

高能天体物理前沿与瞭



(下)

方励之

黑洞

中子星的质量有一个上限,其值大约在3个太阳质量左右。质量大于上限的星,引力坍缩后不能形成稳定的中子星,而将形成黑洞。黑洞是引力非常强的空间范围,其中的光也不能逃离黑洞。黑洞的可能存在,象中子星一样,也是三十年代就预言了。同样,它也是直到六十年代才受到重视,成为天体物理中最常见的名词之一。

黑洞本身是不发光的,所以,要直接观测它们是十分困难的。但是,当有物质掉向黑洞时,物质受到强引力场的加速变热,就会发光,这种光是可以探测的。在双星系统中就有可能发生这种过程。双星是两颗星组成的体系,相互绕着共同的质心旋转。如果双星中一颗是普通的星,一颗是黑洞,那么正常星中的物质就会不断落入黑洞而发光,这种过程称为黑洞的吸积。含有一个黑洞的双星体系的势能图画在图7中。其中正常星仍在进行核燃烧,它具有宽而浅的势阱,另一个深而窄的势阱是中子星,或者黑洞,它的势阱深而窄,当气体从正常

星落到中子星或黑洞上时,每个质子可以获得 10^8 eV 的能量,这种能量以光的形式放射出来,主要是X射线波段的辐射。

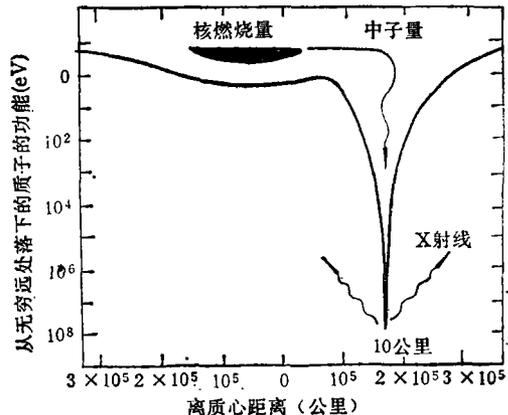


图7 包含一个黑洞的双星的势能图。

从七十年代以来, X射线天文学的确发现了一些X射线双星,观测表明,黑洞理论是成功的,甚至我们已有相当把握确定那颗星很可能是黑洞。符合黑洞理论的观测证据有以下几点:

1. 存在X射线双星;
2. 有些X射线双星其强度有脉冲式变化,脉冲周期非常稳定。这种X射线源的质量都小于中子星质量上限。所以,这种源实质是由一颗正常星及一颗中子星构成的体系;
3. 有些X射线双星其强度的变化是不规则的,没有任何周期性。这种X射线源的质量都大于中子星质量上限。所以,这种源很可能是黑洞,因为黑洞的磁轴不可能偏离它的转轴,故不可能有规则的周期性变化;
4. 天鹅座X-1是属于3的一个X射线源,它的X射线强度有毫秒级的变化,这说明该源的尺度很小,符合黑洞的量级。

当然,我们并不能完全肯定天鹅座X-1是黑洞,但黑洞模型对解释上述观测结果来说是十分自然的,按照这种判据,大麦云中的LMC-X3也很可能是黑洞。

大质量黑洞模型目前在天体物理中也成为一种流行的模型。这种黑洞质量在 10^6 — 10^9 太阳质量的范围。它们不是一次坍缩而成的,而是吸积了许多恒星

人们正在以下三方面继续进行不懈的努力:

- (1) 寻找更高 T_c 的新超导材料;
- (2) 阐明高 T_c 氧化物超导体的物理机制;
- (3) 开发新超导体的技术应用。

在寻找新材料方面1988年初又取得一些新的结果,如发现了不含稀土的高 T_c 氧化物等。由这些进展

看来,在不太久的将来得到更高 T_c 的新材料是完全可能的。有趣的是,若 T_c 能达到近似 200K,按

$$2\Delta/KT_c > 3.5,$$

则 $2\Delta \approx 0.1$ eV 已接近 IuSb 的禁带宽度。若能如此,对半导体和超导体的混合器件将具有重要意义,因为它结合了高速度和低功率损耗两大特色。

之后,聚积起来的.这种模型常用来做为活动星系核及类星体的模型.从能量角度有这个模型是成功的,活动星系核及类星体的高能现象不难用大质量黑洞加以说明.在上述天体中心有一大质量黑洞,它吸积恒星等物质而放出大量能量.比之恒星晚期的黑洞理论,有关类星体或活动星系核的大黑洞模型还是相当不成熟的.有许多理论及观测的工作有待于完成.

吸积及喷流

上面已经多次提到过吸积.现在它已经发展成一个非常重要的天体物理课题.因为,致密天体(中子星、黑洞等)的发光,高能粒子的产生或加速,许多都是在吸积过程中完成的.

按几何形态分类,有球对称的吸积以及盘状的吸积,前者是被吸积物质球对称地落入中心的致密天体.如被吸积物相对于中心星体具有角动量,则由于角动量守恒,围绕中心致密星形成盘状结构,称为吸积盘.

在动力学方面,吸积所包含的问题有以下几个方面:定态的吸积模型;各种吸积解的稳定性;吸积模式的变化等等.在辐射方面,吸积所包含的问题是:辐射的总强度;辐射谱(热谱,幂律谱,谱指数);辐射的变化;发射线等.显然,上述诸问题大都属于流体力学领域.由于吸积物温度很高,物质电离,也由于中心致密

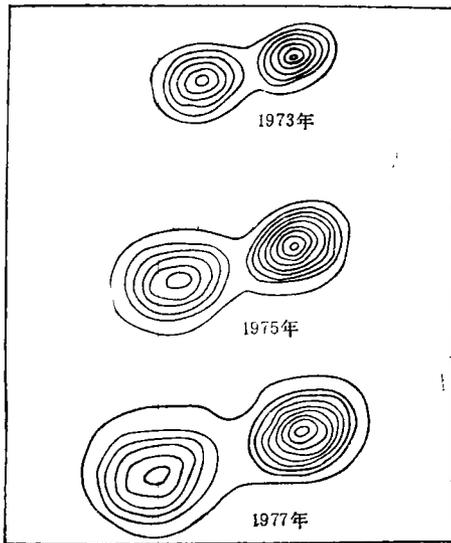


图8 类星体 3C345 的两个射电子源随时间的变化

在开发技术应用方面最严重的课题是提高大块材料的临界电流密度,这需要首先克服超导玻璃的结构特性,然后才读得到提高氧化物超导体的钉扎疏通的能力.薄膜的应用可能走在前面,目前达到的水平已经可以开始研制一些超导弱电应用器件,如液氮温区工作的超导量子干涉器件(SQUID)等.

星一般是有磁场的,所以,吸盘物理一般也是磁流体力学及等离子体的研究课题.

同吸积盘紧密相关的另一个问题是喷流.至今我们还不能直接看到吸积盘,但喷流却已是观测得相当仔细的现象了.射电天文学很早发现,许多射电源两旁具有大体对称的两个子源.进一步又发现许多子源迅速地向外运动,图8画出类星体 3C345 的两个射电子源随时间的变化.这种图景很容易使人想到,两个子源是由中心天体向相反的两个方向喷出的物质或光.这就是喷流模型.精细观测更发现,一个具有喷流的射电源,它的大尺度上的喷流方向同小尺度上的喷流方向惊人地平行.图9是 NGC 6251 的射电流量表,很清楚地看到,这个源具有喷流,而且小尺度上的喷流与大尺度上的喷流方向完全吻合.

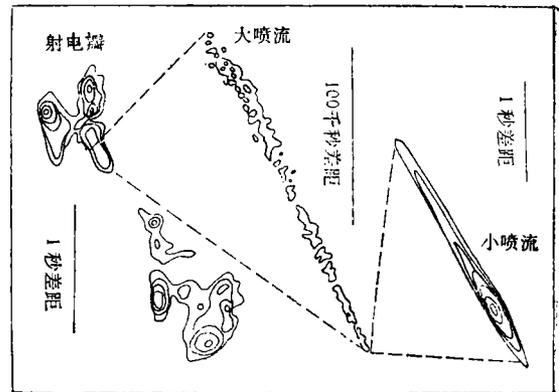


图9 射电源 NGC6251 的喷流,在不同尺度上的喷流方向完全平行

更应提及的是,不只射电源这种大尺度天体有喷流,且恒星尺度的致密天体也有喷流.最典型的喷流天体,是 SS433.已经公认,SS433 是一颗致密星,它的模型是致密星周围有一吸积盘,沿着盘的轴,有喷流射出.由于盘的进动也导致喷流进动.因此喷流上的辐射将有红移蓝移的周期性变化,图10表示来自 SS433 上下两个喷流的辐射的波长,有周期性的变化.

射电源或类星体的尺度要比恒星大上百万倍,但其喷流的性质却十分相似.的确,目前对两种喷流几乎采用完全相同的模型去说明.这种模型的简图如图11所示.它的中心是一黑洞,吸积盘围绕着它.黑洞不断“吞食”缠绕着它的磁场,因之,不断去掉缠绕把磁

在寻找更高 T_c 材料,阐明新材料的超导机制及开发新超导材料的技术应用方面均存在着美好诱人的前景,它给全世界科学工作者带来极好的献身机会.超导研究和开发的热潮还将长时期持续下去,可望不久的将来会在上述三方面有进一步的突破,从而对人们生产、生活带来难以估量的重大变革.

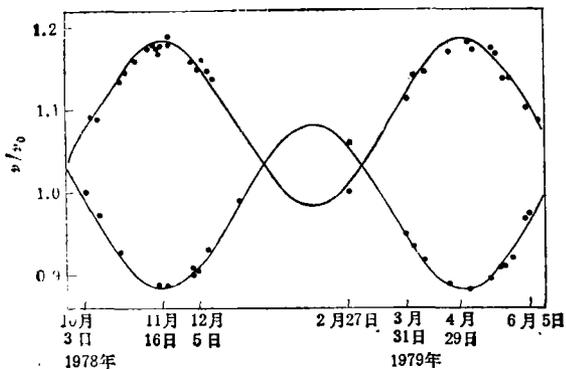


图 10 SS433 有两组发射线,二者频率有周期性变化,但位相相反,说明是由两个反向的喷流形成的。

场理顺。这一有序磁场与旋转黑洞所产生引力“磁场”相作用产生高达 10^{10} 伏的势,这将加速粒子形成喷流。

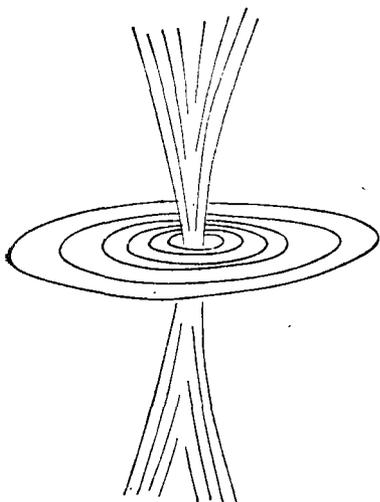


图 11 黑洞吸积盘产生喷流模型示意图

形成喷流这种问题很难用分析方法解决。要求助于数值方法。数值相对论也是引力物理中的一种新方法。它用数值计算去解决难求分析解的问题,如,引力波发射,非球吸盘过程,喷流的形成等。

宇宙线

宇宙线物理直接研究来自地外空间的各种高能核或粒子。显然,这些核或粒子的成分、起源、传播等都是天体物理感兴趣的。它极有助于了解元素的起源,核合成过程,天体中的加速机制等。

首先,宇宙线探测告诉我们各种核在宇宙间的丰度,即相对含量、太阳系中的元素丰度已经知道的相当详细,因为,除了根据太阳光谱以外,还可以直接分析陨石、月岩等样品,根据放射性同位素已知太阳系年龄大约为 46 亿年。因此,太阳系中的元素丰度应当就是 46 亿年前银河系中元素丰度的一个代表。这使我们研究银河系的化学演化有了一个参考点。

最近发现,银河系的元素丰度与太阳系的结果有差别。这可能反映太阳系元素丰度并不是星际空间的元素丰度的典型代表,或者在银河系中元素分布有非

均匀性。这种非均匀性如何起源,如何再变成均匀等等,正是银河系演化问题中的前沿。

另外,比 Ni 重的元素是靠中子捕获过程形成的,即较重的核捕获中子后形成更重的核。按照核合成理论,有两种中子捕获过程。一种叫慢过程(s 过程),它主要在红巨星上发生,由红巨星产生的中子引起中子捕获;另一种叫快过程(r 过程),它主要在超新星爆发时发生。 s 过程与 r 过程产生不同的元素丰度。根据现有丰度数据,已经清楚,现有太阳系中的元素是 s 过程及 r 过程的混合结果。仔细地研究各丰度的差别也许会得到一幅更清楚的元素生成史。

宇宙线粒子虽少,但却集中了大量能量。银河系发射的宇宙线粒子的强度达到 10^{11} 尔格/秒。它比银河系的 X 射线强度高十倍。为什么这些粒子具有如此高的能量;这些能量是如何集中到少数粒子上的。这就是宇宙线的加速问题。宇宙线大都是由高能天体发射出来的,像超新星、中子星、活动星系核,射电源、类星体等都可能是宇宙线源。因此,在这些高能天体上必定存在有效的加速机制。我们在宇宙线中已观测到能量高达 10^{20} eV 的粒子,它比现有加速器中产生的高能粒子的能量高得多。

一种流行的加速机制是激波,例如,当超新星爆发时就存在有效加速粒子的激波。现在还不能说激波机制是否一定可靠。因为,需要仔细研究能量在 10^{13} — 10^{16} eV 范围的宇宙线粒子成分及能谱,才能对激波模型进行检验。最近发现,X 射线双星天鹅座 X-3 发射能量高达 10^{19} eV 的光子,它的产生一定是与某种极高能粒子过程有关。至今没有成熟的解释。为了弄清楚它,应当发展新的宇宙线探测器,用以研究发射 1 TeV 能量级的宇宙射线的点源。

从宇宙射线源发射出高能粒子,它在星际空间中经历漫长一段时间后到达地球,在这种传播过程中,它要经受碰撞、散射、分裂等等作用。从银河系观点来看,宇宙线是一种相对论性气体。如何在银河系中维持或保存这种气体,也是一个有趣的问题。因为宇宙线能量很高,从它产生到飞出银河系,平均而言只要一千年,但实际发现,宇宙线粒子在银河系中的逗留时间平均为 10^7 年。其原因还十分不清楚。这当然与银河系中的磁场有关。另外,还须考虑到在星际空间中次级宇宙线的产生,原初的高能宇宙线粒子与星际物质碰撞将产生次级的宇宙线,这些过程同样会加长宇宙线在银河系中的逗留时间。

宇宙线物理中还有一些富有宇宙学含义的课题,我们只简单列举如下:

反粒子、反粒的丰度;

宇宙线的极高能量 10^{20} eV 与 3K 背景辐射;

磁单极子的寻找。

所有这些,都是在下一个十年里将被关注的课题。