

## 前沿

## DB 白矮星

J. B. Oke

(美国加利福尼亚理工学院天文系)

白矮星是一种简并星, 它可分为DA、DB、DC、DF和DG 5种。其中, DA占90%, 剩下的大多是DB。

关于DB白矮星, 我们知道的很少, 主要是由于下面几个原因:

1. 在DB恒星大气中富含氦, 这给恒星大气模型的计算带来了很大的困难;
2. DB星要远远少于DA星, 一般说来它们也要暗得多, 对最近的DB星, 其距离约是40pc, 而视星等大于14<sup>m</sup>。这样, 高质量的光谱就很少;
3. 它的光谱对引力  $g$  不是很敏感, 所以要测量  $g$  就需要非常好的光谱。

为了解开DB白矮星之谜, 我们需要知道以下几点:

1. 有效温度  $T_e$ ,  $\log g$ , 还有质量大小及其分布;
2. DB的质量与DA是否相近, 即DA和DB都是从同一源演化而来的这样一种可能性是否成立?

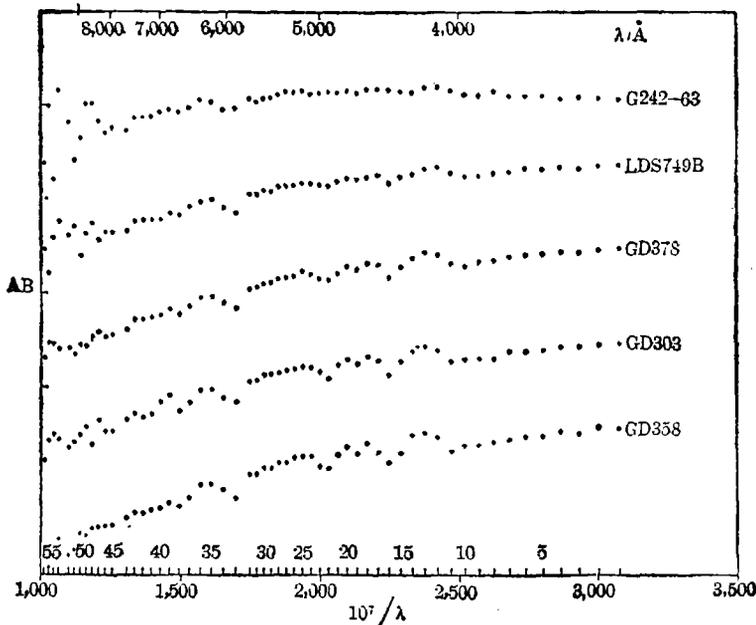


图 1

1986年12月12日收到。

3. DB在总的白矮星数目中所占的比例；

4. 估算其距离和出生率。

我们的观测是利用安装在5米望远镜上的多通道摄谱仪进行的，使用的分辨率是  $80/160 \text{ \AA}$ 。我们在1970年和1980年利用37个夜晚，观测了能在帕洛玛观测到的被认为是DB白矮星的总共35个天体。图1给出了一些观测的结果。从图上可以看到，

1. 存在  $H\delta$  线；

2. 由于He I，在  $4,000 \text{ \AA}$  附近有跃变存在；

3. 在远红端数据很不理想。

在35个天体中，有几个不是DB星。G 242-63是一个DC星(其  $T_e < 10,000\text{K}$ )，LB 378A是一个很冷的天体，可能是  $C_2$  星，GD 323(1302+59)是一个热的DAB，具有H线，而G 227-5(1728+56)是一个奇特的看起来很热(18,000K)的星，它没有He I线，但却具有众多的CI线。表1给出了所观测的DB星的细节。

对恒星大气模型的计算主要是依据Koester (1980)<sup>[1]</sup>的工作，我们作了一些小的修正和扩充。我们取(按数密度计)  $\text{He}/\text{H} = 10^5$ ，因为如果我们像文献[2]，[3]和[4]中那样取  $\text{He}/\text{H} = 10^4$ ，则  $L_\alpha$  线就会和IUE的观测不符。另外从对DC和  $C_2$  星的分析，我们取  $\text{C}/\text{He} = 10^{-6}$ 。我们对  $12,000\text{K} \leq T_e \leq 40,000\text{K}$  和  $7.0 \leq \log g \leq 8.5$  进行计算。在计算中，还包括了以前没有计及的波长短于  $4,000 \text{ \AA}$  的HI线。另外，我们还对Stark加宽理论作了一些修正，它导致了一些谱线轮廓的改变。现在， $\lambda 4,388 + \lambda 4,472$  线的混合能更好地与观测相符了。

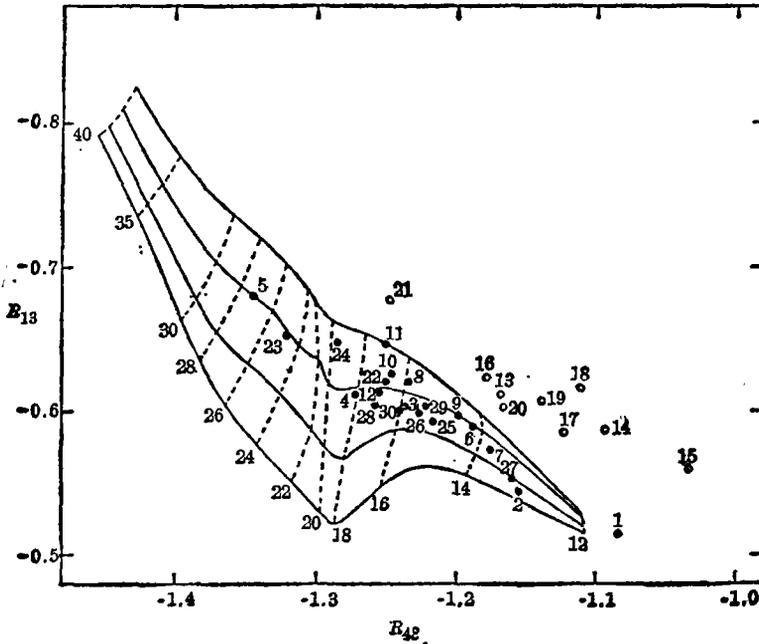


图 2

Schulz 宽带颜色  $R_{13}$  和  $R_{48}$  被分别定义为在波长间隔  $1, 3, 4, 8, \lambda \lambda 3, 300-3, 700, 4, 200-4, 600, 4, 600-5, 200$  和  $6, 800-7.200 \text{ \AA}$  中的平均辐射流的比值, 即  $R_{ik} = -2.5[\log \langle F \rangle_j - \log \langle F \rangle_k]$ . 图 2 给出了其计算值和观测值. 从图上我们可以看到, 除了几个有薄云和雾的夜晚的数据以外, 观测值形成了一个很好的序列, 与理论预言值大致相符.

对恒星大气模型的拟合是利用最小方差法来完成的, 其方法与 Koester (1979)<sup>[5]</sup> 的完全一样. 其结果给出了最好的  $T_e$  和  $\log g$ , 见表 1 和图 3. 利用质量-半径关系, 我们可以计算天体的质量、半径和距离. 图 4 给出了质量分布. 质量  $M$  的范围是  $0.525 \pm 0.12M_\odot$ .

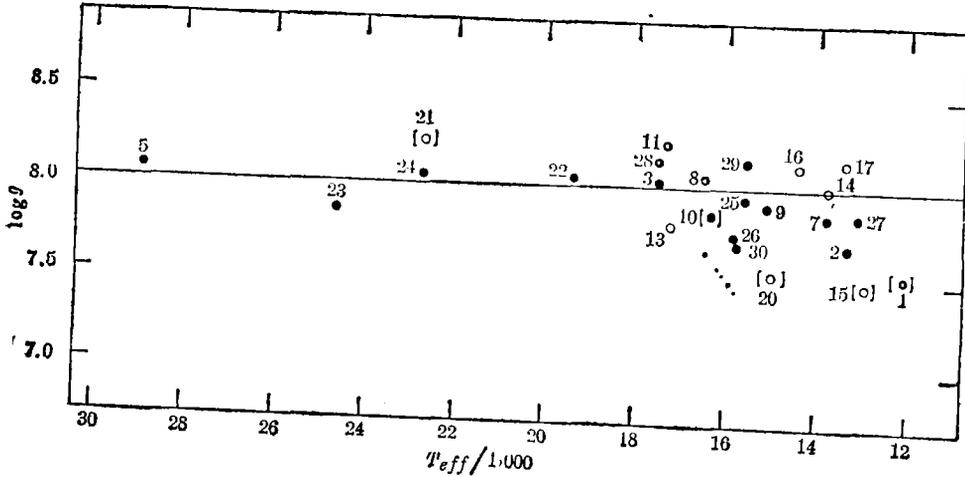


图 3

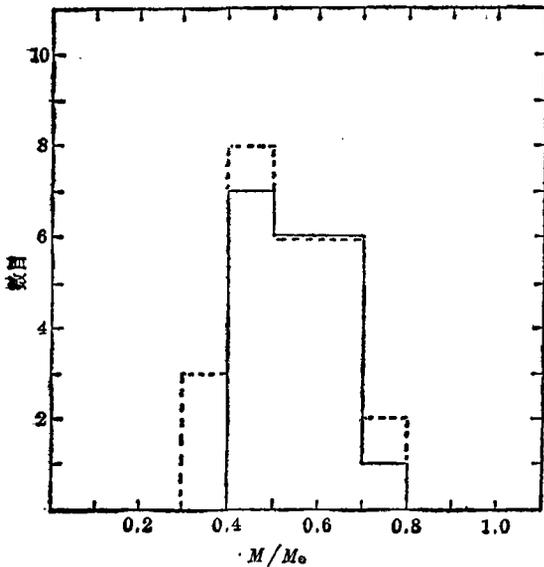


图 4

我们还可以从我们的数据去估算 DB 白矮星的空间分布, 其数据是  $4.5 \times 10^{-5} \text{ DB/pc}^3$ . 这就是说, 如果我们假设冷却到 DB 温度范围  $12,000 \text{ K}$  以下的时间是  $2 \times 10^8$  年, 则 DB 白矮星的出生率是  $2.2 \times 10^{-13} \text{ DB/pc}^3 \cdot \text{yr}$ . 这大约是总的白矮星出生率 ( $2 \times 10^{-12} \text{ WD/pc}^3 \cdot \text{yr}$ , Weidemann [1977]<sup>[6]</sup>) 的  $1/10$ . Weidemann 发现 DC 和  $C_2$  星的出生率约是白矮星总出生率的  $12\%$ , 这一估算的误差较大, 所以此结果是与 DC 和  $C_2$  星是冷下来的 DB 星假说相容的. 有一些迹象表明, DB 在低光度时很多, 这可能是由于对流, 混合了表面的 H 层, 使得 DA 变成了别的天体.

现在我们来讨论脉动白矮星问题.

在 DB 白矮星中, 有一类变星, 它们有脉动. 属于这一类星的只有两个天体: GD

358和PG 1654 + 160。ZZ Ceti变星也属于白矮星,在其恒星大气中H占主要地位,因此属于DA型。Winget等人(1982a)<sup>[7]</sup>在研究ZZ Ceti星时预言, DB白矮星在 $T_e \sim 19,000\text{K}$ 附近存在不稳定区域。此预言已被脉动DB白矮星GD 358和PG 1654 + 160的发现所证实(Winget et al., 1982b<sup>[8]</sup>)。这两颗星在140—1,000秒的周期范围内,显示出 $0.2^m - 0.3^m$ 的光变。这在白矮星中是典型的非径向g模式振动。Robinson和Winget(1983)<sup>[9]</sup>研究了很多DB星,但他们的结果表明绝大多数DB白矮星都不产生振动,也就是说振动只可能在一个很窄的 $T_e$ 范围( $\sim 3,000\text{K}$ )内发生。Winget等人(1983)<sup>[10]</sup>的研究指出如果使用标准的混合长度理论,不稳定区是在16,000—19,000K,而如果对流更有效的话,则不稳定区是在26,000—29,000K。

表1 DB白矮星的大气参数和导出特性

序号	坐标名	名称	EG或Gr 编号	V	观测 夜晚	$T_e$	$\log g$	$M(g)$	$\log R/R_e(g)$	$X^2$	Set No.	距离 (pc)	注释
1	0000-17	G206-32	508	15.2	193	12110(170)	[7.52(0.67)]	0.32(0.28)	-1.79(0.15)	1.0	I	46.9(16.3)	
2	0002+12	GD 408	305	14.3	191	13310(190)	7.69(0.36)	0.40(0.18)	-1.83(0.09)	0.6	I	40.3 (8.1)	
3	0017+13	Feige 4	3	15.3	191	17540(400)	8.01(0.12)	0.57(0.07)	-1.91(0.03)	1.2	I	71.5(5.3)	
4	0100-06	G270-124	513	13.8	192	19000—23000	...	...	...	...	...	...	a
5	0112+10	PG179-39	409	15.4	192	28900(560)	8.07(0.15)	0.61(0.10)	-1.92(0.04)	1.3	I	94.3(9.3)	
6	0119-00	G271-47	516	16.0	192	[24000]	...	...	...	>8	...	...	b
7	0300-01	GD 40	384	15.5	191	13730(200)	7.85(0.32)	0.48(0.18)	-1.86(0.08)	1.3	I	67.3(12.5)	c
8	0435+41	GD 61	315	14.9	192	16410(370)	8.05(0.14)	0.60(0.09)	-1.92(0.04)	1.0	I	51.6(4.7)	
9	0437+13	LP475-242	316	14.8	191	15090(260)	7.91(0.19)	0.51(0.11)	-1.88(0.05)	1.3	I	55.1(6.3)	e
10	0716+40	GD 85	216	14.9	193	16280(310)	[7.86(0.14)]	0.48(0.08)	-1.87(0.03)	2.7	I	58.3(4.8)]	
11	0841+26	Ton 10	291	14.5	194	17310(380)	8.24(0.12)	0.72(0.08)	-1.97(0.04)	1.1	I	48.0(4.0)	
12	0845-18	LDS 2358	63	15.6	194	[17800]	...	...	...	>7	...	...	b
13	1011+57	GD 303	386	14.6	196	17180(400)	7.79(0.12)	0.45(0.06)	-1.85(0.03)	1.0	I	58.6(4.1)	
14	1046-01	GD 124	387	15.8	196	13730(200)	8.00(0.34)	0.57(0.21)	-1.90(0.09)	2.3	I	70.7(14.7)	
15	1048+04	LP551-21	...	16.7	196	12850(170)	[7.48(0.46)]	0.30(0.18)	-1.78(0.10)	3.2	I	136.1(13.6)]	
16	1107+26	Ton 573	77	15.9	197	14390(250)	8.12(0.30)	0.64(0.19)	-1.94(0.08)	0.9	I	70.1(13.4)	
17	1241+65	GD 479	292	16.8	197	13340(210)	8.17(0.51)	0.68(0.34)	-1.95(0.15)	1.8	I	93.8(31.5)	
18	1304+15	GD 268	390	17.0	197	[13200]	...	...	...	3.5	I	...	
19	1403-01	G64-43	272	15.9	197	14440(260)	...	...	...	...	...	...	
20	1459+82	G256-18	393	14.8	197	15030(270)	[7.52(0.21)]	0.32(0.09)	-1.79(0.005)	0.8	I	63.8(7.0)]	
21	1542+18	GD 190	193	14.6	197	22670(990)	[8.22(0.15)]	0.71(0.10)	-1.97(0.04)	1.0	I	53.7(5.7)]	
22	1612-11	GD 198	194	15.5	198	19270(630)	8.02(0.10)	0.58(0.06)	-1.91(0.03)	1.5	I	80.6(5.4)	
23	1645+32	GD 358	239	14.0	198	24610(480)	7.84(0.16)	0.47(0.05)	-1.86(0.04)	1.4	I	43.6(4.2)	d
24	1709+23	GD 205	224	15.0	198	22750(900)	8.03(0.14)	0.58(0.09)	-1.91(0.04)	1.1	I	65.5(5.7)	
25	1822+41	GD 378	242	14.0	193	15590(270)	7.93(0.17)	0.53(0.10)	-1.89(0.04)	0.9	I	41.0(4.2)	
26	1940+37	L 1573-31	133	14.5	193	15820(270)	7.71(0.16)	0.41(0.08)	-1.83(0.04)	1.0	I	53.3(4.8)	
27	2129+00	LDS 7498	145	14.7	192	13150(190)	7.86(0.40)	0.48(0.22)	-1.87(0.10)	0.7	I	42.6(9.8)	
28	2130-04	GD 233	146	14.5	192	17500(390)	8.14(0.11)	0.66(0.08)	-1.94(0.03)	1.4	I	44.3(3.4)	f
29	2144-07	L930-80	149	14.8	193	15540(260)	8.14(0.18)	0.66(0.12)	-1.94(0.05)	1.0	I	45.6(5.4)	
30	2251+74	GD 554	504	16.7	192	15720(270)	7.69(0.16)	0.40(0.08)	-1.83(0.04)	1.4	I	129.8(12.0)	

(a) 处理结果不一致; (b) 光谱扫描纸质量; (c) 带有金属线的DB型; (d) 脉动DB型;  
(e) 毕星团 $D=44\text{pc}$ ; (f) 三角视差 $D=43\text{pc}$ 。

这里我们来研究GD 358。在上面Winget等人的文章中，对恒星大气模型的计算得出 $T_e = 24,000\text{K}$ ,  $\log g = 7.8$ 。我们给出新的观测结果，这是用帕洛玛双摄谱仪得到的，并对这些数据进行了分析。

图5给出了在一个很小的范围内的观测结果，它用实线表示。注意IUE的数据已经加在里面了。

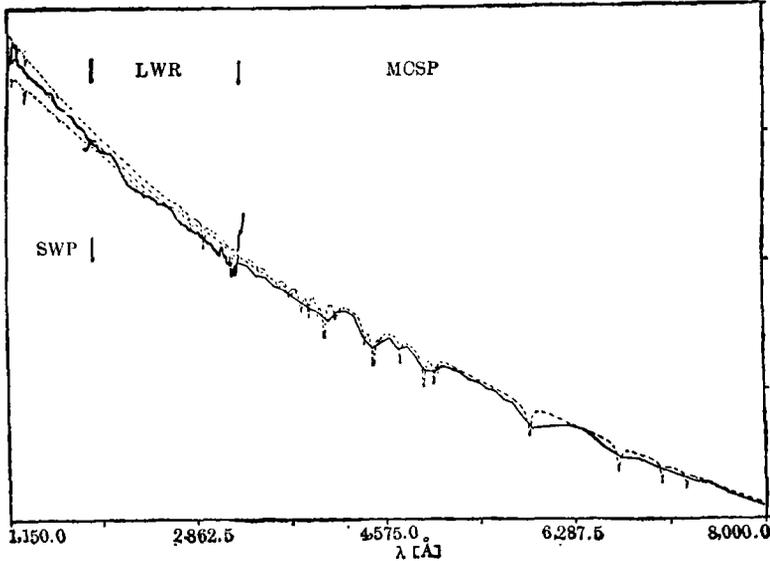


图 5

在分析计算中，我们使用了新的恒星大气模型，这模型比以前的要合理。在这个模型中，我们使用了最好的线加宽理论(Barnard et al., 1969<sup>[11]</sup>; Shamey, 1969<sup>[12]</sup>)，分析了线性和平方Stark加宽效应，采用了最新的关于He的连续吸收系数。我们取(按数密度计)  $\text{H}/\text{He} = 10^{-6}$ ,  $\text{C}/\text{He} = 10^{-7}$ ，这两数值在我们这里所考虑的较高温度下是可行的。最后得到 $T_e = 24,000 \pm 1,000\text{K}$ ,  $\log g = 8.0 \pm 0.3$ 。另外，从 $\text{L}_\alpha$ 得到  $\text{H}/\text{He} \leq 5 \times 10^{-6}$ ；从 $\text{C II } 1,335$ 得到  $\text{C}/\text{He} < 10^{-6}$ 。对别的元素丰度，可以用Stumkat (1983)<sup>[13]</sup>的方法去得到其上限值。从C、Mg和Si对He的数密度比值的上限，得出金属元素对He的数密度的比值要比在太阳系里的低。

我们知道GD 205和GD 190的 $T_e$ 在23,000K附近，但它们并不脉动；PG 179-39的 $T_e \sim 29,000\text{K}$ ，它也不存在脉动现象。而从GD 358的 $T_e$ ，可以知道它是一颗脉动DB白矮星，所以我们得出不稳定区在25,000K附近。这说明对流要比在标准混合长度理论模型中更为有效。

### 参 考 文 献

- [1] Koester, D., *A. Ap. Suppl.*, 39 (1980), 401.
- [2] Wickramasinghe, D. T., in *IAU Colloquium No. 53*, p. 35, (1979).
- [3] Wickramasinghe, D. T., *M.N.R.A.S.*, 203 (1983), 903.
- [4] Wickramasinghe, D. T. and Reid, N., *M.N.R.A.S.*, 203 (1983), 887.
- [5] Koester, D., in *IAU Colloquium No. 53*, p. 130, (1979).
- [6] Weidemann, V., *A. Ap.*, 61 (1977), L27.

- 
- [7] Winget, D. E., Van Horn, H. M., Tassoul, M., Hansen, C. J., Fontaine, G. and Carroll, B. W., *Ap.J.*, 252 (1982a), L65.
- [8] Winget, D.E., Robinson, E. L., Nather, R. E. and Fontaine, G. *Ap. J.*, 262 (1982b), L11.
- [9] Robinson, E. L. and Winget, D. E., *PASP*, 95 (1983), 386.
- [10] Winget, D. E., Van Horn, H. M., Tassoul, M., Hansen, C. J. and Fontaine, G., *Ap. J.*, 268 (1983),L33
- [11] Barnard, A. J., Cooper, J. and Shamey, L. J. *A. Ap.*, 1 (1969), 28.
- [12] Shamey, L. J., Thesis, Loyola University of Los Angeles, (1969).
- [13] Stumkat, Diplom Thesis, Universität Kiel, (1983).

(左林 何香涛编译)

## DB White Dwarf

J. B. Oke

(Department of Astronomy, California Institute of Technology, USA)