

星系金属丰度定标

居梦婷

2017年5月11日

基本物理特征

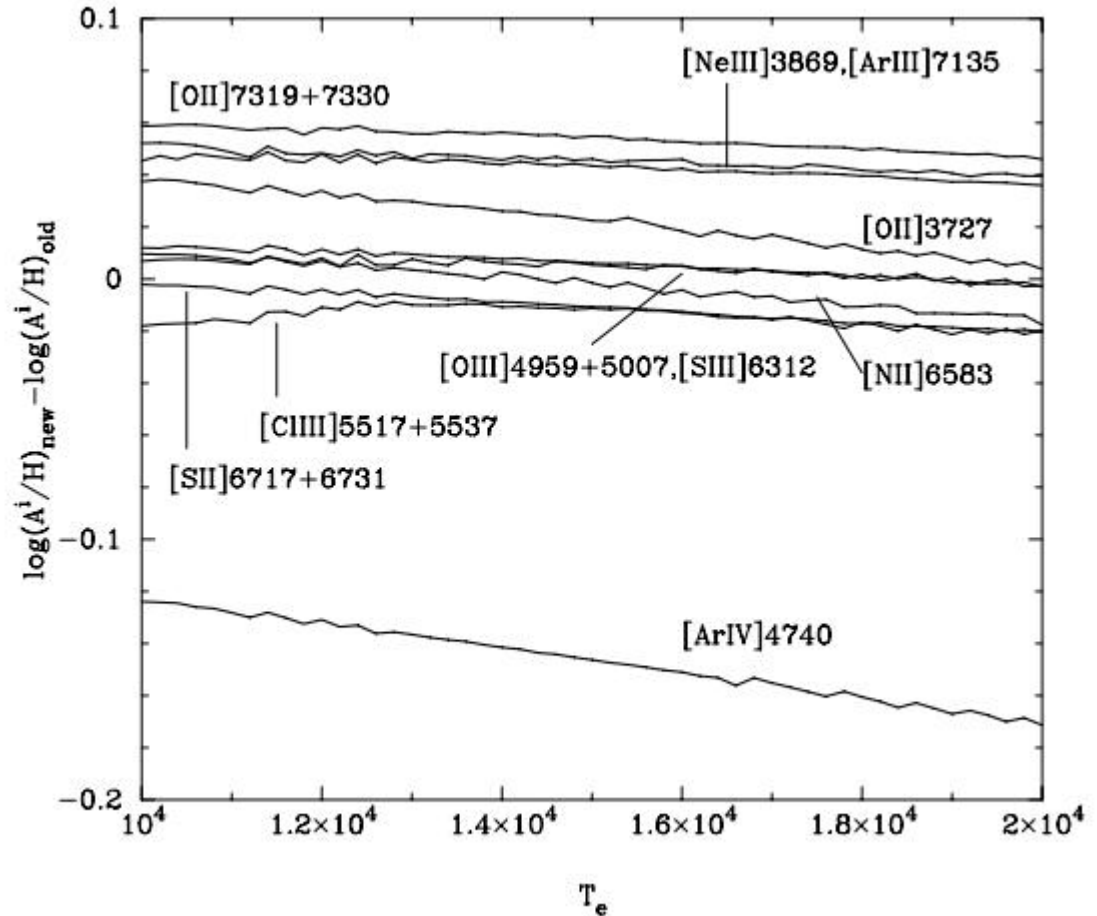
- 光子被吸收，打出的电子，电子再被俘获，返回基态，发射出复合线。最终，电离和复合平衡。
- 光致电离模型一般考虑“电离束缚”星云。
- 复合线强度之比与电子温度无关（Balmer line）
- 碰撞激发线强度之比与电子温度有关（[OIII]）

T_e 方法

- 直接的方法用来估计星系O丰度
- 两个发射区，
[OIII]高电离区，
[OII]低电离区

$$\frac{O}{H} = \frac{O^{++}}{H^+} + \frac{O^+}{H^+}$$

Izotov (2006)



样本：SDSS-DR3, He丰富的
的低金属丰度BCD

T_e ([O III])

- 公式 (Izotov et al. 2006)

$$t_3 = 10^{-4} T_e(\text{O III})$$

$$t_3 = \frac{1.432}{\lg [(\lambda_{4959} + \lambda_{5007}) / \lambda_{4363}] - \lg C_T},$$

$$C_T = (8.44 - 1.09t_3 + 0.5t_3^2 - 0.08t_3^3) \frac{1 + 0.0004x_3}{1 + 0.044x_3},$$

$$x_3 = 10^{-4} n_e t_3^{-0.5} \quad x_3 \text{项可以略去}$$

$$12 + \lg(\text{O}^{++}/\text{H}^+) = \lg \frac{I_{[\text{O III}]4959} + I_{[\text{O III}]5007}}{I_{\text{H}\beta}} + 6.200 + \frac{1.251}{t_3} - 0.55 \lg t_3 - 0.014t_3.$$

T_e ([OII])

- 公式 (Izotov et al. 2006)

$$t_2 = \begin{cases} -0.577 + t_3 \times (2.065 - 0.489t_3), & \text{low } Z, \\ -0.744 + t_3 \times (2.338 - 0.610t_3), & \text{intermed } Z, \\ 2.967 + t_3 \times (-4.797 + 2.827t_3), & \text{high } Z. \end{cases}$$

“low Z ” 指 $12 + \lg(\text{O}/\text{H}) < 7.2$, “intermed Z ” 指 $7.2 < 12 + \lg(\text{O}/\text{H}) < 8.2$, “high Z ” 指 $12 + \lg(\text{O}/\text{H}) > 8.2$

$$x_2 = 10^{-4} n_e t_2^{-0.5}$$

$$12 + \lg(\text{O}^+/\text{H}^+) = \lg \frac{I_{[\text{O II}]3727}}{I_{\text{H}\beta}} + 5.961 + \frac{1.676}{t_2} - 0.40 \lg t_2 - 0.034 t_2 + \lg(1 + 1.35 x_2),$$

电子温度方法优缺点

- 直接
- [OIII] λ 4363线很弱，尤其是在贫金属环境里
- 温度的改变会低估金属丰度 ~ 0.4 dex,主要还是[OIII] λ 4363会被高估。
- Te方法会低估氧丰度。

各种强线指标

1 $R_{23}: ([\text{O II}] \lambda 3727 + [\text{O III}] \lambda \lambda 4959, 5007) / \text{H}\beta,$

2 $\text{N2O2}: [\text{N II}] \lambda 6583 / [\text{O II}] \lambda 3727,$

3 $\text{N2}: [\text{N II}] \lambda 6583 / \text{H}\alpha,$

4 $\text{O3N2}: ([\text{O III}] \lambda 5007 / \text{H}\beta) / ([\text{N II}] \lambda 6583 / \text{H}\alpha).$

$$R_2 = I_{[\text{O II}]3727} / I_{\text{H}\beta} \quad R_3 = (I_{[\text{O III}]4959} + I_{[\text{O III}]5007}) / I_{\text{H}\beta},$$

5 $P = R_3 / R_{23}, \quad R_{23} = R_2 + R_3$

6 $R_3 = 1.35 \times (I_{[\text{O III}]5007} / I_{\text{H}\beta})$

7 $\text{N2S2}: [\text{N II}] 6583 / [\text{S II}] 6717, 6731.$

8 $\text{S2}: [\text{S II}] 6717, 6731 / \text{H}\alpha.$

9 $\text{S23}: ([\text{S II}] 6717, 6731 + [\text{S III}] 9069, 9532) / \text{H}\beta$

10 $S_{234} = \frac{I(\lambda 6725) + I(\lambda 9069) + I(\lambda 9532) + I(10.5 \mu\text{m})}{I(\text{H}\beta)}.$

11 S_{23} / R_{23}

$$R_{23} = ([\text{O II}] \lambda 3727 + [\text{O III}] \lambda \lambda 4959, 5007) / \text{H}\beta$$

- 方法一：先用其他方法估计金属丰度，然后用R23拟合。
- 方法二：用光致电离模型计算O/H丰度与R23的关系，在与观测数据做对比。
- 引用比较多的公式：

KD02, M91, KK04, T04, Z94, M08, P01,5, t²

(KD02和M91 都是通过光致电离模型得到，KK04是对这两个结果的修正)

(T04用5万左右SDSS 星系，观测统计的结果)

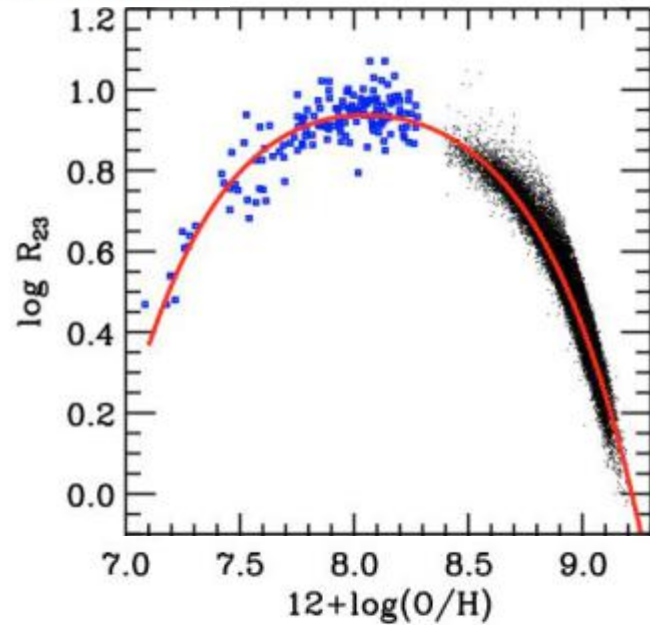
(ZKH94 用39个星系中150个HII区数据，观测统计的结果)

(M08 用红移在3-3.7之间的CDFs数据，对KD02进行修正)

(P01用的低金属丰度的银河系，河外漩涡星系，矮不规则星系样本)

$$R_{23} = ([\text{O II}] \lambda 3727 + [\text{O III}] \lambda\lambda 4959, 5007) / \text{H}\beta$$

- 有双峰结构
- 转折区 ($12 + \log(\text{O}/\text{H}) \approx 8.4$, $R_{23} \approx 0.8$)



Maiolino et al. 2008

- 一般来说 $M_B < -18 \text{ mag}$ 用富金属支
- R_{23} 对电离参数很敏感，尤其是贫金属支
- 尘埃消光很重要

$$R_{23} = ([\text{O II}] \lambda 3727 + [\text{O III}] \lambda \lambda 4959, 5007) / \text{H}\beta$$

公式优缺点：

- Z94 由于样本限制，只适用于富金属支 ($12 + \log > 8.35$)
- T04 只适用于富金属支， ($12 + \log > 8.5$)
- KK04 给出的是富金属支，因为M91没有给出贫金属公式
- M91, KD02 都要预先计算电离参数 q
- M08 会有计算不到 $12 + \log(\text{O}/\text{H})$ 的情况
- P01, P05 用了参数 P ，表征电离辐射场强度。
- t^2 是用参数 P 修正 R_{23}
-

N2 [N II] λ 6583/H α

- N元素由中、低质量恒星合成
 - NII和H α 线离的很近，因为比值受尘埃影响小
 - 总趋势
- 8.4 < 12 + log(O/H) < 9, N2 升高, 12 + log > 9, N2 降低

- 常用公式

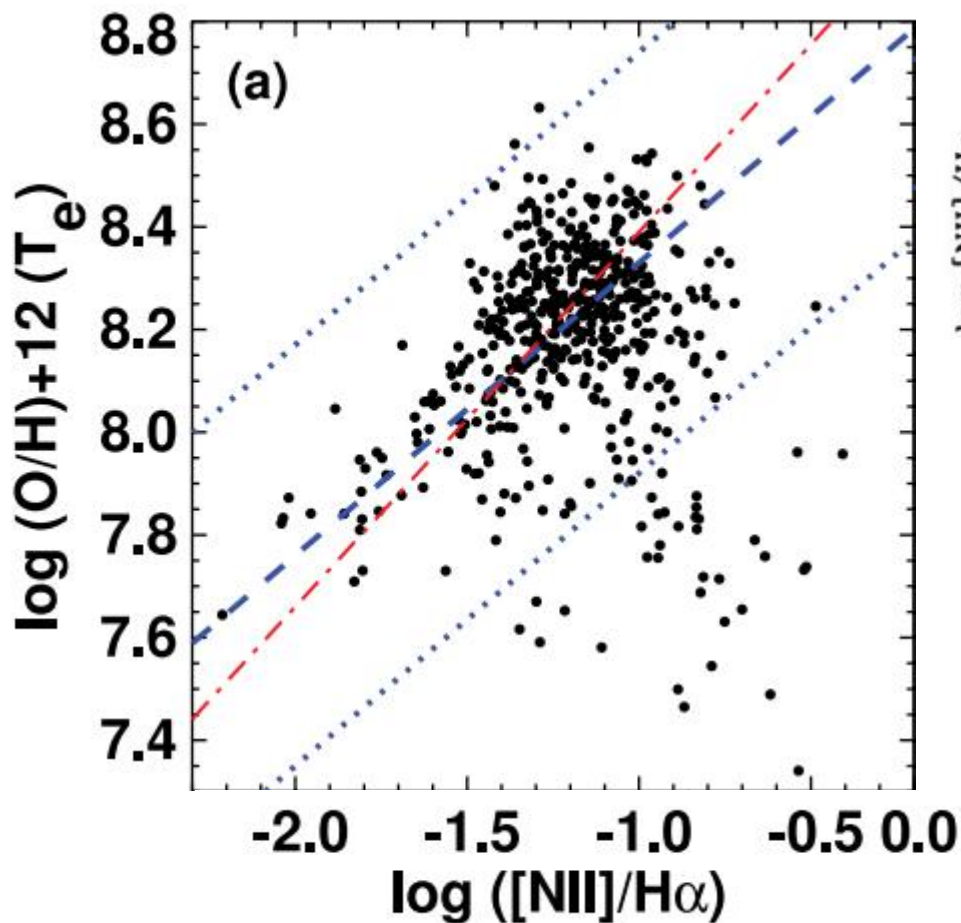
D02, PP04, M08, M13, EPM09

(D02用近邻128个富金属星系和108个贫金属星系样本，富金属用R23方法，贫金属用Te方法)

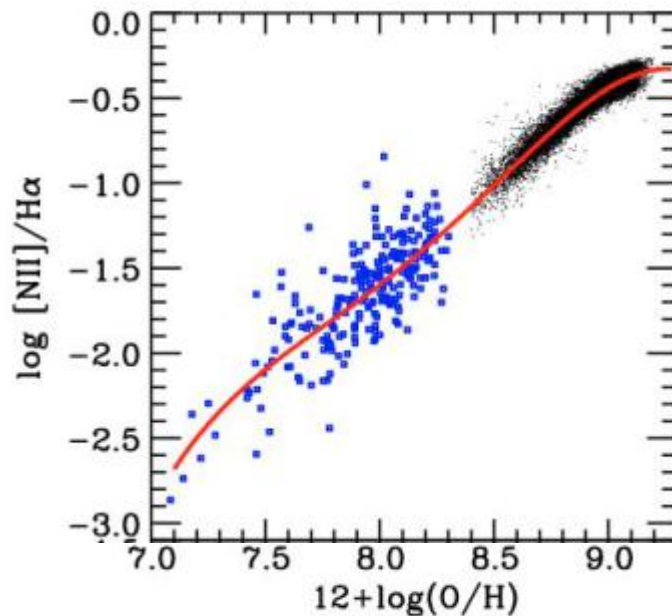
(PP04用D02的137个源，用光致电离模型和Te方法)

(M13用3423个HII区数据，修正了PP04, NAG06, PMC09的结果)

N2 $[\text{N II}] \lambda 6583 / \text{H}\alpha$



红色: D02, 蓝色: PP04, 黑
点: SDSS用 T_e 得到的数据
(kewley2008)



Maiolino et al. 2008

这三个公式
都只给出氧
丰度小于9的
情况

N2O2 $[\text{N II}] \lambda 6583 / [\text{O II}] \lambda 3727$

- 公式

KD02

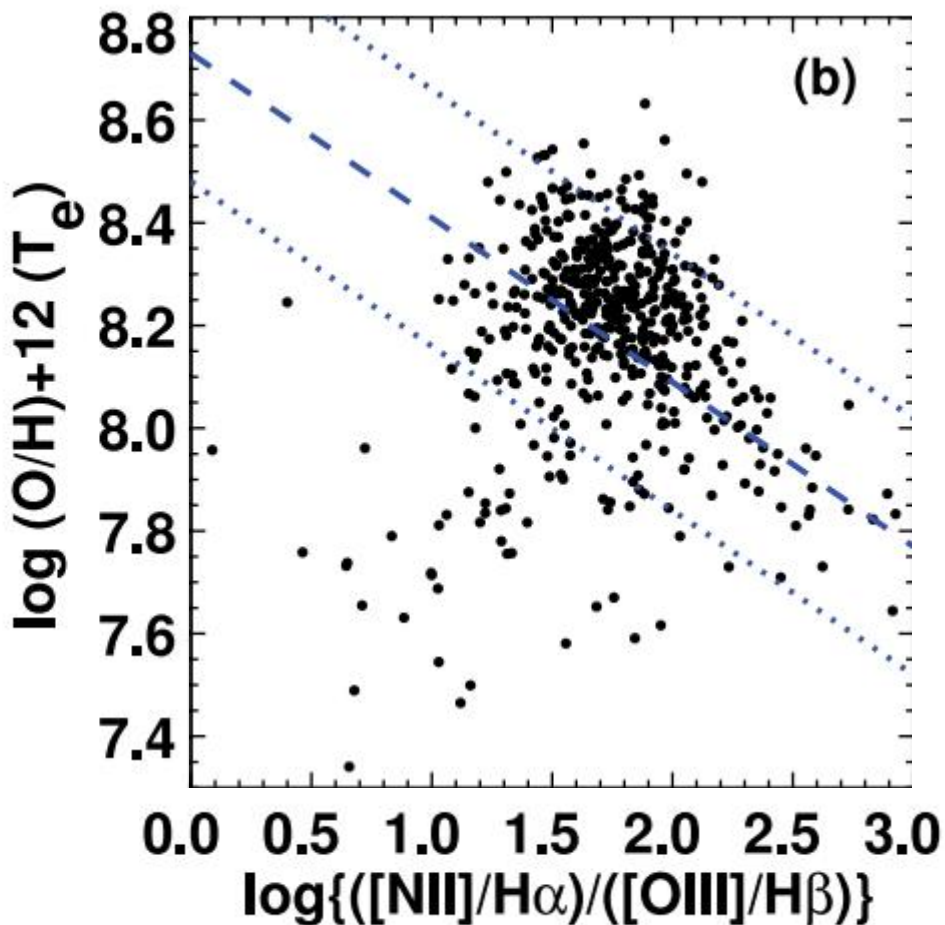
- 需要预先知晓电离参数
- 在富金属环境下，随金属丰度增加而增加
- 在贫金属($7.5 < 12 + \log(\text{O}/\text{H}) < 8.5$), 相关性变差，几乎与金属丰度无关。
- 需要尘埃改正
- 不受恒星吸收的影响，线强

O3N2 $([O\text{ III}]\ \lambda 5007/H\beta)/([N\text{ II}]\ \lambda 6583/H\alpha)$

- 公式

PP04, M13, EPM09

- 在富金属环境下，随金属丰度增加而降低
- 和N2O2相同，贫金属环境下相关性差
- 不受恒星吸收影响
- 尘埃消光影响基本消除，线强
- M13在金属丰度小于8.15处弥散大
- EMP09加入了N/O



蓝色：PP04，黑点：SDSS用Te得到的数据（kewley2008）

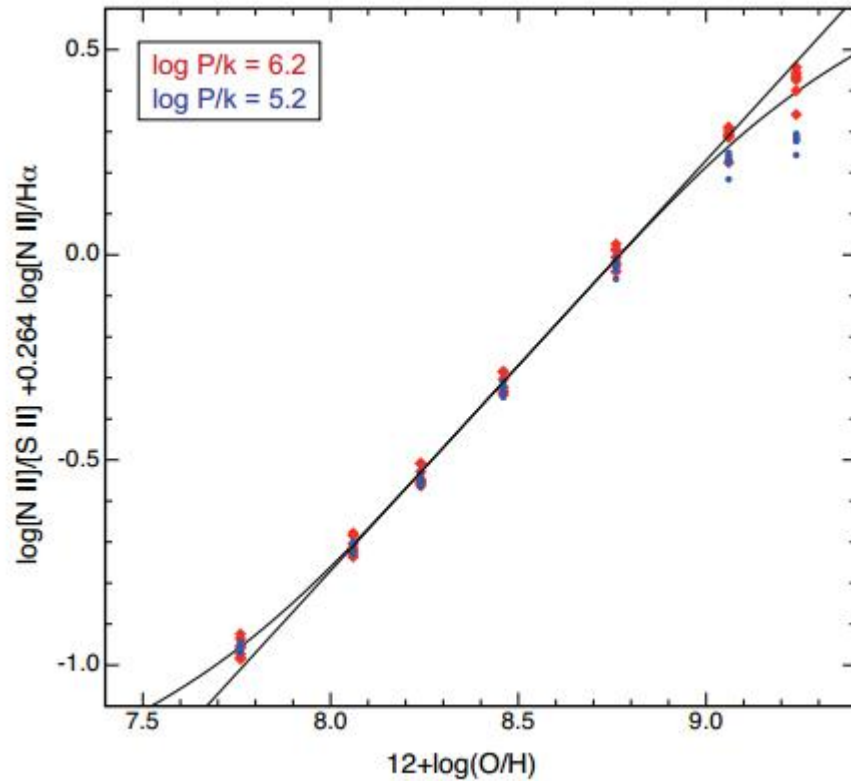
DOP16

- DOP16提出的新方法，改正 $N/O=N^+/O^+$
- [NII]6584, [SII]6717, 6731, Ha
- 研究的源都是高红移，优点：可以忽略红化，

$$y = \log [NII]/[SII] + 0.264 \log [NII]/H\alpha,$$
$$12 + \log (O/H) = 8.77 + y$$

If so desired, a somewhat improved fit can be got by adding a 5th. order correction term:

$$12 + \log (O/H) = 8.77 + y + 0.45(y + 0.3)^5,$$



The red group of points represent the models having $\log P/k = 6.2 \text{ cm}^{-3}\text{K}$, while the blue points are for $\log P/k = 5.2 \text{ cm}^{-3}\text{K}$. The lines shown are the best linear fits and 5th. order fits

ONS

- 主要用于 $12 + \log(\text{O}/\text{H}) > 8.0$ 的情况

- 在他的经验公式中用到了这些

$$R_2 = [\text{O II}](\lambda 3727 + \lambda 3729) = I_{[\text{O II}](\lambda 3727 + \lambda 3729)} / I_{\text{H}\beta},$$

$$N_2 = [\text{N II}](\lambda 6548 + \lambda 6584) = I_{[\text{N II}](\lambda 6548 + \lambda 6584)} / I_{\text{H}\beta},$$

$$S_2 = [\text{S II}](\lambda 6717 + \lambda 6731) = I_{[\text{S II}](\lambda 6717 + \lambda 6731)} / I_{\text{H}\beta},$$

$$R_3 = [\text{O III}](\lambda 4959 + \lambda 5007) = I_{[\text{O III}](\lambda 4959 + \lambda 5007)} / I_{\text{H}\beta}.$$

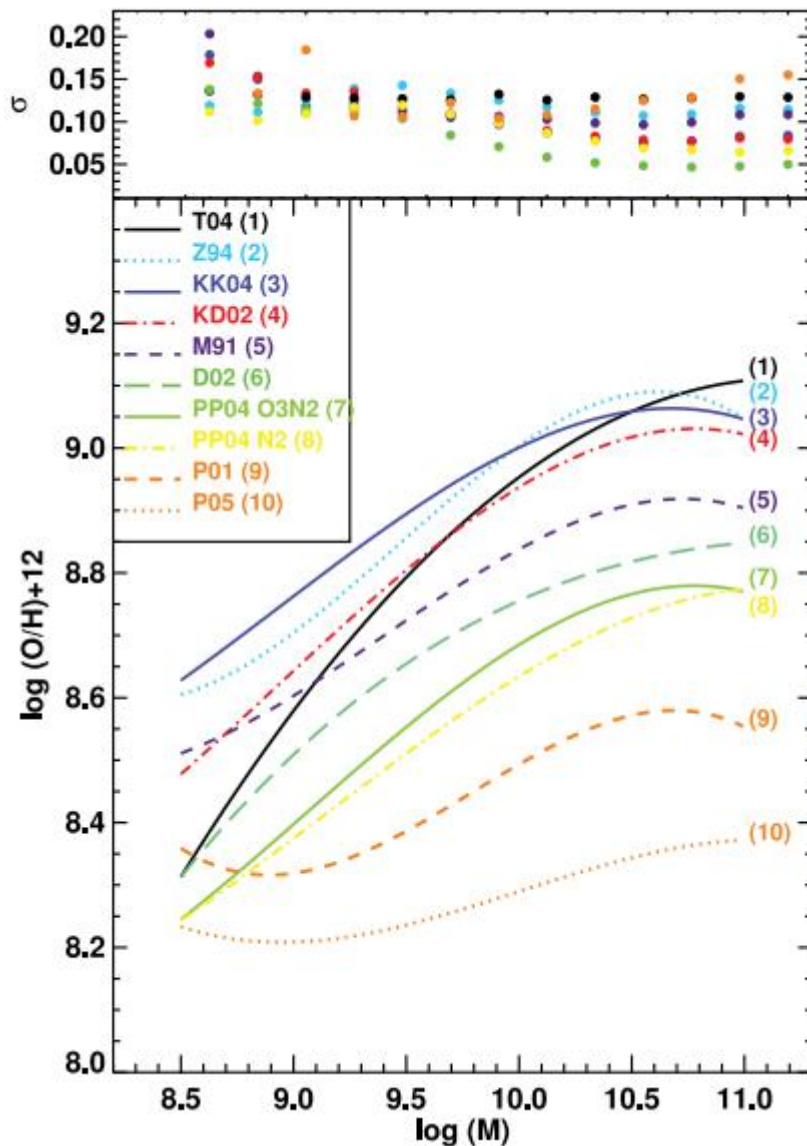
- 而且他是我看的文献里，第一个考虑不同温度情况

H II Region Class	Classification Criteria	Metallicity Range	Temperature Range
Cool	$\log(N_2) \geq -0.1$	$12 + \log(\text{O}/\text{H}) \gtrsim 8.4$	$0.85 \gtrsim t_2$
Warm	$\log(N_2) < -0.1, \log(N_2/S_2) \geq -0.25$	$8.55 \gtrsim 12 + \log(\text{O}/\text{H}) \gtrsim 8.0$	$1.2 \gtrsim t_2 \gtrsim 0.85$
Hot	$\log(N_2) < -0.1, \log(N_2/S_2) < -0.25$	$8.0 \gtrsim 12 + \log(\text{O}/\text{H})$	$t_2 \gtrsim 1.2$

- 除了ONS，还有只考虑ON的公式

总结

- 富金属星系，以上提到的公式都可用
- 贫金属星系，N2，O3N2，S2都适用
- K提出可以用N2，N2O2确定贫富
- S线比O线弱，而且波长长。对电离参数敏感。

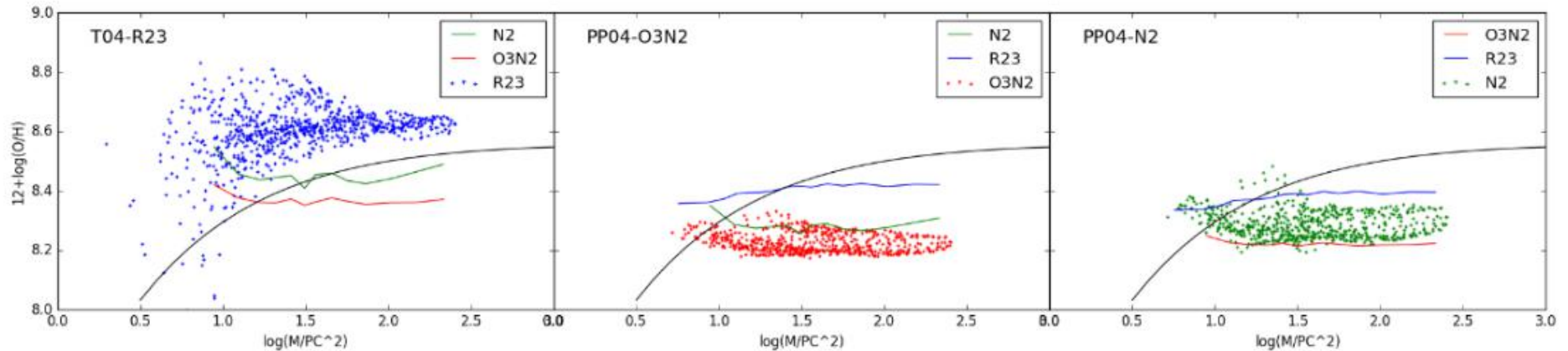


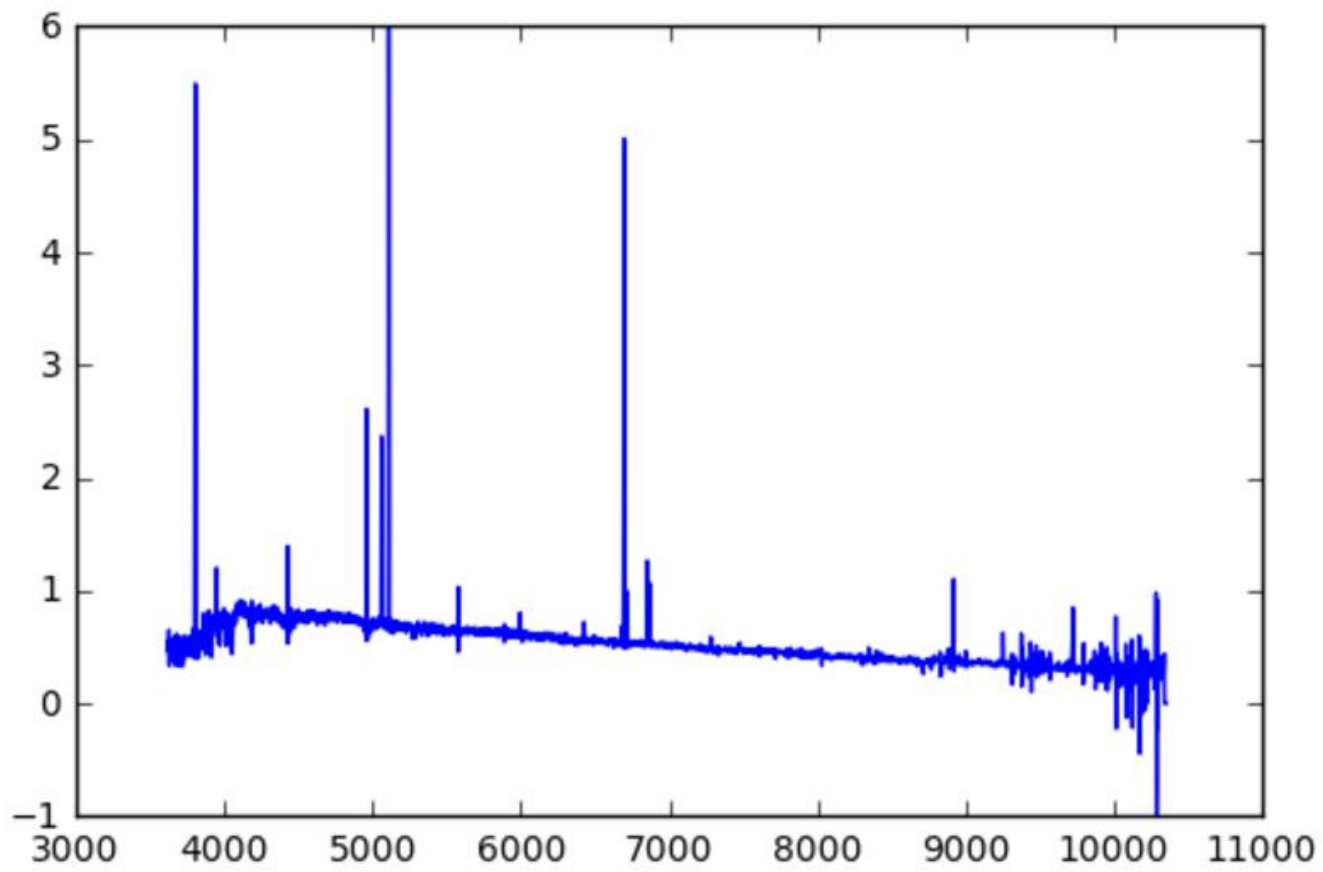
SDSS, 27730个SF星系DR4的数据 (kewley2008)

我的结果

- 根据Kewley 2008的文献，每种方法的比较。

manga-8548-3702





附录

R₂₃

- M91: McGaugh S S. *ApJ*, 1991, 380: 140
- KD02: Kewley L J, Dopita M A. *ApJS*, 2002, 142: 35
- KK04: Kobulnicky H A, Kewley L J. *ApJ*, 2004, 129: 239
- T04: Tremonti, C. A., Heckman, T. M., Kauffmann, G., et al. 2004, *ApJ*, 613, 898
- Z94: Zaritsky, D., Kennicutt, R. C., Jr., & Huchra, J. P. 1994, *ApJ*, 420, 87
- M08: Maiolino, R., Nagao, T., Grazian, A., et al. 2008, *A&A*, 488, 463
- P01: Pilyugin, L. S. 2001, *A&A*, 374, 412 (P01)
- t²: Peña-Guerrero M. A., Peimbert A., Peimbert M., 2012, *ApJ*, 756, L14

附录

N2

- **PP04:** Pettini, M., & Pagel, B. E. J. 2004, MNRAS, 348, L59
- **D02:** Denicoló, G., Terlevich, R., & Terlevich, E. 2002, MNRAS, 330, 69
- **NAG06:** Nagao, T., Maiolino, R., & Marconi, A. 2006, A&A, 459, 85
- **M13:** Marino R. A., et al., 2013, A&A, 559, A114
- **PMC09:** Pérez-Montero, E., & Contini, T. 2009, MNRAS, 398, 949

附录

O3N2

- **PP04:** Pettini, M., & Pagel, B. E. J. 2004, MNRAS, 348, L59
- **M13:** Marino R. A., et al., 2013, A&A, 559, A114
- **EPM09:** Pérez-Montero E., Contini T., 2009, MNRAS, 398, 949

附录

N2O2

- **KD02:** Kewley L J, Dopita M A. *ApJS*, 2002, 142: 35

其他

- **DOP16:** Dopita M. A., Kewley L. J., Sutherland R. S., Nicholls D. C., 2016, *Ap&SS*, 361, 61
- **ONS:** Pilyugin L. S., Vílchez J. M., Thuan T. X., 2010, *ApJ*, 720, 1738

主要参考资料:

梁艳春 2006 天文学进展 24 4

Kewley 2008 *Apj* 681 1183

<http://www.ifa.hawaii.edu/~kewley/Metallicity/>