

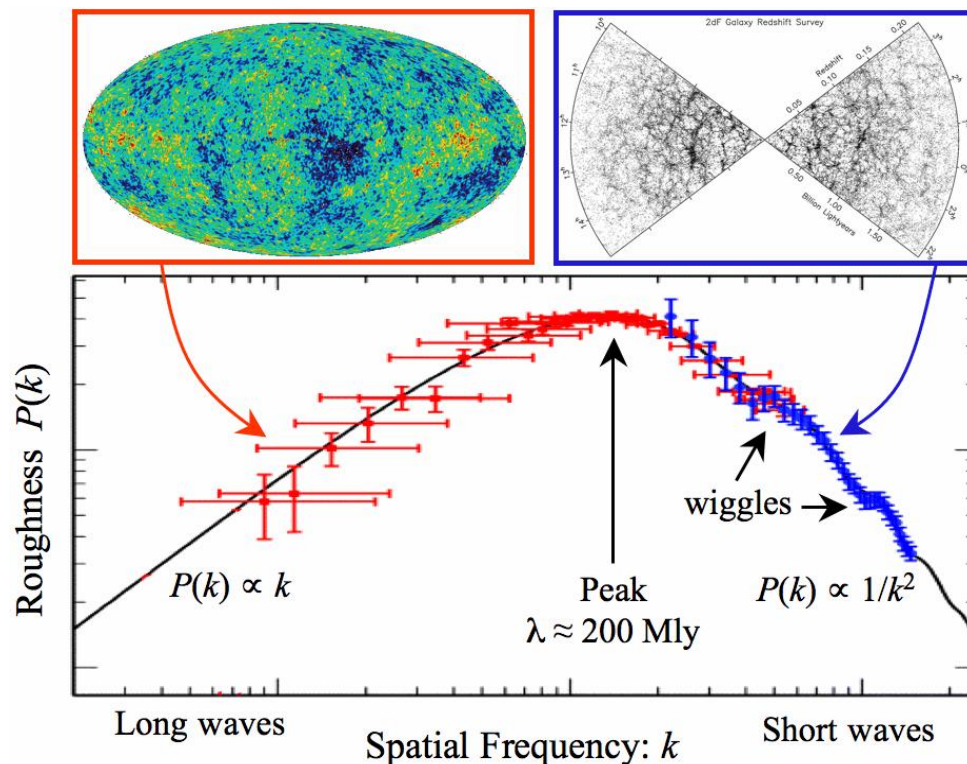
功率谱 Power Spectrum

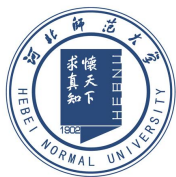
- 功率谱是两点相关函数 $\xi(\mathbf{r})$ 的三维傅立叶变换

$$P(\mathbf{k}) \equiv \int \xi(\mathbf{r}) \exp(i\mathbf{k} \cdot \mathbf{r}) d^3\mathbf{r} = 4\pi \int_0^\infty \xi(r) \frac{\sin(kr)}{kr} r^2 dr$$

- 因为 $\xi(\mathbf{r})$ 是无量纲的，所以 $P(\mathbf{k})$ 有体积的量纲

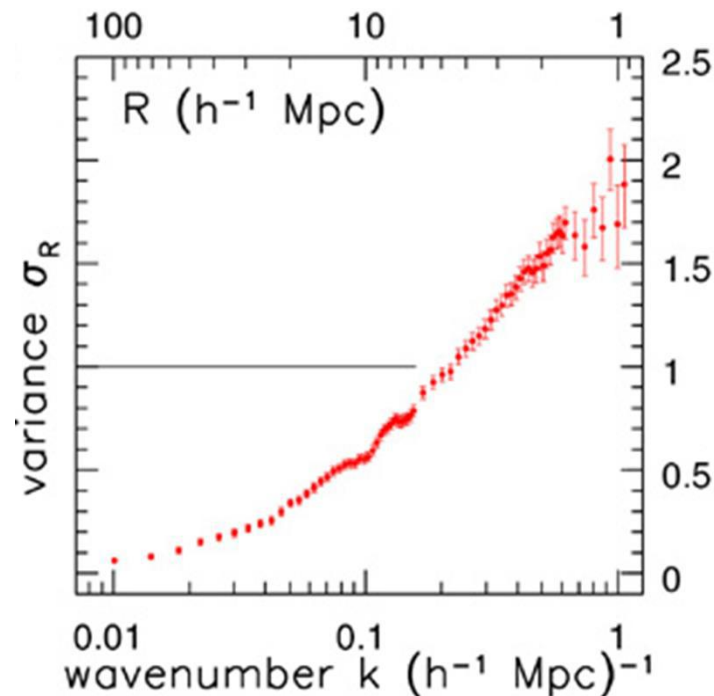
- k 大（小尺度），功率谱可近似表达为幂律形式（右）； k 小时，转折
- 结合不同测量信息（红移巡天、CMB、Lyman-alpha forest, 弱引力透镜等），约束 $P(k)$ ：大尺度区间变化
- 功率谱可以很好的约束宇宙暗物质、暗能量性质和比例：是现代宇宙学中最主要的可观测量之一



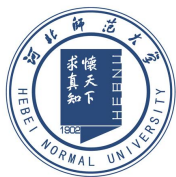


密度涨落

- 星系空间成团，**分布不均匀**：描述星系分布非均匀性，可以通过测量**对平均密度的偏离**
 - 位置 x 的密度 $\rho(x) = \langle \rho \rangle [1 + \delta(x)]$ ，其中 $\langle \rho \rangle$ 为平均密度
 - δ_R 在 $\delta(x)$ 在半径为 R 的球内的积分：对所有这样的球取平均， **$\langle \delta_R \rangle$ 必定是零**。
 - 方差 $\sigma_R^2 = \langle \delta_R^2 \rangle$ 表征尺度 R 时，**星系分布的非均匀性**
- 方差 δ_R 随 k 增大而增加，**随着 R 减小而增加**：区域越小，找到星系密度高的概率越大
 - 常用尺度 $R = 8h^{-1} \text{Mpc}$ 上的平均涨落， σ_8 作为成团参数



- ◆ $T = 13.7 \text{Gyr}$, $R < 50h^{-1} \text{Mpc}$ 尺度上，星系的分布是不均匀的。由宇宙微波背景辐射知道， $T \sim 1 \text{Myr}$ （复合时期）时，物质和辐射分布**非常平滑**。
- ◆ 大爆炸之后宇宙如何膨胀？今天不均匀的星系分布是如何从均匀宇宙早期产生？



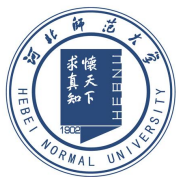
8.2 宇宙学观测基础

➤ 奥尔伯斯佯谬 (Olbers' s Paradox)

- 由德国天文学家奥尔伯斯于1826年提出
- 如果宇宙是静态，无限大，时空平直，其中均匀分布着同样的发光体：黑夜与白天一样亮。
- 但实际上夜空却是黑的：理论同观测的这种矛盾，称为**奥伯斯佯谬**
- 解释：**宇宙年龄有限**和**红移**（宇宙膨胀）
 - 宇宙年龄 $T \sim 13.7 \text{ Gyr}$ ，光速有限：只能观测到有限的宇宙
 - 宇宙膨胀，宇宙学红移使得天体的辐射向**低频端**（低能量）移动

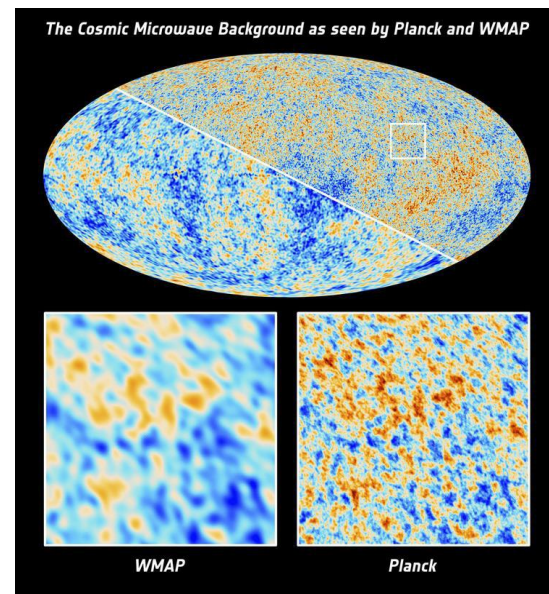
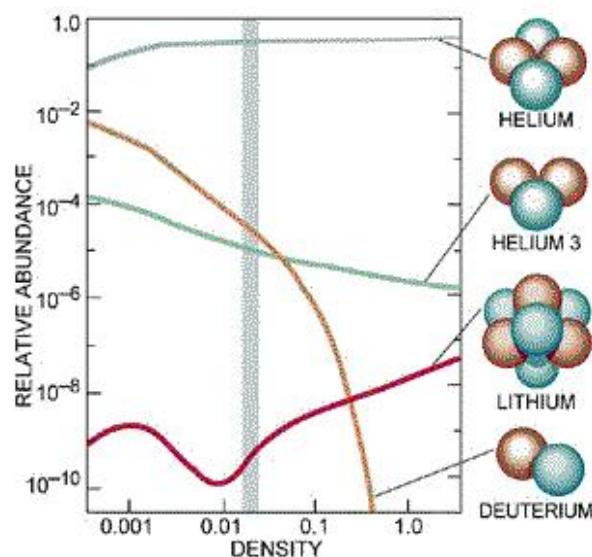
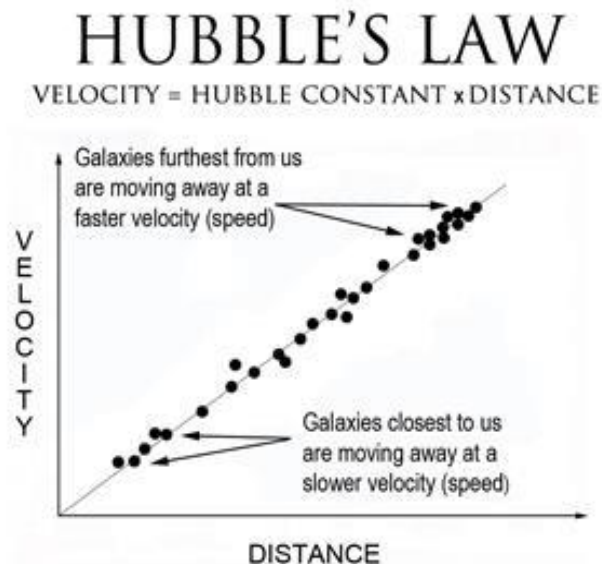
➤ 宇宙学原理：宇宙在大尺度上是均匀且各向同性的（星系大尺度分布和宇宙微波背景）

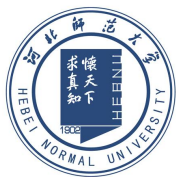
- 宇宙中不同地点，同一时刻看到的**宇宙图像**相同
- 宇宙中不同地点，同时看到宇宙的**演化图景**相同
- 无特殊的位置和方向，宇宙中的**所有观测者平权**
- 普适性：从地球到宇宙，**物理定律**都普适成立



宇宙学观测基础

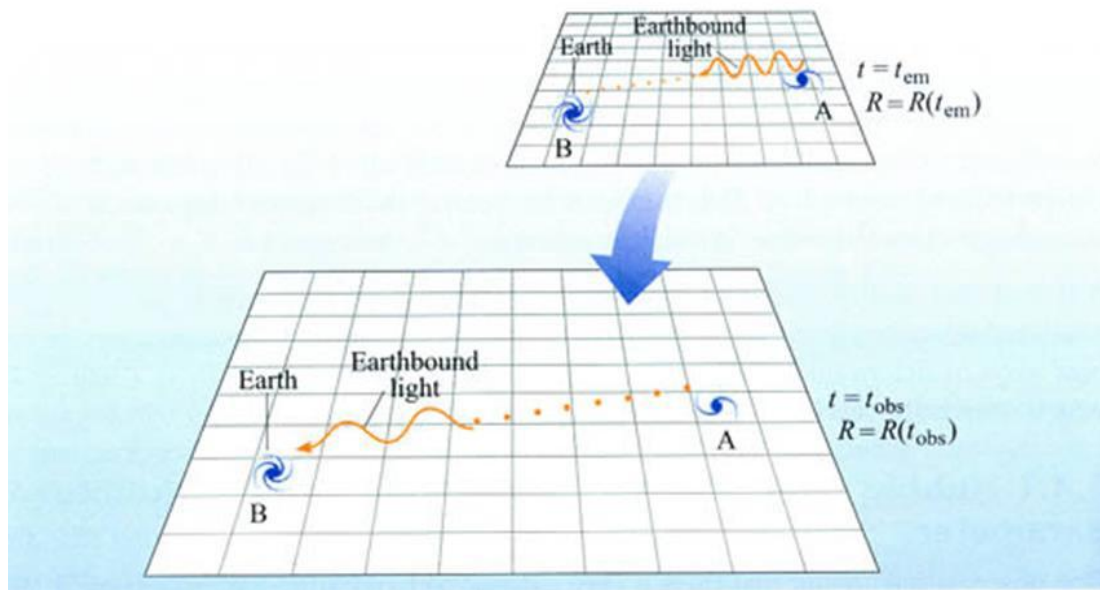
- 星系距离与红移关系：星系的退行速度与星系的距离成正比（哈勃定律）
- 宇宙微波背景辐射：黑体（热）谱， $T_0 = 2.728 \pm 0.004 \text{ K}$; $\delta T/T = 1/10^5$
- 宇宙中元素丰度：宇宙中绝大部分氦元素是由宇宙早期核反应产生（ $\alpha\beta\gamma$ 理论）
- 宇宙的年龄：必定大于宇宙最古老天体的年龄，如球状星团（ $T \sim 12 - 13 \text{ Gyr}$ ）

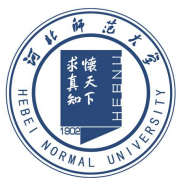




8.3 均匀宇宙的膨胀

- 共动坐标系：是**相对膨胀宇宙静止**，不随时间发生变化的坐标系
 - 共动坐标系中的共动观测者之间的**坐标值**，**不随时间发生变化**
 - 如星系**本动速度**为0，星系在共动坐标系的位置不随宇宙膨胀而变化
- 曲率半径 $a(t)$ 描述宇宙随时间的膨胀： $a(t)$ 称为**标度因子**
 - 现在时刻 $t = t_0$ ： $a(t_0) = 1$ ； $r(t_0) = r_0$
 - $r(t)$ ：时刻 t 两个星系的距离（又称**固有距离、物理距离**）； r_0 为两个星系**共动距离**，则有： $r(t) = a(t)r$





哈勃常数

➤ 两个星系，在共动坐标系中位置不变，**物理距离**随宇宙膨胀发生变化：

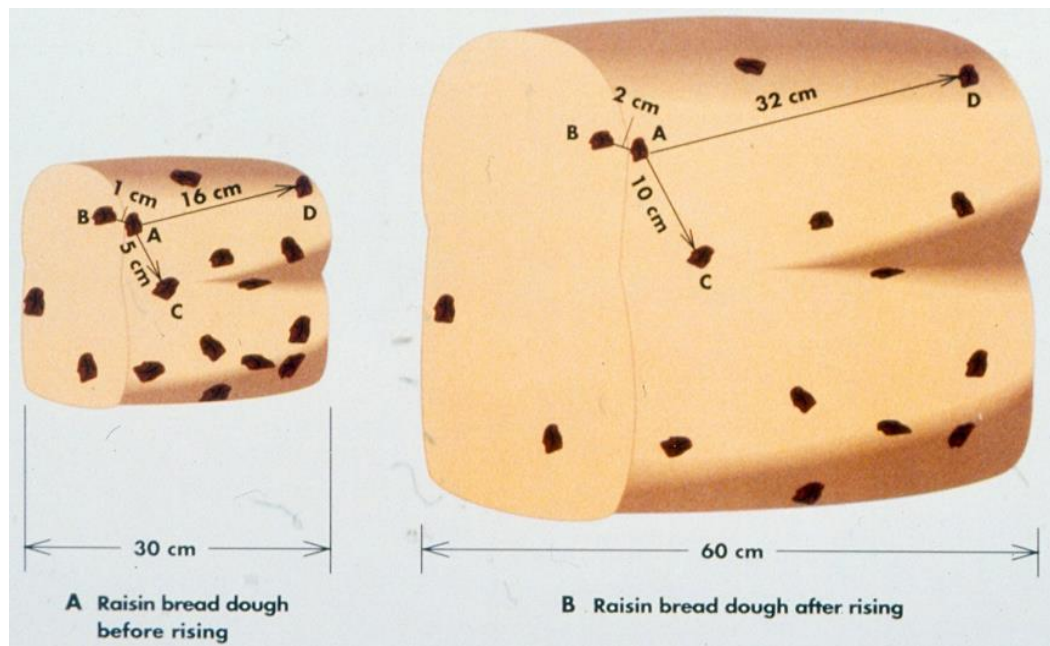
- 物理距离 $r(t) = a(t) * \text{共动距离} x(t)$
- 共动距离 $x(t) = \text{现在的物理距离} r(t_0)$
- $r(t) = a(t) * r(t_0)$

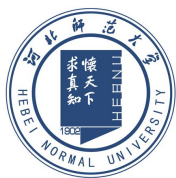
➤ 定义哈勃参数

- $H(t) = (1/a) * da/dt$
- 标度因子的变化率

➤ 哈勃参数 $H(t)$ 和 $a(t)$ 一样，是一个**随时间变化**的量：描述星系的**平均运动**

- 只在某个**固定**的时刻，才是常数
- 现在 $H(t_0) = H_0 = 72$ ，单位是 km/s/Mpc





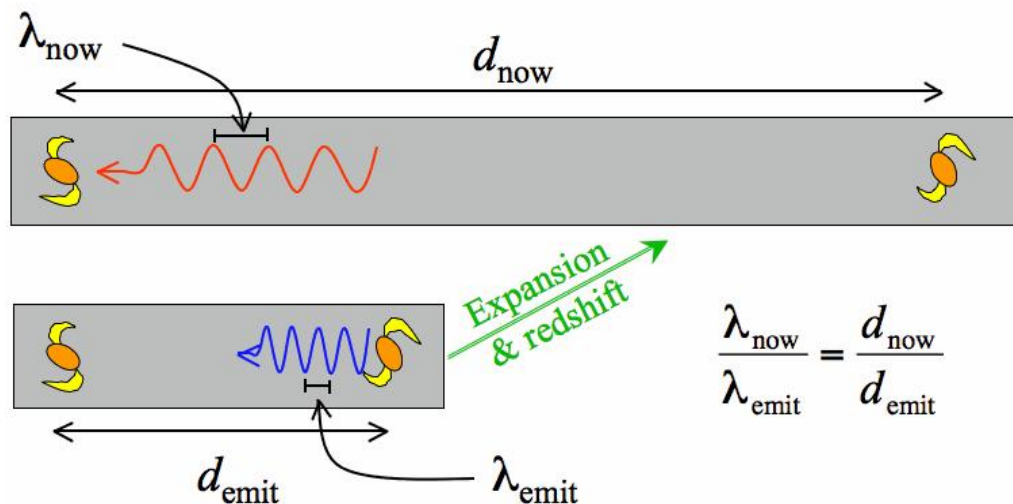
宇宙学红移

- 多普勒红移：物体（星系）和观察者之间的**相对运动**导致的红移，即由于**本动速度**，而不是宇宙膨胀导致的红移
- 宇宙学红移：由于**宇宙膨胀**，星系相对于观察者退行引起的红移。
 - 星系位于红移 z_e 处（宇宙的标度因子为 a_e ）发出一个波长为 λ 的光子
 - 该光子到达观测者时，宇宙标度因子为 a_0 ，波长随着宇宙膨胀变为 λ_0
- 星系红移： $z = (\lambda_0 - \lambda_e)/\lambda_e$

◆ $z=0$: $a(t_0) = 1$

◆ $z=1$: $a(t_1) = 0.5$

红移 $z=1$ 的宇宙标度因子只有当前宇宙的一半大



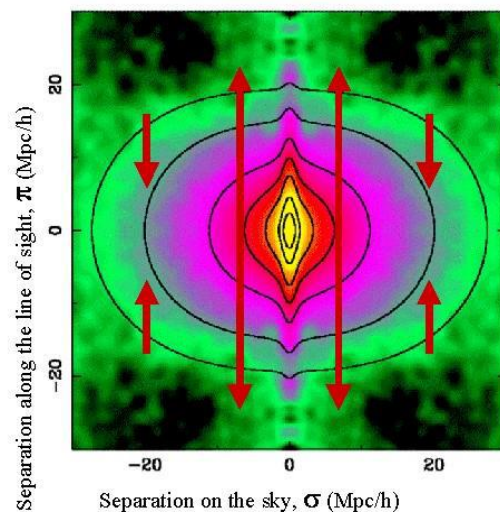
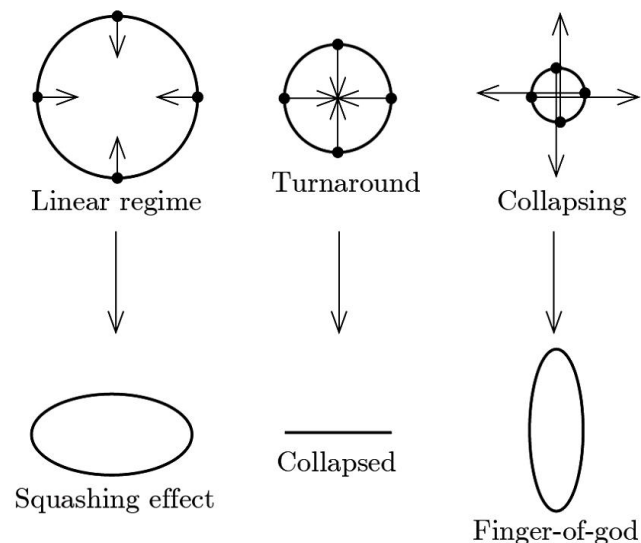
红移空间畸变

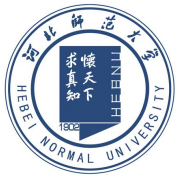
➤ 大尺度区域:

- 对于更大尺度的星系团，还没有达到位力平衡：外围的星系任处于向星系团中心下落。
- 靠近观测者一侧的星系由于向星系团中心下落，其总的红移要比宇宙学红移大一些
- 位于另一侧的星系由于下落方向和哈勃流相反，总的红移小于宇宙学红移
- 因此，在红移空间中看来，整个星系团的结构将沿视线方向变扁：这个现象称为“挤压效应” (squashing effect) 或者Kaiser 效应。

➤ 小尺度区域:

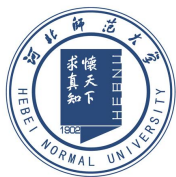
- 靠近星系团中心处，星系速度达到位力化；
- 形成了长轴在视线方向上的椭球形状：“上帝之手”效应





第九章

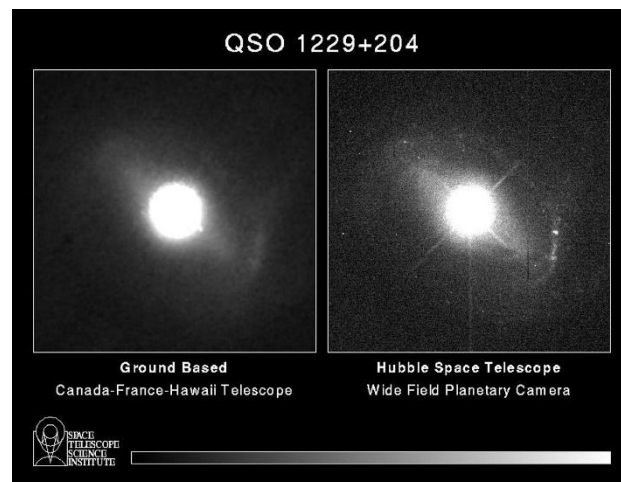
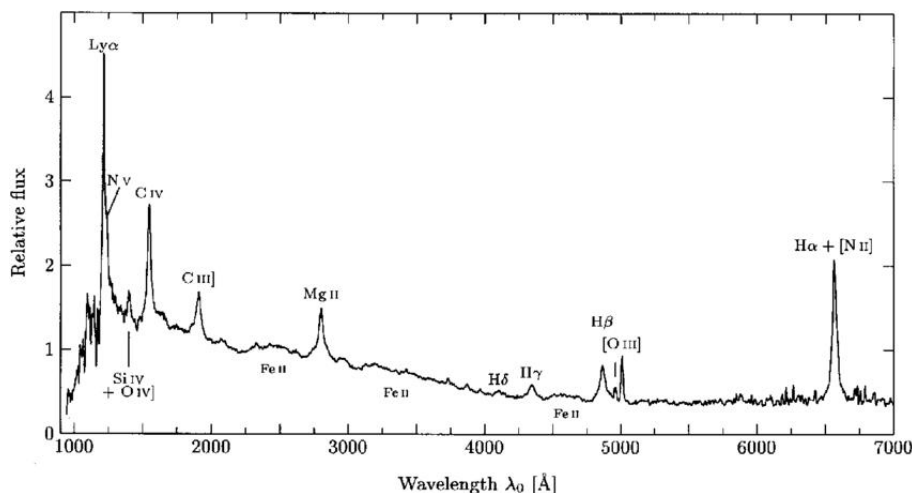
活动星系核和星系早期历史



9.1 Active Galactic Nucleus, AGN

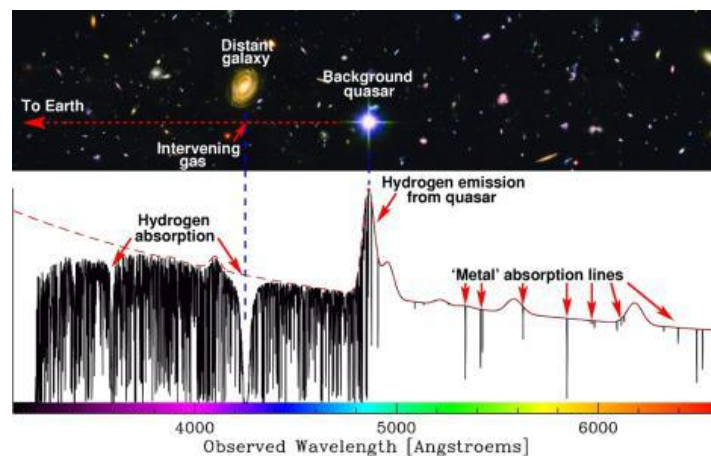
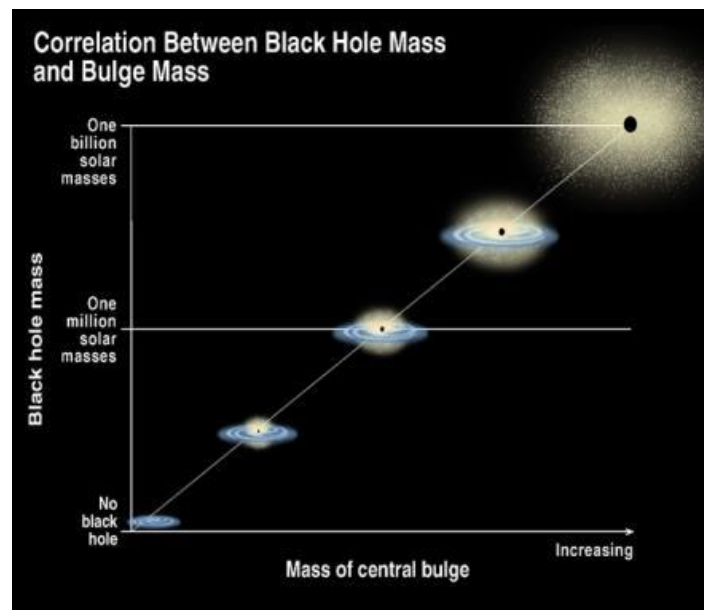
➤ 活动星系

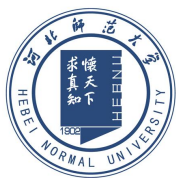
- 星系有一个**明亮、致密的核区**，核区光度贡献了星系光度的**绝大部分**， $>10^{12}L_{\odot}$
- 活动核在**整个电磁谱**辐射都很强，包括射电、X射线和 γ 射线区；常存在**光变**
- 核区的主要辐射是**非热辐射**，为幂律谱
- 星系光学紫外谱中常有强、**宽发射线谱**
- 活动星系的**非热辐射**来自星系中心很小的核区($r < n \text{ pc}$)，称为**活动星系核**
- 包括赛弗特星系、射电星系、类星体等



AGN研究意义

- AGN是研究星系形成的重要天体
 - 活动星系是星系的一类，任何**星系形成理论**必须能够合理解释活动星系的形成
 - AGN中心存在**超大质量黑洞**
($M_{\text{BH}} \sim M_{\text{bulge}}$)：研究星系核活动和恒星形成**共同演化**理想对象
 - 星系中心都存在超大质量黑洞：所有（绝大多数）星系在过去都曾经历过**核活动阶段**
- AGN 是研究星系际介质和早期宇宙重要天体
 - AGN亮度高：是研究介于高红移AGN和我们之间**星系际介质**和**暗物质**的优良探针
 - AGN的反馈(feedback)：**反馈**如何影响星系际介质分布、运动，进而如何影响星系的形成和演化





活动星系核分类

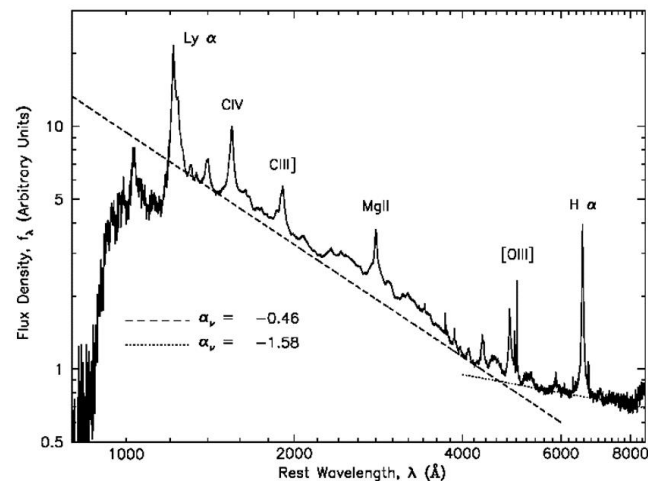
➤ 活动星系核**观测特征**:

- 明亮、致密的**核区**: 核区光度远大于正常星系核区的光度
- 非热（非恒星）、幂律**连续谱**辐射
- 光谱有强的、原子和离子**发射线谱**
- 连续谱和发射线有较短时标的光变

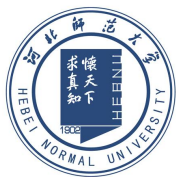
➤ 活动星系核分类

- 分类主要是根据其**观测特性**: 具有以上**全部或部分**特征的星系称为**AGN**
- 物理特性差异: 吸积率+BH质量不同; 射电光度
- 视角效应分类

➤ AGN比例小, 是因为**核活动期间时标短**, 所有星系都曾经经历过一个或多个AGN阶段



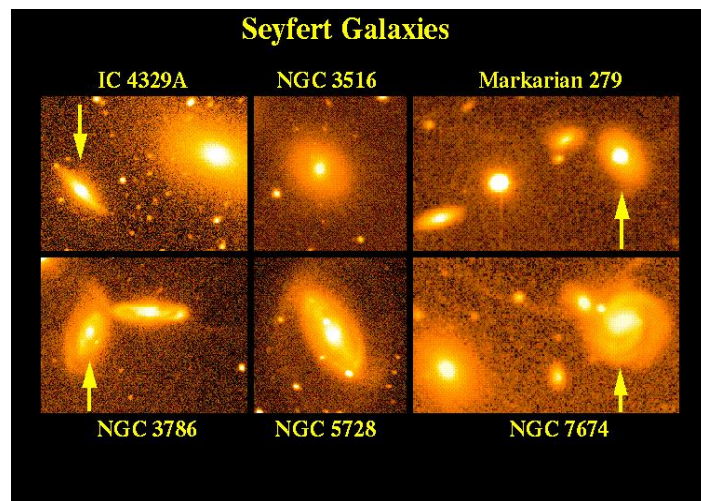
Type of object	Number density [Mpc^{-3}]
Field galaxies	10^{-1}
Luminous spirals	10^{-2}
Seyfert galaxies	10^{-4}
Radio galaxies	10^{-6}
QSOs	10^{-7}
Radio-loud quasars	10^{-9}



赛弗特星系 Seyfert

➤ 发现历史:

- 1908: FathE. 利用Lick天文台望远镜首次观测了NGC 1068 光谱, 谱中有**许多发射线**
- 1918: SlipherV.利用Lowell天文台望远镜, 指出N1608谱类似**行星状星云光谱**
- 1943: **Carl Seyfert**发现更多类似N1068光谱, 认为它们是**活动星系**, 有类恒星的亮核, 宽发射线

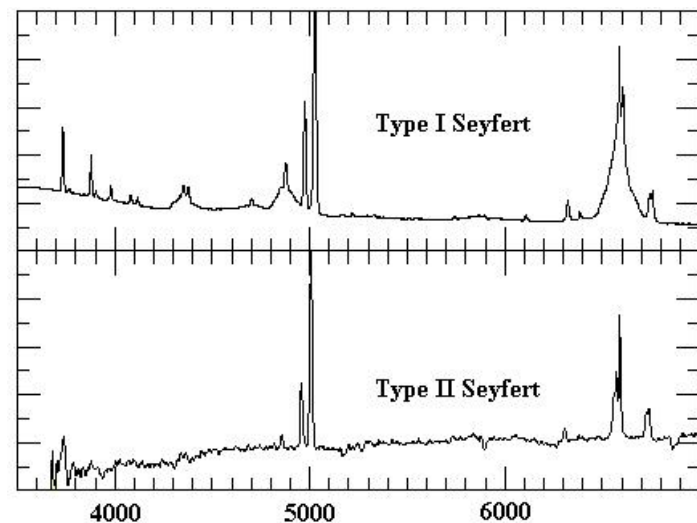


➤ 赛弗特星系特性

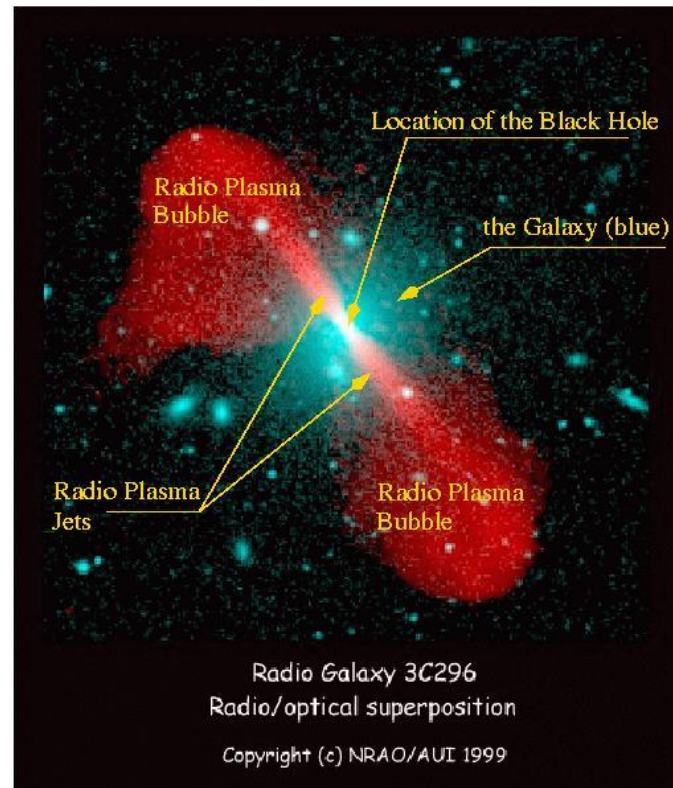
- 活动星系, 有明亮的、类恒星核的**旋涡星系**
- **非热连续谱**, 有许多强、宽、高激发发射线
- 核区辐射有短时标剧烈的光变: **核区尺寸小**

➤ 赛弗特星系分类: 根据**发射线宽度**

- Seyfert1: **允线**FWHM $\sim 1000 - 5000$ km/s; **禁线**FWHM \sim a few hundred km/s
- Seyfert2: **允线**和**禁线**都较窄, FWHM $\sim n * 100$ km/s



- 正常星系：射电辐射主要来自于**超新星遗迹**，射电辐射弱， $P_{1.4\text{GHz}} \leq 2 \times 10^{23} \text{W/Hz}$
 - 银河系光学光度 $L > 10^{10} L_{\odot}$ ；但其射电辐射 $L \sim 2500 L_{\odot}$ ($L_{\text{bol}, \odot} = 3.86 \times 10^{26} \text{W}$)
- 射电星系：**射电波段辐射强**的活动星系
 - 射电波段辐射功率， $L_{\text{radio}} > 10^{34} \text{W}$ ($\sim 10^8 L_{\odot}$)；
or $P_{1.4\text{GHz}} > 2 \times 10^{23} \text{W/Hz}$
 - 最强的射电星系或类星体射电辐射 $L \sim 10^{12} L_{\odot}$
 - 射电辐射具有**非热性质**，连续谱多为幂律谱
- 光学特征
 - 光学图像：寄主星系的形态，多为**椭圆星系**
 - 光学光谱：宽线射电星系(BLRGs)和窄线射电星系(NLRGs)光谱中都有强发射线，类似于Sy1和Sy2，又称作强射电赛弗特星系
- **赛弗特星系不是射电星系**：赛弗特星系 ($L_N < L_{\text{gal}}$) 比例1/103；射电星系 ($L_N > L_{\text{gal}}$) 比例1/105



射电形态

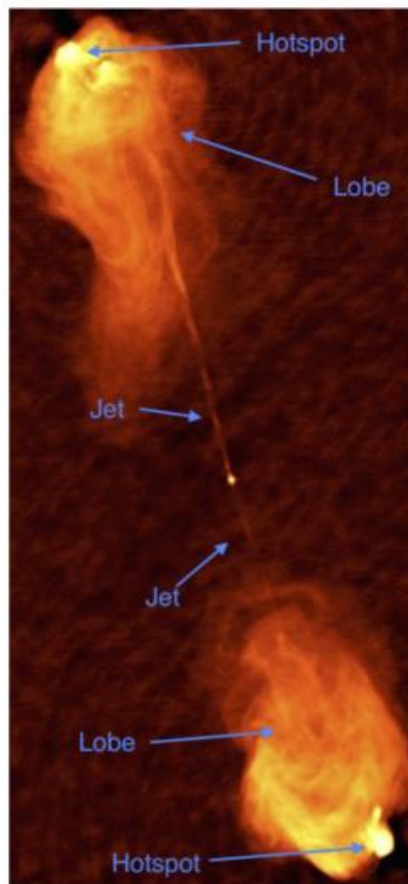
➤ Fanaroff & Riley (1974) 分类

➤ FR I:

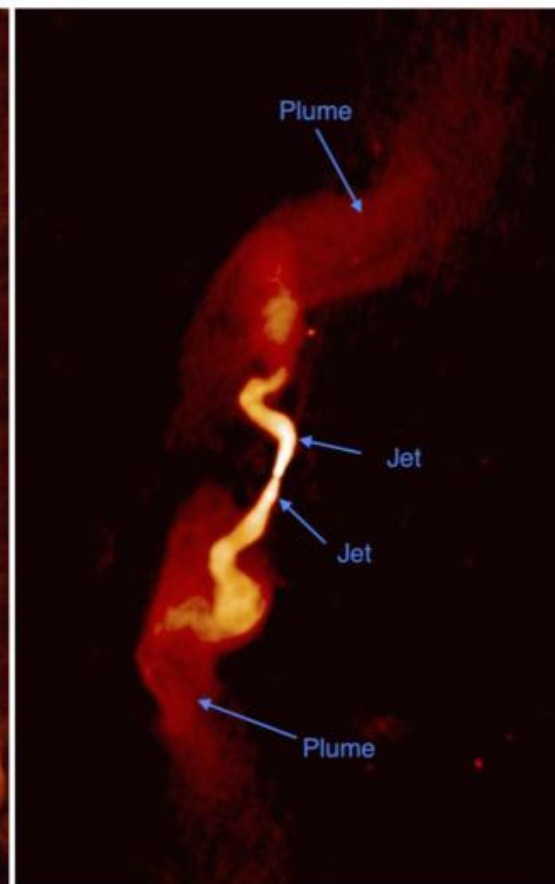
- **致密型**：大部分射电辐射来源于星系光学图像中心的一个**很小的核**； $r \sim \text{a few pc}$
- **射电光度低**；核区射电辐射强；谱指数 $\alpha \sim 0$ （**平谱**）；瓣是光学厚；在高频射电波段最亮

➤ FR II:

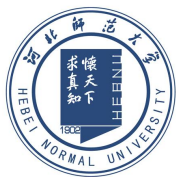
- **双瓣型**：射电辐射主要产生于在星系光学图像两边的两个巨大的**射电瓣**；尺度 $\sim n \times 100 \text{ kpc} - \text{Mpc}$
- **射电光度高**；射电瓣辐射强；谱指数 $\alpha \sim 0.7 - 1.2$ （**陡谱**）；瓣是光学薄的；在低频射电波段最亮



FR II



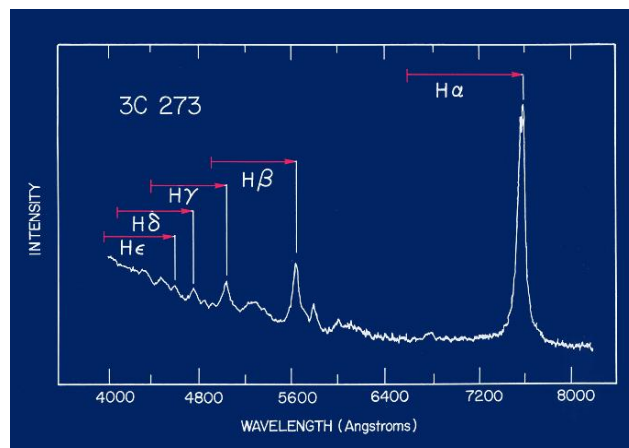
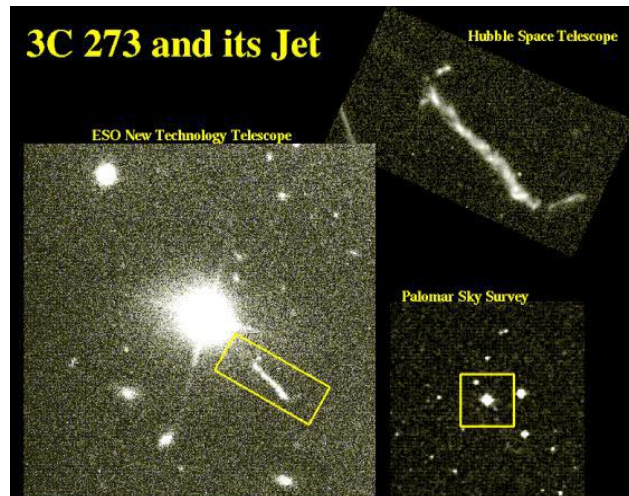
FR I



类星体 QSOs / Quasars

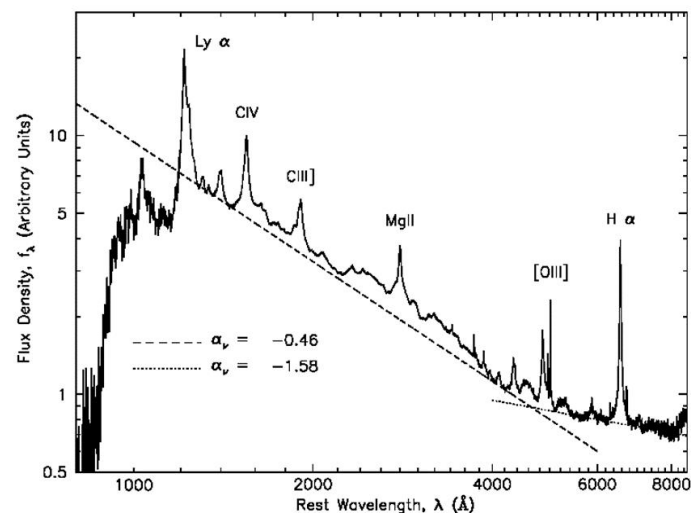
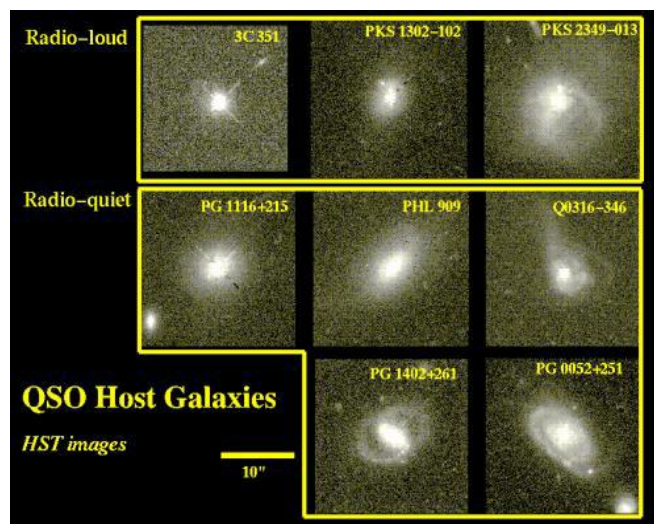
➤ 发现历史

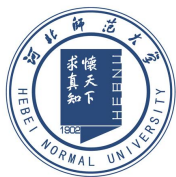
- 最早被发现的类星体是3C48和3C273：由 Third Cambridge Catalogue (3C) 全天射电巡天（1950s晚期），**无光学对应体的射电源**
- Sandage & Thomas (1963): 在3C48附近找到一个 $m=16$ 等的**恒星状**天体，颜色蓝，紫外超，光谱中有很多条发射线，但未能证认这些谱线
- **Schmidt (1963)** 利用Palomar5米望远镜 (P200) 拍摄3C273光谱，证认谱中发射线为巴尔末线，红移 $z=0.158$
- 其他天文学家利用相似方法证认了一批**类恒星**的**强射电源**：quasi-stellar radio sources, **quasars**.
- 利用**颜色蓝**的特征，光学颜色选择类星体：发现大量有很强发射线、颜色蓝类恒星天体，但射电辐射非常弱：quasi-stellar object (QSOs)。



类星体特征

- 类星的图像：类星体十分亮，使得其宿主星系显得暗。除极少数外，绝大多数类星体有类似恒星的光学像，十分致密
- 哈勃空间望远镜观测发现（少数低红移类星体），类星体宿主星系具有多样的形态
- 类星体光谱和赛弗特1星系相似，具有很强的发射线，非热的幂律连续谱
- 区别：类星体的光学光度 $L_V \geq 10^{11} L_{\odot}$ ；Sy1星系 $L_V < 10^{11} L_{\odot}$
- QSOs是已知最亮的天体，最高红移是ULAS J1120+0641: $z = 7.085$ (2011)
- 不同红移QSOs光谱非常相似，吸收线弱：QSOs至少具有太阳的重元素丰度

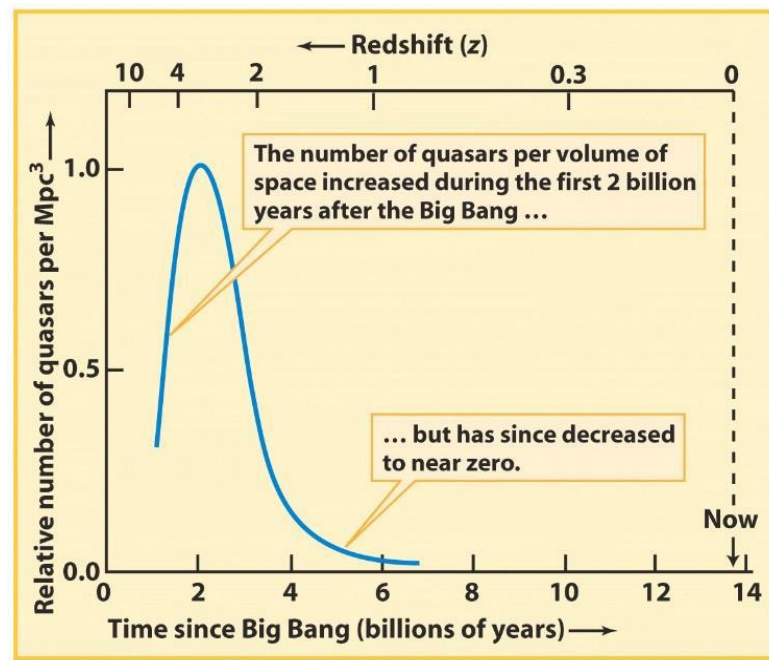
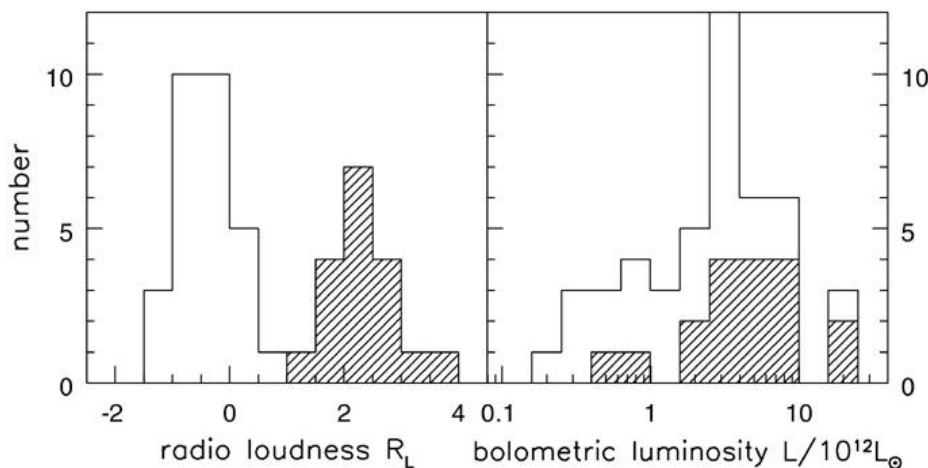


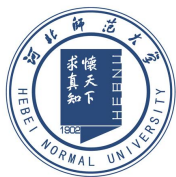


类星体特征

- 类星体中，约有**10%**的为射电噪（radio-loud）；**90%**为射电宁静（radio-quiet），统称为QSOs
 - 射电强QSOs ($R_L > 1$) 多为高光度 ($L > 10^{12} L_\odot$)
- 类星体在**红移 $z \sim 2$** ，即大爆炸后 **$T \sim 3\text{Gyr}$** 时最多。
 - $z \sim 2$ 时类星体比现在宇宙类星体的密度多30–100倍，而在 $z \sim 5$ 处密度只是比目前大几倍

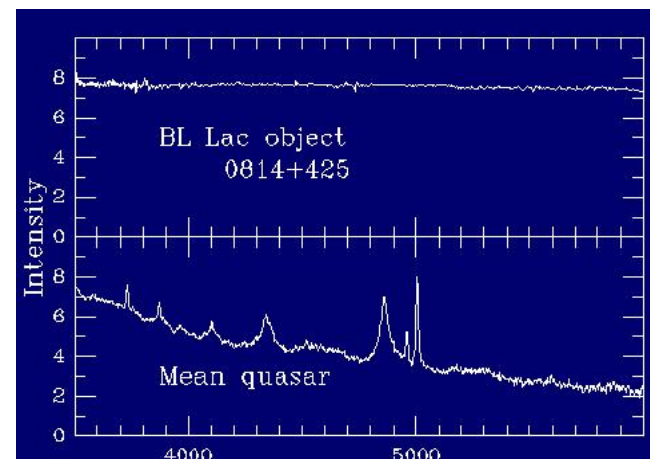
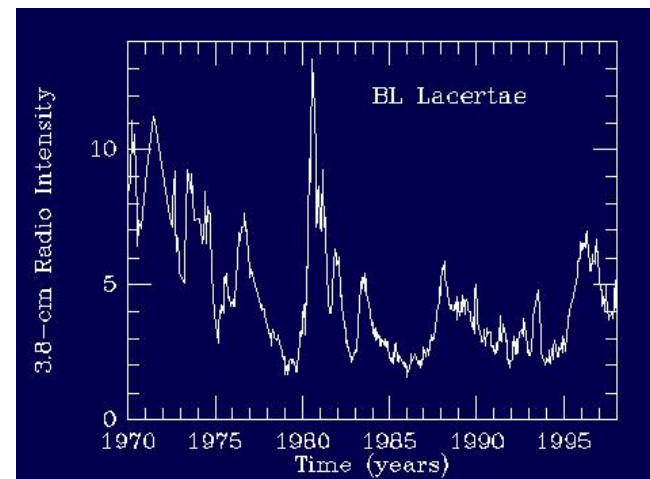
射电强度 $R_L = \log[L_\nu(5\text{GHz})/L_\nu(B)]$ 分布

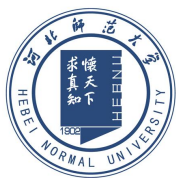




耀变体 Blazar

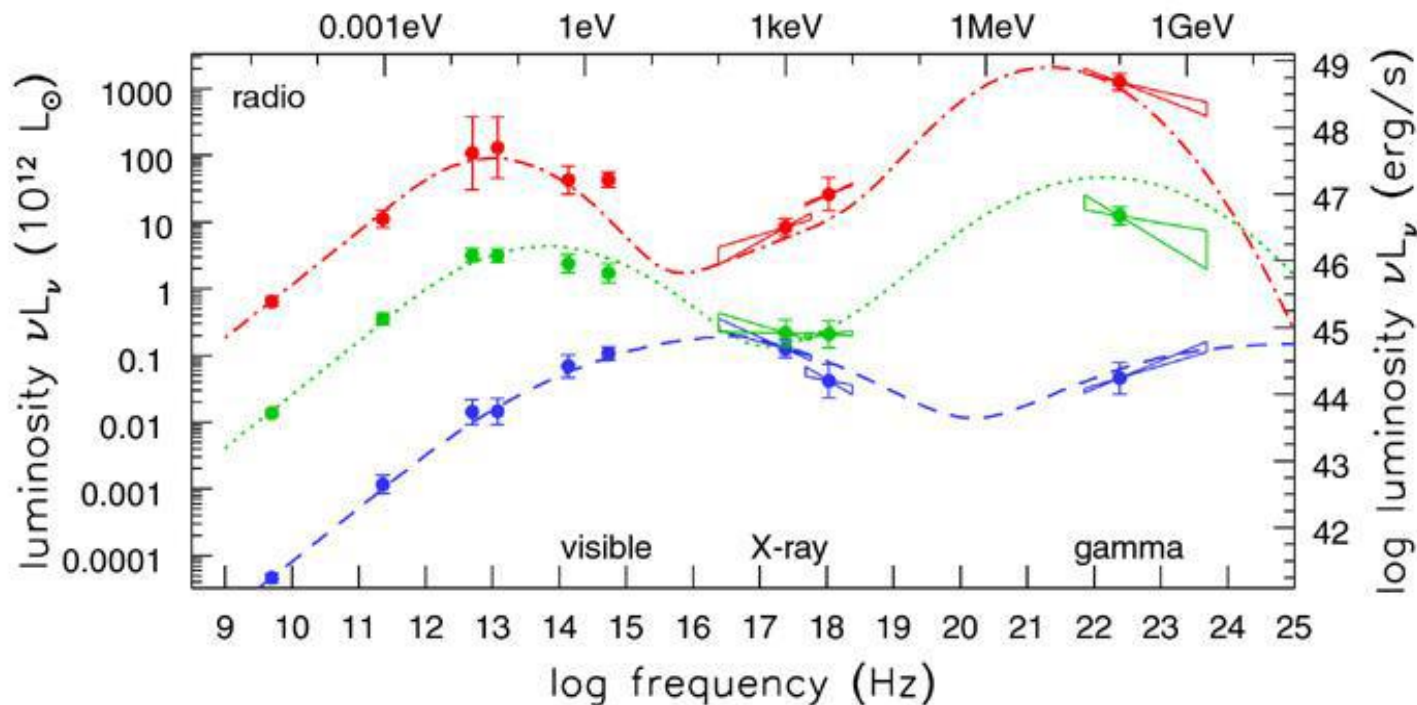
- Blazar: 是光学**激变**天体 (optically violently variables, OVV, $\Delta m \geq 0.1$ mag) 和蝎虎天体 (BL Lac) 的总称
- OVVs:
 - 具有大幅度、快速光变的类星体; 主要是**射电噪类星体**
 - 除了**快速光变**外, OVVs的其他观测特性 (光度高、强发射线等) 与BL Lac天体**不同**: 不属于同一子类
- BL Lac天体
 - 形态: 类似于恒星, 有**快速而不规则**的光变
 - 1966年之前, 一直被认为是一颗**不规则变星**
 - 1966年BL Lac被证认为射电源, 是**河外星系**
 - 与BL Lac具有相同特征的天体统称**蝎虎天体**
 - 特征: 快速光变、高偏振、非热连续谱; **光谱中没有或者只有很弱的发射线和吸收线**

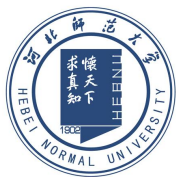




Blazar 能谱分布

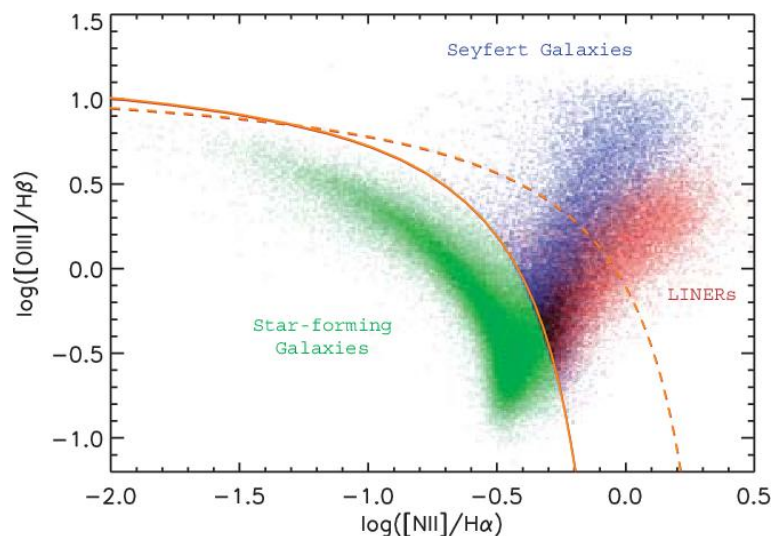
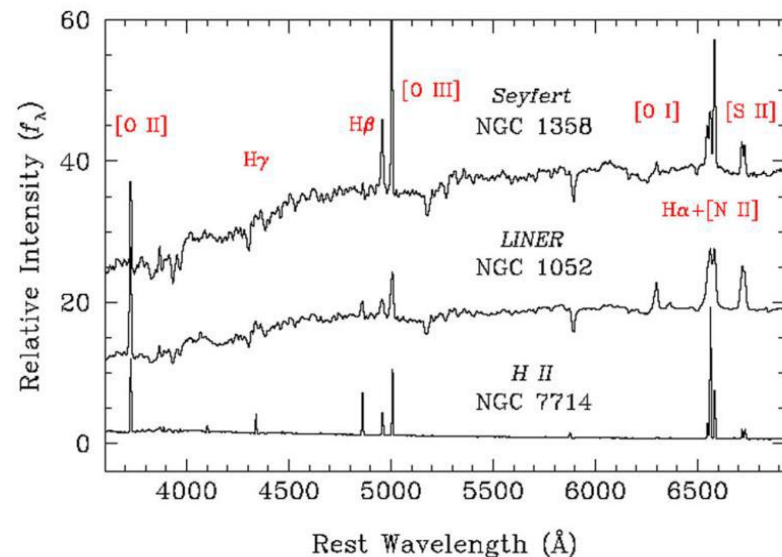
- 能谱分布很宽：从射电到 γ 射线的整个谱区辐射都相当强
- 为射电噪平谱射电源：核区发射占了射电辐射较大的部分
- γ 射线波段发射其大部分能量： γ 射线波段的 νF_ν 能够大到能谱中射电、毫米波、光学或X射线部分的10倍；射电最亮者， γ 射线也最亮

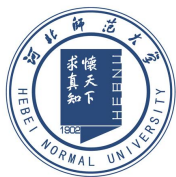




低电离核发射区 LINERs

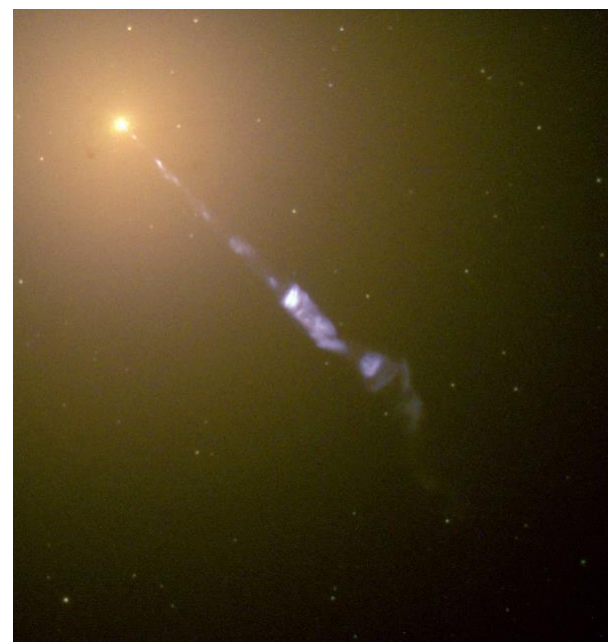
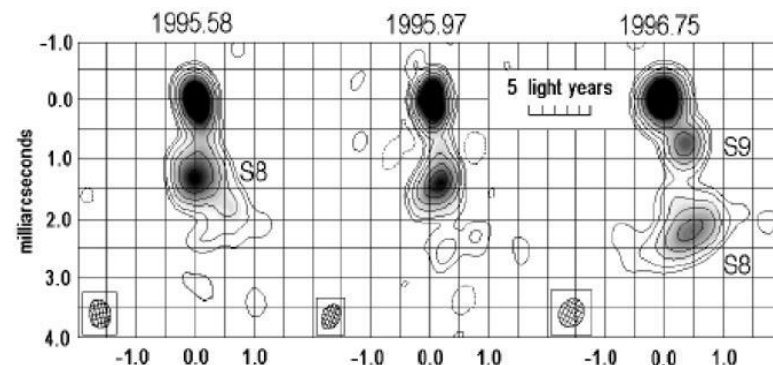
- 低电离核发射区 (low-ionization nuclear emission-line region, LINERs) 由Timothy Heckman (1980) 根据星系谱线特征定义的一类活动星系核
- 星系中心存在一个低光度的核：光谱中**低电离谱线**如[O I] λ 6300, [S II] λ 6716, 6731等很强；而**高电离谱线**如[Ne V]则观测不到
- 近邻宇宙中 ($d < 20 - 40 \text{ Mpc}$) , $\sim 1/3$ 星系是LINERs; $\sim 75\%$ 的**LINERs为E-Sab等类型星系**; Sb-Scd星系中很少有LINERs
- 初始认为是一类特殊类型的AGNs, 现在一般认为LINERs是Sy2星系在**低光度延伸**
- 可以利用[N II] λ 6583/H α 和[O III] λ 5007/H β 的比值 (**BPT图**) , 区分LINER、Seyfert和恒星形成星系。

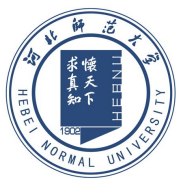




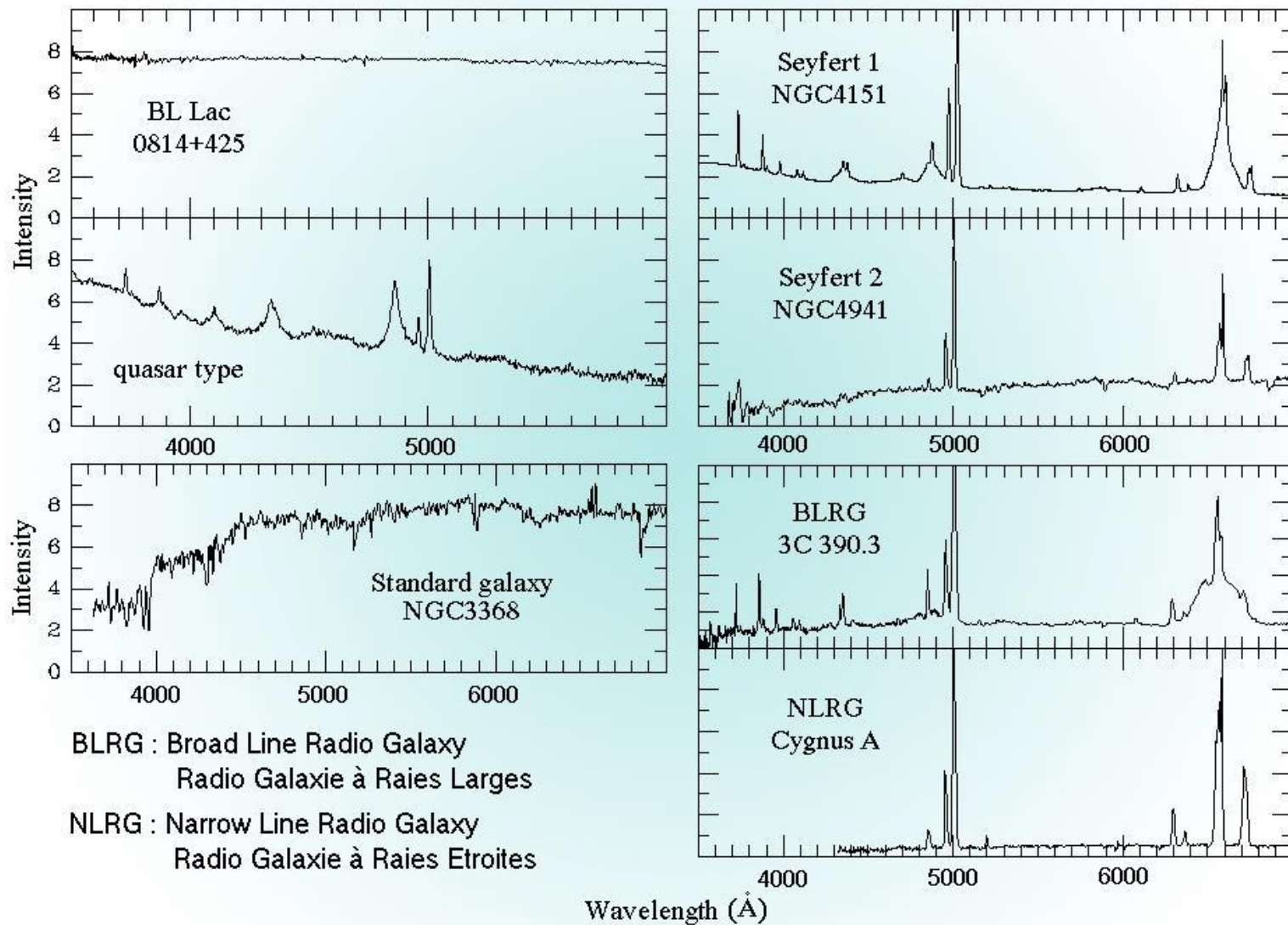
AGN 中喷流

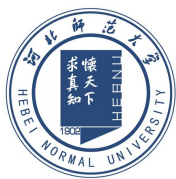
- QSOs、RG、Blazar等射电星系中心，存在**致密的射电核**
- 致密射电核的尺度只有**数秒差距**，只能利用甚长基线干涉仪高分辨成图观测
 - 大多数致密核具有**拉长特征的明亮内核**，或一系列从核延伸10–50pc 的小团块
 - 在核外，千秒差距尺度的**喷流**是**单侧**的，中心拉长的特征总是处于喷流同侧
 - 几乎所有的致密核都是**变化**的：变化周期~ 数天，数周或数月
 - **峰值亮度**的时间与**新圆块**的出现重合：新圆块沿螺旋轨道向外走，同时变暗
 - 在大约一半的核中，圆块的运动是**视超光速**的：以速度 $v \sim (3-50)c$ 离开核心
 - 观测到的大尺度喷流常是单侧的：趋近的一侧被**相对论性成束效应**极大地增亮





AGNs 光谱



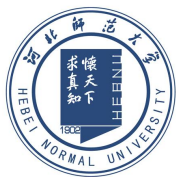


AGN 的分类

Radio Luminosity	Emission Lines	$L_N \gtrsim L_{gal}$	$L_N \lesssim L_{gal}$	$L_N \ll L_{gal}$
Radio Quiet $L_R \lesssim 10^{-4} L_{opt}$	Broad + Narrow	RQ QSO	Seyfert 1	} LINER 1.9 LINER/ Seyfert 2
	Narrow Only	[NLQSO]	Seyfert 2 ^{1.5}	
	None	-----	-----	
Radio Loud $L_R \gtrsim 10^{-2} L_{opt}$	Broad + Narrow	RL QSO [QSR]	BLRG	} PRG Weak lines LINERs
	Narrow Only	-----	NLRG	
	None	Blazar [BL Lac] (OVV, HPQ)	-----	

RQ-AGN host galaxies are usually: Early type Spirals (often disturbed)

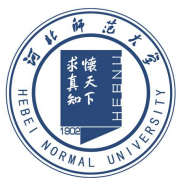
RL-AGN host galaxies are usually: S0 or Ellipticals (often with nuclear dust lanes)



9.2 活动星系核模型

- **活动星系**: 高光度 ($L > 10^{12} L_{\odot}$)、致密核区 (光学不可分辨, 快速光变: $r = 0.01 \text{ pc}$), 全波段非热连续谱 (非恒星供能), 宽发射线 ($V \sim 10^4 \text{ km/s}$); 很小区域, 释放巨大能量
- **核区**: $V \sim 10^4 \text{ km/s}$, $r = 0.01 \text{ pc}$, $M \sim 10^8 M_{\odot}$
- 可能的能源: 核反应?
 - **O型恒星**: $L = 3 \times 10^4 L_{\odot}$, $r = 6.6 R_{\odot}$
 - $N = 10^{13} / 3 \times 10^4 = 10^8$ O型恒星
 - 数密度 $n = N / [4\pi(0.5)^3/3] = 10^{14} \text{ pc}^{-3}$
 - n 极大+非恒星热谱
 - No!
 - **超新星** $L_{\text{SN}} \sim 10^9 L_{\odot}$
 - 每一个QSO需要随时都有 10^4 个爆发
 - No!
- 核区 $M \sim 10^8 M_{\odot}$, $r = 0.01 \text{ pc}$: **超大质量黑洞**
- AGNs能源: 中心超大质量黑洞**吸积**周围物质, 气体通过**吸积盘**进入黑洞, 释放**引力能**

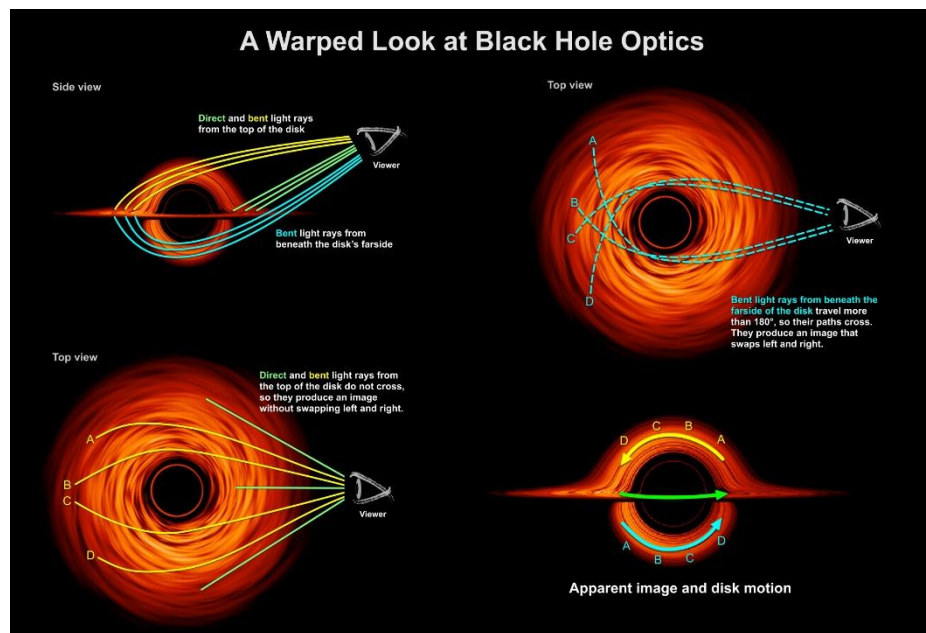
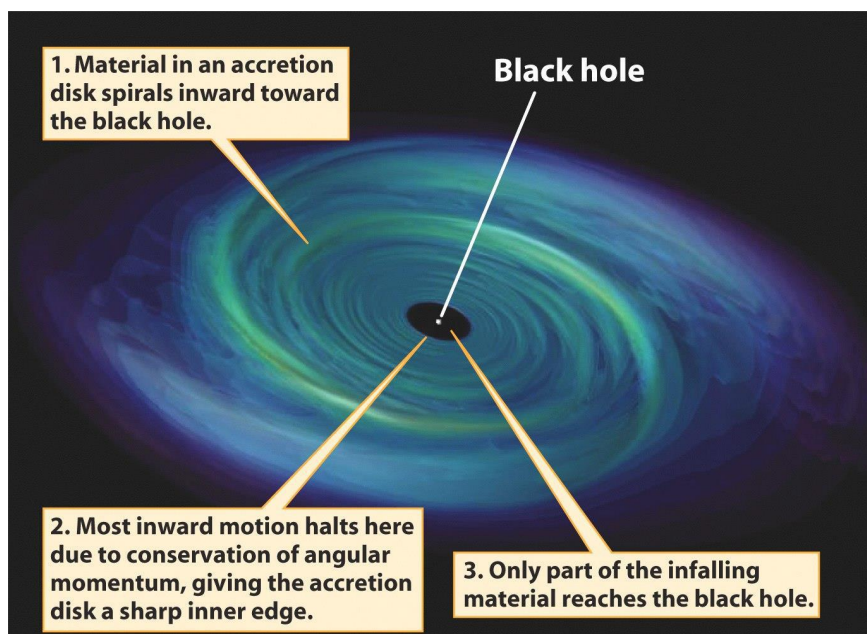


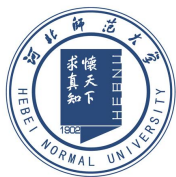


黑洞-吸积盘模型

➤ 模型

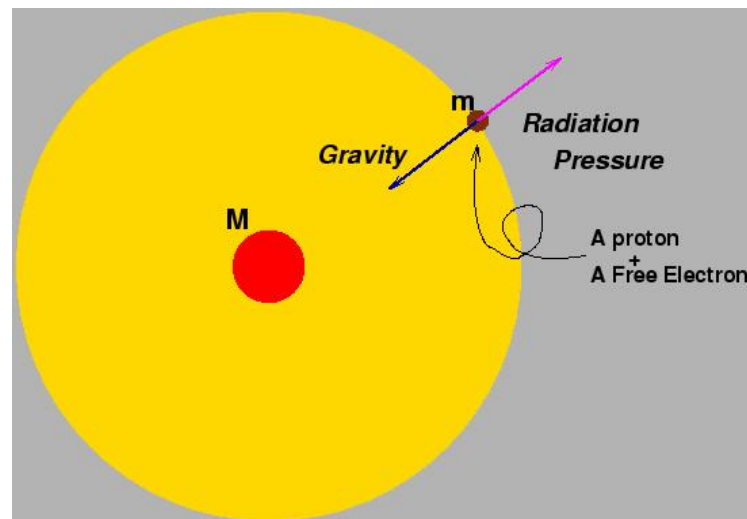
- 活动星系核由落入中央黑洞的气体供能
 - 气体具有**角动量**，下落气体将形成一个吸积盘
 - 黏滞使盘内气体慢慢向内旋进，变热并辐射掉其**引力势能**
 - 最终到达围绕中心黑洞的最后稳定轨道并落进去
- 理论上，黑洞吸积产能效率 $\eta \sim 0.42 \text{ Mc}^2$ （快速转动的黑洞，克尔黑洞）； $\eta \sim 0.1 \text{ Mc}^2$ （无转动黑洞，史瓦西黑洞），恒星核燃烧的产能效率 $\eta \leq 0.01 \text{ Mc}^2$





中心引擎：Eddington 光度

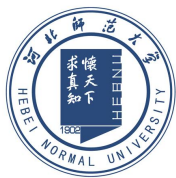
- AGN中心能源机制是黑洞吸积气体：气体受到**辐射压力** F_{rad} 和黑洞**引力** F_{grav}
- 如果辐射压太大， $|F_{\text{rad}}| > F_{\text{grav}}$ ，气体就**不能**落到星系中心，**核的燃料就会耗尽**
- 爱丁顿光度：球对称条件下，天体辐射压力**不超过**引力时的**光度上限**； $|F_{\text{rad}}| \leq F_{\text{grav}}$
- 达到爱丁顿光度时，粒子上的引力与其受到的辐射压力达到**平衡**。



- Eddington光度：

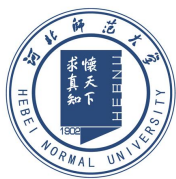
$$L_{\text{Edd}} \equiv \frac{4\pi Gcm_p}{\sigma_T} M_{\text{BH}} \approx 1.28 \times 10^{46} M_8 \text{ erg s}^{-1} \quad M_8 \equiv M_{\text{BH}}/10^8 M_{\odot}$$

- 天体吸积所能达到的光度与其自身质量成正比
- 如果AGN的光度是 $L \sim 10^{46} \text{ erg/s}$ ，为了避免吹走能够给AGN供能的所有气体，**中心黑洞质量** $M_{\text{BH}} \sim 10^8 M_{\odot}$ 。

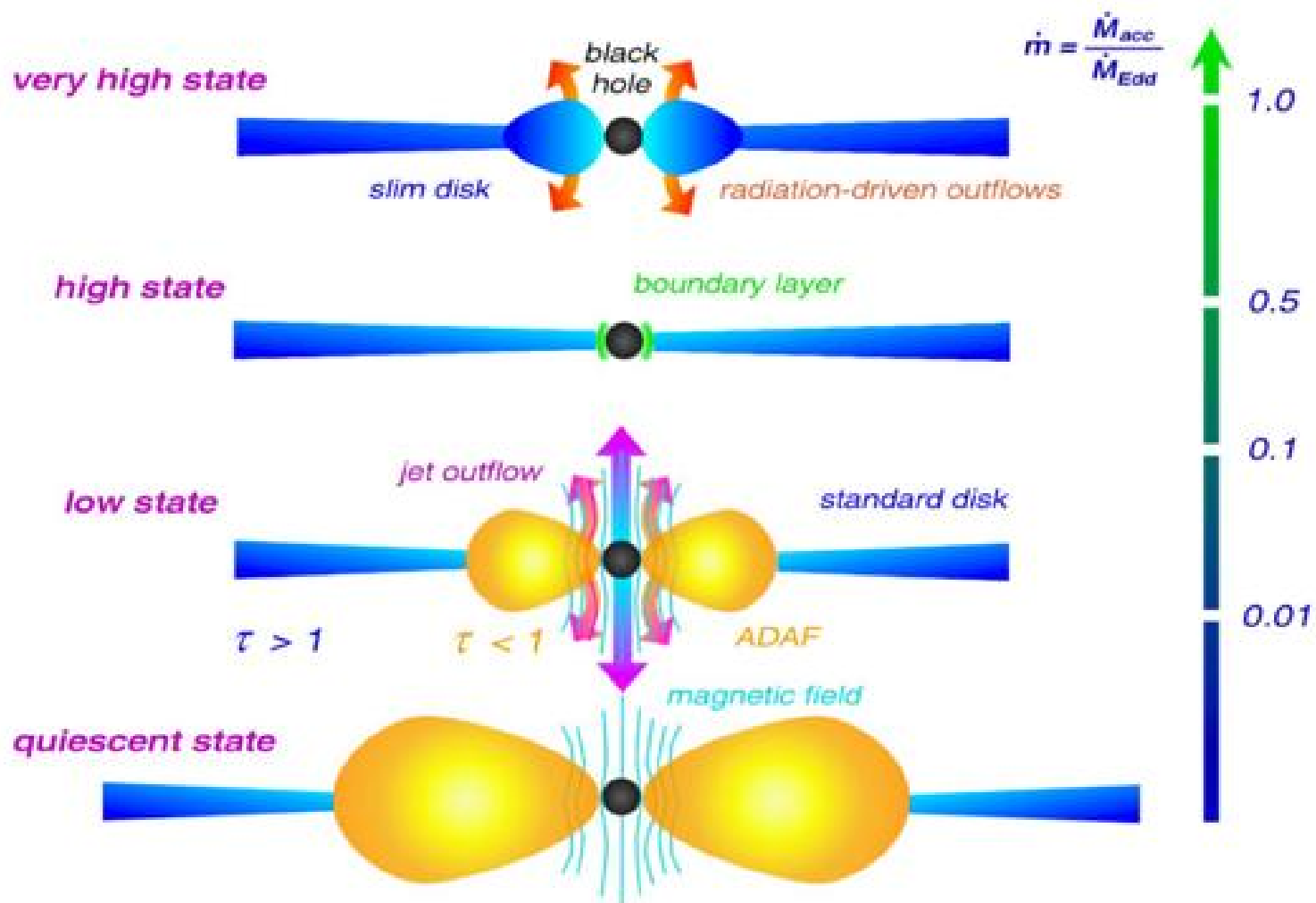


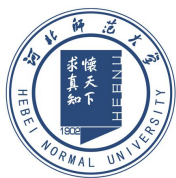
吸积盘

- 黑洞吸积周围物质，高效释放能量: AGN能源机制
- 吸积物质具有角动量，下落进入星系中心: **吸积盘**
- 吸积盘模型
 - Shakula& Suynaev (1973): 几何薄、光学厚吸积盘 (标准薄盘, **SSD**)
 - 几何薄, 光学厚
 - 盘的辐射谱为黑体谱: 可很好解释AGN的大蓝包等特征
 - 盘的 $T < 10^5\text{K}$, 不能解释高能辐射
 - Narayan & Yi (1995): 径移主导吸积流(Advection-Dominated Accretion Flow, **ADAF**)
 - 几何厚, 光学薄
 - 辐射机制: 电子的韧致辐射、同步辐射以及康普顿过程
 - 辐射谱为**幂律谱**(射电- γ 射线): 不同波段辐射机制不同
 - SSD和ADAF分别适用于吸积流离**黑洞较远**和**较近**的区域: ADAF+SSD可对黑洞吸积盘进行完整描述



吸积盘





AGN统一模型

➤ 活动星系的**观测特征**

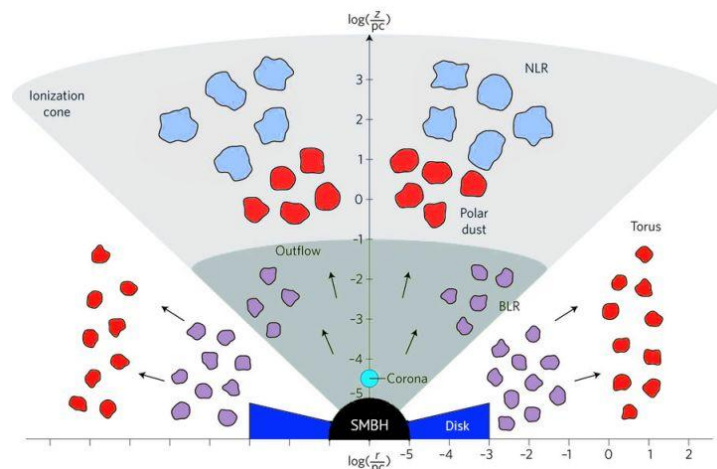
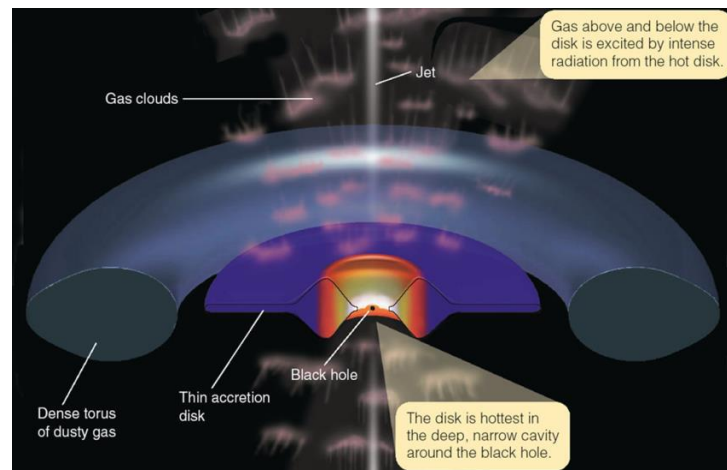
- 高光度；非热连续谱；宽发射线
- 快速光变→辐射源大小 $<1\text{pc}$
- 特殊形态（亮核、喷流）
- 全波段电磁辐射：射电- γ 射线

➤ 活动星系核**分类**：

- QSOs, Sy1、Sy2、NLRG、BLRGs、Blazar、LINER
- 各类活动星系核之间的差异是**内禀**的，还是**别的原因**所引起的？

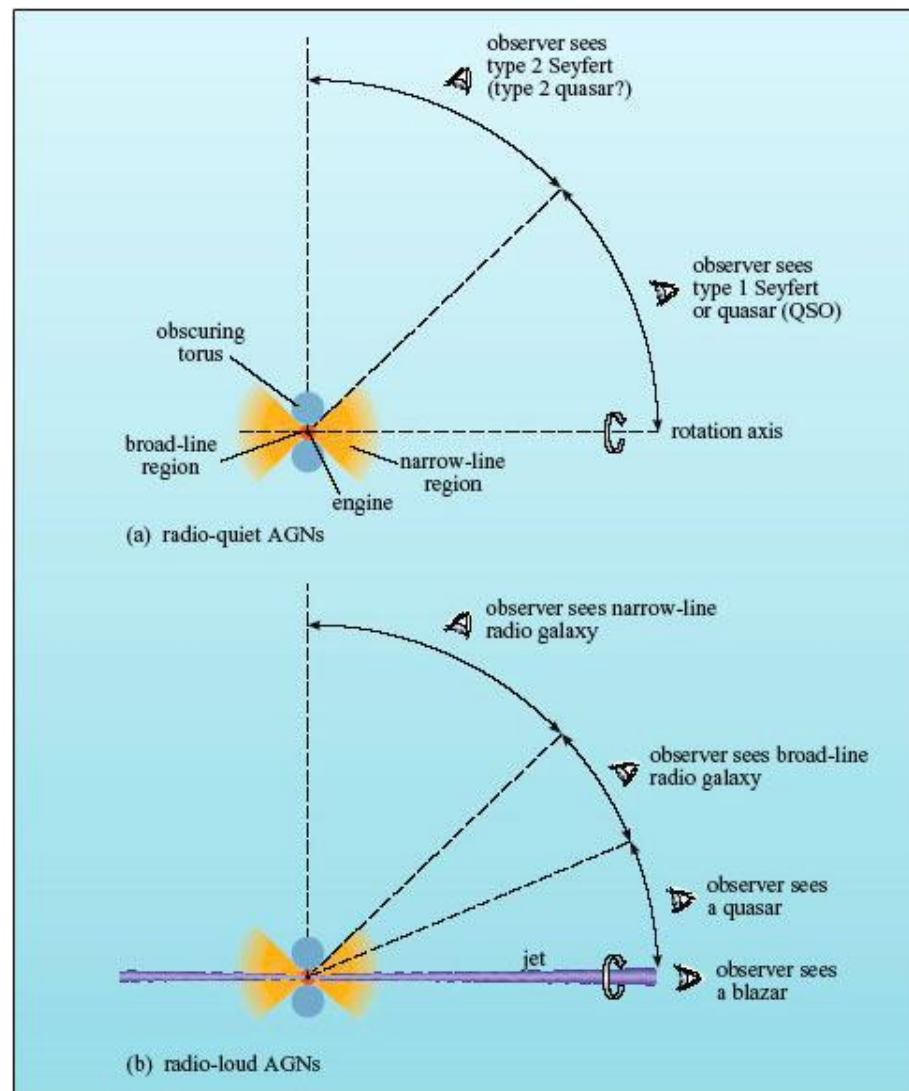
➤ 不同类型AGN：**由于观测取向差异引起**

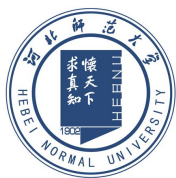
- 星系中心存在大质量的黑洞，体积小
- 黑洞外围存在吸积盘：ADAF + SSD
- 吸积盘周围存在气体云：BLR、NLR
- 吸积盘可以产生垂直与盘的喷流：Jet
- 气体云外围有一个宽的**冷尘埃环**(torus)



统一模型

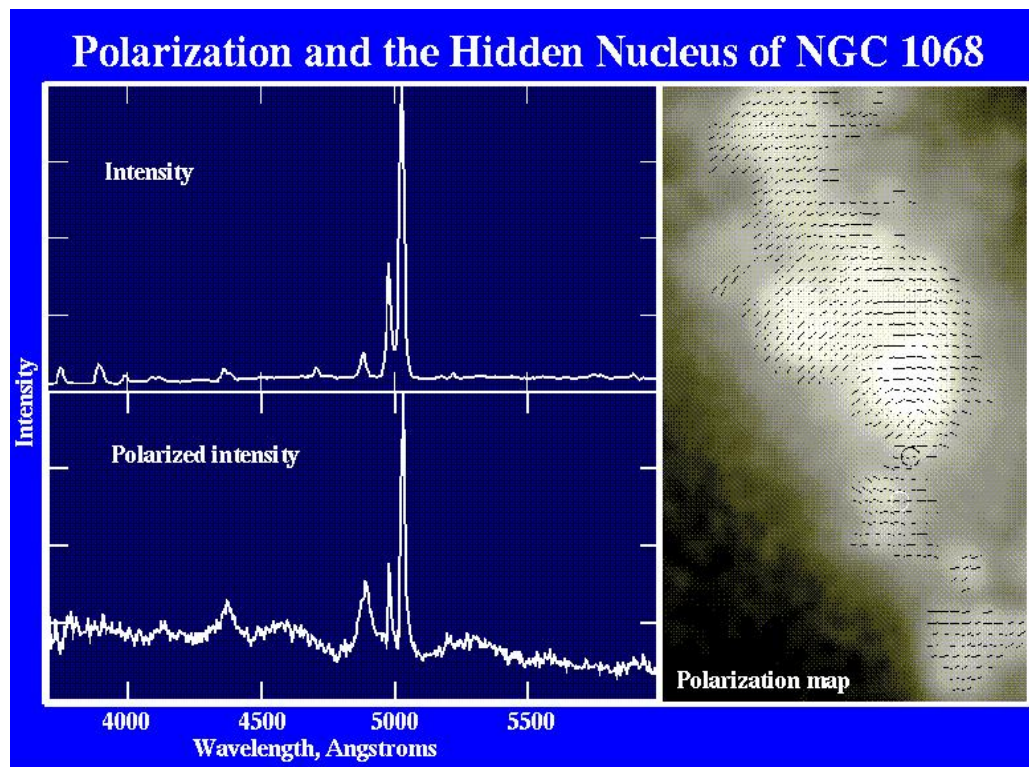
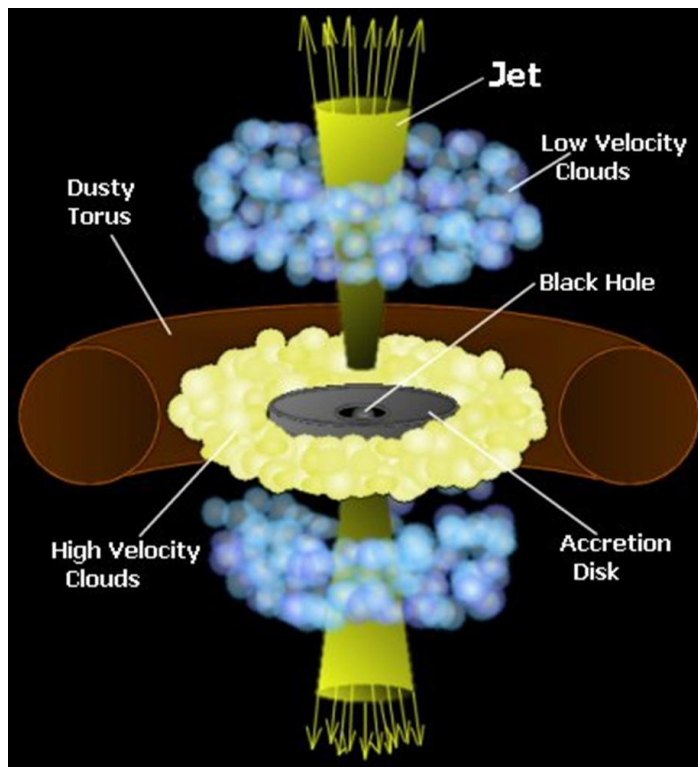
- 观测者视线相对于AGN对称轴的**取向**、**射电强弱**、**光学光度**
- Sy1和Sy2: **有无尘埃环遮挡**
 - 赛弗特1星系和赛弗特2星系本质没有区别
 - Sy2光谱没有宽发射线: 视线方向上受到了冷尘埃环的阻挡
- Sy1和QSOs: **光度高or低**
 - Sy1是直接观测到的光度较低的活动星系
 - QSOs是直接观测到光度较高的活动星系
- Blazar和QSOs: **射电噪or宁静**
 - 沿着射电轴(喷流)方向观测射电噪AGN: Blazar天体
 - 小角度偏离: 类星体, BLRGs
 - 大角度偏离: 窄线射电星系

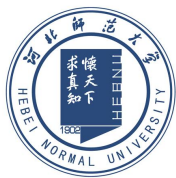




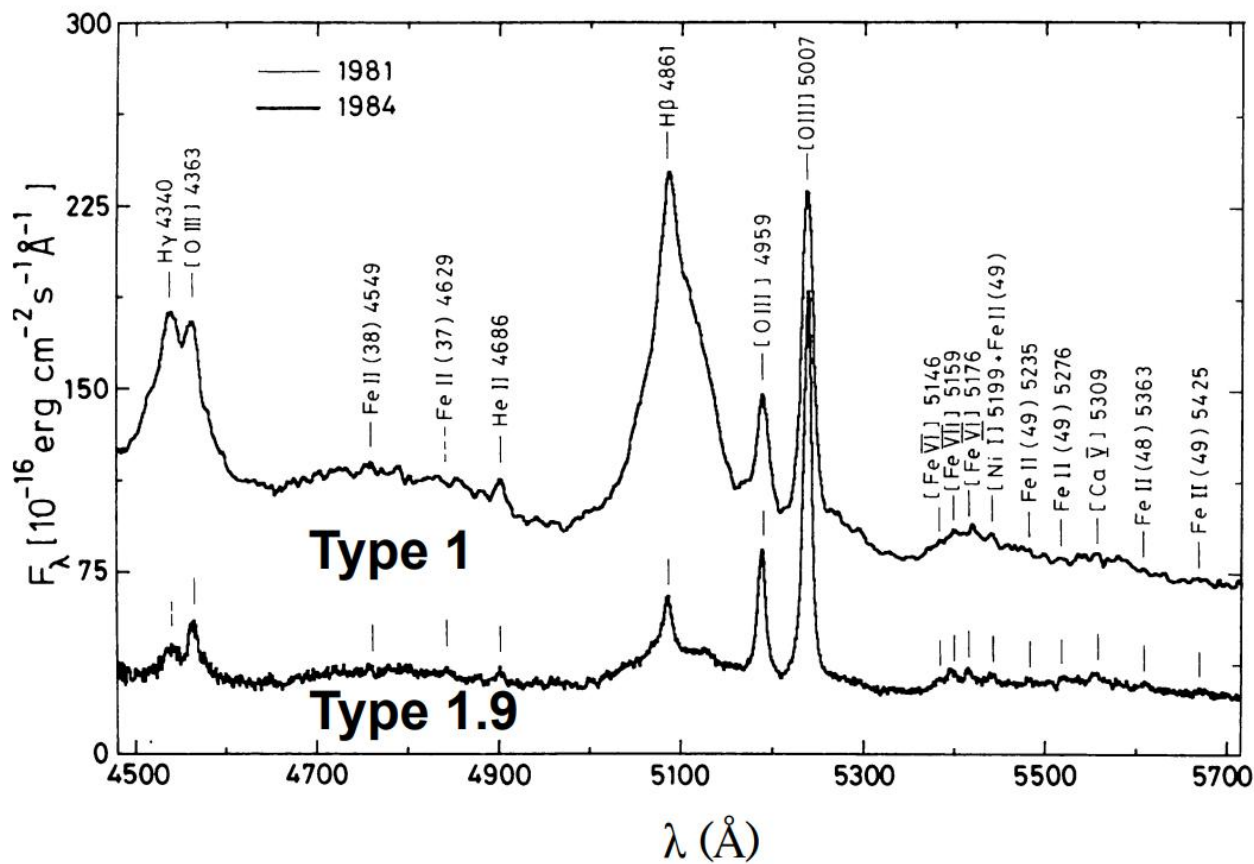
统一模型检验

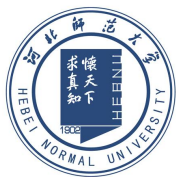
- 对于**正视**中央盘的观测者，观测到的是Sy1
- 对于视线**接近内盘平面**的观测者，高度不透明的尘埃环屏蔽了核区和宽线区：只能看到窄线区和弱的核区辐射
- **偏振观测**Sy2星系NGC1068：**有宽发射线**，Sy2星系有一个隐藏着的宽线区，只能通过其光在尘埃或气体层内的反射才能看见它





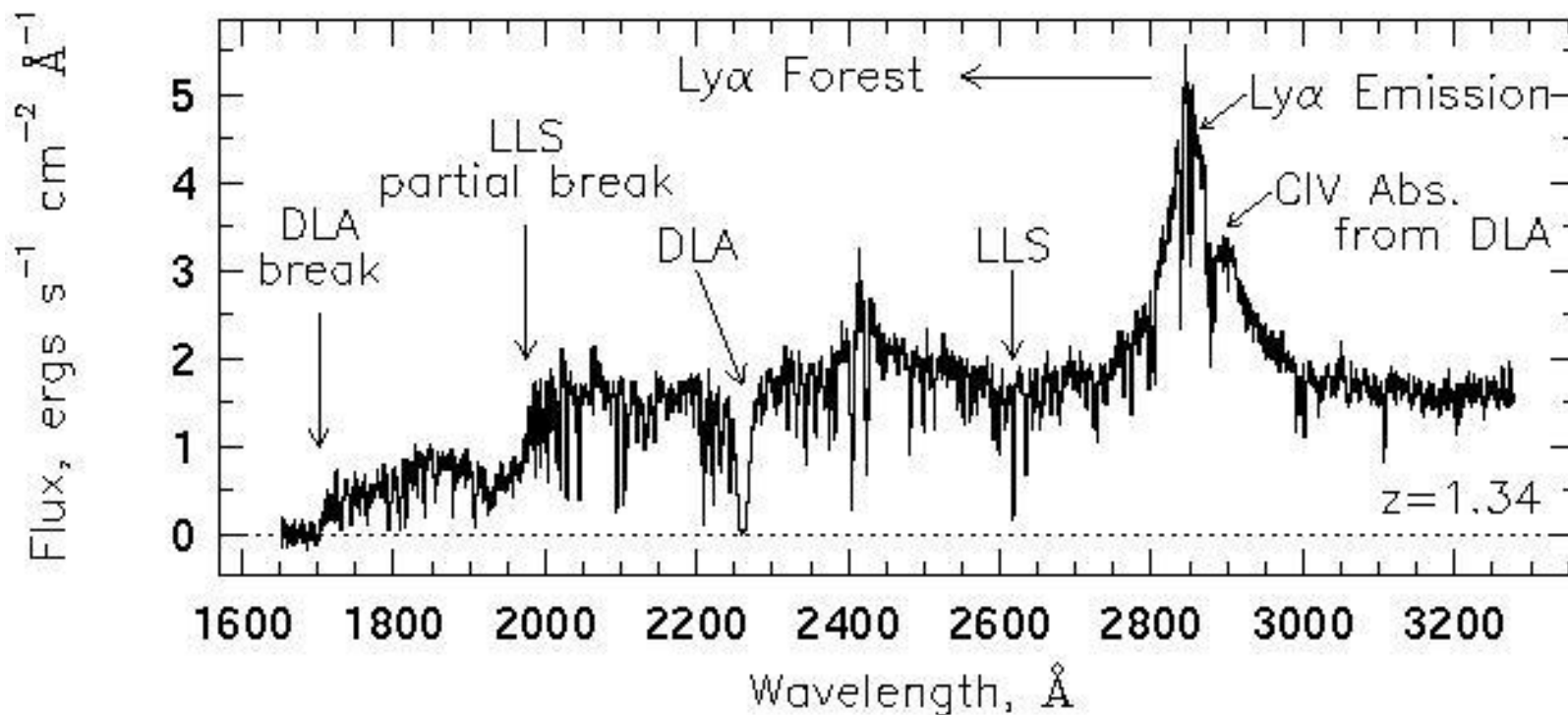
Changing Look AGN





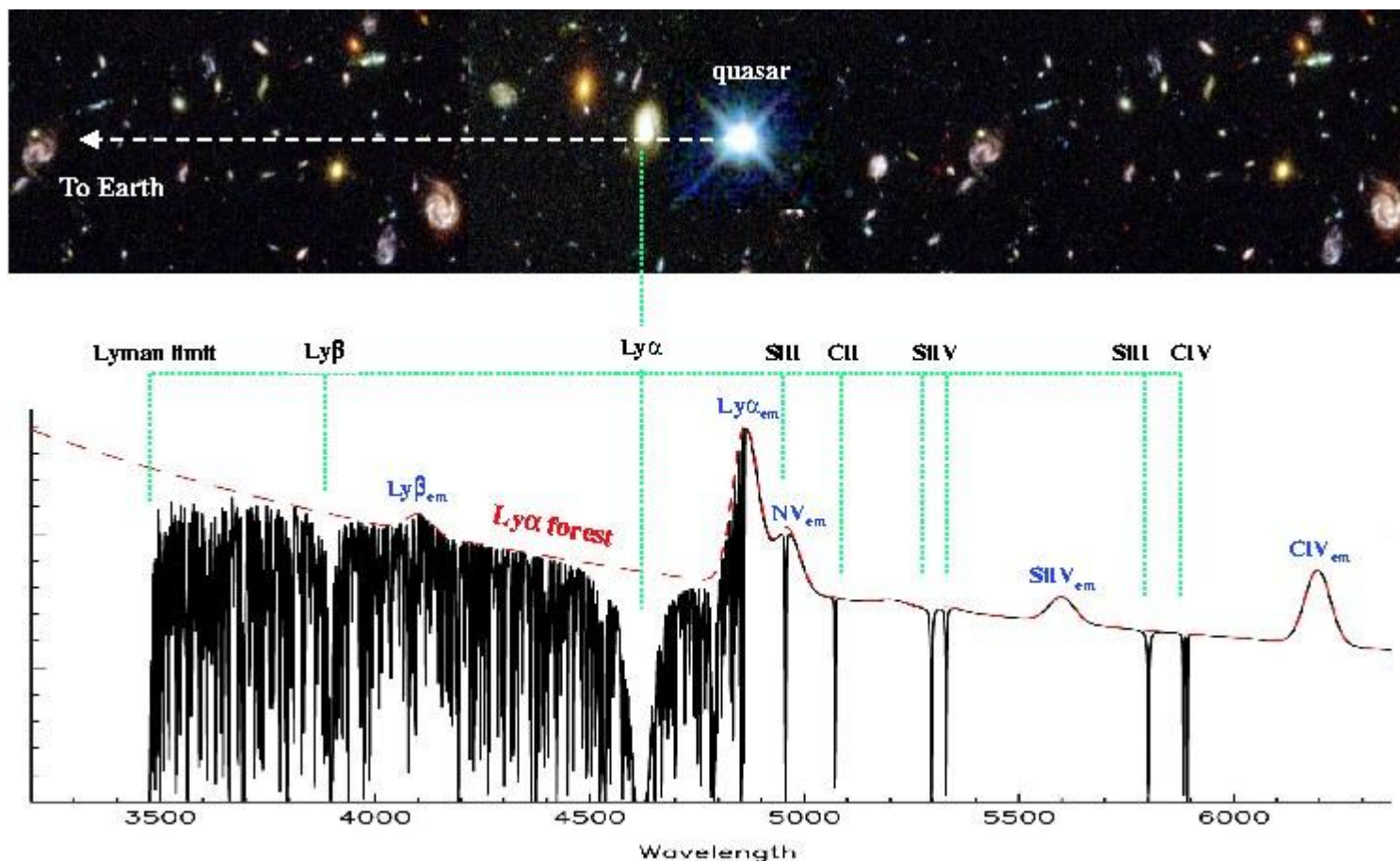
9.3 星系际气体 IGM

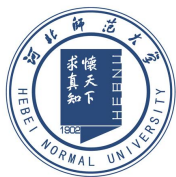
- 许多类星体光谱中有**多重吸收线**
- 吸收线的红移**低于**QSOs的发射线
- 大多数光谱线**很窄**, $\sigma < 100 \text{ km/s}$
- 气体多是**介于**类星体和观测者之间: **星系际气体 (IGM)**
- 吸收物质**并不是原初的**, 已经含有一定量的恒星核燃烧产生的**重元素**



类星体吸收线

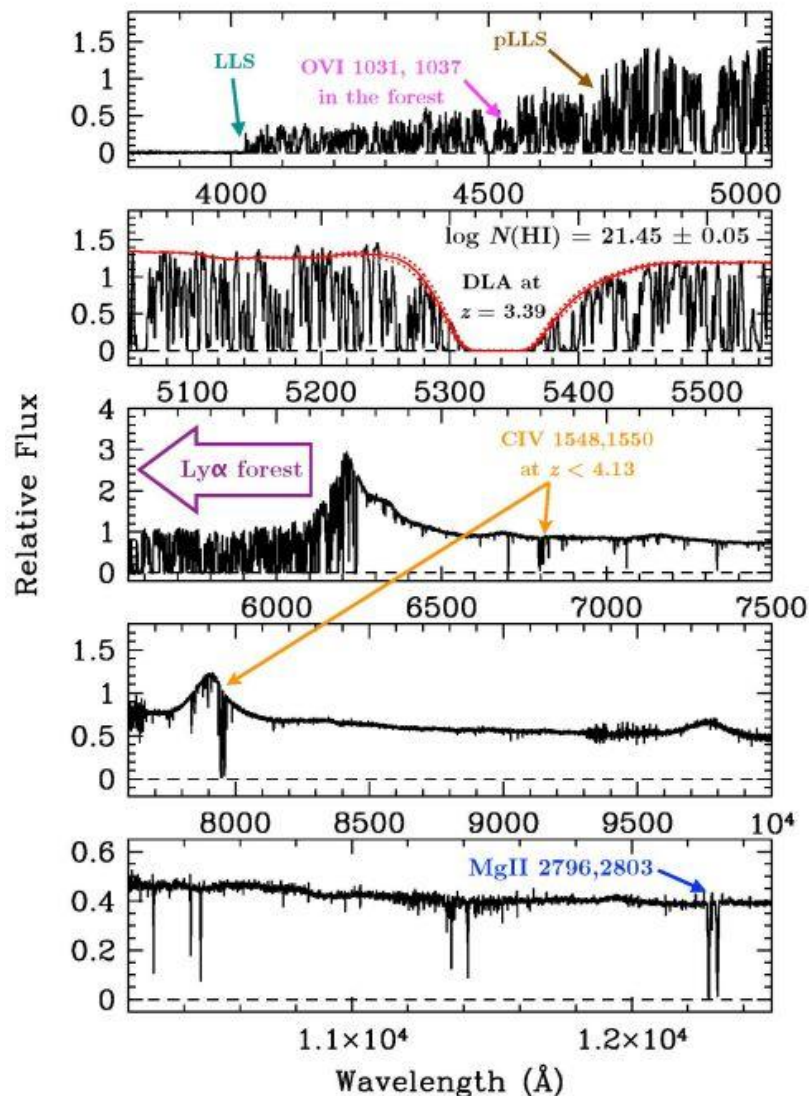
- 类星体吸收线：本征吸收和插入吸收线
- 本征吸收线：起源于QSOs附近的介质和QSOs的物质外流， $z_{\text{abs}} \sim z_{\text{em}}$
- 插入吸收线：产生于星系际介质，红移比类星体低 ($z_{\text{abs}} \leq z_{\text{em}}$)

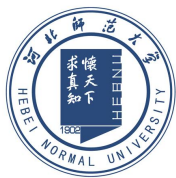




类星体吸收线

- **阻尼莱曼 α 系统 (DLA)** : HI的柱密度 $N_{\text{HI}} > 2 \times 10^{20} \text{cm}^{-2}$, 赖曼 α 线是光厚的, 具有明显的阻尼翼
- **莱曼 α 森林系统 (Ly α forest system)** : $N_{\text{HI}} = 10^{12} - 2 \times 10^{17} \text{cm}^{-2}$; 窄线, HI Ly α 吸收, QSOs蓝段谱, 丰富
- **莱曼系限系统 (Lyman-limit system)** : $N_{\text{HI}} \geq 2 \times 10^{17} \text{cm}^{-2}$; 吸收了波长 $\lambda < 912(1+z_{\text{abs}}) \text{\AA}$ 几乎所有光子; 造成连续谱break
- **金属线系统**: $\text{MgII} \lambda\lambda 2796, 2800$; $\text{CIV} \lambda\lambda 1548, 1550$; 位于Ly α 发射线红端, 易观测





Gunn-Peterson 效应

- Gunn-Peterson效应：介于观测者和高红移类星体之间的低密度HI云块，**吸收**了高红移类星体Ly α 发射线（1215Å）短波侧大部分的光，使得平均后的强度低于发射线的长波侧的光，造成Ly α 发射线**不对称**。
- Gunn-Peterson槽：类星体光谱的特征，由于早期宇宙中存在大量的中性氢，使得红移 $z > 5.8$ 的类星体 $\lambda < 1215\text{\AA}$ 波长区间几乎完全被吸收。
- 黑暗时期-复合时期（HI密度大）-宇宙再电离

