

X 射线天文学的实测方法与理论工具

李 启 斌

(中国科学院北京天文台)

提 要

本文评述X射线天文学探测技术与产生X射线的物理依据。文中首先介绍了X射线与物质相互作用的性质以及X射线探测仪器,然后讨论了气球、火箭和卫星在X射线天文观测中的作用,列举了已发射和近几年中将要发射的X射线天文卫星的情况,其中较详细地介绍了乌呼鲁卫星和爱因斯坦天文台的概况。文中还阐述了X射线源的位置及其光度的测定与陈述的方式,介绍了一些重要的X射线源表。最后,简短讨论了天体X射线辐射的机制与产生的条件。

X射线天文学方法同其他波段(光学、射电)的天体物理方法有很大的不同,无论是辐射信号的采集,还是天体物理量的建立,都有它独特的地方。通常的光学天体物理方法的基础是望远镜和光敏器件(底片、光度计、摄谱仪等)以及从热辐射机制出发推定天体物理量。射电天文方法的基础是天线、信号放大传输系统,主要从同步辐射机制来讨论天体物理量。X射线是电磁波中的波长特别短的波段,通常把 $0.01-100 \text{ \AA}$ 的电磁波叫做X射线,而在X射线天文学中更常用光子的能量来表示,把 $0.1 \text{ keV}-1 \text{ MeV}$ 能量的光子视为X射线。由于X射线光子能量比可见光和射

电波高得多,它同物质相互作用的方式就有很大的不同。它被地球大气强烈吸收,所以它的探测主要是在地球大气外进行;它在介质中折射或反射的方式不像其他电磁波那样,因而它的波束不能用通常的方法聚焦,必须用独特的方式把X射线光子转换为可分析的形式,它的讯息也将以独特的形式表现出来;它所涉及的辐射机制远比其他波段复杂。因此,X射线天文学有它自己独特的发展方向和前进道路。这里,我们介绍X射线天文学在研究方法上的特色以及最近的进展。

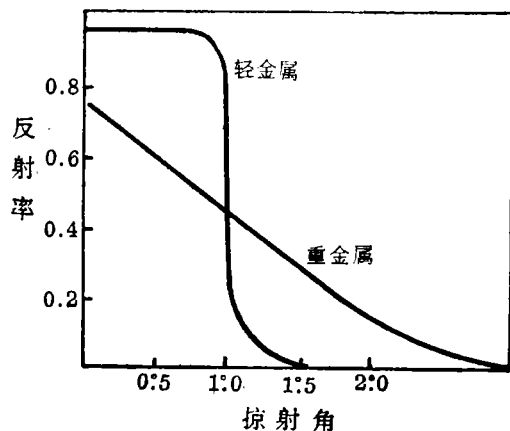


图 1 不同原子序数的物质的反射特性

一、X 射线与物质的相互作用

任何辐射只有当它同物质发生相互作用才能被

1984年10月24日收到。

1984年上海天体物理前沿讨论会上的报告。

探测到。其相互作用的性质，决定了探测它的方法。从X射线天文学方法的角度上讲，主要有以下几种相互作用。

1. 光电离

X射线光子同原子相遇时，原子吸收其光子能量而电离。这种吸收效应同原子序数有关，原子序数越大，吸收越多；它也同光子的能量有关，光子能量越高，其作用截面越小。吸收的总量同路径中原子总数有关。

搜集光电离的电子，乃是X射线探测器的基础。

2. 反射

一般情况下，介质不反射X射线，但有两种特殊情况下可反射X射线：

(1) 掠射 对X射线波段，真空和金属间的折射率为0.9994，因此，当入射X射线束与抛光金属表面呈很小角度(入射角 $\geq 88^\circ$)时，金属表面可以反射X射线，其反射特性同原子序数有关。对于轻金属，反射更倾向集中于很小的掠射角内(图1)。

(2) 晶体反射 按Bragg定律，X射线可从晶体表面反射，反射波长 λ 与入射角 β 及晶格间距 d 遵从如下关系

$$2d \sin\beta = n\lambda$$

其中 n 为整数。

上述反射性质可用于制造X射线望远镜和X射线光谱仪。

3. 散射

X射线与电子碰撞时将发生散射，视X射线光子能量不同而有两种散射：

(1) 康普顿散射 高能(50 keV以上)X射线光子同静止电子碰撞时发生散射，散射不仅使X射线光子运动方向改变，而且由于电子吸收X射线光子的能量，使X射线损失能量。

(2) 汤姆逊散射 低能的X射线的电矢量迫使电子振动而导致再发射，致使X射线传播方向改变，但不损失能量。在入射光电矢量的垂直方向散射截面最大。这一特性可用于X射线偏振测量。

二、X射线探测器

常用的X射线探测器有以下几种：

1. 正比计数器

它是利用X射线的光致电离效应造成的。在这种探测器中(图2)，产生电离的是高原子序数的气体(例如，分压90%的氙、氙、氙等惰性气体和分压10%的甲烷和二氧化碳)。X射线入射后，气体被电离而产生出自由电子。探测器中的阳极丝两端加有几千伏的高电压，使得电子向它作加速运动。电子运动路径中又撞出更多的次级电子。达到金属丝的电子流向电极，产生脉冲信号。

探测器的窗是用吸收截面小的低原子序数的材料(金属或塑料)的薄层做成的。

正比计数器的灵敏度取决于入射窗的面积。脉冲的强度正比于光子的能量，因此由正比计数器还可得到X射线源的能谱，能量分辨率正比于 $E^{-1/2}$ 。 $E = 6 \text{ keV}$ 时，能量分辨率约为16%。能

谱范围一般是 0.2—25 keV。在低能端主要受窗的吸收的限制，在高端，光子将穿透探测器。

2. 闪烁计数器

能量在 20 keV 以上的硬 X 射线，可用闪烁计数器来探测。闪烁计数器是由晶体和光电倍增管组成的。X 射线投射到碘化钠或碘化铯晶体上，晶体会发出闪光，在光电倍增管中产生电流，从而在电路中形成脉冲信号。与正比计数器类似，脉冲强度正比于输入 X 射线光子的能量。

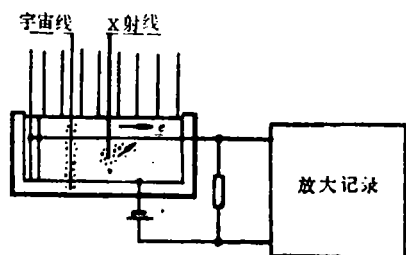


图 2 正比计数器

正比计数器和闪烁计数器本身都没有方向分辨能力。为获得角分辨率，往往是在探测器窗口前安置一机械准直器，即由吸收 X 射线的金属片做成的小格子。这样，便只有近于垂直窗面的 X 射线可以达到窗口，其方向性呈尖劈形(如图 3)。

3. 成像望远镜

1952 年 Wolter 首先提出利用 X 射线的小角度反射构成 X 射线望远镜的原理。其原型是一个桶状的旋转抛物面(图 4)，X 射线通过掠射(小角度反射)而聚焦，因而也称为掠射望远镜，但其焦距过长，使用不方便，Wolter 又提出将旋转抛物面顶部改为旋转双曲面，使焦距缩短，这种望远镜称为 Wolter I 型望远镜。1960 年 Giacconi 和 Roci 首先提出在 X 射线天文观测中使用这种望远镜，最初做成的掠射望远镜用于太阳 X 射线探测。爱因斯坦天文台所用的 X 射线成像望远镜又作了进一步的改进，将几个不同口径的 Wolter 镜面套起来，成蜂窝状，这样就增加了有效受光面积，提高了灵敏度和成像质量。爱因斯坦天文台的成像望远镜口径为 58 厘米，分辨率达 2"。

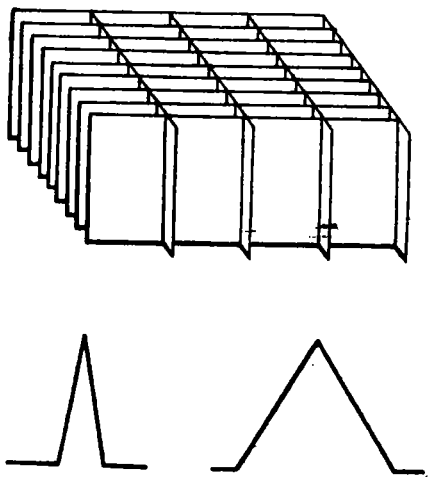


图 3 机械准直器(上)及其透过特性(下)

一般反射望远镜镜面加工精度应为观测波长的 1/10 至 1/20，对于 1—20 Å (~0.6—12 keV) 的 X 镜面精度应为 0.5 Å 左右，因系小角度反射，应除以掠射角的正弦，故精度可放宽到 25 Å 左右，但仍比一般光学加工精度高一个量级。

4. Bragg 晶体摄谱仪

正比计数器能量分辨率不高，只能得出粗略的能谱。为获得精确能谱，往往采用 Bragg 晶体摄谱仪。按 Bragg 定律，X 射线从晶体表面反射时，不同的波长将反射到不同的方向，这种色散特性，使它可以用来作为色散元件。晶体可以是平面的，也可像弯曲光栅一样做成曲面。爱因斯坦天文台采用的 Bragg 晶体摄谱仪(图 5)中，晶体是曲面，兼有色散和聚光的性能，安置在成像望远镜的焦点后面，经过色散，光束汇聚到正比计数器上^[1]。这种摄谱仪的波长分辨率很高，可达 1%，但效率较低，只能探测到强源。

5. 偏振计

X 射线的散射具有偏振特性，散射截面同偏振矢量的方向有关，利用这种特性可做成 X 射线

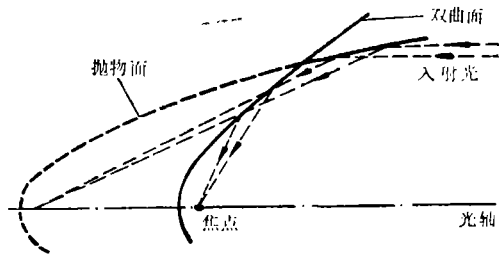


图 4 X射线掠射望远镜

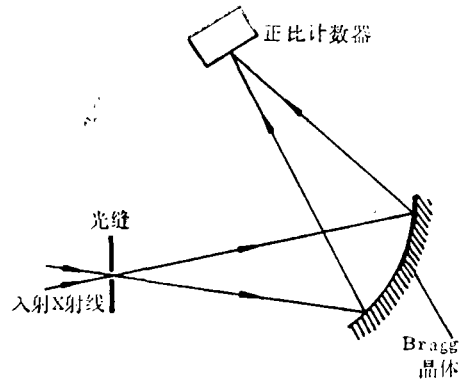


图 5 爱因斯坦天文台 Bragg 晶体摄谱仪

偏振计^[2]。其中一种叫汤姆逊散射偏振计，其散射单元是方柱形的锂块，外围安置四个分别平行于方柱四个表面的计数器(图 6)。这样，垂直于偏振矢量方向的计数器将接收到最强的辐射，另外两个计数器则收到最弱的辐射。

另外一种偏振计是 Bragg 晶体偏振计。晶体的反射率同入射面与入射光-偏振矢量平面间的夹角有关，将两个石墨晶体的表面与入射光束呈 45° 放置，并使两个晶体的入射面互相垂直，测量两个方向上的计数率，便可得到斯托克参数。

汤姆逊散射偏振计适于宽波段工作，而 Bragg 晶体偏振计要满足 Bragg 定律，只能在单一能量上作偏振测量。

6. 固体探测器

电子通过半导体时，产生空穴电子对，加外电压，便可测出脉冲信号。这样做成的探测器具有较高的能量分辨率，例如爱因斯坦天文台所用的固体探测器能量分辨率达 140 eV，因此也叫做固体摄谱仪。同闪烁计数器相比，它不能做得很大，只宜和望远镜相配合使用。

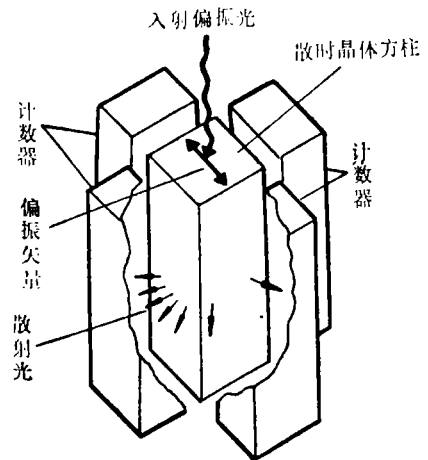


图 6 汤姆逊散射偏振计

三、探测器的运载工具

1. 气球、火箭和卫星

由于地球大气吸收 X 射线，在地面不可能观测到天体的 X 射线辐射。探测天体 X 射线源，必须到高层大气或大气外进行，因此，需要运载工具将探测器送到高空。一般地说，探空火箭、高空气球、人造卫星都可用来进行 X 射线探测，但其性能有所不同，毫无疑问，卫星是最好的工具。

探空火箭可以升到 120 公里以上的高空，探测天体 X 射线辐射。初期的 X 射线探测，如太阳 X 射线辐射，第一个宇宙 X 射线源 Sco X-1 都是火箭运载的探测器发现的。但是，火箭在高空停留时间太短，只有四、五分钟，效益颇低，随着卫星技术的发展，逐渐为卫星所代替。探空气球

可以上升到 35 公里左右的高空,能观测到天体的硬 X 射线辐射。不少人曾用气球作硬 X 射线观测,取得过很好的结果,例如,Her X-1 的 58 keV 和 110 keV 的硬 X 射线谱线就是用气球观测到的。气球观测的优点是造价便宜。观测时间比火箭观测时间长,可达几小时乃至几十小时,但同卫星相比仍要短得多。它适宜做已知源的定位观测,不宜做巡视性的探测。

用卫星进行观测,可以彻底摆脱地球大气的限制,探测到全部 X 射线波段,观测时间长,载重量大,可同时进行多项观测,因此是最佳的 X 射线观测工具。1970 年第一个 X 射线探测卫星 Uhuru 发射以来,绝大多数 X 射线源都是卫星探测器发现的。

下面我们列出迄今已发射的以探测天体 X 射线源为主的人造卫星。

乌呼鲁(Uhuru)	1970. 12. 12
哥白尼(Copernicus)	1972. 8. 21
荷兰天文卫星(ANS)	1974. 8
羚羊五号(Ariel V)	1974. 10. 15
小型天文卫星三号(SAS-3)	1975. 5. 7
轨道太阳天文台八号(OSO-8)	1975. 6. 21
宇宙线探测卫星二号(COS-B)	1975. 8. 9
高能天文台一号(HEAO-I)	1977. 8. 12
爱因斯坦天文台(HEAO-II)	1978. 11. 13
天鹅(Hakucho)	1979. 2. 21
高能天文台三号(HEAO-III)	1979. 9. 20
天马(Tenma)	1983. 2
欧洲 X 射线卫星(EXOST)	1984. 3

2. 乌呼鲁卫星和爱因斯坦天文台^[3]

这两颗 X 射线探测卫星在 X 射线天文学中具有划阶段的意义。直到现在, X 射线源研究中都要援用它们的探测结果,为了理解它们给出的数据的涵意,这里我们给出这两个典型的 X 射线卫星的探测器的性能。

乌呼鲁卫星装有两个正比计数器,在 2—10 keV 能段工作,受光面积为 840 平方厘米,机械准直器的半极大宽度(FWHM)分别为 $1/2 \times 5^\circ$ 和 $5^\circ \times 5^\circ$ 。两探测器指向相反,与卫星自转轴垂直,卫星每 10 分钟自转一周。计及 X 射线背景的影响,其极限灵敏度可达一个乌呼鲁计数单位(即 $1 \text{ Uhuru count} \approx 1.7 \times 10^{-11}$ 尔格/平方厘米·秒(2—6 keV 能段)),该仪器还可记录 X 射线脉冲辐射,时间分格单元为 0.096 秒。

该卫星的主要目的是全天 X 射线巡天。结果是首次发现大量宇宙 X 射线源。其发现列于乌呼鲁 X 射线源表,最完整的第四表(4 U)包括 339 个 X 射线源。脉冲 X 射线源也是该卫星首次在 Her X-1 上发现的。

爱因斯坦天文台装有五台 X 射线探测器:(1) 高分辨率成像望远镜(HRI),为套筒式掠射望远镜,配有二维微管探测器;(2) 成像正比计数器(IPC);(3) 焦面晶体摄谱仪(FPCS),为弯曲表面的 Bragg 晶体摄谱仪;(4) 固体摄谱仪(SSS);(5) 监测正比计数器,其轴线与 HRI 平行。五个探测器的主要参数如下页表。

总的说来,爱因斯坦天文台的 X 射线探测能力比以前的卫星探测器有一飞跃,其角分辨率

探测器	视场	角分辨率	集光面 (cm ²)	能量分辨率 $\frac{E}{\Delta E}$	时间分辨率	背 景
HRI	25' × 25'	2"	25(1/4 keV) 40(1 keV) 20(2 keV)		8 μs	$3 \times 10^{-3} \text{cts} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{弧分}^{-2}$
IPC	75' × 75'	1'	~100	0.7(1/4 keV) 3—4(1.5—4 keV) (0.15—4 keV)	63 μs	$3 \times 10^{-3} \text{cts} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{弧分}^{-2}$
SSS	6'		300	3—25(0.4—4 keV)	2—5 ms	$10^{-2} \text{cts} \cdot \text{s}^{-1}$
FPCS	1' × 20' 2' × 20' 3' × 30'		4—60(<0.28 keV) 0.2—5(>0.28 keV)	50—100(<0.4 keV) 100—1000(>0.4 keV)	8 μs	$5 \times 10^{-3} \text{cts} \cdot \text{s}^{-1}$
MPC			600	5(6 keV) (1.5—20 keV)	$1 \mu\text{s} (\Delta t < 64 \mu\text{s})$ $\frac{\Delta t}{100} (\Delta t > 64 \mu\text{s})$	$10 \text{cts} \cdot \text{s}^{-1}$

(2'')已接近光学观测水平,其灵敏度比乌呼鲁卫星探测器提高了三个量级。因此它可探测到大量新源,并给出面源的细致图像。它的目的是选区(不是全天)巡视和定向详细观测。它首次发现大量普通恒星的X射线辐射、河外星系(M 31、麦哲仑云)中的X射线源,给出超新星遗迹和星系团的高分辨图象,以及探测到大量类星体与活动星系核的X射线辐射。

3. 近几年中将发射的X射线卫星

由于X射线天文学取得巨大的成就,X射线卫星的发展受到高度重视,成为天文投资中最重大的项目之一。下面我们简单介绍计划在最近几年中发射的一些X射线卫星的概况,以便及时注意和利用卫星探测的新成果。

(1) 高级X射线天体物理设备 AXAF(Advanced X-ray Astrophysical Facility) 系美国八十年代天文学规划中三个最重大的项目之一,计划于1987年发射。该卫星将装备一台口径为120厘米的掠射望远镜,使X射线源成像分辨率达0".5,从而使X射线观测完全达到与光学相匹敌的水平。

(2) X射线卫星RÖSAT(Röntgen Satellite) 这是联邦德国计划在1986—87年发射的X射线卫星,将装备一台口径为80厘米的X射线掠射望远镜,进行一次比以前精度和灵敏度都高的全天巡天观测,以发现更多的有价值的X射线源,提供一个更大而完备的X射线源的样本组。

(3) 大面积探测仪 LAMAR(Large Area Moderate Angular Resolution 或 Large Area Modular Array Reflectors) 这是美国在研究中的一项探测设备。它的主要特点是正比计数器的接受面积非常大,达 10^4 平方厘米,以求极高的灵敏度,探测弱源。由于面积大,分辨率不能要求太高,故又称为大面积中分辨率探测器;也可能要用多块模板组合而成,所以也称大面积多模探测器。

(4) 致密天体观测台 COO(Compact Object Observatory) 为美国研制项目,主要目的是定向观测致密X射线源。

(5) 天文-C 卫星 日本计划于 1986—87 年发射的第三颗 X 射线卫星, 将装备面积为 5000 平方厘米的正比计数器。

(6) X-80 卫星 欧洲空间局计划发射的卫星, 将装备 Bragg 晶体摄谱仪, 精细观测 X 射线能谱。

(7) X 射线时变监测仪 XTE(X-ray Time Explorer) 主要用来观测爆发源或瞬现源, 跟踪这类源的 X 射线流量随时间的变化。

(8) 航天飞机搭载 X 射线探测器 美国计划利用航天飞机运载 X 射线光谱仪、偏振计以及其他仪器, 这样便可回收探测器。其他国家也打算利用美国的航天飞机搭载 X 射线探测器。

四、X 射线信息的表述

由于 X 射线探测仪器同光学观测有很大的不同, 所以, 其实测信息的表述和初步处理的方式也有很大差别。这一节我们介绍 X 射线源的定位与证认、X 射线的光度计量以及 X 射线源表。

1. X 射线源的定位与证认

X 射线源的巡天观测, 一般是利用卫星的自转和公转进行天空扫描而实现的。一次扫描只能由卫星姿态给出一维的位置(一般为一大圆)以及一维的误差范围。确定 X 射线源的位置需要两次不同路径的扫描。两次扫描得出两个方向的误差范围, 构成一个误差框。因为两条路径不一定互相垂直, 误差框一般呈平行四边形。X 射线源的精确位置往往是证认为光学或射电天体后, 由光学或射电位置确定的。证认 X 射线源的时候, 第一个判据是误差框是否与某天体重合, 然后则是考虑其能谱、时变特征, 确定其是否有 X 射线辐射的可能性。

2. X 射线源的光度计量

X 射线探测记录采用光子计数方式, 因此它直接记录的单位是计数率, 即单位时间内到达探测器的 X 射线光子数, 这个计量单位是同探测器相联系的, 不同探测器的计数率不能直接比较, 在使用这种计量法时必须冠以该探测器或卫星的名称, 如 Uhuru counts 表示乌呼鲁卫星探测器的计数率。计数率需化成流量或光度方可直接比较。将计数率化为流量时需要知道探测器的受光面积 A 和它的敏感能量 E 。若计数率为 counts/s, 则流量为

$$F = \text{counts/s} \times E/A$$

如果已知天体的距离 D , 即可求出源的 X 射线光度:

$$L = 4\pi D^2 \cdot F = 1.8 \times 10^{36} D^2 (\text{kpc}) E (\text{keV}) \text{counts} \cdot \text{s}^{-1} / A (\text{cm}^2)$$

例如, 乌呼鲁卫星的 X 射线探测器, 窗口面积为 840 平方厘米, 能量范围为 2.5—6.5 keV, 当计数率为 1 时的流量即乌呼鲁流量单位 (Uhuru unit 或 UFU) 为 1.7×10^{-11} 尔格·厘米⁻²·秒⁻¹。一个蟹状星云流量单位等于 947 UFU, 等于 412 个 Ariel V SSI 流量单位, 相当于 1060 微焦耳。如果 X 射线源在银心附近即 $D = 10 \text{ kpc}$, 流量为 1 UFU, 则源的光度为

$$L \sim 10^{37} \text{ 尔格} \cdot \text{厘米}^{-2} \cdot \text{秒}^{-1}$$

3. X 射线源表

X 射线巡天观测的主要结果表现为 X 射线源表, 它是进一步开展研究工作的基本资料。现将主要的 X 射线源表介绍如下。

《乌呼鲁 X 射线源表》最完备的是第四表(4 U), 刊载于[4], 包括 339 个源;

《羚羊卫星 X 射线源表》第二表(2 A), 刊载于[5], 包括 105 个高银纬源; 第三表(3 A)分高银纬和低银纬两部分, 分别刊载于[6],[7], 共包括 251 个源。相当多的源与 4 U 表所载相合, 但误差框较小;

《X 射线爆发源表》共包括 31 个爆发源和瞬现源, 大多数是麻省理工学院卫星探测结果, 少数是其他卫星观测结果。该表载于[8];

《爱因斯坦天文台 X 射线源表(1 E)》该卫星探测结果尚未系统、全面发表, 只有一部分结果出现于论文中, 例如[9],[10];

《高能天文台 X 射线源表》(H)载于[11],[12], 包括 174 个源。

此外, 还有两份是根据已发表的资料整理、综合而成的 X 射线源表, 其一是 Amnuel 等人编的《X 射线源总表》, 包括 667 个 X 射线源, 载于[13]; 另一表是 Bradt 编的《致密 X 射线源表》, 包括 115 个 X 射线源, 载于[14]。北京天文台程元已整理编写出一份《河外 X 射线源表》, 包括 858 个河外源。

X 射线源的名称除少数极强源按星座给出序号(如 Sco X-1)外, 一律采用 Parks 编码。

五、天体 X 射线辐射机制

以上我们介绍的是 X 射线的探测工具, X 射线天文学方法还有另外一个重要方面, 就是它的理论工具——X 射线辐射物理学。关于后者, 我们无须详细介绍辐射物理的基本原理, 这里仅就各种产生 X 射线辐射的机制的作用与产生 X 射线辐射的条件作简短的讨论。

1. 产生 X 射线的几种辐射机制

黑体辐射 由黑体辐射产生 X 射线有两个条件, 一是光学厚, 才能产生黑体辐射; 二是黑体温度足够高, 约在 $T \sim 10^7 \text{K}$, 黑体辐射分布的峰值才移到 X 射线波段。

热韧致辐射 其产生 X 射线辐射的条件是光学薄的高温等离子体, $h\nu = 1 \text{ keV}$ 相当于 $T = 1.2 \times 10^7 \text{K}$, 频谱为指数谱(图 7)。

同步辐射 磁场中的高能电子, 当 γ 值非常高 ($\sim 4 \times 10^7$) 时可产生 X 射线辐射, 能谱为幂律谱。

逆康普顿辐射 高能电子散射光子可产生 X 射线辐射, 如星光 ($\sim 5000 \text{ \AA}$) 同 $\gamma = 35$ 的电子相互作用可产生 4 keV 的 X 射线, 能谱为幂律谱。

高温气体电离谱线 在发射热韧致谱的高温等离子体中往往存有未完全电离的原子, 这些高次电离原子(例如铁)的谱线可能落到 X 射线波段。这种谱线常常叠加在热韧致谱上。

回旋共振谱线 在极强磁场下, 回旋运动的电子能级成分立态、能态间的跃迁产生线谱, 出现于硬 X 射线波段。

判断 X 射线源性质的第一件事便是确定其辐射机制, 一般先从谱型推断。区别黑体谱和热韧致谱就可从谱型区分, 热韧致谱为指数形式, 可以同黑体谱区别开来, 但在 $D > 5 \text{ kpc}$ 时, 星际物质吸收造成低能截断而不易判断。此外, 高温等离子体中有时内部存在温度梯度, 以致其辐射谱成为不同温度的热韧致谱叠加的情形, 也需加以注意。逆康普顿散射和同步辐射在幂律谱型和功

率上都比较接近，因此需要从源的环境中比较磁能与光子辐射能的强度而定，若磁能强则倾向于同步辐射，辐射场强则倾向于逆康普顿辐射。

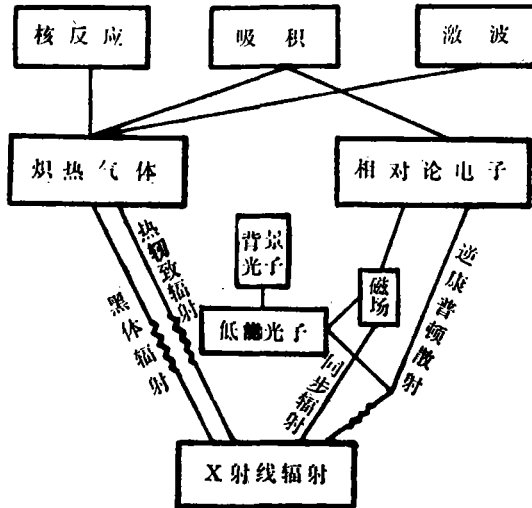


图 7 几种X射线辐射谱的形式

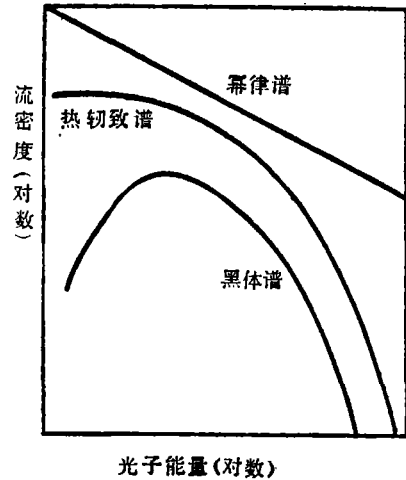


图 8 产生X射线辐射的途径

2. 产生 X 射线辐射的条件

从上述机制可以看出，X射线辐射有两个主要条件：一是高温气体，二是相对论性电子。产生这两个条件可能有三种情形：(1) 核反应；(2) 吸积；(3) 激波。

按照 Rees^[15]图解加以补充，我们可用如下的图来说明X射线辐射产生的环节(图8)。

至于如何具体实现，则取决于天体的实际条件，这就是构造理论模型的工作了，属于X射线天体物理学的内容，我们将分别就各类源另文介绍。

参 考 文 献

- [1] Winkler, P. F., in X-ray Astronomy, 61, ed. by R. Giacconi and G. Setti, D. Reidel Publishing Co., (1979).
- [2] Novick, R., in X-Rays in Space, Vol. 1, 435, ed. by D. Vankatesan, Calgary Alberta, Canada.
- [3] Schreier, E. J., The NEAO X-ray Observatory, in New Instrumentation for Space Astronomy, ed. by K. A. van der Hucht and G. Vaiana, Pergamon, Oxford, (1978).
- [4] Forman, W. et al., *Ap. J. Suppl.*, 38(1978), 357.
- [5] Cooke, B. A. et al., *MNRAS.*, 182(1978), 489.
- [6] Warwick, R. S. et al., *MNRAS.*, 197(1981), 865.
- [7] McHardy, I. M., *MNRAS.*, 197(1981), 893.
- [8] Lewin, W. H. G. and Joss, P. C., *Space Sci. Rev.*, 28(1981), 3.
- [9] Vaiana, G. S. et al., *Ap. J.*, 245(1981), 163.
- [10] Pravdo, S. H. et al., *Ap. J.*, 248(1981), 591.
- [11] Marshall, F. E., *Ap. J. Suppl.*, 40(1979), 657.
- [12] Nugent, J. J. et al., *Ap. J. Suppl.*, 51(1983), 1.
- [13] Amnuel, P. R. et al., *Ap. Space Sci.*, 82(1982), 3.
- [14] Bradt, W. V. D. and McClintok, T. E., *Ann. Rev. A. Ap.*, 21(1983), 13.
- [15] Rees, M. J., in X-ray Astronomy, 340, ed. by R. Giacconi and G. Setti, D. Reidel Publishing Co., (1979).

(特约编辑 宋国玄)(责任编辑 谢应纯)

Observational Methods and Theoretical Arguments in X-ray Astronomy

Li Qibin

(Beijing Observatory, Academia Sinica)

Abstract

This paper presents a review of the techniques in X-ray observation and physical arguments of the production of X-rays.

It gives views of the nature of the interaction of X-ray radiation with matter and the detectors used to explore the cosmic X-ray emission. The roles in X-ray observations played by balloons, rockets and satellites are also discussed. The X-ray satellites launched and to be launched in the few years to come are mentioned with attention centered on the Uhuru Satellite and Einstein Observatory. The determination and statement of the position and photometry of X-ray sources, and well known catalogues of X-ray sources are described. The radiation mechanisms and the condition favourable for X-ray emission of cosmic objects are also briefly discussed.