



中国科学院国家天文台天体物理丛书

类星体与活动星系核

黄克谅 著

中国科学技术出版社

· 北 京 ·

内 容 简 介

本书介绍现代天体物理学中最活跃的分支学科之一的类星体与活动星系核。主要内容包括活动星系核的分类,类星体的搜寻,类星体(活动星系核)从射电、红外、光学、紫外直到 X 和 γ 射线整个电磁波段的辐射,类星体(活动星系核)的发射线和吸收线,类星体(活动星系核)的空间分布、光度函数,类星体(活动星系核)的黑洞—吸积盘模型等。本书既介绍基本观测资料,又讨论相应的理论;既注意历史的积累,又重视介绍最新成果。

本书可作为天体物理研究生和大学高年级学生的教材,也可作为天体物理和理论物理工作者的参考书。

图书在版编目(CIP)数据

类星体与活动星系核/黄克谅著. —北京:中国科学技术出版社, 2004.12
(中国科学院国家天文台天体物理丛书)

ISBN 7-5046-1532-3

I.类... II.黄... III.类星体—研究 IV.P158

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2004)第 124866 号

中国科学技术出版社出版

北京市海淀区中关村南大街 16 号 邮政编码: 100081 邮

电话: 62179148 62173865 邮

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

印刷

开本: 720 毫米×1000 毫米 1/16 印张: 25.125 字数: 430 千字

2005 年 3 月第 1 版 2005 年 3 月第 1 次印刷

定价: 48.00 元

前 言

20 世纪 60 年代初发现了类星体。这一重大发现吸引了大批天文学家和物理学家。经过 40 来年的发展，类星体与活动星系核已成为天体物理的一个独立的分支学科。现在，各种大型、先进的地面望远镜和空间设备无不把类星体与活动星系核作为它们的主要科学探索目标之一。目前，类星体与活动星系核仍然是现代天体物理的最活跃的研究领域之一。

国际上已出版了不少有关类星体与活动星系核的书籍、讲习班的讲稿、专题讨论会的文集等。但是，迄今为止尚无一本详细讨论类星体与活动星系核的中文专著。另一方面，国外的有关书籍又很难到达广大读者手中。多年来，由于教学和科研工作的需要，一直盼望着出版一本类星体方面的专著。当国家天文台建议我写一本专著时，我毫不犹豫地选择了这一方面的内容。

天文学是一门以观测为主的科学。通过观测提供数据和资料，又通过观测来检验理论。类星体与活动星系核也如此。本书从观测入手，详细介绍类星体与活动星系核的各个方面，包括：活动星系核的分类，类星体巡天，类星体与活动星系核从射电、红外、光学、紫外直到 X 和 γ 射线整个电磁波段的辐射，发射线和吸收线，空间分布与光度函数，类星体与活动星系核的黑洞—吸积盘模型等。当然，理论仍是不可缺少的。但是，限于篇幅，本书只可能介绍必不可少的基本理论。对于非常专门的理论研究，书中给出有关文献，供有兴趣的读者参考。

类星体与活动星系核是现代天体物理研究的热点，发展非常快，无论观测或是理论研究，新成果、新概念、新理论不断涌现。本书在保证系统性、完整性的同时尽可能地介绍最新的研究成果。

国内许多天文学家从事类星体与活动星系核方面的研究工作，为这个学科的发展做出了贡献。本书也尽可能地引用国内学者的研究成果。

感谢国家天文台王绶琯、艾国祥、赵刚等同志的支持，感谢国家自然科学基金委多年来对我的研究工作的资助，感谢天文界的朋友(恕不一一署

名)和我的家人多年来对我的关心、帮助和支持。

20 多年来，我一直从事与类星体与活动星系核有关的研究和教学工作，着手写本书以来又阅读了大量文献。我深感这个领域发展之迅速，也深感自己学识之浅薄。因此，还是要说句老话：书中的错误和缺点在所难免，真诚地希望读者批评指正。

黄克谅

2004 年于南京师范大学

目 录

第一章 类星体与活动星系核	(1)
1.1 活动星系核的分类	(1)
1.2 类星体	(2)
1.3 其他活动星系核和相关天体	(9)
1.4 红移论争	(22)
参考文献	(30)
第二章 类星体巡天	(33)
2.1 类星体巡天的一般原则	(33)
2.2 光学波段巡天	(36)
2.3 其他波段巡天	(48)
2.4 巡天结果	(55)
参考文献	(59)
第三章 类星体连续光谱: 从紫外到红外	(63)
3.1 主要观测特征	(63)
3.2 大蓝包和小蓝包	(69)
3.3 红外辐射	(85)
3.4 光变	(90)
参考文献	(104)
第四章 类星体连续辐射: X 射线和 γ 射线	(108)
4.1 X 射线的主要观测特征	(108)
4.2 γ 射线	(123)
4.3 高能辐射机制	(127)
4.4 与观测的比较	(141)
参考文献	(154)
第五章 类星体连续辐射: 射电	(158)
5.1 主要观测结果	(158)
5.2 射电辐射机制	(173)
5.3 喷流和相对论运动	(181)
参考文献	(189)

第六章 类星体发射线	(192)
6.1 主要观测结果	(192)
6.2 发射线物理: 光致电离模型	(204)
6.3 宽线区	(217)
6.4 窄线区	(227)
参考文献	(236)
第七章 类星体(AGN)模型	(240)
7.1 模型概述	(240)
7.2 类星体(AGN)中心黑洞	(245)
7.3 吸积盘	(255)
7.4 统一模型的检验	(264)
参考文献	(274)
第八章 寄主星系	(277)
8.1 寄主星系的形态	(277)
8.2 寄主星系的性质	(283)
8.3 环境	(291)
参考文献	(292)
第九章 类星体的空间分布和光度函数	(295)
9.1 统计方法	(295)
9.2 类星体的空间分布	(301)
9.3 计数	(308)
9.4 光度—体积检验	(314)
9.5 类星体光度函数	(320)
参考文献	(334)
第十章 类星体吸收线	(338)
10.1 吸收线光谱分析的一般原理	(340)
10.2 类星体吸收线分类	(344)
10.3 赖曼 α 森林	(351)
10.4 赖曼 α 森林的起源	(363)
10.5 重元素(金属)系统	(374)
10.6 宽吸收线系统和成协吸收线系统	(385)
参考文献	(391)
索引	(395)

第一章 类星体与活动星系核

1.1 活动星系核的分类

活动星系(Active Galaxy)是一类特殊的星系，其上存在着猛烈的活动现象或剧烈的物理过程。如超过恒星内部核反应的产能；相对论性高能粒子的产生；非热辐射；高能 X 和 γ 射线；物质的喷射和爆发现象等。但是，活动星系上的这些现象和过程主要发生在星系的核心，或者是从核心引发出来。活动星系的核心即为活动星系核(Active Galactic Nuclei，简称 AGN)。在现代的文献中，除非特别指明，并不严格地区分活动星系和活动星系核，两者都用 AGN 表示。

严格地定义活动星系核是很难的，至今没有一个统一的量化标准。通常是根据活动星系核的主要观测特征来判断。AGN 的观测特征主要有：

(1) 明亮的致密核区。有些 AGN，如类星体，只能观测到致密核区，其巨大的辐射光芒掩盖了星系的其余部分；有些 AGN，虽然可观测到星系，但致密核区的辐射占了星系总辐射的相当大的部分。AGN 的光度在 $10^{43} \sim 10^{48} \text{ erg s}^{-1}$ ，比正常星系高得多。但尺度很小，一般认为，小于 0.1 pc。

(2) 在某些波段，如射电、光学、X 射线等，存在非热致连续辐射。此时，谱呈幂律形式： $F_{\nu} \propto \nu^{-\alpha}$ ，且辐射是偏振的。或者，在某些波段的辐射是热致的，或以热辐射为主，但热辐射并不起源于恒星。

(3) 存在强的原子和离子发射线。

(4) 连续辐射的强度，发射线的强度和轮廓、偏振等可能随时变化。

(5) 具有比正常星系更强的发射高能光子（X 和 γ 射线）的能力。

具有以上全部或部分特征的称为活动星系核。有些天体，如类星体，具有以上全部特征，是活动性最强的 AGN；有些天体，只具有部分特征，如蝎虎天体，也是典型的 AGN。有些星系，如银河系，中心有星系核，可能满足上面的(2)~(5)，但核的辐射功率小，与整个星系的辐射相比微不足道，这种星系核不称为活动星系核。

活动星系核包含很多品种。但目前没有统一的 AGN 分类标准。它们

的名称都是历史上形成的，并延用至今。主要有：

Quasar	类星体
QSO (Quasi-Stellar Object)	类星体。Quasar 和 QSO 一般情况下通用，但有时 Quasar 指射电噪类星体
Seyfert Galaxies	赛弗特星系
Radio Galaxies	射电星系
BL Lac Objects	蝎虎座 BL 型天体，简称蝎虎天体
OVV(Optically Violent Variable)	光学激变天体，多指大变幅变光类星体
Blazar	耀变体 (BL Lac 和 OVV 的统称)
LINER(low ionization nuclear emission-line region)	具有低电离核发射线区的星系

此外，还有一些星系与 AGN 有某些类似，但并没有纳入 AGN 的范畴，如：

Starburst Galaxies	星爆星系
Markarian Objects	马卡良天体
Zwicky Galaxies	兹维基星系
N Galaxies	N 星系
Ultraluminous Far-Infrared Galaxies	极亮远红外星系

1.2 类星体

1.2.1 发现简史

类星体的发现与射电天文学密切相关。第二次世界大战后，射电天文学迅速发展。到了 20 世纪 50 年代，发现了许多发出强烈射电辐射的射电源。由于当时射电望远镜的空间分辨率很低，绝大多数射电源得不到证认，人们不知道这些射电源对应于何种光学天体。

1960 年 Mathews 和 Sandage 在射电源 3C 48 附近找到一个约 16 等的恒星状天体，发现这个天体颜色很蓝，光谱中有很多条发射线，但未能证认出这些发射线。随后又发现好几个射电源如 3C 147、3C 196、3C 386 等也有恒星状的光学对应体，光谱中也有未能证认的发射线。

1963 是值得纪念的一年。那一年的 4 月，著名的英国《自然》(Nature)

杂志同时刊出 4 封短信，宣告了一类新天体的发现。Hazard *et al.* (1963)^[1] 利用月掩射电源的机会用澳大利亚 Parkes 64 m 射电望远镜准确地测定了射电源 3C 273 的位置，发现其光学对应体是一个恒星状天体，而且，光谱中有发射线。Schmidt (1963)^[2] 用当时世界上口径最大的 Palomar 天文台 5 m 光学望远镜得到了这个天体的光谱，证认了其中的发射线主要是氢的 Balmer 线，并求出发射线红移 $z_{em} = 0.158$ ，图 1.1 是其光谱。Oke (1963)^[3] 则得到了这个天体的近红外光谱，在同样的红移处找到了 $H\alpha$ 发射线，从而证实了 Schmidt (1963)^[2] 的研究结果。Greenstein 和 Mathews (1963)^[4] 报告射电源 3C 48 的光学对应体的发射线光谱也得到了证认，并求得其发射线红移 $z_{em} = 0.367$ ，高于 3C 273。以后，许多天文学家致力于从射电源中搜寻类似的天体，并把这一类天体取名为类星射电源 (Quasi-Stellar Radio Source, 简称 QSRS)。后来，QRSRS 的名称逐渐转化为另一个词：Quasar。

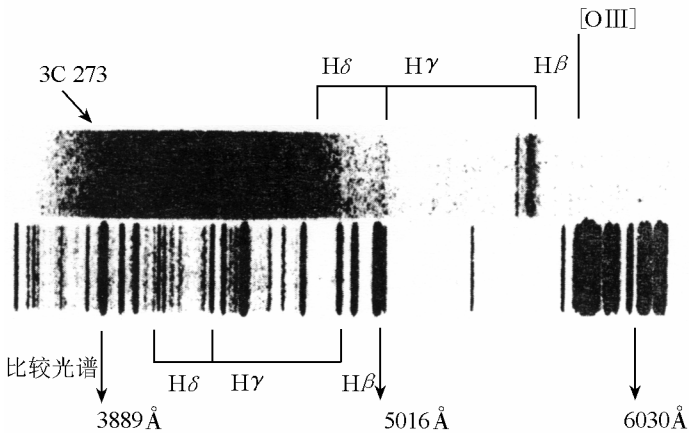


图 1.1 3C 273 的光谱

类星射电源的颜色很蓝，具有紫外超，这使人们想到可以用光学方法去寻找。1965 年 Sandage(1965)^[5]发现了另一类天体，它们呈恒星状，光学波段辐射的性质类似于 3C 273、3C 48 等类星射电源，也就是说有很强的发射线、大红移和紫外超。但是射电辐射非常弱。Sandage 把这些天体称为蓝星体 (Blue Stellar Object, 或 BSO)。以后发现了一大批这种天体，蓝星体的名称逐渐被 QSO(Quasi-Stellar Object)取代。

大量的研究表明，上两类天体除了射电辐射明显不同外，其他方面的

统计性质完全相同。因此，它们应该是同一类天体。现统一用 Quasar 或 QSO 表示。中文译为类星体。其中有强烈射电辐射的称为射电噪(radio loud)类星体，射电辐射很弱的则称为射电宁静(radio quiet)类星体。当然，偶尔仍有人用 Quasar 表射电噪类星体。

1.2.2 类星体的基本观测特征

1.2.2.1 类星

虽然现已确定类星体是活动星系核，哈勃空间望远镜也已观测到某些类星体所在的星系(寄主星系)，但从地面望远镜看去，除极少数外，绝大多数类星体是恒星状天体。这意味着类星体的角直径小于 $1''$ 。利用这个特征很容易将类星体与一般的有视面天体(如星系)区分开。图 1.2 是地面望远镜拍到的最早发现的几个类星体的照片，完全是恒星图像。哈勃空间望远镜(Hubble Space Telescope, HST)可以将低红移类星体的像分解开，其寄主星系具有各种形态^[6](详见§8)。

有些类星体的星像外可以看到喷流。通常喷流出现在射电波段，有些也在光学波段或 X 射线波段。

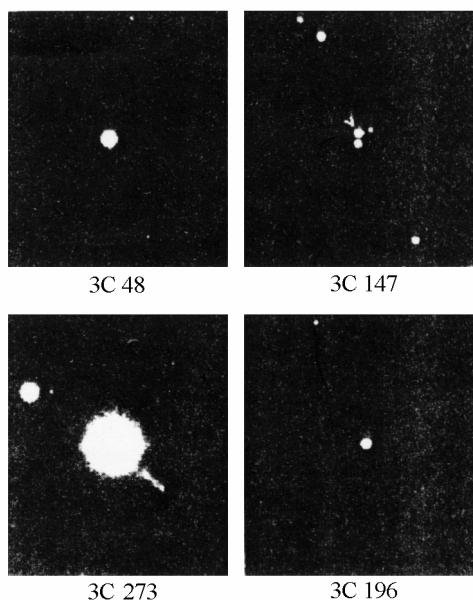


图 1.2 几个类星体的照片

1.2.2.2 强的发射线

类星体光谱中有很强的发射线，包括允许线和禁线。常见的谱线除氢线（如 $\text{Ly}\alpha$ ， $\text{H}\beta$ 等）外，还有 He ， Fe II ， Mg II ， C IV 等允许线和 $[\text{O III}] \lambda\lambda 4959, 5007$ ， $[\text{O II}] \lambda 3727$ ， $[\text{N II}] \lambda 6583$ 等禁线。按照线宽，发射线明显可分为两类。宽线，其半峰全宽(FWHM, Full Width at Half Maximum)在 $1000 \sim 15000 \text{ km s}^{-1}$ ，典型值 $4000 \sim 5000 \text{ km s}^{-1}$ ，只有允许线；窄线，其 FWHM 在 $200 \sim 2000 \text{ km s}^{-1}$ ，典型值 600 km s^{-1} ，主要是禁线。发射线是区别类星体和恒星、正常星系的最重要的观测特征。图 1.3 是 Vanden Berk (2001)^[7]从 SDSS, LBQS, FBQS 等几个主要

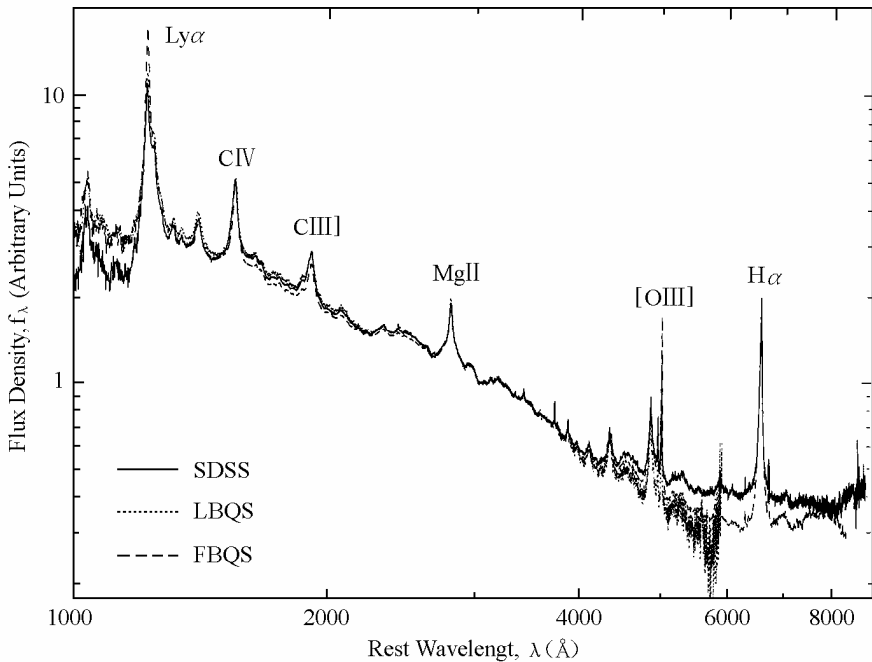


图 1.3 类星体的发射线光谱，取自 Vanden Berk(2001)^[7]。实线、点线和虚线分别为 SDSS、LBQS 和 FBQS 的结果。三个巡天得到的类星体合成光谱几乎没有差别

的类星体巡天(详见§2)得到的大量光谱资料合成的类星体光谱，其上标明了一些常见的发射线。实际上，三个巡天得到的类星体合成光谱几乎没有差别。

类星体光谱中也有许多吸收线。吸收线的情况复杂：有些线很宽，其线宽可与发射线相比，但绝大多数线很窄；有些线产生于类星体本身的气

体,因而吸收线红移近似等于发射线红移;有些线则产生于类星体和观测者之间的吸收云,吸收线红移小于发射线红移,两者差别可以很大(详见§10)。在某些波段,吸收线密集,对连续光谱有明显的影响。

1.2.2.3 连续光谱

类星体的连续辐射谱与绝大多数恒星明显不同。图 1.4 给出类星体各波段的连续辐射。

(1) 紫外—光学—红外波段。

连续辐射谱可近似地表为幂律谱:

$$F_{\nu} \propto \nu^{-\alpha}, \quad (1.1)$$

平均来说,谱指数 $\alpha \approx 0.5$,从合成的类星体光谱(图 1.3)可明显地看出这一点。幂谱意味着辐射可能为非热起源,当然,也不排除热成分。大多数恒星(矮星)的连续谱近似为黑体谱,相对于这些恒星,类星体的连续谱有明显的紫外超和红外超。这给搜寻类星体提供了强有力的手段。在 $100\sim 1000\text{\AA}$ 的远紫外区,谱向上凸,形成所谓大蓝包。

(2) 射电波段。

射电噪类星体,或称为射电类星体(radio quasar),是强射电源。其射电谱为幂谱,射电辐射有偏振,表明是非热起源;谱指数与光学波段的不一定相同。射电形态多为双瓣型,类似于 Fr II 型射电星系(见§1.2.4)。

大多数类星体的射电辐射很弱,它们是射电宁静类星体。从图 1.4 可以看到,这两类类星体的射电辐射虽然相差很大,但红外、光学、紫外和 X 射线则几乎一样。

(3) X 射线和 γ 射线。

观测表明,大部分类星体发出很强的 X 射线,是 X 射线源;也探测到一些类星体发出 γ 射线。

从软 X 射线到硬 X 射线,类星体的 X 射线谱近似为幂律谱,但谱很陡,谱指数 $\alpha \approx 1$ 。

图 1.4 表明,从 X 射线到射电辐射,不能用一个单一的幂谱或黑体谱来描述。因此,各波段的辐射可能有不同的起源。

1.2.2.4 光变

观测表明,类星体的光学辐射常有变化,光变是类星体的普遍特征。类星体的光变没有发现明显的周期性。光变时标一般为几年,但也观测到时标更短(如几天)的微小变化。从光变时标推断,类星体的尺度只有几

光日。光变幅度一般在 $0.1 \sim 0.2$ 星等以下，但也有少数类星体(如光学激变类星体，或 OVV)的光变幅超过 $0^m.5$ 。另外，发射线的强度和轮廓也经常发生变化。

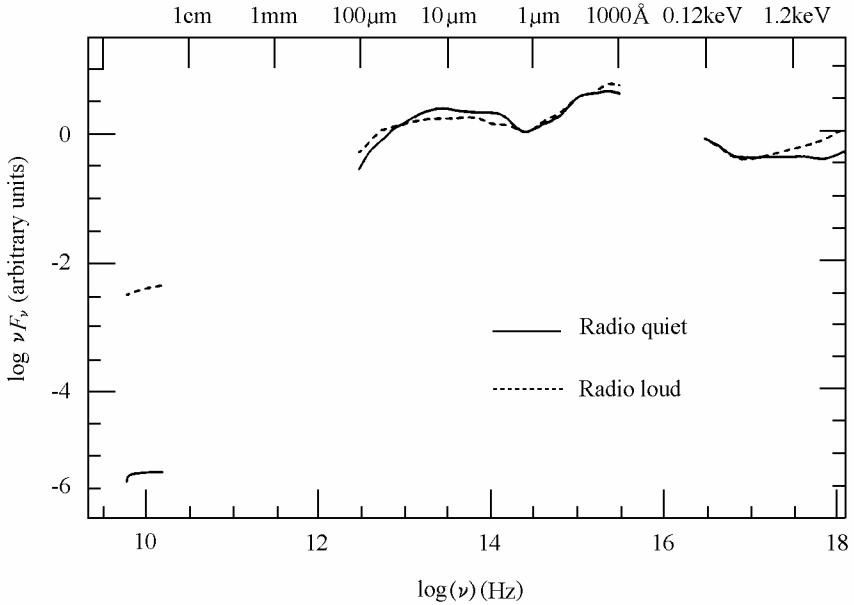


图 1.4 类星体的连续辐射谱，取自 Elvis *et al.*(1994)^[8]。实线为射电宁静类星体，虚线为射电噪类星体。流量归一化到 $1 \mu\text{m}$ 。纵坐标为相对强度

射电噪类星体的射电辐射常有变化；类星体的 X 射线也观测到变化，而且，时标非常短。

1.2.2.5 大红移

所有类星体的发射线都朝光谱的红端移动，但每个类星体的各条发射线的红移量[即 $z_{\text{em}} = (\lambda - \lambda_0) / \lambda_0$ ， λ 为观测波长， λ_0 为静止波长]相同，就是说，每个类星体只有一个发射线红移。

红移是类星体的基本特征之一。河外天体的光谱都有红移，但类星体的红移是最大的。

1.2.2.6 高光度

类星体的光度很大。类星体与赛弗特星系各方面的性质极为相似，实际上，赛弗特星系在光度上是类星体的暗端。为了区别两者，通常给类星体的光度定一个下限，即要求绝对星等 $M < -23$ 等(也有人取为 $M <$

- 24 等)。

作为本节的结束, 下面简单介绍 II 型类星体(type 2 Quasar)。所谓 II 型类星体实际上是指窄(发射)线类星体。第一例是 Stocke *et al.*(1982)^[9] 证认的 X 射线源 1E 0449-184($z_{em}=0.338$)。图 1.5 是它的低分辨率($\sim 15\text{\AA}$)

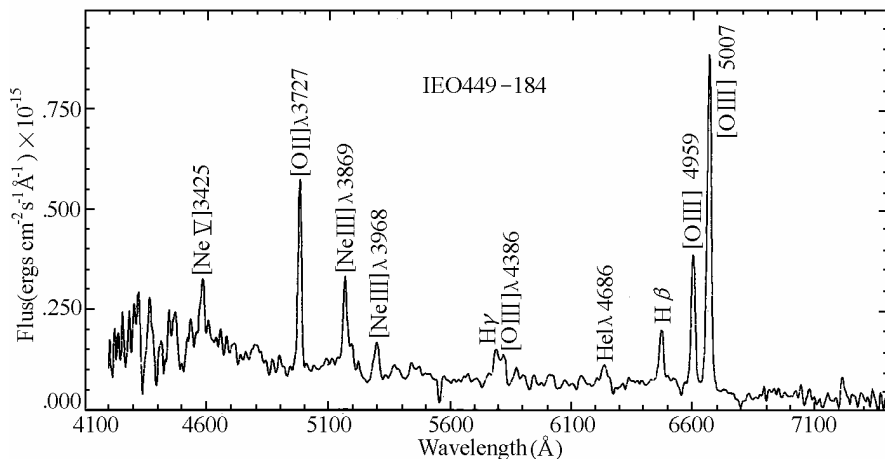


图 1.5 II 型类星体 1E 0449-184 的光谱, 取自 Stocke *et al.*(1982)^[9]

光谱。允许线(氢线)的 FWHM 约 600 km s^{-1} , 虽然比 [O III] 禁线的 FWHM ($\sim 400 \text{ km s}^{-1}$) 略大, 但远窄于通常的类星体。从图 1.5 可以看出, $H\gamma$ 和 [O III] $\lambda 4363$ 已经分解开了, 高分辨率光谱也证实了这一点。而在通常的宽线类星体光谱里, 这两条线总是混合在一起的。它的绝对目视星等 $M_V = -23.5$, 确是类星体无疑。

Almaini *et al.* (1995)^[10] 也是通过 X 射线巡天证认了一个高红移 ($z_{em}=2.35$) 窄线类星体 RXJ 13434+0001。图 1.6 是它的低分辨率 ($\sim 12\text{\AA}$) 光谱。可以看到, $Ly\alpha$ 和 C IV $\lambda 1549$ 线很窄, 它们的 FWHM 分别约为 900 km s^{-1} 和 700 km s^{-1} , 远小于正常的类星体。绝对星等 $M_V = -23.7$, 无疑地也是类星体。

II 型类星体很难探测。通常类星体巡天采用的方法, 如紫外超、无缝光谱、软 X 射线等, 对这种天体都不敏感 [Stocke *et al.*(1982)^[9], Chartas *et al.*(2001)^[11]]。因此, 目前发现的 II 型类星体非常少。II 型类星体都是射电宁静类星体。与通常的类星体相比, 除了谱线很窄外, II 型类星体光学波段的连续谱较陡, 颜色偏红; 软 X 射线不强, 使得 X 射线波段的谱变

平。按照统一模型，II型类星体很可能是被屏蔽的类星体(见§7.4)。

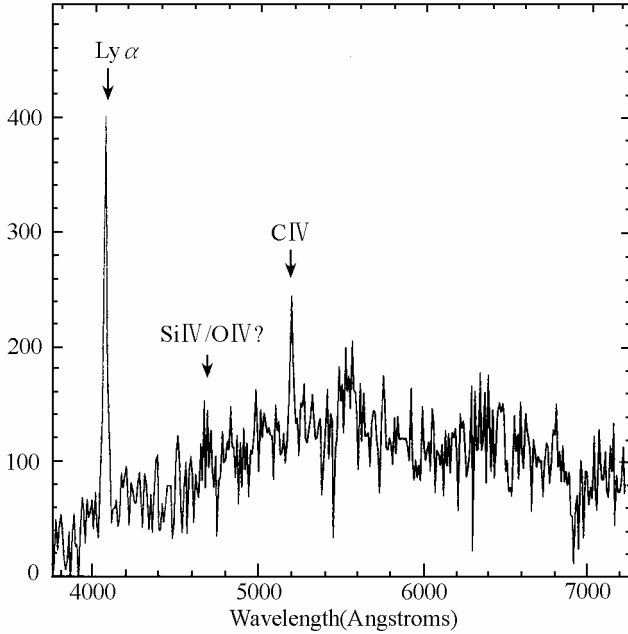


图 1.6 高红移 II 型类星体 RXJ 13434+0001 的低分辨率光谱，
取自 Almaini *et al.*(1995)^[10]

1.3 其他活动星系核和相关天体

1.3.1 Seyfert 星系

1908 年,美国天文学家 Fath 在 Lick 天文台得到了 NGC 1068 的光谱,首先注意到 NGC 1068 的光谱中有许多发射线^[12]; 1918 年,美国 Lowell 天文台的 Slipher 得到了 NGC 1068 的高质量光谱,指出其发射线光谱类似于行星状星云的光谱^[13]。

NGC 1068 是一个有恒星状明亮核心的星系。还有一些星系与它类似。Seyfert 认为,这些有明亮核心的星系可能组成特别的类型。1943 年,Seyfert 得到了包括 NGC 1068 在内的六个这样的星系(NGC 1068, NGC 1275, NGC 3516, NGC 4051, NGC 4151 和 NGC 7469)的光谱^[14]。他发现,光谱中有许多很宽的发射线,线宽可达几千 km s^{-1} 。

Seyfert 的研究并未引起人们足够的重视。1955 年, NGC 1068 和 NGC 1275 被发现是射电源。此后, 人们才广泛地开展对这类星系的研究, 并以先驱者 Seyfert 的名字来命名这类星系。特别是, 类星体被发现后, 人们注意到, Seyfert 星系与类星体极为相似。

Seyfert 星系的主要观测特征为:

(1) 明亮的核, 核很小, 不可分解。与类星体不同的是, 地面望远镜可以观测到寄主星系, 一般是 Sa 型或 Sb 型旋涡星系。

(2) 光谱中有大量的高电离发射线, 包括允许线和禁线。发射线的宽

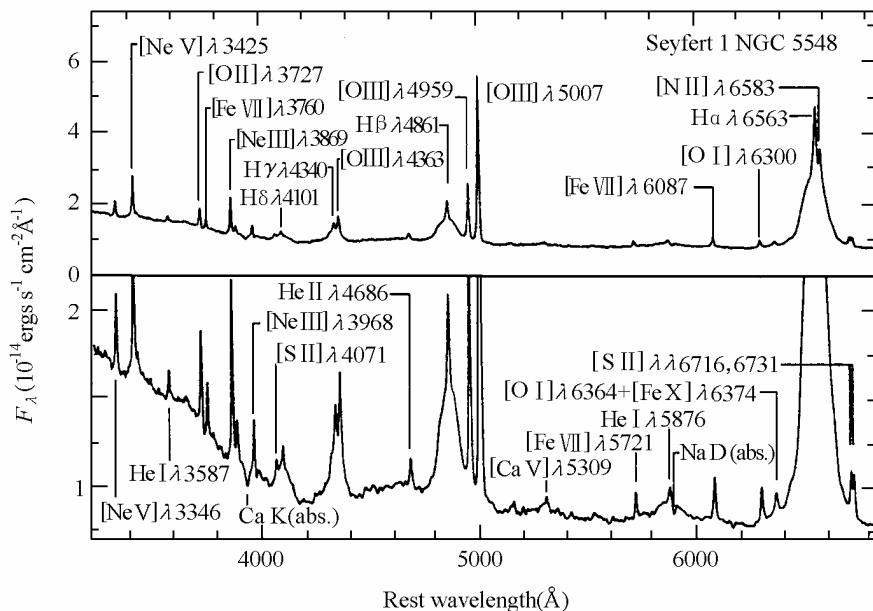


图 1.7(a) 地面望远镜得到的 Seyfert 1 星系 NGC 5548 的光谱^[15]。下图是上图沿纵坐标的放大。可以清楚地看到许多发射线。宽线的 FWHM 约 5900 km s^{-1} , 窄线的约 400 km s^{-1} 。从 4000\AA 往短波方向连续谱的上升是所谓小蓝包(见§3.2)。横坐标为静止波长

度明显分为两类: 宽线(几千 km s^{-1})和窄线(几百 km s^{-1})。允许线可以是宽线, 也可以是窄线, 通常是在宽线上叠加了窄线。而禁线总是窄线。氢线往往是最宽的, 可达 10^4 km s^{-1} 。光谱中也能看到寄主星系恒星的吸收线。

(3) 光学连续光谱很蓝, 有明显的紫外超。红外辐射很强, 有明显的

红外超。从紫外到红外，连续光谱近似为幂谱，辐射既有热成分，也有非热成分。有些 Seyfert 星系是射电源，但射电辐射不如射电噪类星体或射

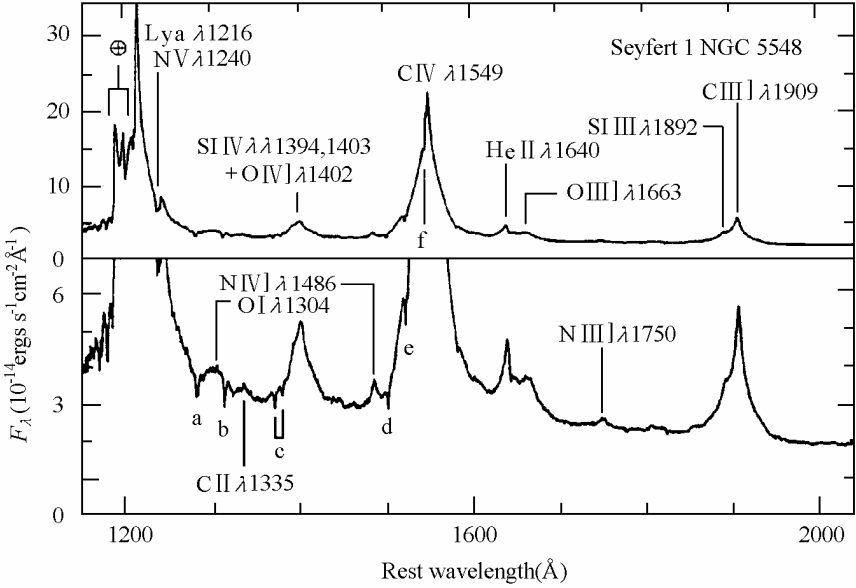


图 1.7(b) HST 得到的 Seyfert 1 星系 NGC 5548 的紫外光谱^[6]

下图是上图沿纵坐标的放大。可以清楚地看到很多发射线。a, b, c, d, e 等特征是银河系的物质产生的吸收线；

上图左上角的地球符号指的是地球高层大气产生的发射。横坐标为静止波长

电星系强。Seyfert 星系也是 X 射线源。相对于其他 AGN, Seyfert 星系的软 X 射线似乎更强。Seyfert 星系的 X 射线谱大体上是幂律谱。

Seyfert 星系的光学、红外、X 射线等都观测到光变。

(4) Seyfert 星系是低光度星系, $M > -23$ 。

20 世纪 70 年代, Weedman 根据 Seyfert 星系的观测特征将 Seyfert 星系分为两类, 即 Seyfert 1 星系和 Seyfert 2 星系, 两者的差别主要在于线宽。Seyfert 1 星系的光谱中既有宽线又有窄线, 但宽线只有允许线, $H\alpha$ 发射线的全宽总是大于 3000 km s^{-1} , 而禁线都是窄线, 宽度为几百 km s^{-1} ; Seyfert 2 星系的光谱中只有窄线, 允许线的宽度与禁线差不多, 都在 $500 \sim 1000 \text{ km s}^{-1}$ 。从发射线的光致电离模型 (§6.2) 知道, 这种分类与谱线的强度比对应。因此, 可用谱线强度比更准确地判断 Seyfert 1 和 Seyfert 2。下面是典型值: