它在爆发前很暗，只有爆发时才变得很亮，可以增加 11 个“星等”，相当于增亮几万倍；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_a 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。

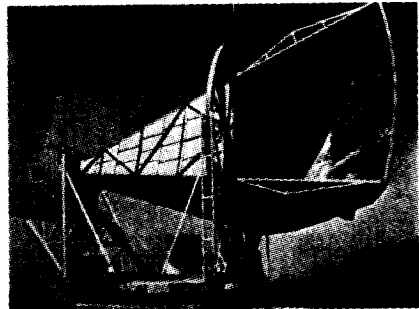


伽利略用过的望远镜 现保存在佛罗伦萨的物理博物馆

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

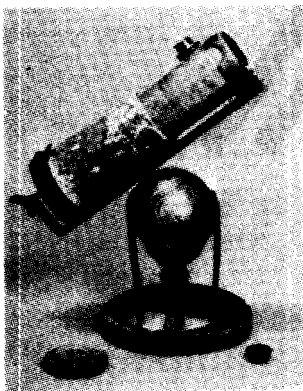
明亮的星 也看到暗淡的星 暗淡的比明亮的多得多。乍看起来 天上星的分布好像是不规则的。但是，如果用一副放在坚固基础上的望远镜更系统地观看，就能清楚地看到，暗淡的星决不是均匀地分布在天空中的。银河以内或靠近银河的暗星比在银河以外的区域中要多得多。用性能良好的望远镜向远离银河的方向去看，就看到少数明亮的星，十分暗淡的星则几乎没有。但在银河以内，视野的本底上则有千千万万颗星闪闪发光。

这是怎么回事呢？这说明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。

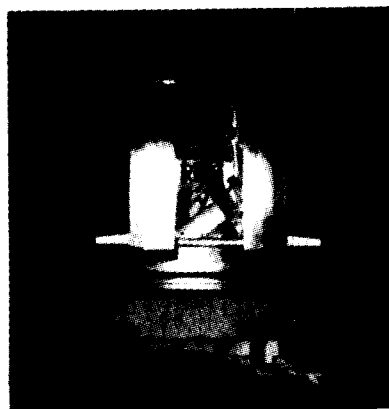


美国贝尔研究所的角形射电望远镜天线

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，就需要一个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 100 倍。因此 圆盘的半径一定比它的厚度大约大 10 倍。银河里最暗的星比天狼星大约暗 1 亿倍 它们的距离比天狼星一定远 10 000 倍 即大约 10 万光年（图 1 - 7）。



牛顿反射式望星镜



巴洛玛天文台 5cm 反射望远镜

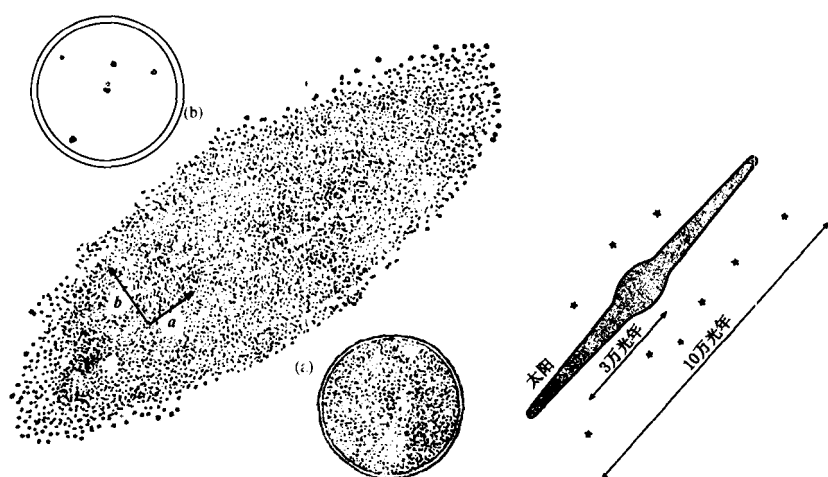


图 1-7 银河系的略图（其中标志着太阳的位置以及 a 与 b 两个视线方向）
 (a) 用望远镜往银河系里面看到的星；(b) 往银河系外面看到星

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。银河系中不仅有星，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，我们能看见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。现在来看仙女座星云。粗略地说，它的总亮度等于距离 10 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 500 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 500 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 10 光年乘 $\sqrt{500}$ 亿，这就是大约 200 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 20 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，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。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 500 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它展成光谱。如在棱镜中，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。光和声的多普勒效应结果见图 1 - 8。

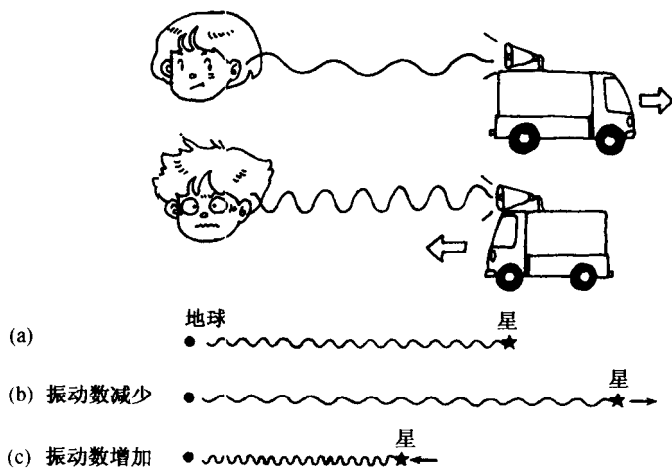


图 1 - 8 光和声多普勒效应结果

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 1 亿光年的星系就以每秒 3000km 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 100 万光年为单位的距离的 30 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 最大的望远镜能够探测远达 30 亿光年的星系 它们以每秒 90 000km 的速率飞离我们而去，这几乎是光速的 1/3。

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，其原因是容易理解的。现在请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 100 亿光年还要远（按照哈勃关系式，距离为 100 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，因而它们的光由强减弱到使我们再也观察不到。

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 $1/3$ 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 3 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。现在把我们推论出的东西总结一下，就可以看出人类在自然界中的位置，但是，我们只是在向距离，长度变大的方向发展。为了有个全貌，下面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	$8.9 \times 10^{-15} \text{m}$
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 (0.06 ~ 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	10^1

	单位 :m
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 m	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 (1 A.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	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模糊起来了，用人类的一般理解，难以得到直觉上的答案。

1 - 2 人类在时间中的位置

1 - 2 - 1 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。考虑我们周围环境自然物质形态的变化，是间接估算时间的一种方法。

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 2000m 山麓宽约 2000m。因此 粗算起来 它含有岩石 $2 \times 10^9 \text{m}^3$ 山坡面积约为 10^7m^2 。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