

远在 30 年代, 天文学家惠兹克已注意到, 在星系团中, 星系的绕行速度是如此之快, 按理, 它们无法稳定地呆在星系团中. 他推测存在某种看不到的物质, 提供了引力“胶质”. 70 年代, 又发现银河系边缘的恒星运动速度, 要比理论家预言的快得多, 这也暗示着大量的暗物质弥漫于星际空间. 以后, 对旋涡星系旋转情况所作的射电和光学观测表明, 它们被暗物质晕所包围. 分析了很多星系对和星系群的运动之后, 人们确信, 星系所含物质的总量, 要比其可见的大得多. 故天文学家断言, 宇宙并不仅仅含有组成我们身体、地球和星星的那类通常物质. 所谓通常物质, 是指由重子(质子、中子等)组成的物质. 而其他粒子, 诸如电子, 它们数量虽多, 但对宇宙质量的贡献是很小的.

据大爆炸宇宙论, 约在大爆炸后的 30 万年, 重子物质和辐射至少以 1:10000 的比例, 均匀地散布于宇宙. 从如此平滑的密度分布开始, 要想通过引力而把物质凝聚成我们今日所见的星系和星系团, 时间是远远不够的. 对此的解释是, 宇宙必还含有某种迄今尚未探测到的暗物质.

暗物质既非重子物质, 那么它们是什么呢? 理论家提出了许多种粒子, 例如中微子、引力微子、光微子、轴子、磁单极子等. 但总的说来分为相对立的两大类: 热暗物质和冷暗物质. 所谓热, 是指其运动速度大, 近于或等于光速; 而所谓冷, 则指速度较小的暗物质.

热、冷暗物质不仅速度各异, 且其凝聚的途径也各不相同. 计算表明, 热暗物质将形成甚大尺度的天文结构, 它们将先是塌缩成盘状团块, 继而再分裂成星系, 这就是星系团、星系形成的所谓“顶向下”图景, 意即先大后小. 至于冷暗物质, 将首先形成小尺度团块, 它们作为星系形成的“胚胎”, 然后在引力作用下, 形成星系, 再凝聚成星系团和更大的结构. 这就是所谓“底向上”图景, 意即先小后大. 从星系团中星系的分布情况来看, 很难理解会是“顶向下”图景. 而冷暗物质理论不仅能正确地预言星系凝聚的平均概率, 且从电脑所作的理论模拟来看, 又十分类似于星系分布的实际情况. 故冷暗物质的研究就成为学者们的热衷课题.

此外, 人们也能从轻元素——氦、氖和锂的相对丰度中, 推导出宇宙中的重子密度. 计算结果, 宇宙的重子平均密度约为宇宙临界密度的 5%. 但由于暴胀论预言, 宇宙的物质密度十分接近于临界值, 即使把星系的全部质量(包括暗物质晕)加起来, 也远低于临界值. 因此, 宇宙中其余 95% 的质量也就自然地落在暗物质身上. 所谓临界密度, 是指宇宙的物质密度若超过此值, 则引力最终将制止其膨胀而是收缩, 并出现大塌缩

而回归到宇宙创生时的“原”点; 小于此值, 则宇宙将永远膨胀下去. 理论家倾向于认为宇宙有一个临界密度值, 这不仅可满足暴胀论的要求, 同时, 也是为了避免我们正好生存在一个特殊时代(退行星系的动能几乎平衡了引力能)的巧合. 由此可见, 冷暗物质图景是与宇宙学、粒子物理学、星系形成理论等联系在一起的, 科学家给以高度的评价是完全可以理解的. 70 年代以来, 暗物质的探测一直是科学界的一个热门课题.

1983 年, 美国、英国、荷兰联合投资发射了第一颗“红外天文卫星”(IRAS). 它为宇宙物质的大面积分布, 提供了可靠的数据. 1987 年, 以英国天体物理学教授鲁宾逊为首的一批天文学家, 研究了 IRAS 所测得的、分布在全天的 2400 个星系的数据. 据此, 他们绘出了宇宙物质的比较全面的分布图, 其详尽和全面, 是过去任何光学测量所无法比拟的, 因为银河系空间中充满了吸收可见光的星际尘埃. 他们绘出了我们银河系附近、半径约 5 亿光年范围内的三维物质分布图, 这在天文学上还是第一次.

利用这一密度图, 可以估计出我们邻近的星系、星系团对我们星系所施加的引力, 其净方向跟银河系的运动方向一致, 而与微波背景辐射方向相对. 在各向同性的微波背景上所观测到的这仅有的一点不均匀性, 从而十分完美地得到了解释.

最有意思的是, 在此密度图上根本没有看到所谓“大引力体”的痕迹. 一些天文学家曾宣称, 半人马星系团正以 1000 公里/秒的速度离开我们, 因为它正被拉向一个在它背后的巨大的物质块. 可是对半人马座天区所作的研究却

得出完全相反的结果. 从密度分布上可看出, 这一天区的星系团散布得很广, 在它们的后面只有一个一般大小的星系团, 其引力不可能施加那么巨大拉力. IRAS 图还揭示出, 我们的银河系被 10 多个星系团所牵引着, 它们主要是室女、长蛇和半人马星系团.

他们还绘出了对应密度分布的直方图, 并由此而设计了一种新的统计实验方法, 称为“数格子”(count in cells), 以供某些理论模型之用. 通过这些方法和数据, 可清楚地看到宇宙在大尺度上要比冷暗物质理论所预言的更具有成团性.

这是否意味着冷暗物质理论面临末日了呢? 不, 但确实遇到了困境.

据 IRAS 图所提供的数据, 对加在银河系上的拉力作了分析, 可得出宇宙必具有近临界密度值, 因而可断言, 90% 或更多的物质是由某种形式的暗物质所组成. 不论微波背景是多么平滑, 但物质分布的成团性只能用暗物质来解释. 结论是, 不是宇宙中有没有暗



陈壮叔 编译

高温等离子体中原子的特征谱线密集在真空紫外区。所以掠入式光栅光谱仪成为一种重要的诊断工具，一直到软X射线区才逐渐为晶体光谱仪取代。晶体谱仪实质上就是利用晶体中的原子点阵来代替光栅进行光谱分析。

在聚变等离子体中随着电子温度的提高，等离子体的韧致辐射和高电离态杂质的线辐射将有相当大的部分是处在软X射线区。这些X射线辐射引起的能量损失是高温等离子体能量损失的重要组成部分，因此从能量损失的观点来看，对X射线的监测是相当重要的。另一方面，X射线的探测和能谱分析可以用来确定等离子体的某些重要物理参数。例如，通过X射线连续谱的测量，可以测定等离子体电子温度；通过X射线杂质谱线多普勒展宽的测量可以测定等离子体离子温度；X射线测量还可以用来诊断等离子体中的杂质成份并用来研究杂质的空间分布及输运过程。因此，X射线的测量在高温等离子体诊断中起着非常重要的作用。

5. 中性粒子能谱分析

离子温度是高温等离子体的一个十分重要的参数。众所周知，参加核聚变反应的是离子而不是电子。中性粒子能谱分析是目前测量等离子体中离子温度的主要测量手段。我们知道，在磁约束核聚变装置的等离子体中心部位温度非常高，工作气体几乎完全电离，没有中性粒子。然而，在边缘区域的等离子体温度相对来说要低一些，存在部分未电离的中性粒子，器壁上也会因为解吸或溅射而放出部分中性粒子。这些能量较低的中性粒子有一部分通过多级电荷交换过程而扩散到等离子体中心的高温区域，在那里再跟背景等离子体中的离子发生电荷交换。这样一来，原来能量低的中性粒子变成能量低的离子，受到磁场的约束留在中心区域。某些原来能量高的背景离子变成了能量高的中性粒子，因不受磁场的约束而从等离子体中逃逸出来。测量出这些从等离子体中逃出的中性粒子的能量，就基本上反映了等离子体的离子温度。

图19是中性粒子能谱分析探测系统的示意图，该系统主要包括三个部分：气体剥离室、能量分析器和探测器。整个仪器处于真空状态，剥离室内充有工作气体，它的功能进行电荷交换，因此有时亦叫做电荷交换室。来自等离子体的中性粒子首先进入剥离室，跟其中的工作气体发生电荷交换而再次变成离子，这样便于进行能量分析。能量分析器通常是利用静电偏转的方法来

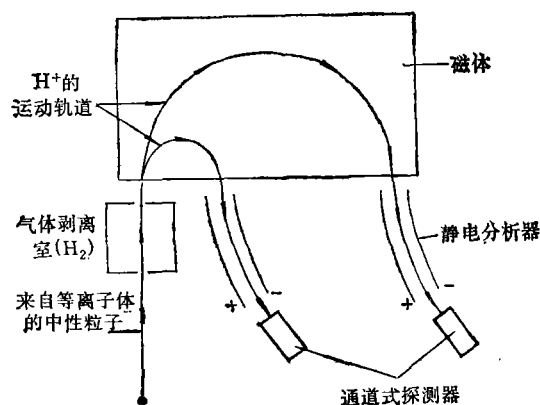


图19 具有质量分辨的中性粒子能谱探测系统示意图

物质，而是它取什么形式的问题。冷暗物质在解释星系、星系团的形成方面十分有效，但用来解释我们在大尺度上观测到的成团情况时却有困难。

现在有三种选择。第一，修改冷暗物质理论，会给出大尺度上更多的结构，理论家能否令人信服地做到

平行板静电分析器两种类型。前者具有一定的聚焦作用，右者的结构非常简单，两个平行板电极上加上电压形成均匀的静电场。从剥离室出来的离子进入能量分析器后受到静电场和磁场的的作用，轨道发生偏转。不同能量的离子具有不同的轨道半径，从下极板上相应的出射缝中出来，进入探测器被记录下来。最常用的探测器是通道式电子倍增器和微通道板。这类电子倍增器性能稳定，增益高，体积小，特别适合于弱离子流的测量。微通道板(MCP)实际上是由 10^4-10^7 个微型通道式电子倍增器组成的，其工作原理与单管通道式电子倍增器完全相同。它的重要特点是具有良好的空间分辨率，一般可以达到 $15\mu\text{m}$ 。它对于能量为 $2-50\text{keV}$ 的离子探测效率可以达到 $60-85\%$ 。由此可以得到中性粒子的能谱曲线。根据该曲线中直线段的斜率便可以得到离子温度。早期的中性粒子能谱探测系统只具有能量分辨能力，现在很多实验中用的中性粒子能谱探测系统同时具有粒子的能量分辨能力和质量分辨能力。

七 令人鼓舞的重要进展和当代聚变研究的前沿课题

近年来核聚变研究取得了令人鼓舞的重要进展，尤其是

这点，还得走着瞧；第二，引入新的成分，例如冷、热并用，以解释大尺度结构；最后，提出一种全新的理论，来解释所观测到的星系的成团性。目前，理论家们也正沿着这三个方向进行探索。



朱士宏



现代物理学的一个重要前沿领域(之七)

受控核聚变



学部委员钱临照教授主持



物理前沿