

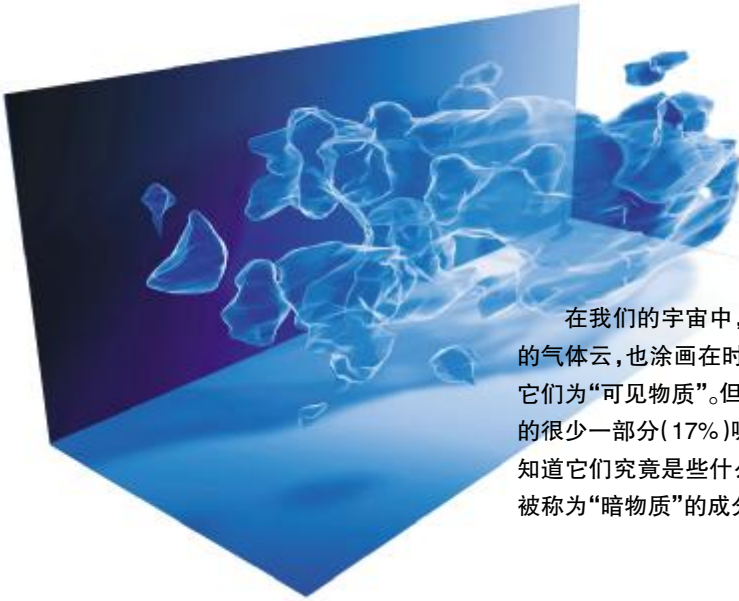


# DARK MATTER

## 暗物质：宇宙的秘密

□撰文 Thijs Kouwenhoven (柯文采, 北京大学科维里天体物理研究所)

翻译 程思淼



在我们的宇宙中,恒星和行星是随处可见的,除此之外还有大量自由漂浮着的气体云,也涂画在时空巨大的幕布上——我们所能看到的这一切,天文学家称它们为“可见物质”。但你是否知道,这些可见的物质,其实只占了宇宙中全部物质的很少一部分(17%)呢?宇宙中另外那约83%的物质都是我们看不见的,没有人知道它们究竟是些什么。在过去的80多年里,天文学家一直试图对宇宙中这些被称为“暗物质”的成分进行直接的观测,但到目前为止还没有一次获得过成功。

### 既然我们看不见暗物质,我们又是怎样知道它们存在的呢?

我们没有办法直接观测到暗物质:它们不辐射电磁波,也不会吸收或者反射光子。天文学家们动用了那些全球最大的望远镜,在从可见光到射电和X射线的几乎整个电磁波谱上,全力以赴地在天

空中寻找暗物质的踪迹,但到目前为止,我们仍然一无所获。

那么天文学家又是如何知道存在着暗物质的呢?答案就在于引力。像宇宙中我们可以看见的所有物质一样,暗物质也

有引力。如果宇宙中有很多的暗物质,那么星系、恒星以及星际空间中的气体就一定会不断地受到来自这些暗物质的引力。通过细致地观测这些可见天体的运动,我们就可以知道有多少物质在吸引着它们,以及这些物质的空间分布。

关于暗物质的第一个证据,是由荷兰天文学家奥尔特(图1)在1932年提出的。他研究了银河系中恒星运动的情况,发现它们都运动得太快了。这意味着在我们的星系中存在着巨大的引力,远比我们观测到的恒星和气体所能提供的要大得多。一年之后,瑞士天文学家茨维基(Fritz Zwicky)在更大的空间尺度上也发现了暗物质存在的证据。他研究了一个巨大的星系团中各个星系的运动,并同样注意到了它们过快的运动速度。这表明在星系团中也存在着大量未知的物质。在接下来的几年里,天文学家通过越来越多有关暗物质的证据,已经能够推算暗物质的总量了;但它们是什么,我们仍然一无所知。



■ 图1: 荷兰天文学家奥尔特(Jan Hendrik Oort, 1900-1992)。他是第一个提出暗物质存在证据的人。[图片来源:莱顿(Leiden)天文台]

## 暗物质真的存在吗？还是我们关于引力的理论错了？

我们说“发现”了暗物质，是因为银河系中恒星和气体的运动速度暗示着，宇宙中必然存在一些看不见的物质。做出这个预言基于我们的引力理论：牛顿和爱因斯坦的引力公式为我们的计算提供了依据。

不过，也有少数天体物理学家对此表示怀疑。他们认为并不是真的存在暗物质，而是我们的引力理论出了问题。他们提出了很多替代的理论，它们大都相当复杂。这些新理论往往都能解释一部分的观测结果，但对另外那部分观测的结果却不行。现在，还没有哪个新的理论比爱因斯坦的引力理论更加精确，因此暗物质看上去仍然是解决这个问题的最好方案。但

是，暗物质究竟是什么呢？

### 暗物质究竟是些什么？

到目前为止，我们仍然没有完全弄清楚暗物质的本质是什么。在暗物质发现之后不久曾有一些天文学家认为，黑洞可能就是问题的答案。这听起来很自然，因为黑洞的确是看不见的，而且它们产生的引力也非常大。既然宇宙中有大量的暗物质，那么按照这种理解，宇宙中就应当存在着数目庞大的黑洞。然而精确的计算却表明，这是不可能的。这是因为在银河系中存在着为数众多的双星。在宇宙中，多数的恒星并不是单独存在，而是成

双成对、相互绕转的，这就形成了双星。如果真的有像暗物质那么多的黑洞，那么很多双星系统就会被它们拆散。这是因为黑洞的质量分布太过集中，会在周围的空间产生很大引潮力的缘故。因此，暗物质不可能是黑洞或那些大质量的天体。

除了大质量天体，微观粒子也有可能为这个问题提供解答。一种理论认为，我们就置身在微小的暗物质粒子的海洋当中。我们无法看到、也无法感觉到它们，但是因为它们数量巨大，所以可以产生很大的引力。不过，我们还从来没有在实验室中找到过这些暗物质粒子，因此对于这个理论的正确性，我们也不能完全确定。

### 引力透镜

无论是可见物质还是暗物质，它们都有一个有趣的性质，那就是可以将

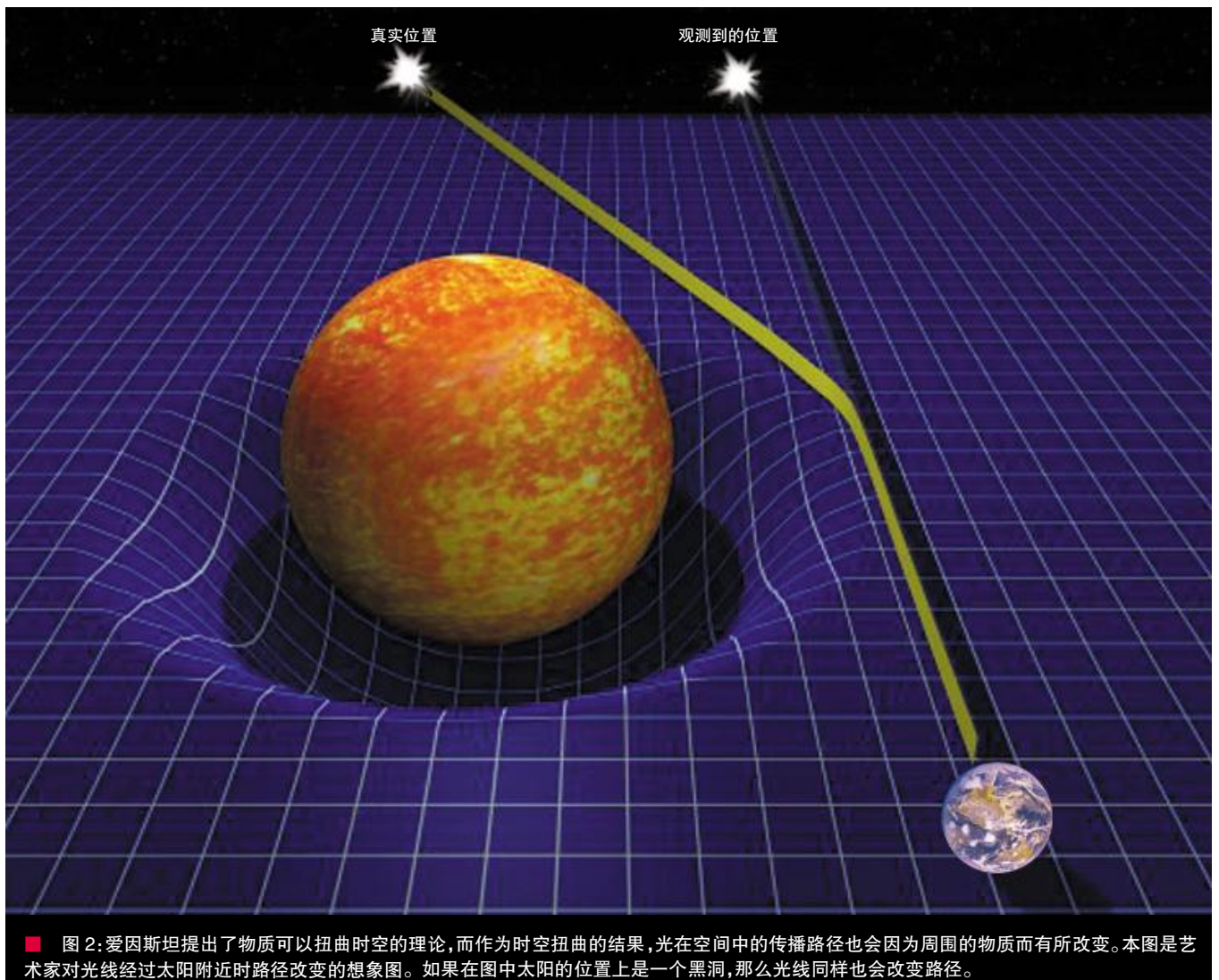


图 2: 爱因斯坦提出了物质可以扭曲时空的理论，而作为时空扭曲的结果，光在空间中的传播路径也会因为周围的物质而有所改变。本图是艺术家对光线经过太阳附近时路径改变的想象图。如果在图中太阳的位置上是一个黑洞，那么光线同样也会改变路径。



■ 图 3: 阿贝尔 2218 (Abell 2218) 是位于天龙座方向的一个包含很多星系的星系团。由于质量非常大, 它的引力放大、增强并扭曲了来自远方星系的光。图中短弧形的星系随处可见, 它们就都是非常遥远(到我们的距离是阿贝尔 2218 的 5 ~ 10 倍)的星系在前景星系团的“引力透镜”下产生的像。星系的不同颜色为我们提供了它们年龄、距离和其中恒星的温度的信息。[图片来源: 哈勃空间望远镜]

周围的时空弯曲。这一命题是由爱因斯坦在 1915 年首次提出的。根据他的广义相对论, 物质的质量越大, 它对周围时空的扭曲也就越严重。因此, 通过测量这种时空的扭曲, 我们就可以计算出造成这种扭曲的物质的质量。图 2(见上页)是一条光线因时空扭曲而改变传播路径的示意图。(当然, 实际上光源处的恒星向四面八方

都会发出光线。)我们可以看到, 在某些特殊的条件下, 比如像图 2 所显示的那样, 在背景恒星的前方恰好有一个质量较大的天体时, 这些背景恒星发出的光就有可能从不同的方向到达我们的眼睛里——也就是说, 我们将在不同方向上看到同一颗星的若干个像。这个现象称为“引力透镜”。

借助现代先进的望远镜技术, 我们已经能够观测到宇宙中任何一种天体产生的引力透镜效应。使用这种方法, 我们甚至可以探测到一些遥远的系外行星。当然, 利用引力透镜观测系外行星是非常困难的, 因为只有当它们刚好运动到另一颗恒星正前面的时候, 我们才能观测到它所产生的引力透镜。另外, 行星的质量太小了(比如说和星系相比), 因此它们产生的引力透镜也十分微弱。要想通过这种方法探测到一颗行星, 需要非常好的运气!

相较之下, 引力透镜星系则要常见得多。当一个遥远的星系前面刚好有一群较近的星系, 同样会形成引力透镜效应。这一点我们可以在图 3 中清楚地看到。图 3 显示的是大质量星系团阿贝尔 2218。在其中一些星系的周围, 我们可以看到很多环绕的短弧形的星系, 它们当中有很多都是同一个背景星系的像。如果我们仔细研究这些弧形光像, 就能够得到很多关于这个背景星系的信息; 同时, 我们也可以确定前景星系团的质量。当然, 我们得到的质量要远远大于用发光物质的质光关系推算出的星系团的质量——因为星系团中有大量的暗物质!




■ 图 4: 加拿大 - 法兰西 - 夏威夷联合望远镜 (The Canadian-French-Hawaii Telescope, CFHT) 是一架世界级的 3.6 米口径光学 / 红外望远镜, 位于夏威夷海拔 4200 米的休眠火山——莫纳克亚山上。[图片来源: CFHT]

## 研究前沿： 为宇宙中的暗物质绘制地图

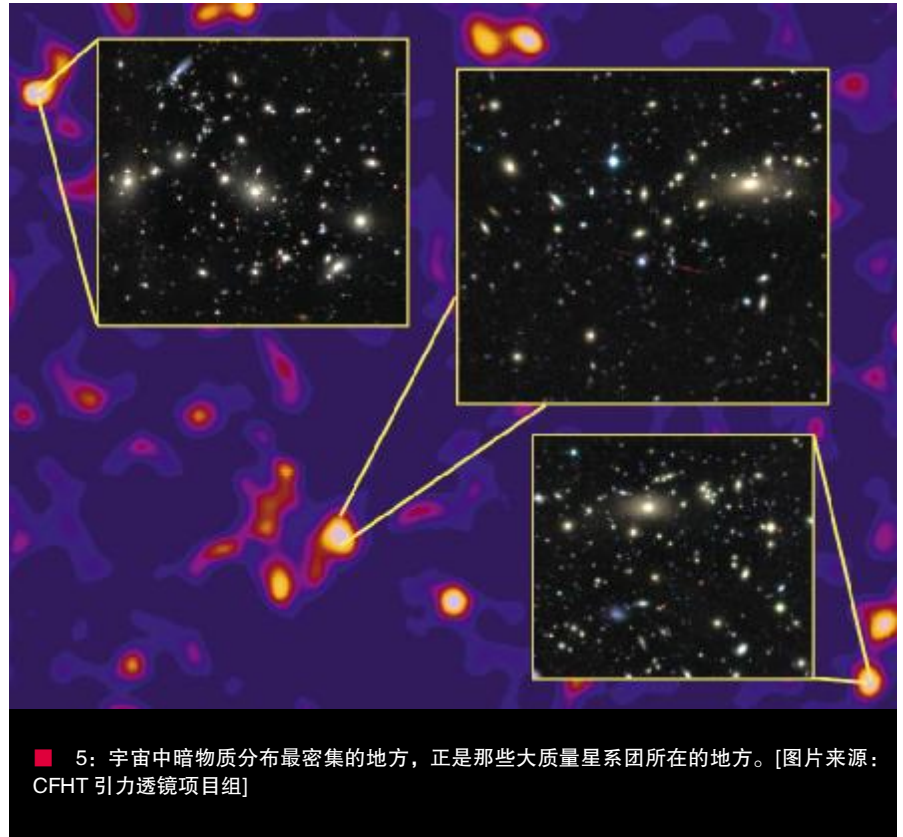
**最**近，一个由多国天体物理学家合作的项目组成功地绘制了一幅宇宙中部分暗物质的分布图。他们通过加拿大—法兰西—夏威夷联合望远镜（图 4）在一片很大的天区中搜寻引力透镜的现象。在过去的五年中，他们共观测和分析了超过 1000 万个星系。他们研究了那些存在引力透镜现象的星系，并由此得到了暗物质在天空中不同区域的分布。把这些数据综合起来，就绘制出了这幅局部宇宙的暗物质地图。图 5 给出了他们的主要成果。在这幅地图中，黄色表示有很多暗物质存在的区域，而蓝色则说明这个区域的暗物质比较少。

图 5 看上去似乎只是显示了一些模糊的斑块而已——但当我们把它和这片天区中星系团的分布进行比较，就会发现很有趣的事情：那些质量最大的星系团，它们正好就位于那些暗物质地图中显示黄色（也就是暗物质最密集）的天区（图 6）！这正是我们所预想的：暗物质和可见物质之间存在相互的吸引。这个国际研究小组目前在进行进一步的研究和观测。图 6 显示的只是天空中的一个小部分，但是可以期待，就在不久的将来，我们一定可以绘出一幅全天的暗物质分布地图。

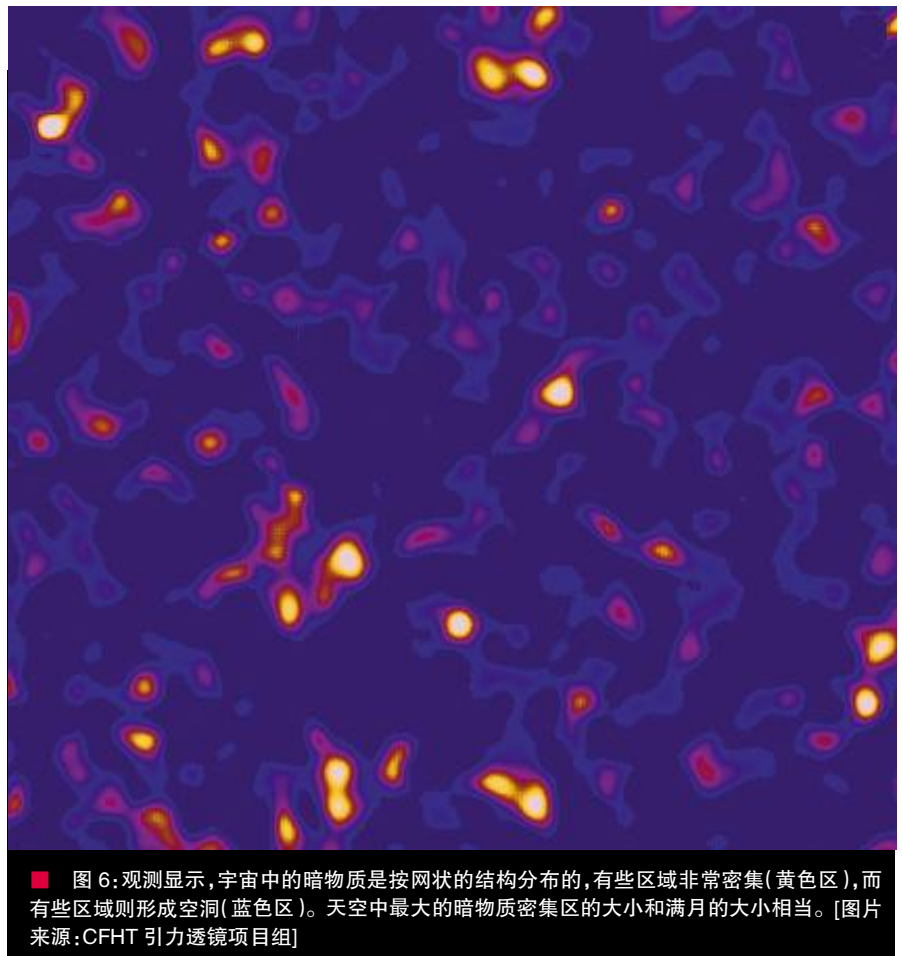
### 我们从中学到什么？

**在**过去的 50 年里，我们已经知道暗物质大多分布在可见物质的周围，比如在星系的晕中。这也许并不奇怪，因为暗物质和可见物质之间会通过万有引力相互吸引。暗物质的问题已经存在了 80 年，很多科学家在努力寻找问题的解答，比如黑洞、黑暗星或者微观粒子，另外一些则致力于修正或改变爱因斯坦的引力理论。不过到目前为止，还没有人能够给出有说服力的答案。它很可能是现代天体物理学最棘手的问题之一。我们还不知道暗物质究竟是什么，但是我们知道，诺贝尔奖一定会颁给那位找到这个问题答案的人。 

（责任编辑 李鉴）



■ 5: 宇宙中暗物质分布最密集的地方，正是那些大质量星系团所在的地方。[图片来源：CFHT 引力透镜项目组]



■ 图 6: 观测显示，宇宙中的暗物质是按网状的结构分布的，有些区域非常密集（黄色区），而有些区域则形成空洞（蓝色区）。天空中最大的暗物质密集区的大小和满月的大小相当。[图片来源：CFHT 引力透镜项目组]