

- [10] D. Bally et al., *Nucl. Instr. and Methods*, **127** (1975), 547.
- [11] P. Ageron et al., *Irradiation Facilities for Reserch Reactor*, IAEA, (1973), 247.
- [12] A. Steyerl, *Nucl. Instr. and Methods*, **101**(1972), 295.
- [13] A. Steyerl, *Phys. Letters*, **29B**(1969), 33.
- [14] J. M. Robson et al., *Phys. Letters*, **40B**(1972), 537.
- [15] J. C. Bates, S. Roy, *Nucl. Instr. and Methods*, **120**(1974), 369
- [16] H. Maier-Leibnitz, T. Springer, *J. Nucl. Energy A/B*, **17**(1963), 217.
- [17] V. I. Luschnikov, *Proceedings of the International Conference on the Interactions of Neutrons with Nucli*, Lowell, (1976), 117.
- [18] W. T. Lanford et al., *Phys. Lett.* **39**(1977), 1509
- [19] A. B. Стрелков, М. Хетцельг, *ЖЭТФ*, **74** (1978), 23.
- [20] Ю. Ю. Косвинцев и др., *Письма в ЖЭТФ*, **28** (1978), 164.
- [21] W. Paul and U. Trinks, *Fundamental Physics with Reactor Neutrons and Neutrinos*, The Institute of Physics (Bristol and London), (1978), 18—27
- [22] 刘圣康, 林进福, *物理*, **9-5**(1980), 444.

## 气球载望远镜进行天体红外观测

邹惠成

(中国科学院上海天文台)

几个世纪以来,天文学一直是通过地球大气层一扇很窄的可见光“窗口”去观测和认识宇宙,所观测到的天体(指太阳系外)温度范围大约从 2000 K 到 50000 K。二十世纪三十年代以后,人类发现了大气层的另一扇“窗口”,即无线电波窗口,它比光学窗口宽得多。可见光波长从 0.4 微米到 0.8 微米左右,而无线电波波长从几毫米到几米、几十米。一门迅速发展起来的射电天文学,与光学天文学互相补充,推动天文学的更快发展。但是,从可见光到无线电波之间,还留下一个窗口,那就是波长从 1 微米到 1000 微米的红外波段。

1800 年英国天文学家赫歇尔(W. Herschel),在观测太阳时,偶然发现了“红外线”。但红外天文的发展速度,远比射电天文来得慢。地球大气层的吸收和散射,以及大于 5 微米波长的大气发射,大大地限制了地面红外天文观测。就整个红外波段来说,大气的吸收是主要的,其中以水蒸气、二氧化碳和臭氧吸收最严重,其次是甲烷和氧化氮。水蒸气随高度增加而迅速减

少,在 12 公里以上可以忽略不计。二氧化碳吸收带直到 22 公里以上还是明显的。臭氧含量随高度增加而增加,到 22 公里处有一个极大值,以后再随高度增加而减少。其他气体如一氧化碳、氨气、硫化氢等也吸收红外线,但因含量少,只有在工业集中的大城市上空才能探测到它们的存在,并且在近地面时,都被二氧化碳和水蒸气的强吸收带所淹没。

实测表明,在 28 公里的高度,对 25 微米以下的红外光谱,大气吸收可以忽略不计;对 25 微米以上的远红外,大气中各种成份的吸收带,变为很窄的吸收线,吸收也减弱。在 40 公里以上的高度,则 25 微米以上的远红外吸收也可以忽略不计。由此可见,大气层外的高空观测是非常重要的。

### 一、高空气球及球载红外望远镜

1783 年,在巴黎上空升起了世界上第一个气球,至今已有二百年的历史了。1874 年,气

球携带小型光谱仪,第一次进行球载天文观测。飞机工业兴起以后,人们已经把气球忘了。但在宇航已经发展起来的今天,人们反而又重新想起了它,这不是没有原因的。首先,气球比人造卫星花钱少;其次,在发射、控制和回收技术上,比卫星简单;第三,许多卫星上的仪器,可以先放在气球上做试验;最后,对于红外天文、高能天体物理和宇宙线观测等项研究,在气球上观测的条件,也不比卫星上差太多。因此,目前国际上许多国家,包括一些技术上较先进的国家,都对高空气球发生极大的兴趣。

本世纪六十年代后,由于新技术对气球的武装,使得这项古老的科学工具,获得了新的生命,并以前所未有的速度向前发展。

自从1947年开始出现的塑料薄膜气体具有重要意义。它既减少自重,又提高强度。1960年用聚酯薄膜制成第一个超压式气球,到1975年这种超压式气球创记录飞行时间长达762天。近来又创造了飞高52公里,载重5吨,球体积一百万立方米以上,寿命长达十年的纪录。

美国目前有一种用于红外天文和高能宇宙线研究的典型气球,它的体积为 $5.8 \times 10^4$ [米]<sup>3</sup>,直径48米,充氦气,负载500公斤,飞高30公里以上。吊索长46米,球挡住天空的天顶距角为20度,约占地平以上半球天空的6%。如果发放站纬度为30度,则挡住天体的时间不超过三小时。此外,还备有一条长610公尺的吊索,可根据地面遥控指令放下,放长吊篮悬索长度后,天顶角只掩去2度。

球载望远镜是姿控吊篮、导星系统、光学系统有关的仪器以及望远镜的指向监控系统的总称。第一个做红外工作的高空气球是1960年研制,1964年发放的。其吊篮命名为“约翰·霍普金斯”吊篮,载有近红外分光光度计,测量了金星1.7~3.4微米红外光谱。载有30厘米的望远镜,飞高26.5公里。另一个红外天文观测吊篮叫同温层望远镜2号(Stratoscope II),带有一个36英寸的望远镜,配有红外光谱仪,波段从0.8微米到3.2微米扫描观测,对六个红巨星以及木星、月亮和仙王座 $\mu$ 星进行了观测,

以天狼星作为灵敏度的定标源。这两次初具规模的观测,是近代高空气球红外天文工作的先驱。

第一次高空气球远红外天文观测,是由霍夫曼在1969年作的,望远镜口径为30厘米,在100微米波长处,对银河中心进行了观测。姿控和指向精度优于6角分,球载望远镜可以回收后多次使用。吊篮总高4米,重300公斤。

新的40厘米口径球载望远镜,也由阿里松那大学研制成功,整个仪器由液氮致冷,光学系统保持在4~10K的温度,探测器致冷到1.8K。为防止空气进入望远镜,在冷光学系统上结霜,采用了厚为4微米的聚塑膜密封。系统于1976年6月发放,这样结构的系统在波长100微米观测天体,灵敏度达到62 琴斯/赫兹<sup>1/2</sup>(琴斯 $J_v = 10^{-26}$ 瓦/米<sup>2</sup>·赫兹)。

一个典型的近代化球载红外望远镜是由美国亚利桑那大学天体物理中心研制的。口径为一米,姿控采用二套系统:一套是捕捉模式,以地磁场和重力场为基准,精度约0.1度;第二套是惯性模式,用一个陀螺平台,进一步将指向精度提高到几个角分。最后,由导星系统的恒星视场照相机,将精度提高到10角秒。该系统用于对远红外源的巡天观测,波长范围为40~250微米,已经巡天到南天-50度赤纬的天区。该系统的特点还有光栅扫描的分光光度计和装有电视制导望远镜的监控系统。副镜摆动频率为每秒20次,振幅为5角分;还可根据地面指令,移动副镜,改变焦点位置。

根据吊篮运动的测试结果表明,除了旋转和摆动外,还有一种频率极低,振幅很小的附加振动。亚利桑那大学最近为了获得几个角秒的指向精度,发展了一种三轴系统,除了方位轴和仰角轴以外,还附加一个与仰角轴正交的轴。整套仪器表面完全镀金,使红外背景辐射降到最低。

所有球载红外望远镜的最后导星,都采用偏导,一般采用 $\pm 5$ 度到 $\pm 8$ 度的偏导角。

由于近年来发现了许多高流量的红外源,有人认为其高效率是无法用目前已知的产能机

理去解释的，因此有希望找到一种新的产能机理。美国著名的红外天文和物理学家劳教授(F. J. Low)说：“我们最后的希望是了解能源，了解宇宙中最大的产生能量的系统机理是什么！”

因此，国外在八十年代不仅地面红外，球载红外有很大的发展计划，并且还有一个特别庞大的计划，那就是八十年代准备制造口径为2.8米的大型空间望远镜，放在航天飞机上观测暗源和分子线的远红外辐射。目前设计已经完成。

一般红外源，特别是天体，都是比背景辐射要小几个数量级的直流讯号，所以一般都要进行调制。调制的目的—方面是将直流讯号变为交流，便于处理；另一方面是进行空间滤波。因为目标一般都是张角极小的象，空间滤波的任务是消除或减少背景辐射的干扰，增强小张角物体的信号，而抑制大张角物体的讯号。

近来天文观测都用摆动副镜的调制技术，国外将摆动副镜的装置已做成专门的仪器，称束调制器或束斩波器。西德新近研制成一种主镜调制器，既可以单独作红外球载望远镜又可以作大型红外望远镜的副镜调制器，这是红外调制技术一种新发展。

## 二、空间红外天文工作的技术要求

### 1. 巡天观测

对天空的一部份或全天进行红外分立源的普遍搜索，这就要求用望远镜以较大的束巡天，以便迅速地搜索完天空的特定区域。例如，口径40厘米球载望远镜对天空所张的束是12角分，要对一个源能基本上进行鉴别，其位置测量精度必须在1角分。巡天观测还要求有稳定的望远镜遥控指令模式，其扫描要均匀。由于探测器是热背景噪声限，因此对来自天空和仪器的背景应尽可能低。

巡天观测的目的在于初步搞清各种红外天体的亮度和空间分布，精确测定它们的位置和编制星表，以便今后对它们详细研究。

### 2. 高分辨率制图

要求望远镜对天空的张角有一个很小的束，因此与望远镜的衍射极限有关。制图要求望远镜扫描能力比巡天更稳定。

### 3. 暗源的光度测量和光谱分析

要求观测望远镜有一个大的孔径，小的束，精确的指向，指向误差小于10角秒等。由于这些技术要求较困难，在气球上观测暗源，进行光度测量和光谱分析还刚刚开始。

### 4. 宇宙背景测量

由于宇宙背景辐射是一个各向同性的很低亮度的面源，通常做这一工作是用小望远镜，大的束，大约以7度的空间分辨率进行的。由于背景流量不仅是探测器的噪声源，而且不能从讯号本身区别出来，因而系统要求有特别低的仪器背景辐射和天空背景辐射，必须将仪器全部低温致冷。

### 5. 低亮度的弥散源扫描观测

对技术上的要求基本上与做宇宙背景辐射相同，就是对空间分辨率要求高些，约需1度左右。

### 6. 太阳系天体的测量

由于这些天体是可见目标，并有较高的面温度，因此在指向、导星、分辨率和探测器的灵敏度方面不发生什么困难。

## 三、空间红外天文观测的一些结果

自六十年代以来近二十年的发展，远远超过了过去一百多年的红外天文观测和研究结果。目前的仪器水平，以望远镜的口径为例，大致是：地面望远镜从0.1米到5米；机载从0.3米到0.91米；球载从0.02米到1米；火箭望远镜都用0.15米。

除太阳系以外，天空中最亮的红外源是银河中心，其亮度为 $10^6$  琴斯左右，最暗的是类星体，约0.04 琴斯。目前红外天文看到的亮度，就是这个范围。按天体分类可分为：(1)红外星；(2)银河系内的弥散红外源；(3) HII 区（电离氢区）；(4) 红外星系；(5) 宇宙背景辐射。获

得这些结果对大气层外观测起了主要作用。

### 1. 红外星

按照天体演化过程，星际物质在收缩凝聚过程中逐步形成恒星，由冷变热。很自然的想到形成年青的恒星前的阶段，温度很低，辐射集中在红外波段；还有那些衰老了的恒星，也应有较冷的光球。早在1961年美籍中国天文学家黄授书，就提出要探测这种红外星。1965~66年美国贝克林等人在猎户座星云中观测到这种红外星。但是当第一次探测到某些天体的峰值辐射在10微米处时大吃一惊，因为它只相当于黑体辐射温度300K，这样冷的光球是没有足够的辐射压力来抵抗它自身的重力，必然要引起“引力坍缩”。后来研究表明，没有引起坍缩的原因是，这些恒星的辐射不是来自光球，而是炽热的恒星被尘埃壳层包围着，尘埃外壳吸收恒星的能量，然后在较低的温度再辐射出红外线。这一发现是红外天文的重大贡献之一。几颗典型红外星的壳层如下：

(1) 金牛T星：中心星温度2000K，壳层温度为500K，壳层半径为 $2.1 \times 10^4$ 太阳半径。

(2) 天鹅NML星：中心星温度2500K，壳层600K，半径 $4.3 \times 10^4$ 太阳半径。

(3) IRC+10216：内壳层温度600K，半径为12,000太阳半径；外壳层温度300K，半径60,000太阳半径。

(4) 船底座 $\eta$ 星：中心星10,000K，壳层250K，有6,000个天文单位那样大的半径。目前已认证它原是一个暗变星，1843年爆发为新星，当时与天狼星一样亮，后来渐暗，到本世纪用肉眼已经看不见了。大量物质从中心星喷出，冷凝成为尘埃壳，壳层的物质质量，目前已为太阳质量的十倍。

1976年狐狸座新星爆发后于12月该星可见光观测亮度急剧减弱，而红外观测表明却在急剧增加。这是因为在爆发过程中喷出大量物质，在星的外围空间形成一个厚厚的尘埃层。正在冷却的尘埃层，还是相当热，不发可见光，但发射大量的红外辐射；另一方面，愈来愈厚的

尘埃层挡住了中心星的可见光，造成可见光急剧减弱的现象。

红外光谱分析表明(图1)，其吸收光谱在

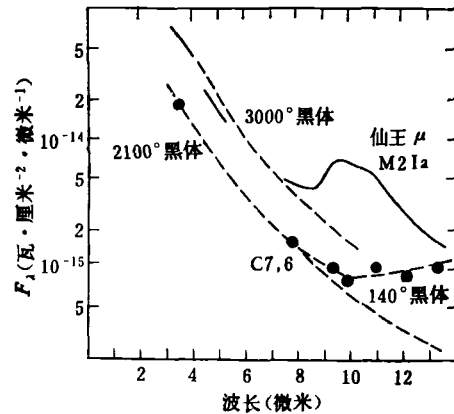


图1(a) 仙王座 $\mu$ 星和天鵝座R星在10微米的峰值

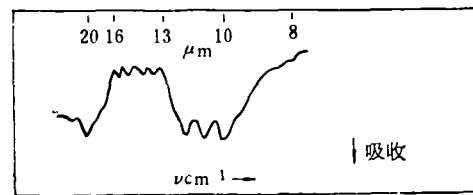


图1(b) 顽辉石 ( $Mg_{0.5}Fe_{0.5}SiO_3$ ) 的吸收谱线

10微米和20微米的陡峰，它与顽辉石、斜方辉石和橄榄烯等硅酸盐的吸收光谱相似。其中橄榄烯在阿波罗12的月面取样中占50%，有人估计银河中心方向的星际物质，有0.4%是硅酸盐。如果现代化的高分辨率的光谱分析仪，在气球上观测到大量资料，就能进一步搞清壳层的成份。

### 2. 银河系内的弥散红外源

银河系内，太阳系外的红外源最强，最引人注目的远红外源是银河中心。由于星际物质的消光，在可见光波段无法看清银河中心，在地面红外也接收不到主要集中在远红外的辐射。球载观测已经在100微米的远红外发现有很强的辐射，有趣的是与波长为2厘米的射电强度相近(表1)。而且用分辨率为6角分的气球望远镜在100微米的观测结果，与2厘米射电轮廓图相似(图2)。

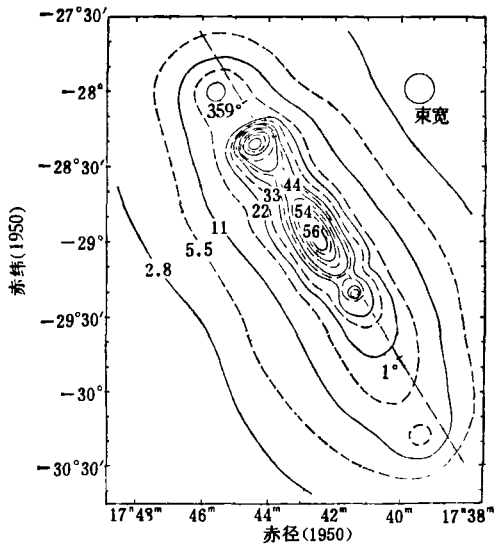


图2 银河中心100 $\mu$ 处的轮廓图,轮廓间隔以 $10^{-4}$ 尔格厘米 $^{-2}$ 秒 $^{-1}$ 微米 $^{-1}$ 球面度 $^{-1}$ 为单位给出,其细节结构与2厘米射电图相似

在波长介于40和200微米之间的银道面出现一个连续的发射带,跨度大于30度,从银经348度经过银核,到19度处。

100微米的观测表明从银河系核中伸出,与银河平面垂直的一条臂,远远地离开由密集的恒星组成的区域。

表1 银河中心半人马座四个源的红外亮度与射电强度的比例

源	100微米亮度*	2厘米强度	红外/射电
半人马A	7.4	28	0.26
B <sub>2</sub>	7	7.4	0.95
KB 56	5.1	3.9	1.3
G-0.6-0.1	2.2	2.5	0.9

\* 单位为 $10^{-3}$ ·尔格·厘米 $^{-2}$ ·(秒·微米·球面度) $^{-1}$ ·K.

半人马A的亮度约小4倍,但我们知道半人马A大约3/4的射电辐射是非热性的。从表1可以得出结论:银河中心存在着一类银河弥散源,源中的自由-自由射电辐射来自伴随着有热发射的星际尘埃的HII区,100微米红外能量来自同一个区域。这说明:(1)电离气体与尘埃相对说来是很好地混合在一起;(2)HII区的电离能量也是由很热星对尘埃加热的那些能量引起的。

现在用100微米波长观测到银河弥散源大约有60多个。

行星状星云发射一个红外连续光谱,约在250K,这个现象说明尘埃与电离气体共存。在行星状星云中发现了第一条红外发射线。有人把CRL 2688称做“卵星云”,认为是天体演化中一个介于恒星和行星状星云之间的环节。但也有人认为是一颗热星照亮几个尘埃云,而它们又巧妙地偶然地排列在一起而形成的。

### 3. HII区域(电离氢区)

三个最著名的HII区是M8(礁湖星云),M42(猎户座红外星云)和M17。礁湖星云是一个有趣的弥散红外源,在那里星际尘埃不如银河中心方向的密度大,星云还可看见。可见星云既有射电发射,也有100微米红外发射。红外辐射约为太阳亮度的一万倍。猎户座星云也同样发射可见光,远红外和射电波,其中HII区域是由分子发射的强烈微波源。

图3表示10个HII区域的红外亮度与2

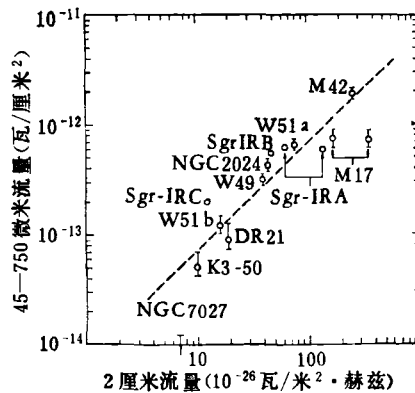


图3 观测的远红外流量作为2厘米射电流量密度的函数

厘米射电流量密度的关系。看来HII区电离气体的自由-自由跃迁产生射电辐射,而同时由跃迁产生的连续热效应和混在它们一起的被热星照热的尘埃,加热到50K~250K,从而产生远红外辐射。另一种假说是:热星辐射出的能量对尘埃加热,或是来自气体的赖曼(Lyman) $\alpha$ 辐射或是从恒星直接辐射出的一部份。差不多三分之一的远红外源与射电源没有区别。

### 4. 红外星系

至今在 10 微米红外观测到的河外星系超过 200 个, 其中只有三个在 100 微米能容易地观测到, 即 M82, NGC 253 和 NGC 1068. 红外流量从 10 微米以后都急剧上升, 其红外亮度要比这些星系的其余全部辐射大三到四个数量级. 辐射都来自星系核, 看来又不象恒星状光谱. 这类星系称为塞弗特星系, 最亮最有名的一个是 NGC 1068; 它们的高红外亮度, 不论是能量的产生或者是发射机理的理论问题, 今天都不清楚. 有人认为这些超能量的红外星系与类星体有关. 但至今只有很少几个类星体能用红外观测到, 最亮的 OJ 287 在 10 微米的峰值发射只有 0.7 琴斯. 而里克认为类星体似乎有强烈的非热致红外发射

### 5. 宇宙背景辐射

很多年前伽莫夫已经在理论上预言了宇宙黑体辐射, 1964 年比席斯和威尔逊独立地用实验证实了这一预言. 如果辐射遵循着 2.7 K 的普朗克黑体辐射, 则在短波一边很快衰落; 在长波一边已由毫米波射电和星际分子的观测建立起来了; 在一毫米以下的远红外观测也进行了. 由火箭测量的结果表明, 在 2.7 K 曲线上流量很大, 谱线很宽. 这是一个未解决的问题.

远红外天文学存在不少这种未解决的问

题, 如果利用球载仪器进行各种远红外天文观测, 必将对这些课题作出巨大的贡献, 其中包括河外星系存在着新的产能机制的可能性问题.

### 参 考 文 献

- [ 1 ] Far Infrared Astronomy, edited by Michael Rowan-Robinson, (1976), p. 21; p. 1; p. 15; p. 47. p. 115.
- [ 2 ] Infrared and Submillimeter Astronomy, edited by Giovanni G. Fazio, (1977), p. 3; p. 155; p. 55; p. 97; p. 107; p. 43.
- [ 3 ] W. F. Hoffmann, Review of Results in Infrared Space Astronomy, Proc. of the fifth ESLAB/ESRIN Symposium Held in Noordwijk, The Netherlands, June 1971, p. 5.
- [ 4 ] 小哈得逊著, 红外系统原理, 中译本, 国防工业出版社, (1975).
- [ 5 ] 西村 純, 气球观测事业十年进展, 东京大学宇航所报告, 12(1976), 7.
- [ 6 ] W. F. Hoffmann et al., *Ap. J.*, 170(1972), 689.
- [ 7 ] D. K. Aitken, *Ap. J.*, 184(1973), 127.
- [ 8 ] W. J. Forrest, *Ap. J.*, 195(1975), 423.
- [ 9 ] B. Batick, *Ap. J.*, 176(1972), 353
- [ 10 ] D. H. Martin, Infrared Detection Techniques for Space Research, (1972), D. Reidel, Holland.
- [ 11 ] Infrared Astronomy, edited by G. Setti and G. G. Fazio, (1978), p. 231.
- [ 12 ] G. G. Fazio, 1974a, in Proc. Symposium on Telescope Systems for Balloonborne Research, p. 38.



(上接第 216 页)

总括起来, 我们可以说, 在托克马克中所用的脉冲方法, 理论上现在可以说已完全可行, 但想按这种方法来建造一个热核反应堆, 那就太庞大, 太复杂了. 相反地, 我们的热核反应器在建造上是简单的, 但实现的实际方法和尺寸, 还有待于弄清对流热传导过程. 这是不能用纯理

论加以处理的.

科学工作的主要吸引力在于它提出了许多问题, 而问题的解决是无法预见的, 这正是为什么受控热核反应的科学研究这样迷人!

[李仁骏摘译自 «Reviews of Modern Physics», 51-3(1979), 417—425. 孙亲仁、张淳沅校对]