



A. G. 帕考尔楚克 著

射电星系

科学出版社

射 电 星 系

A. G. 帕考尔楚克 著

钱善谐 等 译

钱善谐 方励之 校

科 学 出 版 社

1981

内 容 简 介

本书论述包含有磁场、热粒子和相对论性粒子的空间区域——等离子团的物理学,主要阐述等离子团的同步辐射、吸收、频谱特性和偏振(线偏振和圆偏振);等离子团内的辐射转移;等离子团的动力学和膨胀,它和外部介质的相互作用;等离子团内的稳定性,湍流和粒子加速;等离子团的时间变化,等等;以及把这种物理学应用于研究射电星系中的物理现象。

本书兼有专著和高等教科书的特色,可供天文学科研、教学工作人员参考,也可供物理工作者参考。

本书翻译分工如下:梁宝蓀译第一章,钱善谐译第二、六章,韩文浚译第三章,周又元译第四章,程富华译第五章,褚跃泉译第七章,程福臻译第八章。

A. G. Pacholczyk

RADIO GALAXIES

Pergamon Press, 1977

射 电 星 系

A. G. 帕考尔楚克 著

钱善谐 等 译

钱善谐 方励之 校

责任编辑 夏墨英

科学出版社出版

北京朝阳门内大街 137 号

中国科学院印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

*

1981 年 9 月第 一 版 开本: 787×1092 1/32

1981 年 9 月第一次印刷 印张: 9

印数: 0001—1,850 字数: 202,000

统一书号: 13031·1625

本社书号: 2225·13—5

定 价: 1.85 元

序 言

《射电星系》是作者以河外射电源为题材写的三部著作中的第二部。第一部书名为《射电天体物理学(银河源和河外源中的非热过程)》*，重点讨论了目前认为形成观测到的射电源辐射的那些发射过程。而本书的主要论题是包含有磁场、热粒子和相对论性粒子的空间区域——等离子团(plasmon)的物理学，它包括等离子团的同步辐射、吸收、频谱特性和偏振(线偏振和圆偏振)；等离子团内的辐射转移；等离子团的动力学和膨胀，它和外部介质的相互作用；等离子团内的稳定性，湍流和粒子加速；等离子团的时间变化，等等；以及把这种物理学应用于研究射电星系中的物理现象。

本书兼有专著和高等教科书的特色，因为我们有意识地在书中写进了适当份量的导引性材料和必需的基础材料，而且在叙述这些材料时没有忽略掉任何一个即使是比较初等的要点。因此，具备一般天文和物理基础的大学生就可以读懂它。《射电星系》取材于我在1969—1974年在亚利桑那大学讲授的理论射电天体物理课程。本书的主要对象是射电天文学家和研究生，他们的工作涉及到对观测资料的解释。

本书有意不讨论射电源的演化、类星体及其红移、以及射电宇宙学的问题，因为这些问题将是关于河外射电源的三部著作中的第三部的论题。

* 《射电天体物理学》(中译本)，王绶琯、郭成光译，科学出版社，1973年。

本书的符号基本上就是《射电天体物理学》中所用的符号,唯一的大改动是,表示电子能量分布指数的符号 γ 现在用符号 S 代替,这个改动是应《射电天体物理学》的许多读者的要求而引进的,以避免和洛伦兹因子发生混淆。“等离子团”一词的含义在序言开头作了规定。出于对最早把这个概念引入射电源物理学的 И. С. Шкловский 的尊重,书中保留了这个名词,因为它在射电天文学的文献中经常用到,同时也是因为我想不出一个恰当的名词来代替它*。

书中叙述的许多关于射电源的研究工作,是我和合作者以及学生在过去几年里完成的。他们是: T. L. Swihart, J. S. Scott, J. J. Stocke, W. A. Christiansen, S. A. Gregory, W. J. Cocke 和 G. Coleman。对于他们在本书写作过程中所提供的帮助和宝贵意见,我表示十分感谢。

特别要向下列人员表示感谢: G. Coleman, J. T. Stocke 和 R. Rosenwald 计算了附录中的特殊函数表, W. C. Saslaw, T. W. Johnes 和 J. R. Jokipii 阅读了原稿中的有关部分,并提出了宝贵意见。

A. G. 帕考尔楚克

1976 年 7 月于国立射电天文台

* 在中译本中,把 plasmon 译为等离子团,已不会引起从事纵等离子体波研究的粒子物理学家的误解,故删去后面几句原文。——译者注

目 录

第一章 观测资料和各种关系	1
1.1 引言	1
1.2 简单源	2
1.3 复杂源	15
1.4 带尾射电星系	16
1.5 致密源	17
参考文献	22
第二章 不相干同步辐射频谱	56
2.1 用全部斯托克斯参量表示的发射系数和吸收系数	56
2.2 等离子体对发射的影响	64
2.3 均匀源的同步辐射频谱——扼要重述	67
2.4 非均匀源的同步辐射频谱	80
2.5 非均匀磁场内的发射系数和吸收系数	84
参考文献	88
第三章 磁旋性等离子体内偏振辐射的转移	92
3.1 等离子体的复介电系数	92
3.2 转移方程和传播模式	101
3.3 转移方程和介电张量	107
3.4 转移方程的一般特性	112
3.5 同步辐射源的偏振	113
3.6 法拉第旋转和消偏振	116
3.7 法拉第脉动	118
3.8 再生圆偏振	120
3.9 转移方程的一般解	123
参考文献	127

第四章 磁流体力学和磁流体稳定性	131
4.1 磁流体近似	131
4.2 磁流体力学方程组	135
4.3 磁流体力学方程的性质	138
4.4 不可压缩流体的磁流体力学	141
4.5 可压缩流体的磁流体力学, 磁声波	146
4.6 磁流体泡和射电双源	150
4.7 能量积分和维里定理	151
4.8 磁流体稳定性	154
4.9 瑞利-泰勒不稳定性	157
4.10 开耳芬-亥姆霍兹不稳定性	161
4.11 金斯不稳定性	164
参考文献	171
第五章 射电展源的约束和结构	184
5.1 射电展源的子源的约束	184
5.2 周围气体的冲压约束	186
5.3 膨胀等离子团的动力学	196
5.4 受冲压约束的等离子团的非平衡模型	200
5.5 等离子团的射电辐射	203
5.6 等离子团的多次抛射	208
5.7 被抛射的等离子团的稳定性	212
参考文献	213
第六章 带尾射电星系	215
6.1 引言	215
6.2 等离子团的运动学	215
6.3 湍流的发展和粒子加速	217
6.4 等离子团的膨胀	219
6.5 膨胀等离子团的频谱	221
6.6 带尾射电星系中的物理条件	224
参考文献	226

第七章 致密射电源	229
7.1 引言	229
7.2 致密射电源的典型模型	229
7.3 膨胀等离子团的流量变化	236
7.4 超相对论效应	247
参考文献	249
第八章 射电源理论	253
8.1 引言	253
8.2 射电星系的等离子团图象	255
8.3 射电星系的大质量体图象	256
8.4 射电星系的束图象	257
参考文献	258
附录 特殊函数表	263

第一章 观测资料和各种关系

1.1 引言

河外射电源通常按照它们总体的射电特性分为展源和致密源。这两类源以视角径 1 弧秒作为分界线。展源(视角径 ≥ 1 弧秒)的特征是,它的线度达 10 千秒差距到 0.6 兆秒差距(其精细结构可小到子源大小的百分之一),而致密源(视角径 $\ll 1$ 弧秒)的线度则为几分之一秒差距到几十秒差距。频谱的差别是与大小的差别相对应的;展源以光学薄的幂律谱为特征(《射电天体物理学》,第六章),其频谱指数 α 的值接近 0.75。而致密源的频谱则平坦得多(α 的变化范围从 0 到 0.25),并且在相当高的频率上呈现出光学厚源所特有的低频反转。展源的流量随时间没有任何变化;在致密源内,射电流量在几天到几年的时间尺度内可变化 2—3 倍。基本上,所有进行过长期观测的致密源都显示出流量的变化。大约三分之一的河外射电源被证认为星系,另外有三分之一被证认为类星体,其余相应于空域或位于被掩蔽的天区。射电源的光度范围从 10^{38} 尔格/秒(正常星系)到 10^{45} 尔格/秒(如像 3 C 295 和天鹅座 A 等)。

展源通常和亮的椭圆星系或类星体相联系,而致密源一般出现在类星体以及常常显示有强发射线的特殊星系(如塞佛特星系、N 星系或致密星系)的光学亮核之中。有些致密源出现在正常旋涡星系和椭圆星系之中。在射电源的射电特性与其光学对应体的特性之间没有明显的关系。

展源的能量比致密源的能量大得多。前者的最小总能量

(《射电天体物理学》,第七章) 高达 10^{58} — 10^{61} 尔格,而后者的能量则在 10^{52} — 10^{58} 尔格范围内;因此,从一个致密源演化为一个展源是不可能的. 在致密射电源中,电子将在 100 年内损失掉它们的能量;而展源中电子寿命的数量级为 10^9 年.

展源的一个很普遍的特征就是它们具有相当对称的双结构. 大约 40% 的源具有双结构或者是以两个强的外子源为主体的复杂结构. 我们将称这种源为简单源,并在下节中讨论它们的特性.

1.2 简单源

首先我们考察一下简单源的基本特性. 这些特性大部分

是由分析下列资料得出来的: 剑桥大学天文工作者在 408 和 1407 兆赫上观测得到的 3CR 星表中(《射电天体物理学》,附录 4) 列出的基本上完整的 200 个射电源样品,和加利福尼亚理工学院用 1425 兆赫观测得到的比较完整的 500 个射电源表(详见本章末的参考文献).

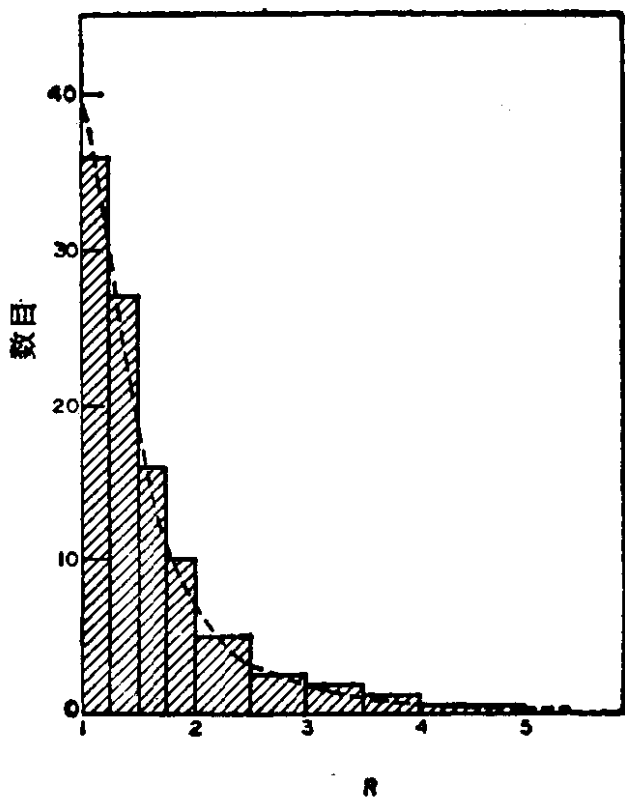


图 1.1 加州理工学院射电源样品中,射电双源两子源流量密度比值 R 的分布. 虚线表示对于 3CR 完整样品的 R 的分布. 有 5 个源 $R > 5$.

简单源结构上的主要特性可以概括如下:

(a) 在 1407 兆赫上, 子源流量密度比值的范围很小, 在半数的源中这个比值更接近于 1:1, 而不是 1.6:1, 只有几个源比值大于 5:1 (图 1.1). 这个结果并不是由于很难测到弱子源所引起的选择效应. 因为即使在望远镜已能容易测到弱子源的情形下, 比较大的流量密度比值也是相当少见的. 此外, 未分解的源的位置与光学体之间又没有系统的偏离. 要是这些源有一个未测出的子源, 那么亮子源的位置和光学体的位置将会有系统的偏离.

(b) 两子源离开光学体的视相对距离的比值范围很小 (图 1.2), 只有少数几个源, 比值大于 2.5:1.

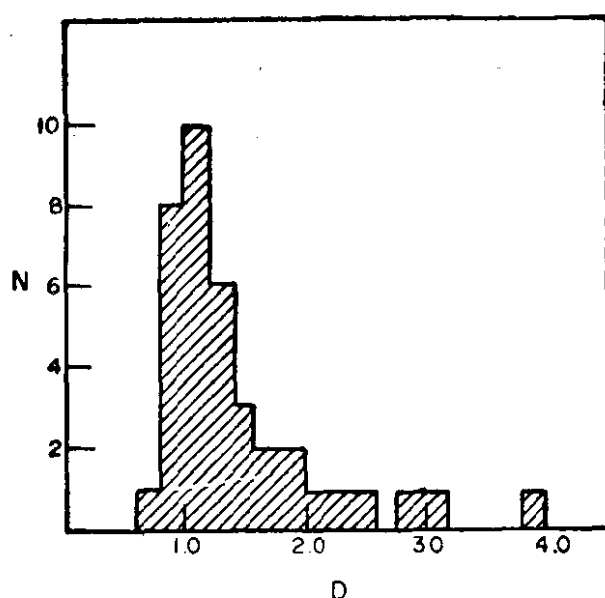


图 1.2 对于 3CR 完整样品, 双源的两子源离开光学体的视相对距离的比值 D 的分布. 弱子源的距离作为比值的分子.

(c) 两子源离开光学体的角距离的比值接近于 1 的双源, 两子源的流量比值也就接近于 1.

(d) 在 1407 兆赫上, 双源中较亮的子源更靠近光学体. 在剑桥大学样品的 48 个源中, 大概只有 2 个 (另外还有 4 个也可能是) 例外. 从加州理工学院的样品中, 也可以得到类似的结果 (图 1.3 和 1.4).

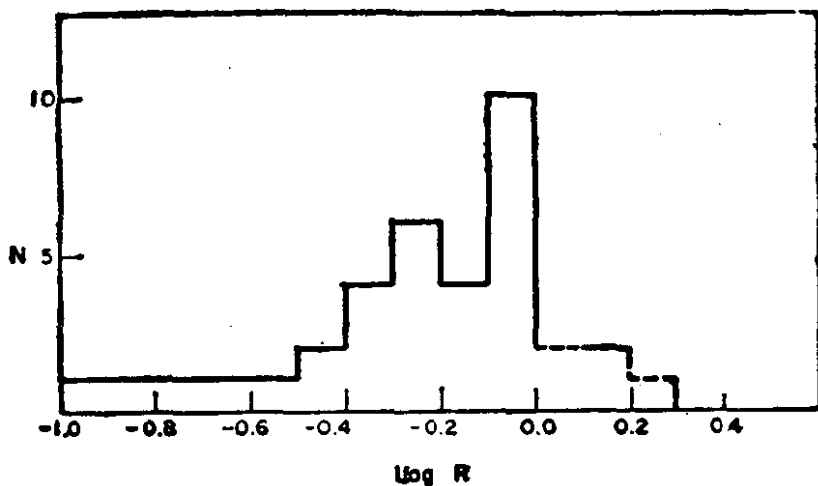


图 1.3 在 3C 完整样品中,明显地显示出双结构并有认证的射电源,其两子源流量密度比值的分布。靠近光学体的子源的流量密度作为比值的分子。虚线相应于光学体位置不确定,这分布偏向一边,平均值为 -0.2 , 平均偏差为 0.15 。

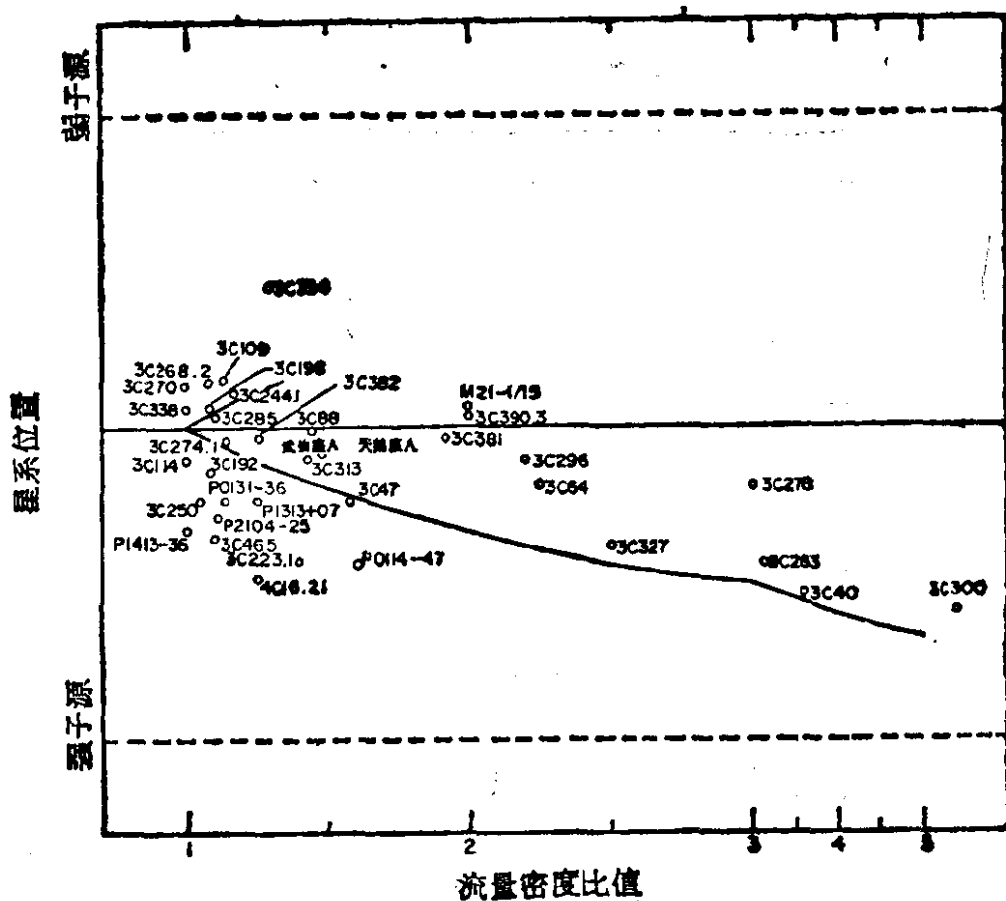


图 1.4 双源中光学体相对于两子源的位置和流量密度比值的“线”表示如果光学体位于辐射重心上时预期所在的位置。

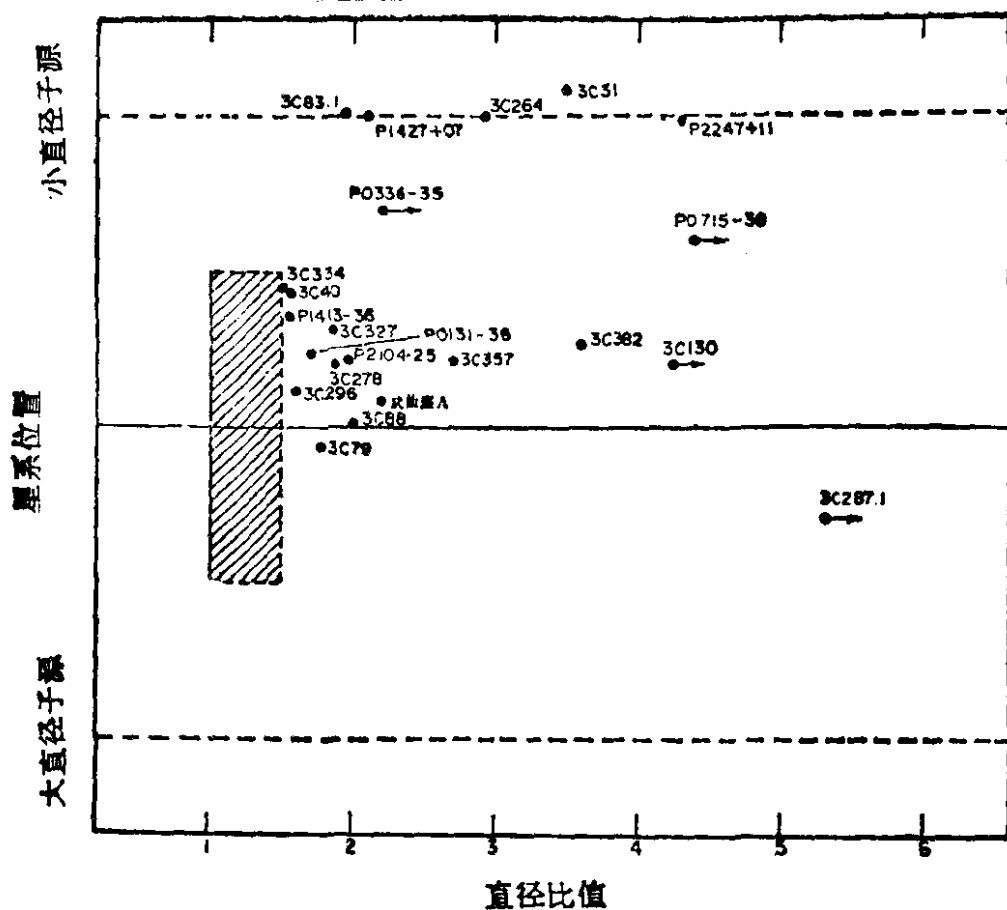


图 1.5 对于直径不相等的双源，光学体相对于两子源的位置和子源直径比值的关系。图 1.2 中所示的源将位于阴影区域内。

(e) 直径较小的子源更靠近光学体 (图 1.5)。当两子源的直径比值超过 2 时，存在一种明显的趋向，即光学体靠近直径较小的子源或者和它重合。

(f) 在双源中，亮子源到光学体的距离和它垂直于源轴方向上的大小的比值要比弱子源的大。

(g) 在大多数情况下，亮子源 (在 1407 兆赫上) 在平行于源轴的方向上更为致密。

(h) 子源间距和子源大小的比值 A 的分布很好地符合这样的模型：比值 A 在 2 和 4 之间均匀分布的一组双源在空间中随机取向 (图 1.6)。由于简单源太少，致使间距与大小的比值较小的源也较少；复杂源的表现一般不那样简单，它在任何

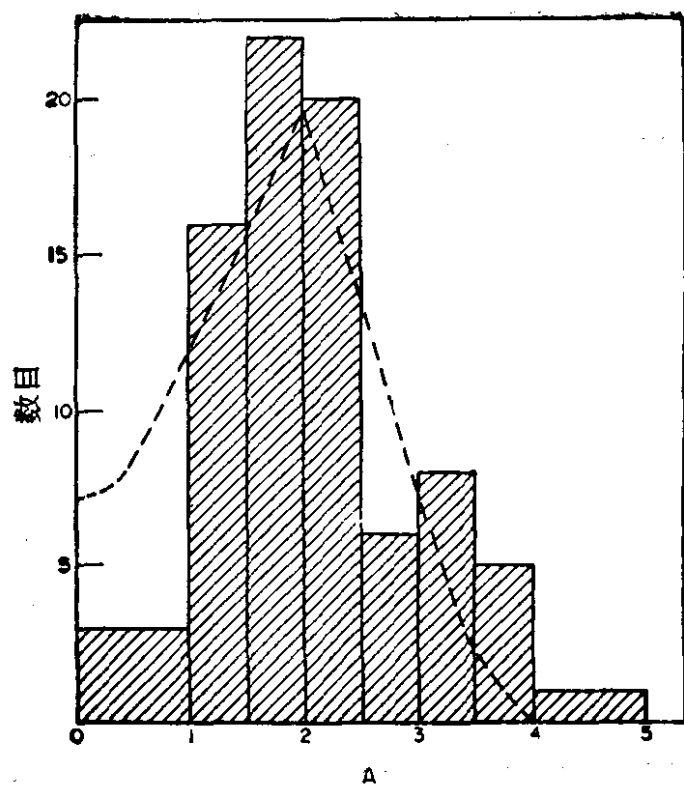


图1.6 双源的间距-大小比值 A 的分布。
虚线表示下述模型预期的分布：双源的间距-大小比值在 2—4 之间均匀分布，双源在空间中随机取向。有 8 个源的 A 大于 5。

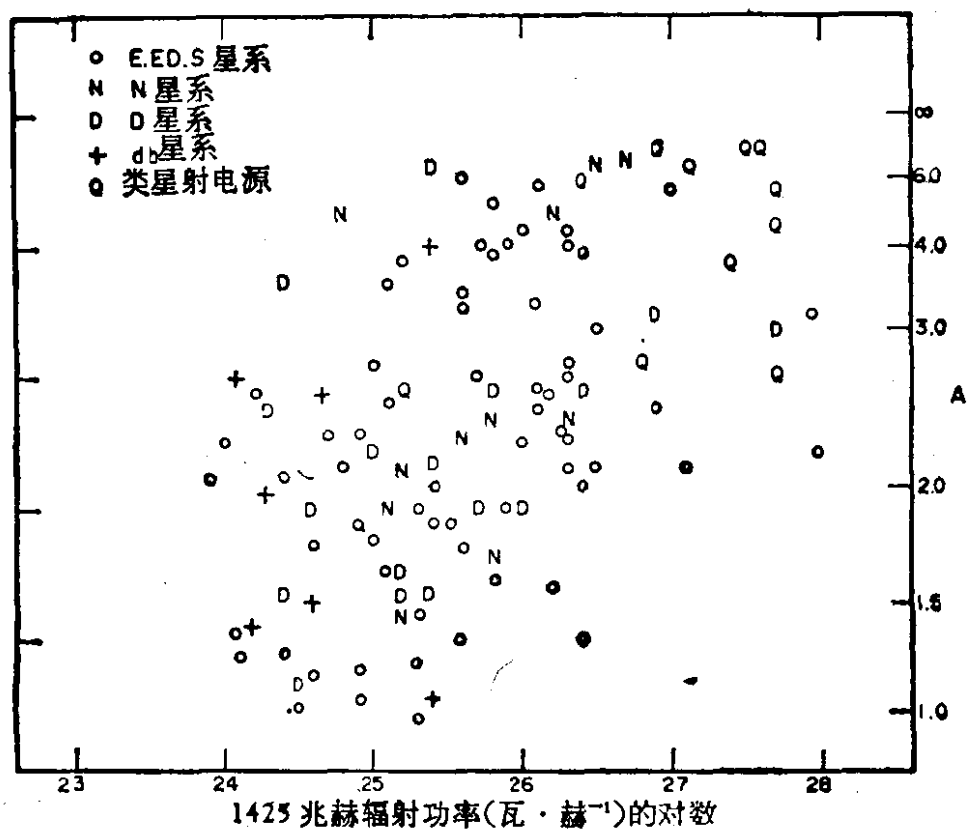


图1.7 双源的间距-大小比值 A 和 1425 兆赫绝对光度的关系

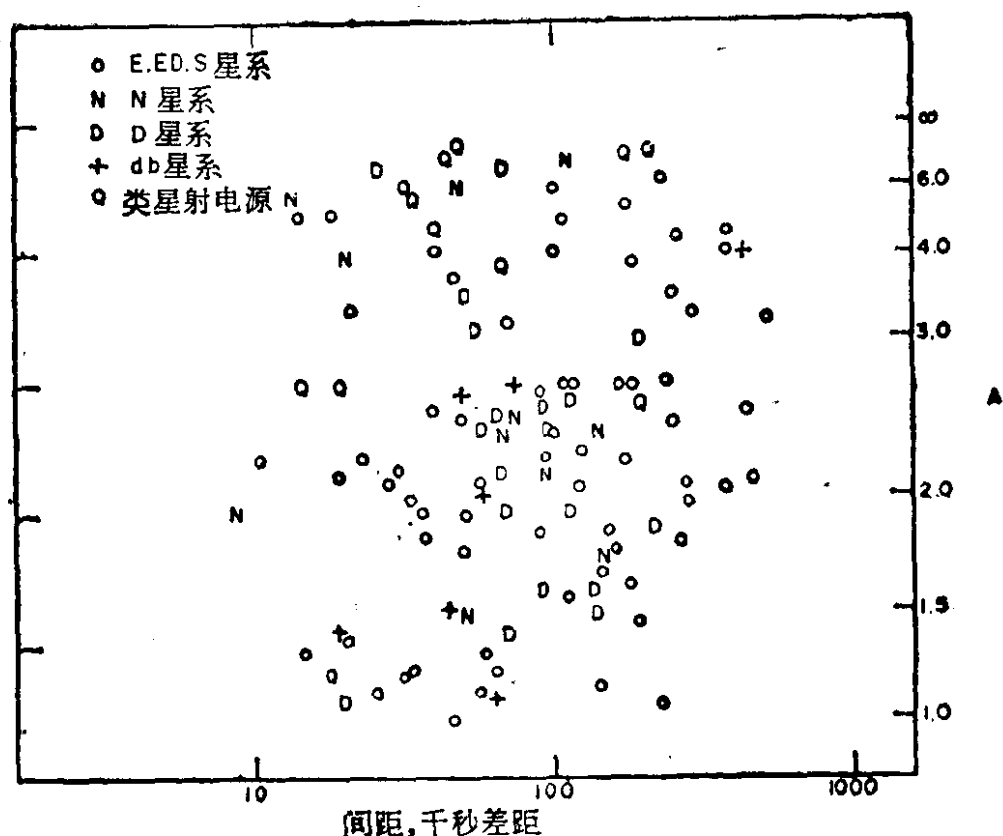


图 1.8* 射电双源的间距-大小比值 A 与线间距 D (千秒差距) 的关系

投影上间距与大小的比值都较小, $A > 4$ 的源少; 它们多是类星系或未证认的源. $3C\ 225$ 的 $A = 37$, 但它仍有不同于双源的特性, 可能是由两个不相关的源组成.

(i) 源的光度越大, 平均的间距-大小比值也越大(图1.7).

(j) 双源的间距-大小比值与双源的线间距没有明显的关系 (图 1.8). 在间距 20—300 千秒差距的范围内, 射电源以同样的方式膨胀——大源和小源都有相似的结构, 只是尺度不同. 膨胀速度和抛射速度的比值保持恒定, 它所定义的“抛射锥”的特征“圆锥角”一般在 20° 到 50° 之间 (相应的间距-大小比值为 2 和 4). 源的能量越大, 抛射锥倾向于越窄.

(k) 对于同样的射电源样品, 绝对射电光度和线径之间似乎没有什么关系, 这又和以前根据不完整的或片面的样品

* 原书中图 1.8 和 1.9 编倒了. ——译者注

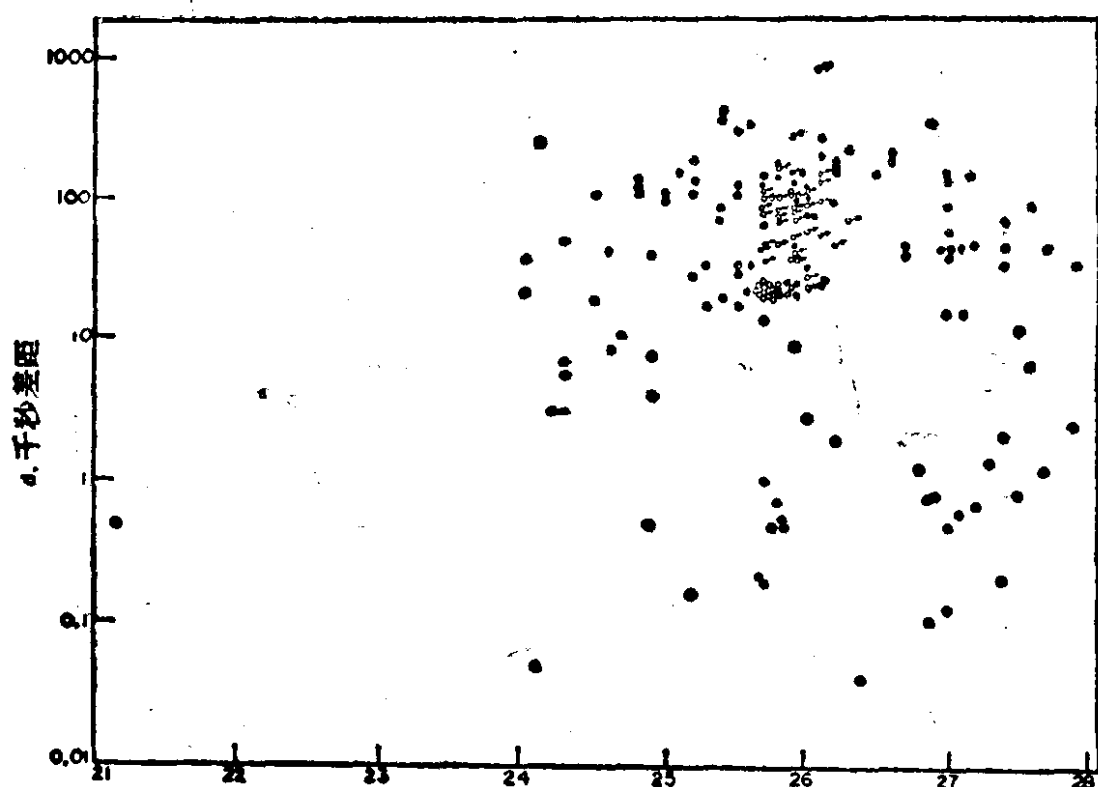


图 1.9 对于完整的 3CR 源样品,线径 d 和 178 兆赫射电光度 L 的关系(复杂源除外,它们占整个样品不到 10%).

分析所得出的许多结论相反(图 1.9).

(l) 把双源的两个亮度峰值和中央源(射电或光学)连接起来所构成的两臂之间的交角 γ 的观测分布(图 1.10),可以这样来解释:固有交角在宽度 $4^\circ - 18^\circ$ 内按高斯分布,再加上双源取向各向同性分布.

(m) 相对臂差 $\delta = 1 - D$ (D 为短臂和长臂的比值),依赖于固有臂比(除非子源相对于中心体的速度和光速相比不可忽略,在那种情况下, δ 依赖于速度本身)以及两臂的固有交角和源的取向. 观测到的相对臂差分布(图 1.11)不能用较差投影缩短效应来理解,而要求有 15—30% 的典型的固有臂差. 假定两臂本来是等长的,但子源具有相对论性速度,那末为了把观测到的臂差完全归于渡越时间效应,我们就得到关于典型的子源速度的一个极限 $0.15c$, 此值与从观测到的双

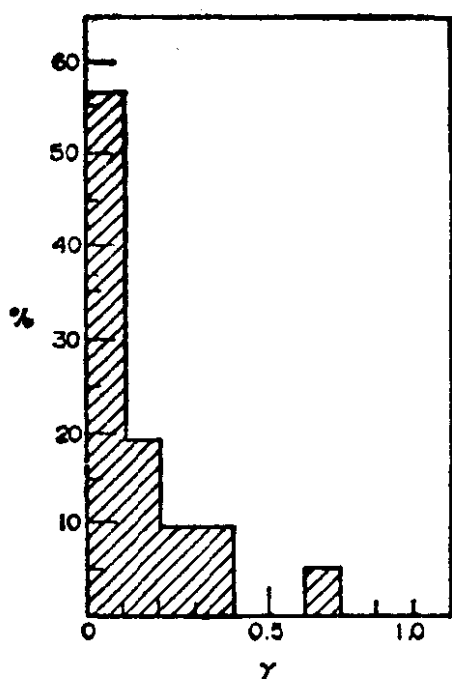


图 1.10 射电双源两臂的交角。
 γ 的频数分布

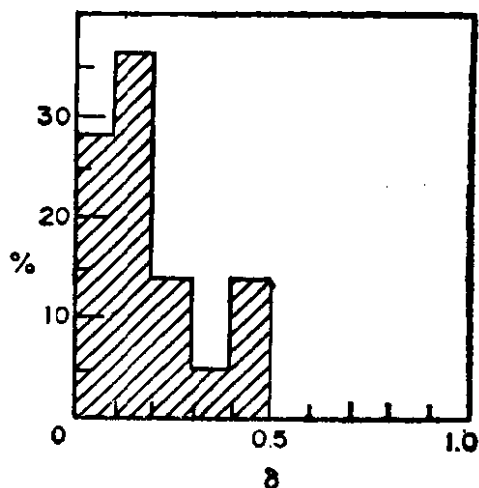


图 1.11 射电双源两子源的相对。
臂差 δ 的频数分布

源流量密度的不对称性估计出来的极限值相类似。

(n) 射电源主轴位置角和光学星系主轴位置角之差的观测分布(图 1.12),似乎与射电子源的随机抛射相符合,或者与任何这样的抛射机制相符合: 这种机制所产生的分布在投影之后类似于随机抛射。上述观测分布似乎与优先沿两极方向

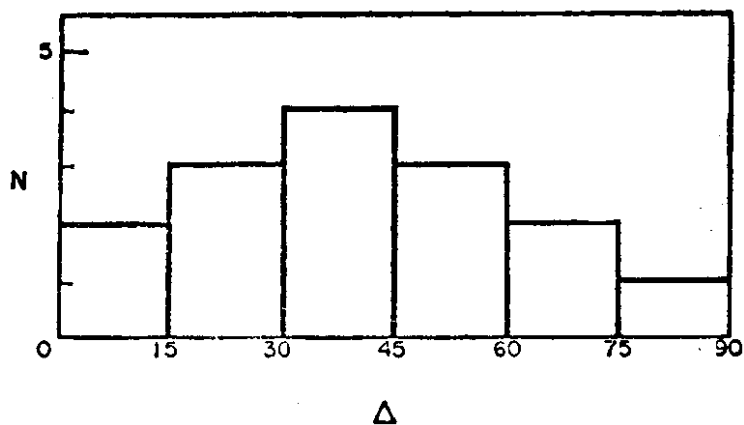


图 1.12 光学位置角和射电位置角之差 Δ 的分布

的抛射不符合(即使抛射角有较大的弥散),也与跟星系平面成小角度的抛射不符合。然而,这些结论所依据的样品很少。