



### Frage 1: Olbers Paradox

Es wurde lange davon ausgegangen, dass das Universum unendlich ausgedehnt und statisch ist (sich also nicht entwickelt). Ein solches Universum können wir z.B. dadurch beschreiben, dass sich in diesem Universum die Dichte einer bestimmten Art von Standardkerzen überall konstant ist.

- a) Zeigen Sie, dass daraus folgt, dass der Himmel unendlich hell sein sollte. Dieses Problem wird das Olbers'sche Paradox genannt.
- b) Wie kann Olber's Paradox gelöst werden?

### Frage 2: Das Hubble-Diagramm

- a) Zeigen Sie, dass aus der Hubble-Beziehung und aus der Definition der Magnitude folgt, dass

$$m = M - 5 - 5 \log H_0 + 5 \log(cz) \quad (2.1)$$

Für Standardkerzen ( $M = \text{const.}$ ) besteht also eine lineare Beziehung zwischen der scheinbaren Helligkeit  $m$  und  $\log(cz)$ .

- b) Die folgende Tabelle von Hamuy et al. (1996, AJ 112(6), 2398) enthält die Peak-Magnituden von 32 nahen SN Ia aus dem Calán/Tolo-Sample (*Achtung:  $V_{MAX}$  ist trotz des Grossbuchstabens eine scheinbare Helligkeit*). Zeigen Sie durch Plotten einer Auswahl der Quellen, dass diese näherungsweise Gl. 2.1 erfüllen.

TABLE 1. Colors and magnitudes of the Calán/Tololo supernovae Ia.

(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)
SN	$\log(cz)$ CMB	$B_{MAX}$	$V_{MAX}$	$I_{MAX}$	$B_{MAX} - V_{MAX}$	$M_{MAX}^B$ $+5\log(H_0/65)$	$M_{MAX}^V$ $+5\log(H_0/65)$	$M_{MAX}^I$ $+5\log(H_0/65)$	$\Delta m_{15}(B)$	EW(NaID) [Å]
90O	3.958(28)	16.32(10)	16.31(08)	16.70(09)	0.01(05)	-19.40(17)	-19.41(16)	-19.02(17)	0.96(10)	<0.2
90T	4.080(22)	17.16(21)	17.12(16)	17.35(15)	0.04(10)	-19.17(24)	-19.21(19)	-18.98(19)	1.15(10)	1.0
90Y	4.066(22)	17.70(21)	17.37(16)	17.61(15)	0.33(10)	-18.56(24)	-18.89(20)	-18.65(19)	1.13(10)	<4.0
90af	4.178(17)	17.87(07)	17.82(06)	—	0.05(03)	-18.95(11)	-19.00(11)	—	1.56(05)	<0.2
91S	4.223(16)	17.81(21)	17.77(16)	18.07(15)	0.04(10)	-19.24(22)	-19.28(18)	-18.98(17)	1.04(10)	<0.4
91U	3.992(28)	16.40(21)	16.34(16)	16.52(15)	0.06(10)	-19.49(25)	-19.55(21)	-19.37(20)	1.06(10)	0.8
91ag	3.616(63)	14.62(14)	14.54(15)	14.86(19)	0.08(05)	-19.40(35)	-19.48(35)	-19.16(37)	0.87(10)	0.0
92J	4.137(20)	17.70(21)	17.58(16)	17.84(15)	0.12(10)	-18.92(23)	-19.04(19)	-18.78(18)	1.56(10)	<0.2
92K	3.523(92)	15.83(21)	15.09(16)	14.94(15)	0.74(10)	-17.72(44)	-18.46(42)	-18.61(42)	1.93(10)	<0.2
92P	3.897(35)	16.08(07)	16.11(06)	16.39(06)	-0.03(03)	-19.34(18)	-19.31(18)	-19.03(18)	0.87(10)	1.2
92ae	4.351(12)	18.62(12)	18.51(08)	—	0.11(05)	-19.07(13)	-19.18(10)	—	1.28(10)	<0.5
92ag	3.891(36)	16.41(08)	16.28(07)	16.41(06)	0.13(05)	-18.98(19)	-19.11(18)	-18.98(18)	1.19(10)	1.1
92al	3.627(60)	14.60(07)	14.65(06)	14.94(06)	-0.05(03)	-19.47(32)	-19.42(31)	-19.13(31)	1.11(05)	<0.05
92aq	4.481(09)	19.45(09)	19.35(07)	19.77(09)	0.10(05)	-18.89(10)	-18.99(08)	-18.57(10)	1.46(10)	<1.1
92au	4.260(14)	18.21(21)	18.16(16)	18.41(15)	0.05(10)	-19.03(22)	-19.08(18)	-18.83(17)	1.49(10)	<1.3
92bc	3.774(44)	15.18(07)	15.24(06)	15.58(05)	-0.08(03)	-19.64(23)	-19.56(23)	-19.22(22)	0.87(05)	<0.2
92bg	4.030(25)	16.72(08)	16.76(07)	17.04(06)	-0.04(05)	-19.36(15)	-19.32(14)	-19.04(14)	1.15(10)	<0.3
92bh	4.131(20)	17.70(08)	17.62(06)	17.80(06)	0.08(03)	-18.89(13)	-18.97(11)	-18.79(11)	1.05(10)	<0.5
92bk	4.240(15)	18.11(10)	18.11(07)	18.31(06)	0.00(05)	-19.03(12)	-19.03(10)	-18.83(10)	1.57(10)	<0.4
92bl	4.110(20)	17.36(08)	17.36(07)	17.64(06)	0.00(05)	-19.13(13)	-19.13(12)	-18.85(12)	1.51(10)	<0.5
92bo	3.736(46)	15.86(07)	15.85(06)	15.97(05)	0.01(03)	-18.76(25)	-18.77(25)	-18.65(24)	1.69(05)	<0.2
92bp	4.374(11)	18.41(07)	18.46(06)	18.78(06)	-0.05(05)	-19.40(09)	-19.35(08)	-19.03(08)	1.32(10)	<1.1
92br	4.420(10)	19.38(17)	19.34(10)	—	0.04(05)	-18.66(18)	-18.70(11)	—	1.69(10)	<4.0
92bs	4.279(14)	18.37(09)	18.30(07)	—	0.07(05)	-18.96(11)	-19.03(10)	—	1.13(10)	<3.1
93B	4.326(13)	18.53(11)	18.41(09)	18.70(10)	0.12(05)	-19.04(13)	-19.16(11)	-18.87(12)	1.04(10)	<0.5
93H	3.872(37)	16.84(08)	16.61(06)	16.55(06)	0.23(05)	-18.45(19)	-18.68(19)	-18.74(19)	1.69(10)	1.2
93O	4.193(17)	17.67(07)	17.76(06)	17.99(06)	-0.09(03)	-19.23(11)	-19.14(10)	-18.91(10)	1.22(05)	<0.1
93ag	4.177(18)	17.72(08)	17.69(06)	18.01(06)	0.03(05)	-19.10(12)	-19.13(11)	-18.81(11)	1.32(10)	?
93ah	3.935(29)	16.33(21)	16.37(16)	16.68(15)	-0.04(10)	-19.28(26)	-19.24(22)	-18.93(21)	1.30(10)	?

- c) Hamuy et al. finden nach einigen weiteren Korrekturen durch eine lineare Regression an die V-Band Magnituden in der obigen Tabelle, dass

$$m_{v,max} = 5 \log cz - 3.329 \quad ()$$

und aus der Kalibration an nahen Supernovae  $V_{max} = -19.31$  mag. Was ergibt sich für  $H_0$ ?

### **Frage 3: Vorlesungsnachbearbeitung**

- a) Welche Argumente sprechen dafür, dass das Universum mit einem Urknall begonnen hat?
- b) Welche Argumente sprechen dafür, dass das frühe Universum durch eine inflationäre Phase gegangen ist?
- c) Spekulieren Sie über den inneren Aufbau der ersten Generation massereicher Sterne des Spektraltyps O und B, also der Sterne, die aus den primordial erzeugten Elementen entstanden sind.