

Межфакультетский учебный курс

Общая астрономия

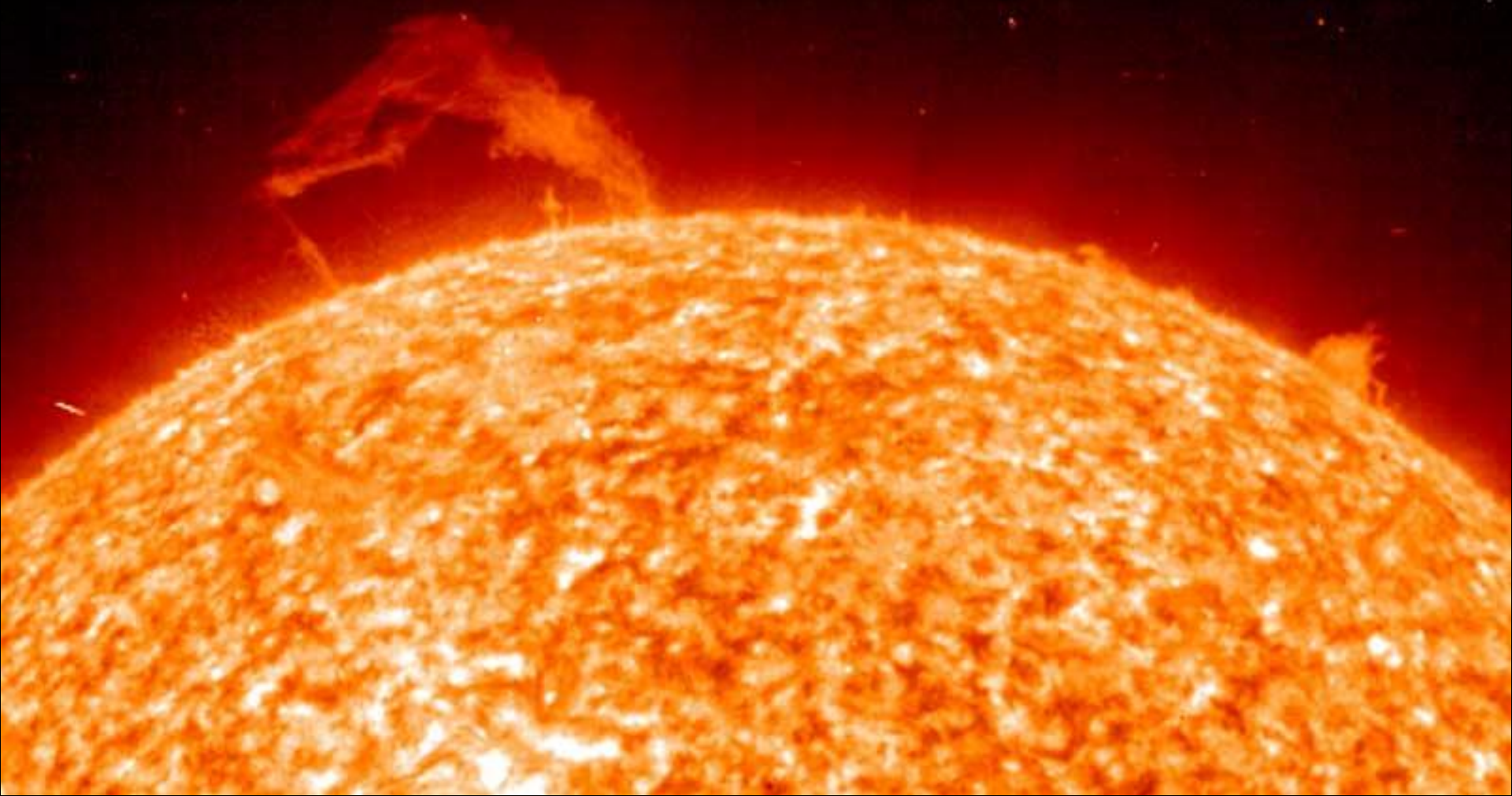
доцент, к.ф.-м.н. Владимир Георгиевич Сурдин



Лекция 11 - Звёзды: эволюция

*ПРИРОДА
И
ЭВОЛЮЦИЯ
ЗВЕЗД*

Источники энергии звёзд



Химические реакции

уголь, нефть, газ



2×10^7 Дж/кг

Химические реакции

$$M_{\odot} = 2 \times 10^{33} \text{ г} = 2 \times 10^{30} \text{ кг}$$

$$L_{\odot} = 4 \times 10^{33} \text{ эрг/с} = 4 \times 10^{26} \text{ Вт}$$

$$Q = 2 \times 10^7 \text{ Дж/кг}$$

$$t = \frac{M_{\odot} Q}{L_{\odot}} = \frac{2 \times 10^{30} \cdot 2 \times 10^7}{4 \times 10^{26} \cdot 3 \times 10^7} = 3 \times 10^3 \text{ лет}$$

Работа силы тяжести

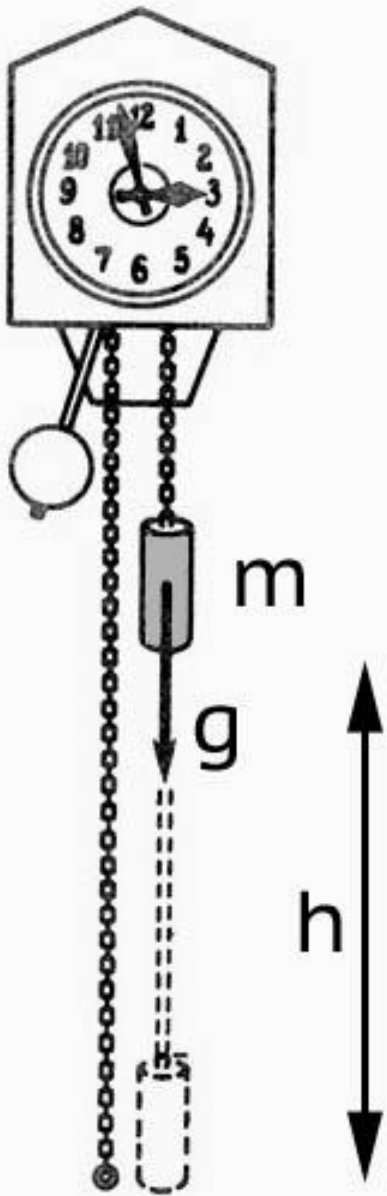
$$E = mgh$$

$$g = \frac{GM}{R^2}$$

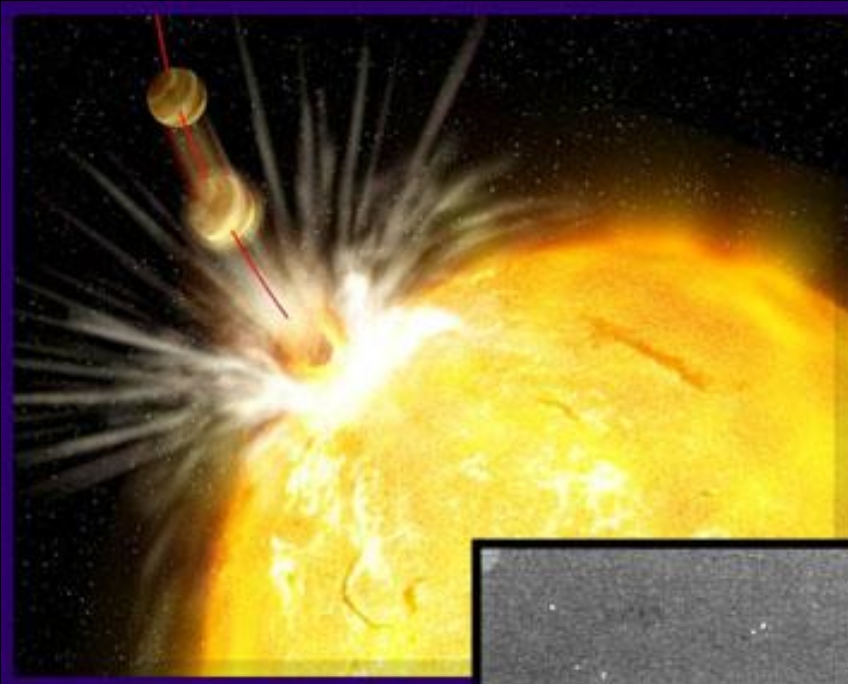
Гравитационная энергия связи

$$m \rightarrow M, \quad h \rightarrow R$$

$$U = \frac{GM^2}{R}$$

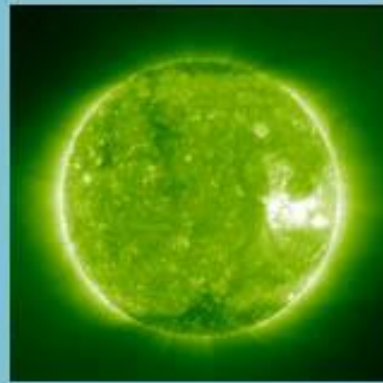
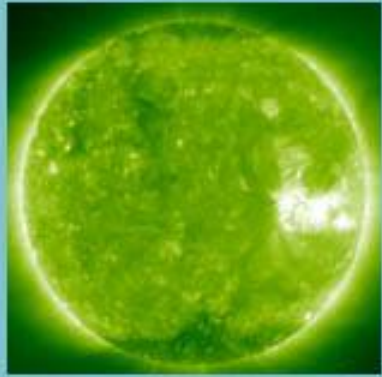


В середине XIX века
в качестве источника
энергии Солнца
рассматривалось
падение на него
космических тел



Зодиакальный
свет убеждал,
что резервуар
мелких спутников
Солнца
действительно
существует

Гипотеза сжатия Солнца (сер. XIX в.)



Майер Ю.Р. (1814-1878)

Гельмгольц Г.Л.Ф. (1821-1894)

лорд Кельвин (У.Томсон, 1824-1907)

Гравитационная энергия Солнца

$$U = \frac{G M^2}{R}$$

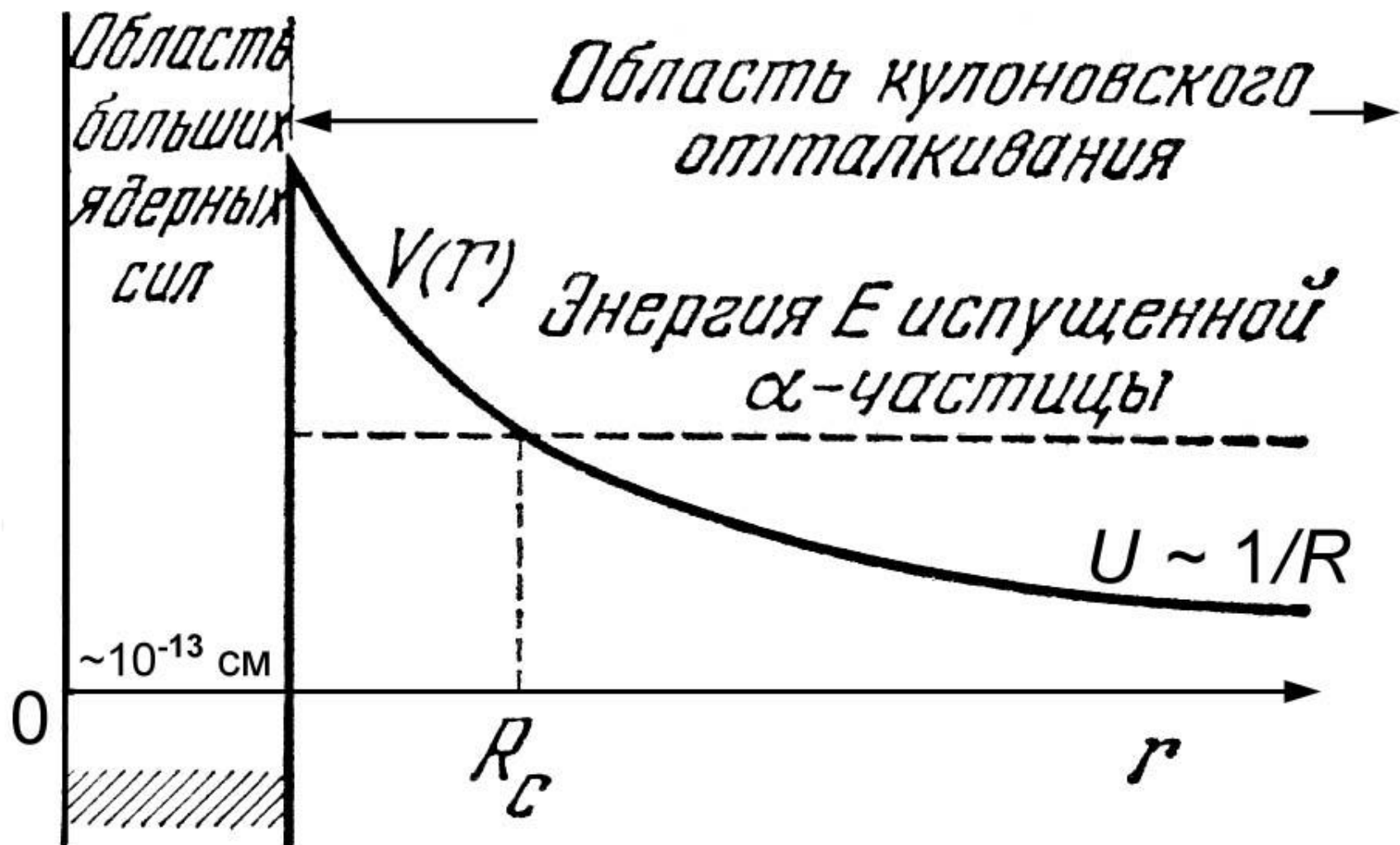
Время высвечивания гравитационной энергии

$$t = U/2L = 30 \text{ млн лет}$$

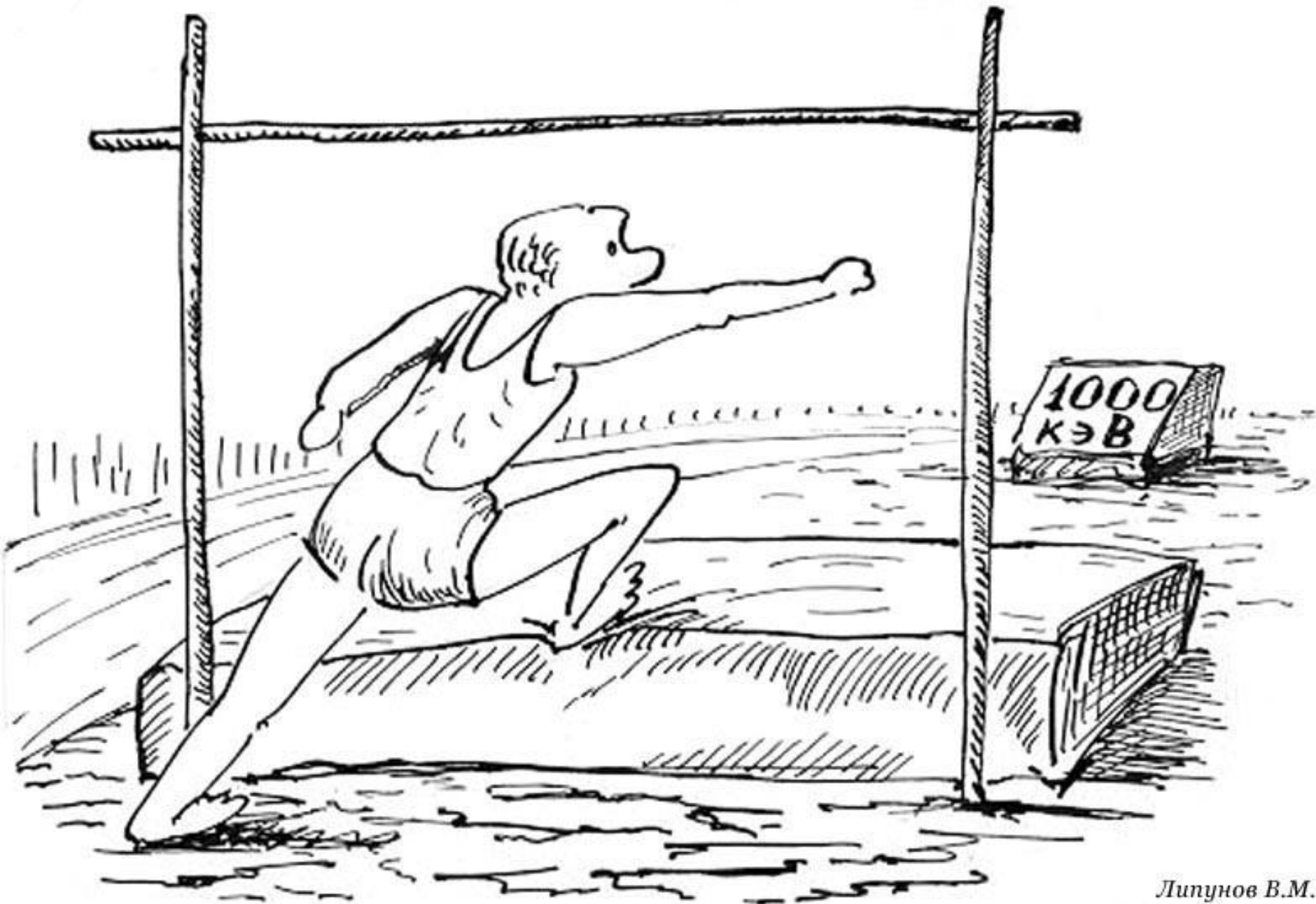
ПЕРИОДИЧЕСКАЯ СИСТЕМА ХИМИЧЕСКИХ ЭЛЕМЕНТОВ Д. И. МЕНДЕЛЕЕВА

№	I		II		III		IV		V		VI		VII		VIII		№
	a	b	a	b	a	b	a	b	a	b	a	b	a	b	a	b	
1	1 ВОДОРОД 1,00797 H 1, 2														2 ГЕЛИЙ 4,0026 He 3, 4		1
2	3 ЛИТИЙ 6,939 Li 6, 7		4 БЕРИЛЛИЙ 9,0122 Be 8, 9		5 БОР 10,811 B 10, 11		6 УГЛЕРОД 12,01115 C 12, 13		7 АЗОТ 14,0067 N 14, 15		8 КИСЛОРОД 15,9994 O 16-18		9 ФТОР 18,9984 F 19		10 НЕОН 20,183 Ne 20-22		2
3	11 НАТРИЙ 22,9898 Na 23		12 МАГНИЙ 24,312 Mg 24-26		13 АЛЮМИНИЙ 26,9815 Al 27		14 КРЕМНИЙ 28,086 Si 28-30		15 ФОСФОР 30,9738 P 31		16 СЕРА 32,064 S 32-34		17 ХЛОР 35,453 Cl 35, 37		18 АРГОН 39,948 Ar 38, 40		3
4	19 КАЛИЙ 39,102 K 39, 41		20 КАЛЬЦИЙ 40,08 Ca 42-44		21 СКАНДИЙ 44,956 Sc 45		22 ТИТАН 47,90 Ti 46-48-50		23 ВАНАДИЙ 50,942 V 51		24 ХРОМ 51,996 Cr 52-54		25 МАРГАНЕЦ 54,938 Mn 55		26 Fe 27 Co 28 Ni		4
5	29 МЕДЬ 63,54 Cu 63, 65		30 ЦИНК 65,37 Zn 66-68		31 ГАЛЛИЙ 69,72 Ga 69, 71		32 ГЕРМАНИЙ 72,59 Ge 70, 72-74		33 МЫШЬЯК 74,9216 As 75		34 СЕЛЕН 78,96 Se 74-78		35 БРОМ 79,909 Br 79, 81		36 КРИПТОН 83,80 Kr 80, 82-84		5
6	37 РУБИДИЙ 85,47 Rb 85, 87		38 СТРОНЦИЙ 87,62 Sr 86-88		39 ИТРИЙ 88,905 Y 89		40 ЦИРКОНИЙ 91,22 Zr 90-92		41 НИОБИЙ 92,906 Nb 93		42 МОЛИБДЕН 95,94 Mo 94-96		43 ТЕХНЕЦИЙ 97 Tc 97, 98, 99		44 Ru 45 Rh 46 Pd		6
7	47 СЕРЕБРО 107,870 Ag 107, 109		48 КАДМИЙ 112,40 Cd 110-112		49 ИНДИЙ 114,82 In 113		50 ОЛОВО 118,69 Sn 114-120		51 СУРЬМА 121,75 Sb 121, 123		52 ТЕЛЛУР 127,60 Te 122-126		53 ИОД 126,9044 I 127		54 КСЕНОН 131,30 Xe 124 126 128-132 134 136		7
8	55 ЦЕЗИЙ 132,905 Cs 133		56 БАРИЙ 137,34 Ba 130 132 134-138		57 ЛАНТАН** 138,91 La 139		58 ГАФНИЙ 178,49 Hf 174 176-180		59 ТАНТАЛ 180,948 Ta 180 181		60 ВОЛЬФРАМ 183,85 W 182-184 186		61 РЕНИЙ 186,2 Re 185 187		62 Os 63 Ir 64 Pt		8
9	79 ЗОЛОТО 196,967 Au 197		80 РУТУТЬ 200,59 Hg 198-202		81 ТАЛЛИЙ 204,37 Tl 203, 205		82 СВИНЕЦ 207,19 Pb 204, 206-208		83 БИСМУТ 208,980 Bi 209		84 ПОЛОНИЙ 209 Po 208, 982		85 АСТАТИН 210 At 215		86 ЗМАНАЦИЯ 222,0175 Em 212 (214) 216-218 220 222		9
10	87 ФРАНЦИЙ 223,020 Fr 219		88 РАДИЙ 226,0254 Ra 224		89 АКТИНИЙ*** 227,028 Ac 227		90 ЗКАФНИЙ 272 E-Nf 266-270		91 ЭКАТАНТАЛ 271, 273 E-Ta 105		92 ЭКАВОЛЬФРАМ 272-276 E-W 106		93 ЭКАРЕНИЙ 277 E-Re 107		94 E-Os 95 E-Ir 96 E-Pt		10
11	111 ЭКАЗОЛОТО 287 E-Au 287		112 ЭКАРУТУТЬ 288-292 E-Hg 291		113 ЭКАТАЛЛИЙ 293 E-Tl 293		114 ЭКАСВИНЕЦ 294-298 E-Pb 300		115 ЭКАБИСМУТ 299 E-Bi 299		116 ЭКАПОЛОНИЙ 300-304 E-Po 306		117 ЭКААСТАТИН 305 E-At 305		118 ЭКАЗМАНАЦИЯ 306-310 E-Em 312		11

** ЛАНТАНИДЫ		*** АКТИНИДЫ	
27 Co 58,9332	58 Ni 58,71	136, 138 140 142	58 Ce 140,12
45 Rh 102,905	102 Pd 106,4	159	65 Tb 158,924
77 Ir 192,2	190 192 Pt 195,09	224 226-230 232	90 Th 232,038
109 E-Ir 288	280 E-Pt 288	247	97 Bk 247,07
59 Pr 140,907	59 Pr 140,907	141	59 Pr 140,907
66 Dy 162,50	66 Dy 162,50	165	66 Dy 162,50
91 Pa 231,036	91 Pa 231,036	231	91 Pa 231,036
98 Cf 251	98 Cf 251	253	98 Cf 251
60 Nd 144,24	60 Nd 144,24	142-146 148 150	60 Nd 144,24
67 Hb 164,930	67 Hb 164,930	165	67 Hb 164,930
92 U 238,03	92 U 238,03	232-235, 236 238	92 U 238,03
99 Es 254,085	99 Es 254,085	253	99 Es 254,085
61 Pm 145	61 Pm 145	145, 147	61 Pm 145
68 Er 167,26	68 Er 167,26	162 164 166-168 170	68 Er 167,26
93 Np 237,048	93 Np 237,048	237	93 Np 237,048
100 Fm 254	100 Fm 254	250, 252 254-258	100 Fm 254
62 Sm 150,35	62 Sm 150,35	144 146 147, 148-150 152 154	62 Sm 150,35
69 Tm 168,934	69 Tm 168,934	169	69 Tm 168,934
94 Pu 244	94 Pu 244	236 238-240, 242 244	94 Pu 244
101 Md 258	101 Md 258	254	101 Md 258
63 Eu 151,96	63 Eu 151,96	151, 153	63 Eu 151,96
70 Yb 173,04	70 Yb 173,04	168 170-174 176	70 Yb 173,04
95 Am 243,061	95 Am 243,061	241, 243	95 Am 243,061
102 (No) 259	102 (No) 259	254, 256, 258, 260, 262, 264 (266)	102 (No) 259
64 Gd 157,25	64 Gd 157,25	150 152 154-158 160	64 Gd 157,25
71 Lu 174,97	71 Lu 174,97	175 177	71 Lu 174,97
96 Cm 247	96 Cm 247	240 242 244-246 248, 250	96 Cm 247
103 Lw 262	103 Lw 262	257(1), 259	103 Lw 262

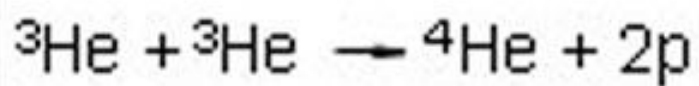
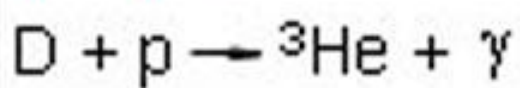


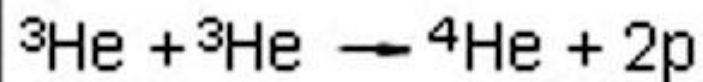
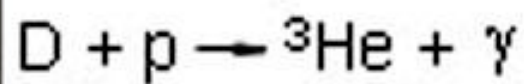
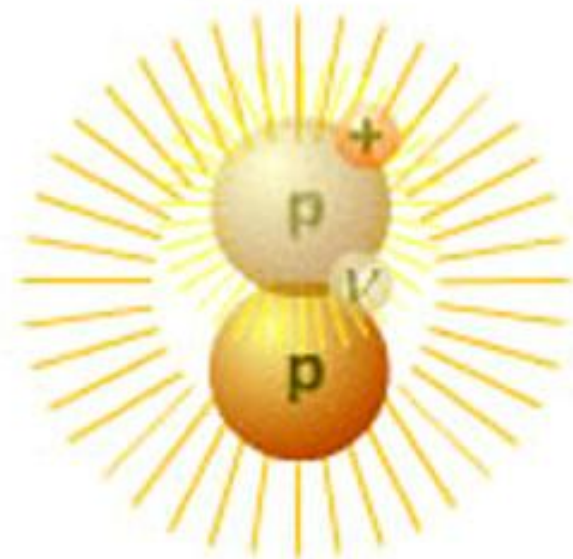
Потенциальная энергия α -частицы
вблизи атомного ядра

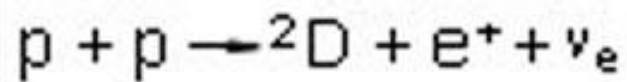


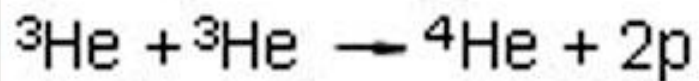
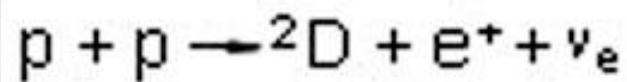
Липунов В.М.

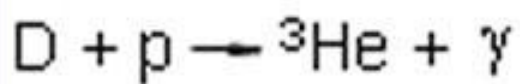
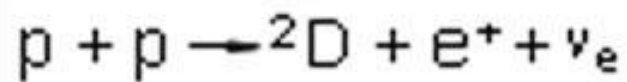
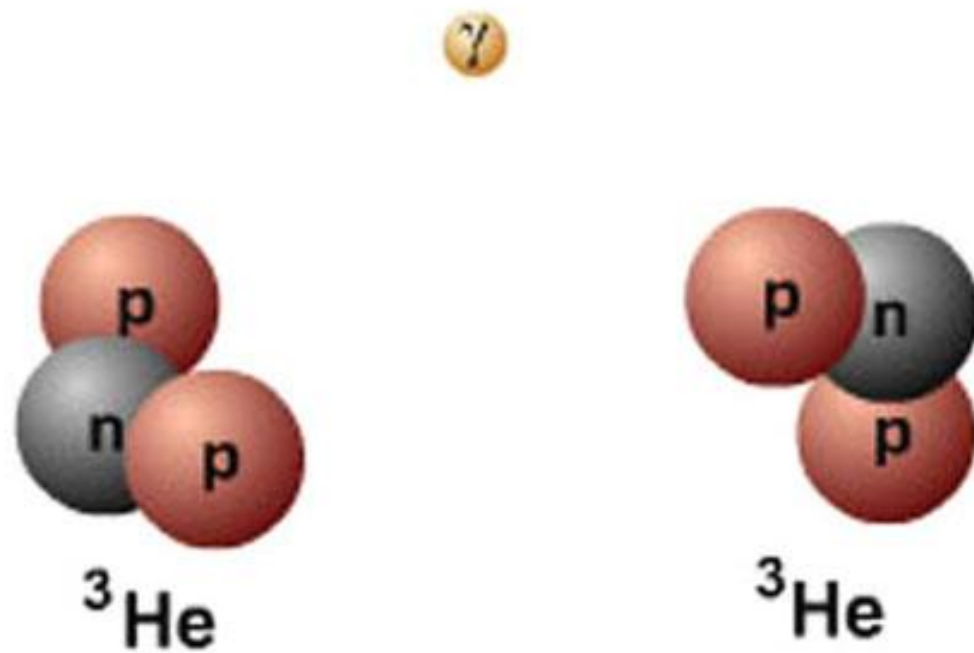
Квантовый туннельный эффект (подбарьерный переход, благодаря которому светят звезды)

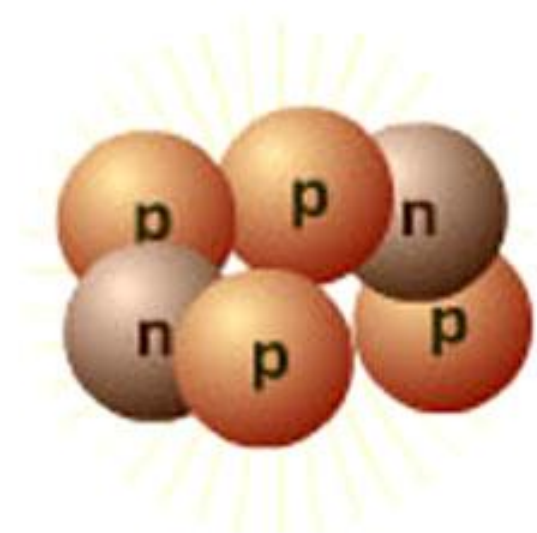


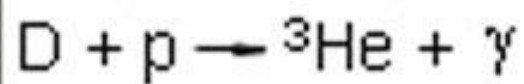
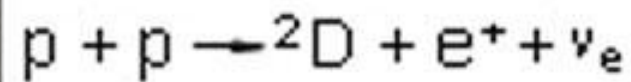
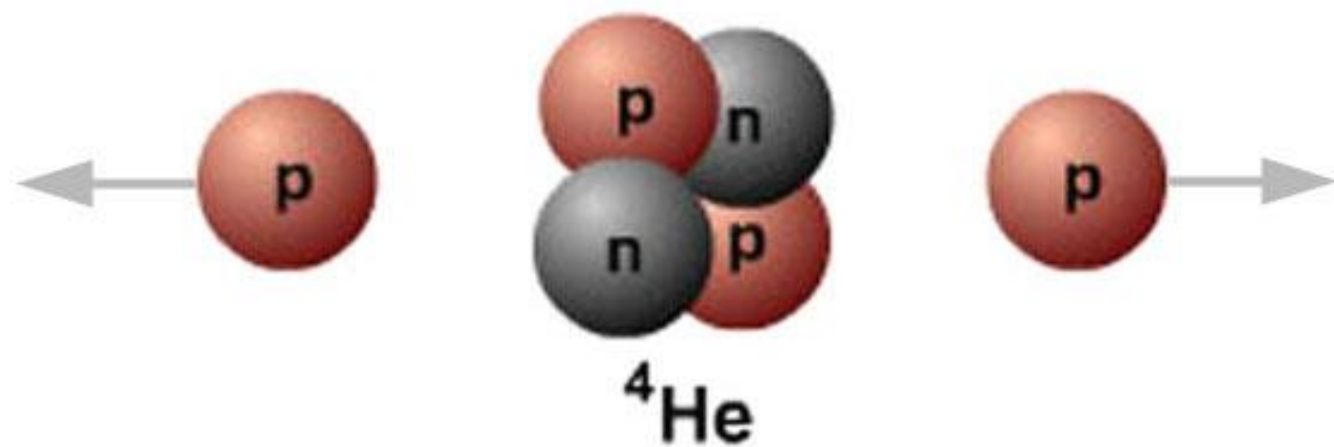














Протон-протонная цепочка (pp-цикл) термоядерного синтеза гелия из водорода



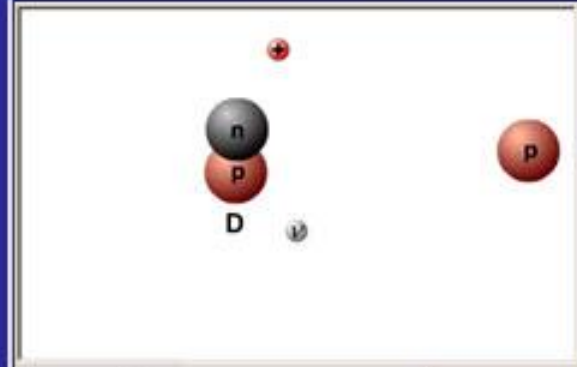
$p + p \rightarrow {}^2\text{D} + e^+ + \nu_e$
 $\text{D} + p \rightarrow {}^3\text{He} + \gamma$
 ${}^3\text{He} + {}^3\text{He} \rightarrow {}^4\text{He} + 2p$

© 000-Евизинсон, 2003




$p + p \rightarrow {}^2\text{D} + e^+ + \nu_e$
 $\text{D} + p \rightarrow {}^3\text{He} + \gamma$
 ${}^3\text{He} + {}^3\text{He} \rightarrow {}^4\text{He} + 2p$

© 000-Евизинсон, 2003



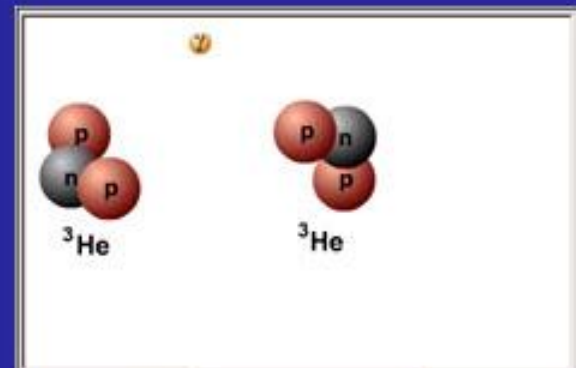
$p + p \rightarrow {}^2\text{D} + e^+ + \nu_e$
 $\text{D} + p \rightarrow {}^3\text{He} + \gamma$
 ${}^3\text{He} + {}^3\text{He} \rightarrow {}^4\text{He} + 2p$

© 000-Евизинсон, 2003



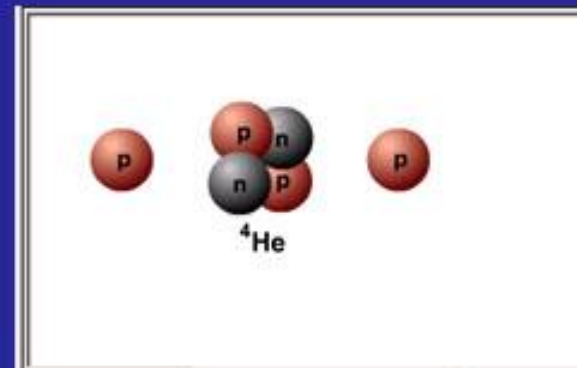
$p + p \rightarrow {}^2\text{D} + e^+ + \nu_e$
 $\text{D} + p \rightarrow {}^3\text{He} + \gamma$
 ${}^3\text{He} + {}^3\text{He} \rightarrow {}^4\text{He} + 2p$

© 000-Евизинсон, 2003



$p + p \rightarrow {}^2\text{D} + e^+ + \nu_e$
 $\text{D} + p \rightarrow {}^3\text{He} + \gamma$
 ${}^3\text{He} + {}^3\text{He} \rightarrow {}^4\text{He} + 2p$

© 000-Евизинсон, 2003



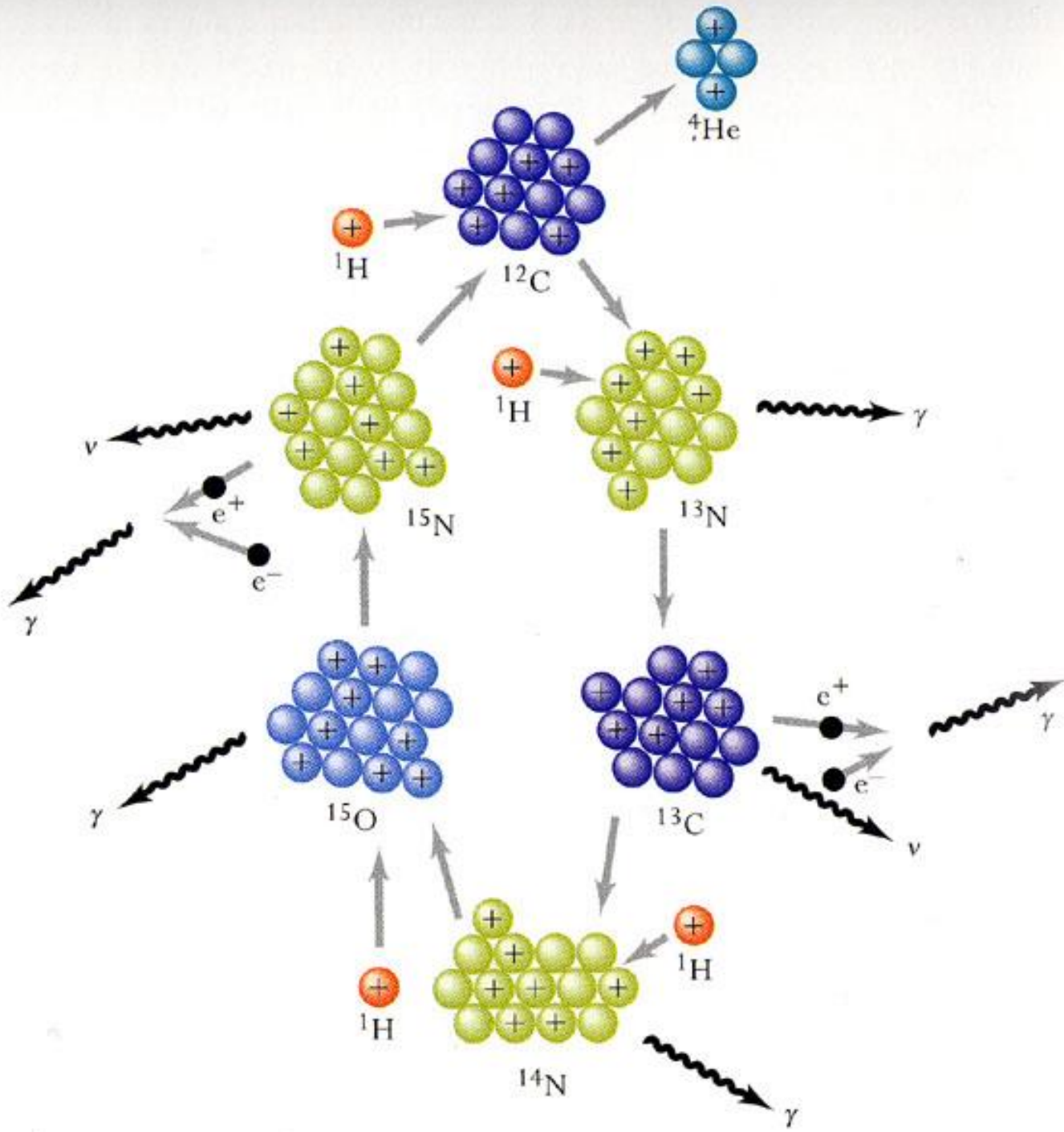
$p + p \rightarrow {}^2\text{D} + e^+ + \nu_e$
 $\text{D} + p \rightarrow {}^3\text{He} + \gamma$
 ${}^3\text{He} + {}^3\text{He} \rightarrow {}^4\text{He} + 2p$

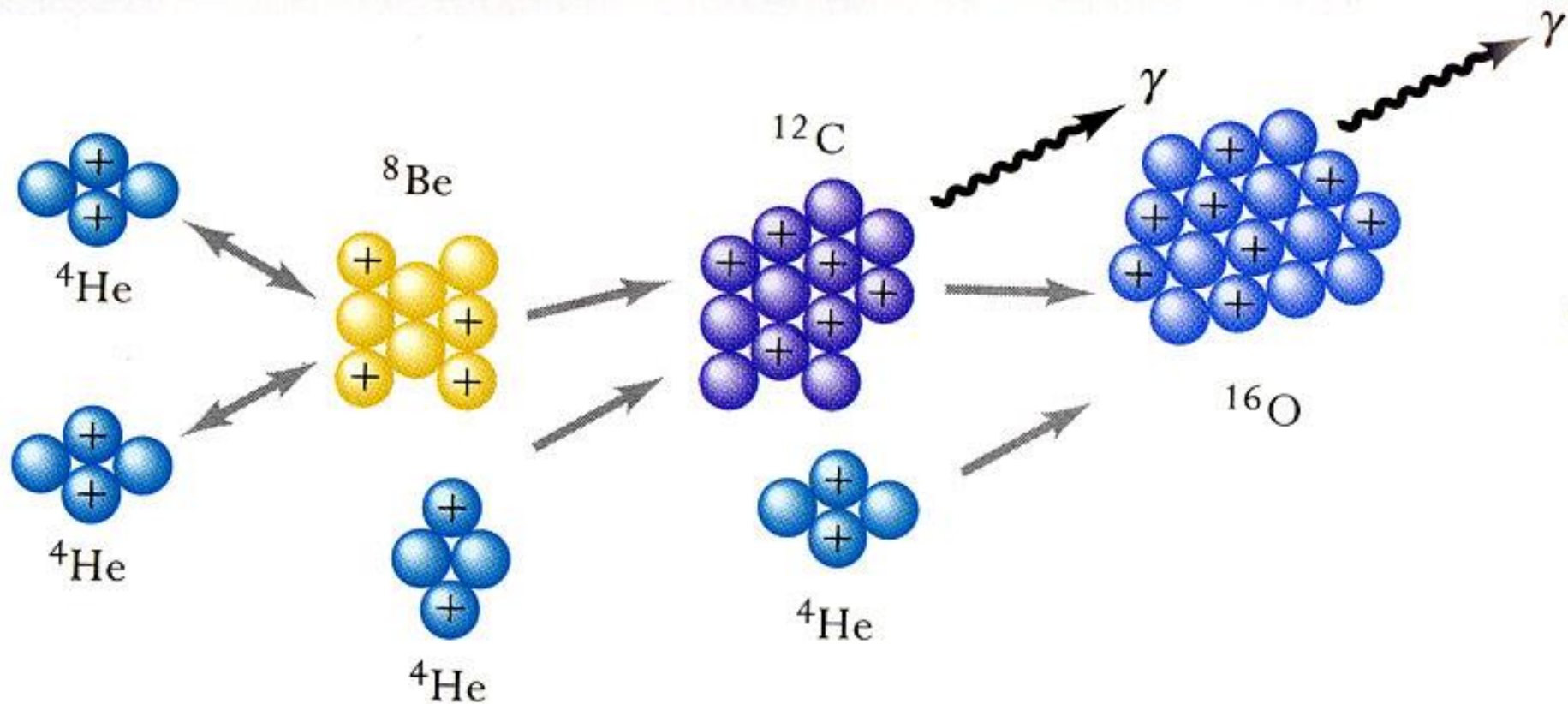
© 000-Евизинсон, 2003

Углеродно-азотный цикл

CNO-цикл

Carbon cycle

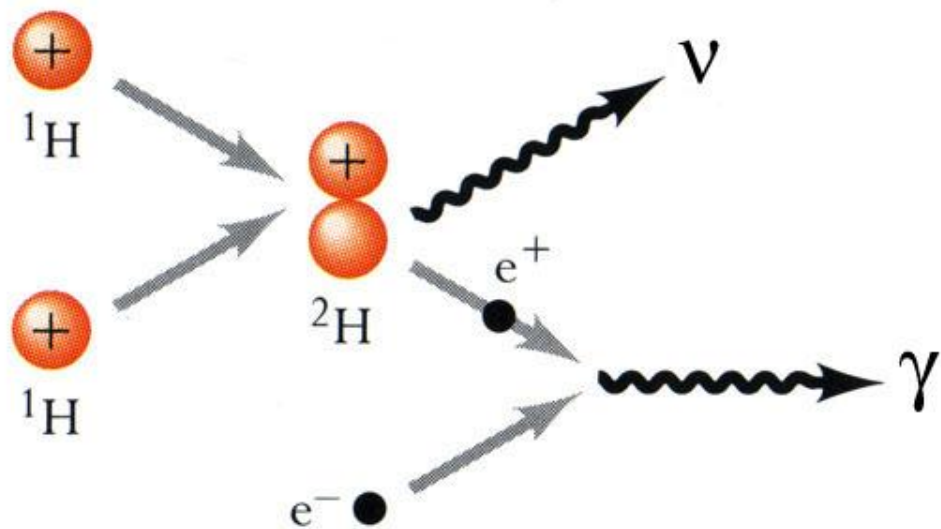




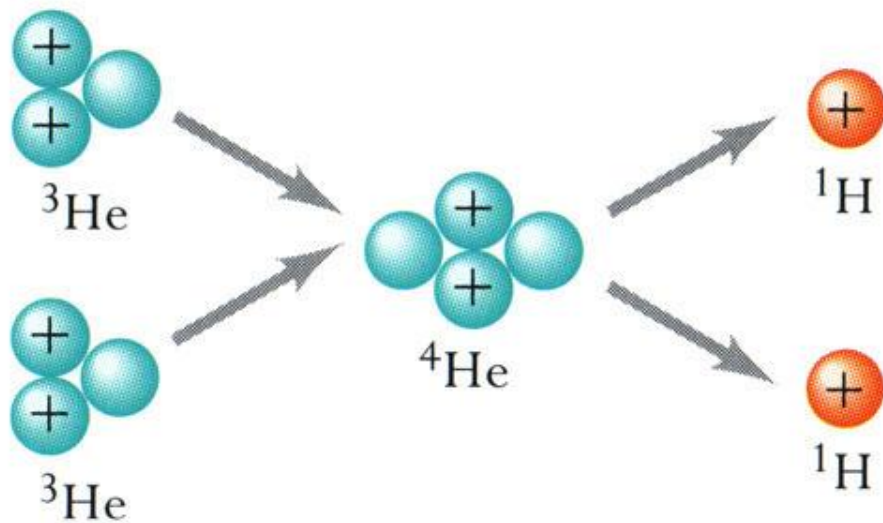
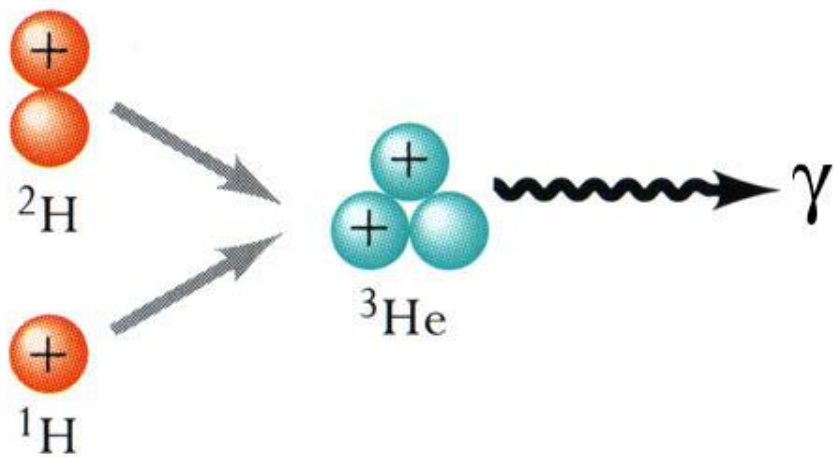
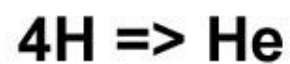
3 α -реакция

Стадии генерации ядерной энергии

Процесс	Топливо	Продукты реакции	Примерная температура
Горение водорода	Водород	Гелий	$(1-3) \times 10^7$ К
Горение гелия	Гелий	Углерод, кислород	2×10^8
Горение углерода	Углерод	Кислород, неон, натрий, магний	8×10^8
Горение неона	Неон	Кислород, магний	$1,5 \times 10^9$
Горение кислорода	Кислород	От магния до серы	2×10^9
Горение кремния	От магния до серы	Элементы, близкие к железу	3×10^9



Протон-протонная
реакция



Хлорный
детектор
солнечных
нейтрино
(Хоумстейк,
Ю. Дакота)

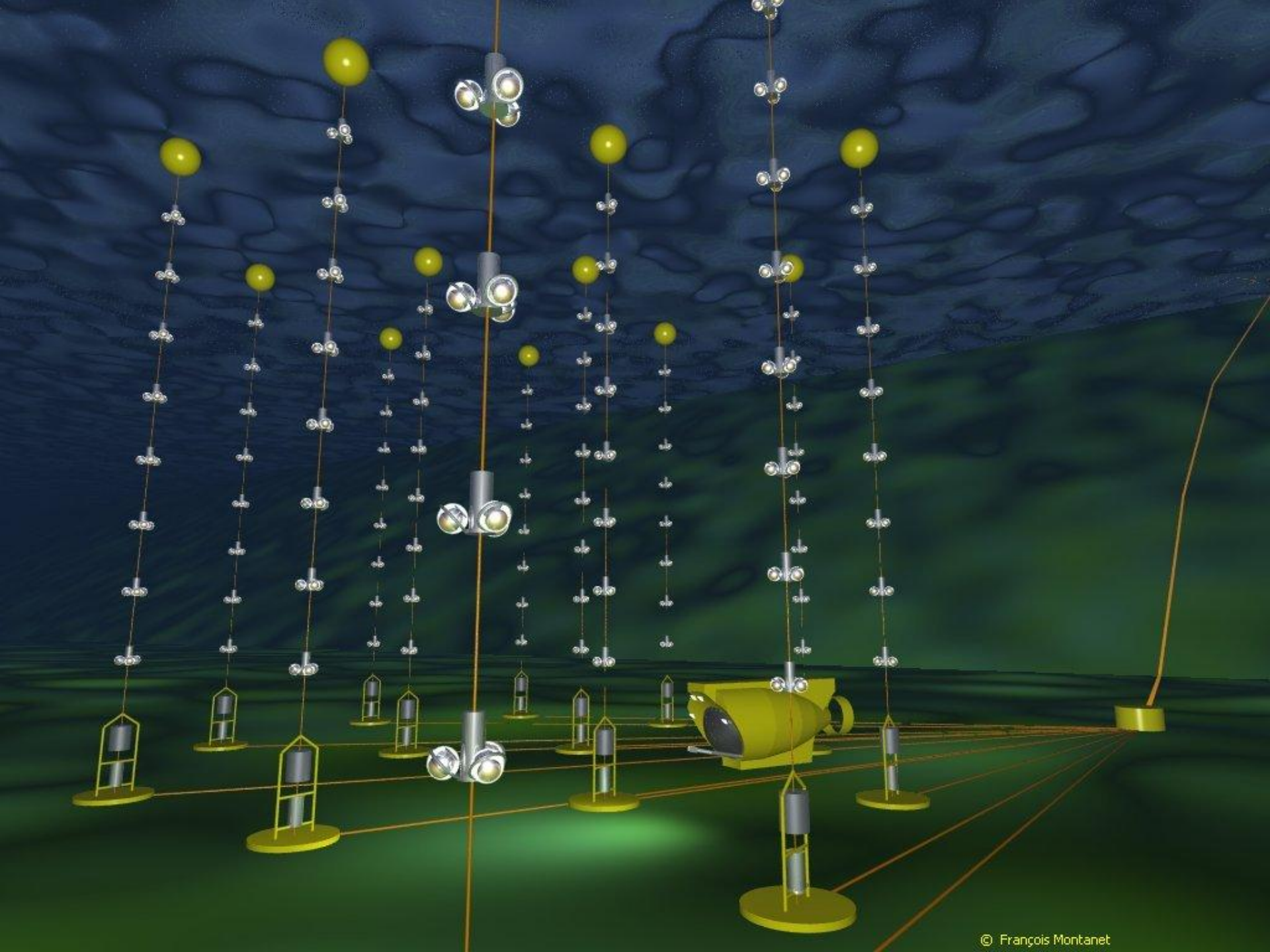
Глубина 1,5 км

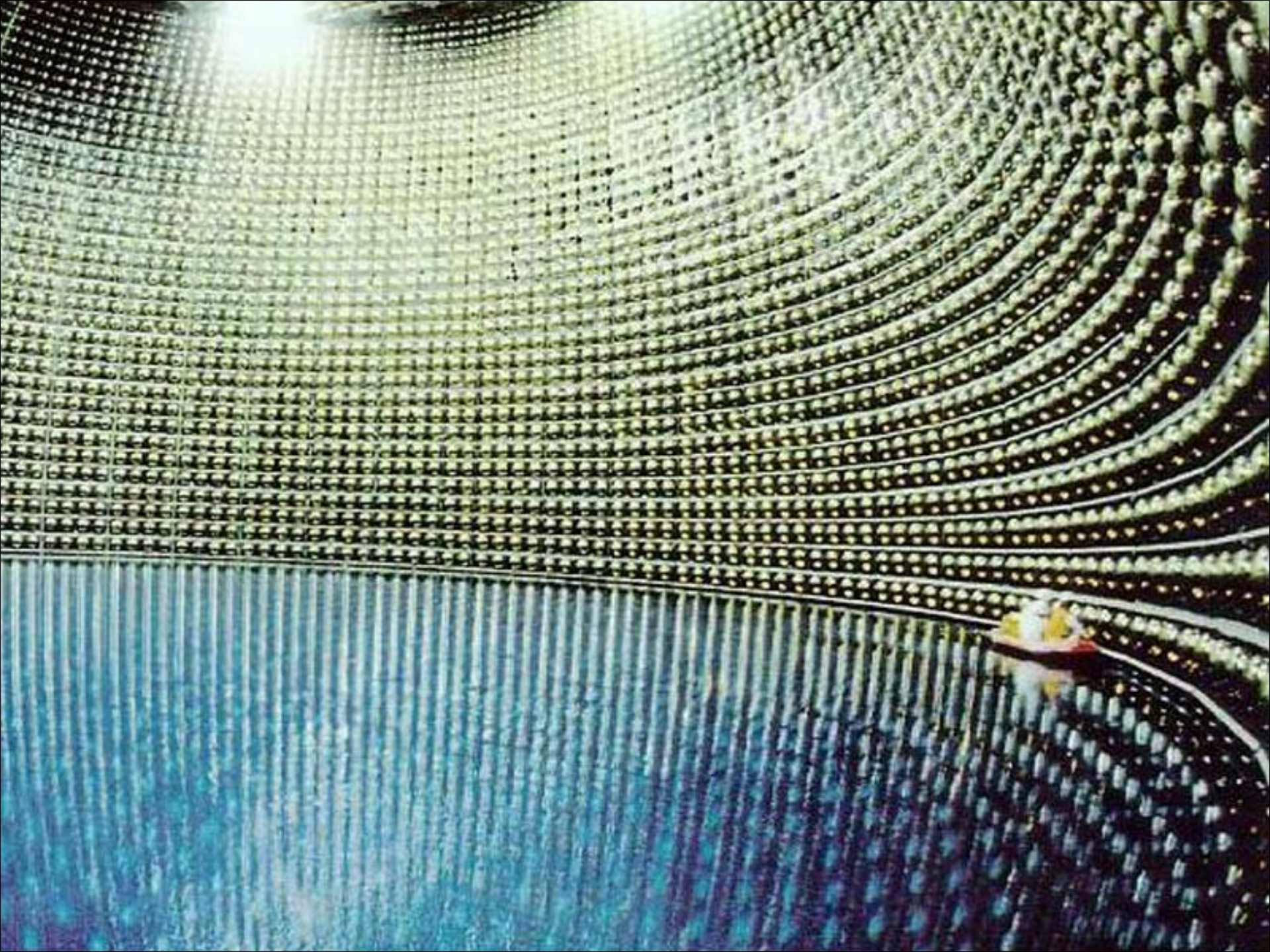
Объем 380 тыс л

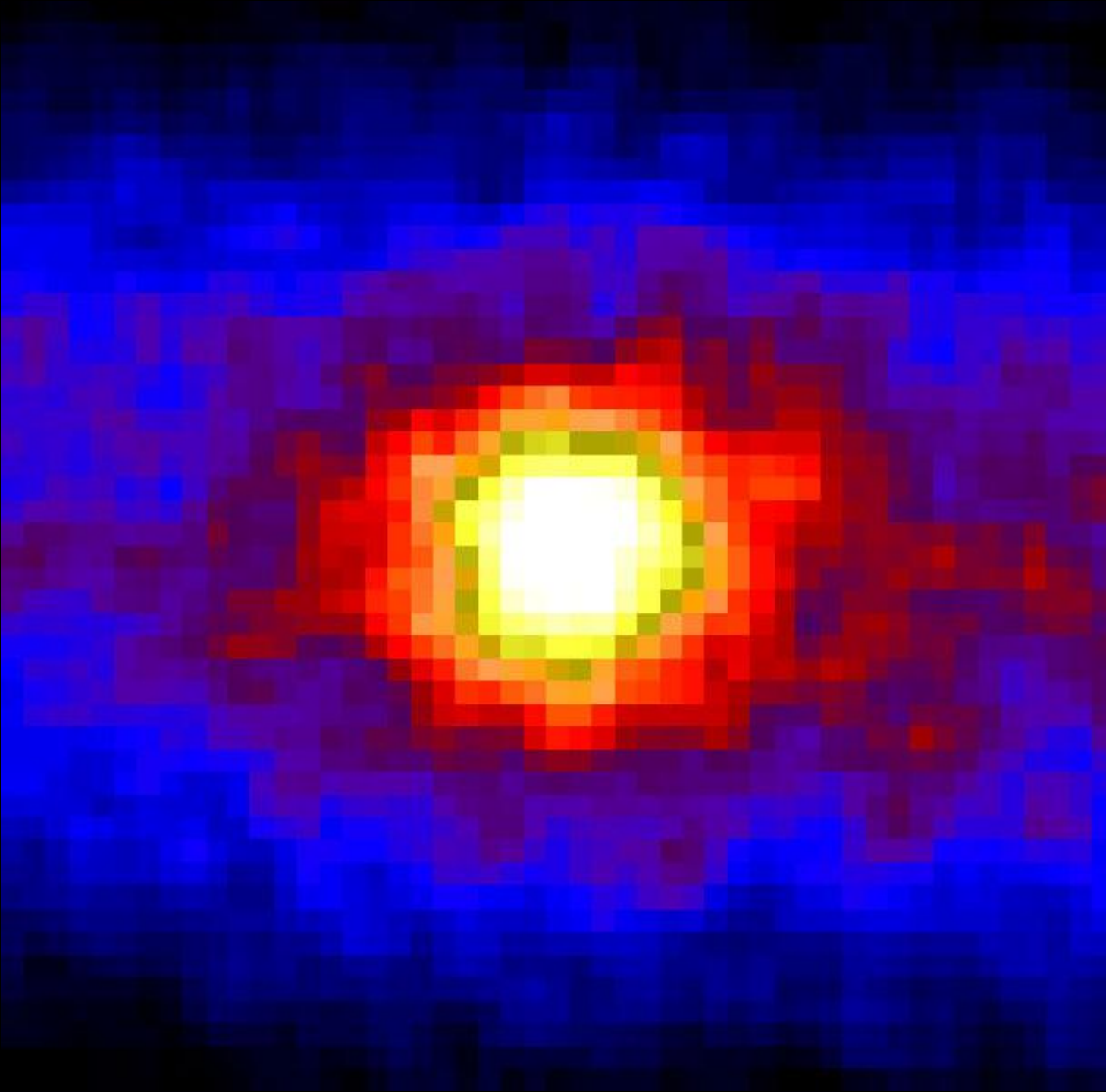
Вещество -
тетрахлорэтилен
 C_2Cl_4

Авторы -
Раймонд Дэвис
и др. (1968-96)









Изображение
Солнца,
полученное
детектором
нейтрино
Суперкамиоканде
в 1998 г.

Экспозиция
500 сут

Ширина кадра
90 градусов

Three Generations of Matter (Fermions)

	I	II	III	
mass →	2.4 MeV/c ²	1.27 GeV/c ²	171.2 GeV/c ²	0
charge →	$\frac{2}{3}$	$\frac{2}{3}$	$\frac{2}{3}$	0
spin →	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	1
name →	u up	c charm	t top	γ photon
Quarks	4.8 MeV/c ²	104 MeV/c ²	4.2 GeV/c ²	0
	$-\frac{1}{3}$	$-\frac{1}{3}$	$-\frac{1}{3}$	0
	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	1
	d down	s strange	b bottom	g gluon
Leptons	<2.2 eV/c ²	<0.17 MeV/c ²	<15.5 MeV/c ²	91.2 GeV/c ²
	0	0	0	0
	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	1
	ν_e electron neutrino	ν_μ muon neutrino	ν_τ tau neutrino	Z⁰ Z boson
	0.511 MeV/c ²	105.7 MeV/c ²	1.777 GeV/c ²	80.4 GeV/c ²
	-1	-1	-1	±1
	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	1
	e electron	μ muon	τ tau	W[±] W boson
				Gauge Bosons

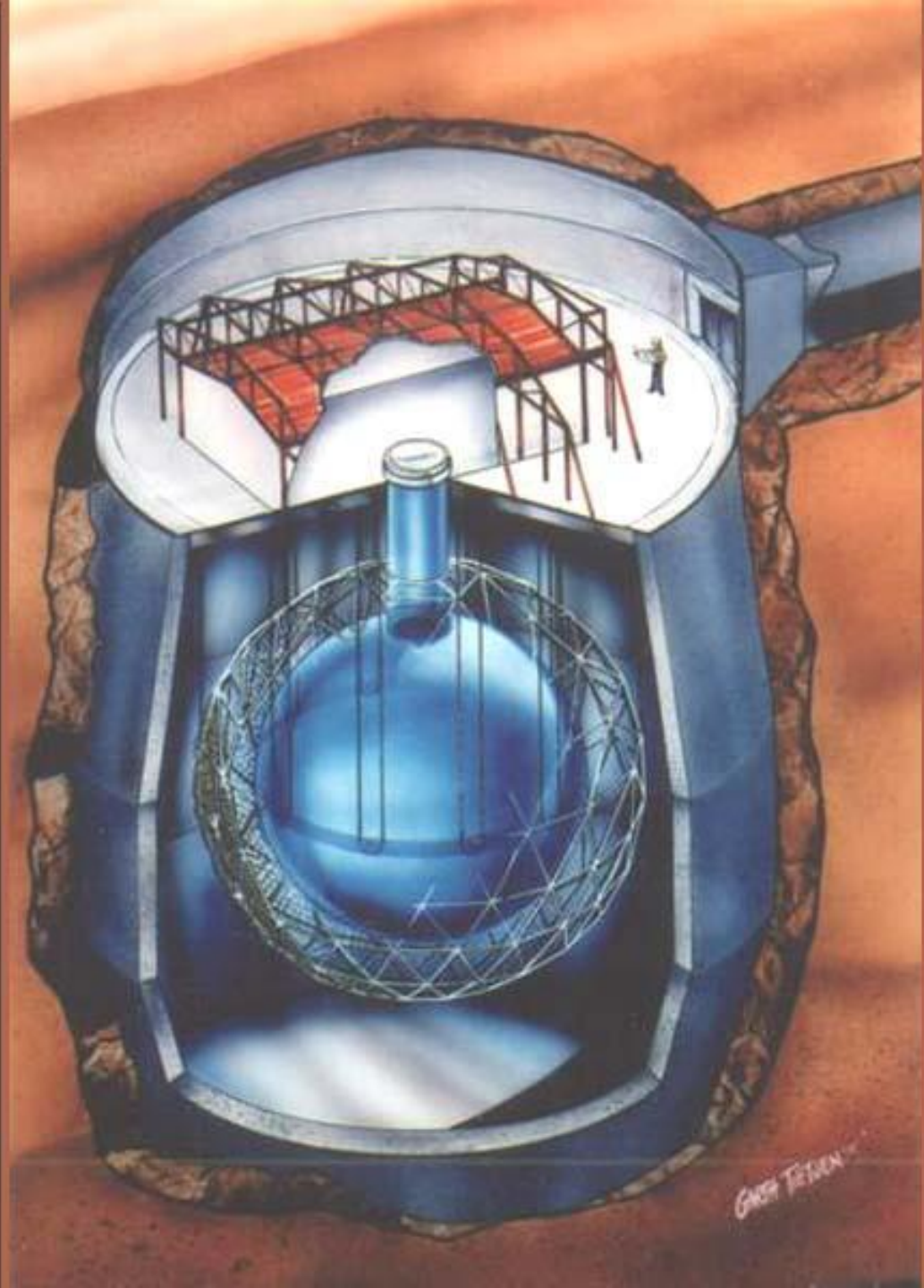
Садберийская нейтринная обсерватория
(г. Садбери, провинция Онтарио, Канада).

1000 тонн тяжелой воды (D_2O) в
прозрачном акриловом (плексигласовом)
шаре диаметром 12 м, окруженном
9600 ФЭУ на геодезической сфере,
диаметром 18 м, погруженной в
резервуар с чистой водой
на глубине 2 км.

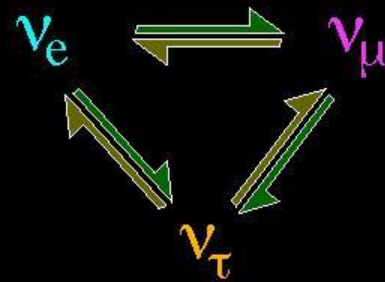
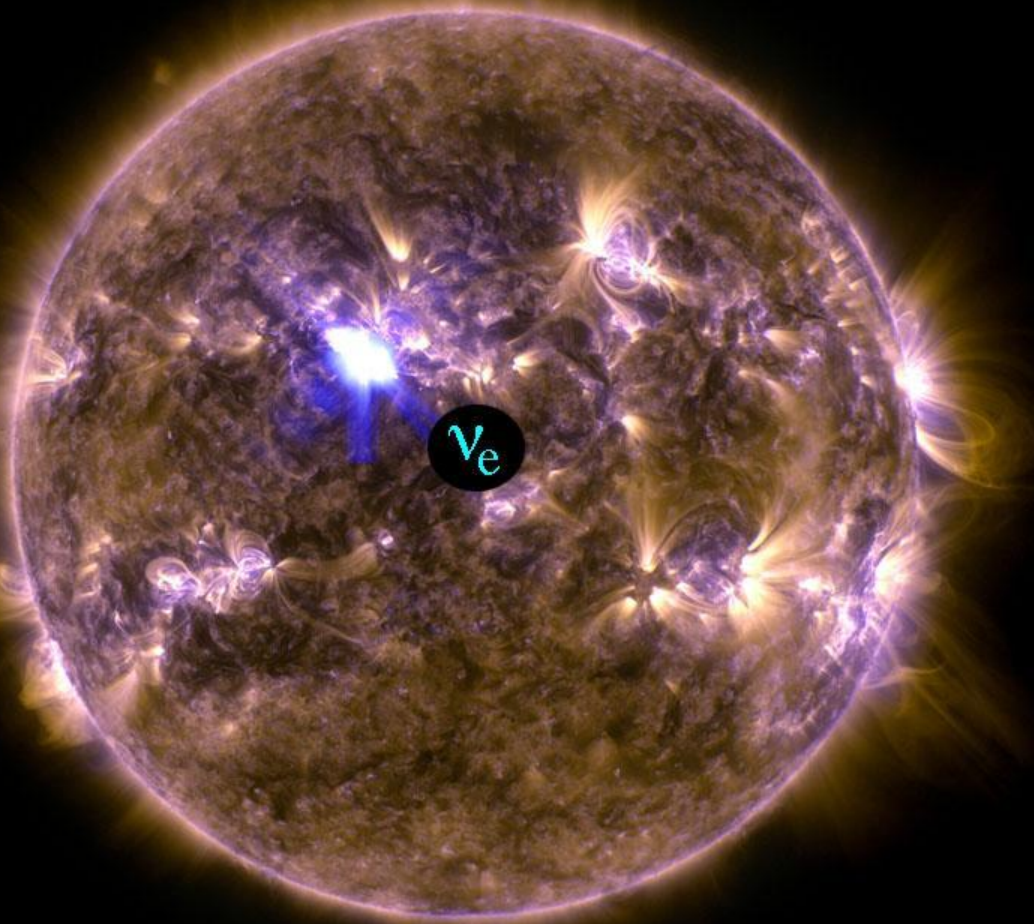
В 2002 г. здесь решена проблема
солнечного нейтрино -
зарегистрированы все три типа нейтрино
(ν_e ν_μ ν_τ) в таком общем количестве,
сколько ν_e должно рождаться на Солнце

Тем самым доказано, что:

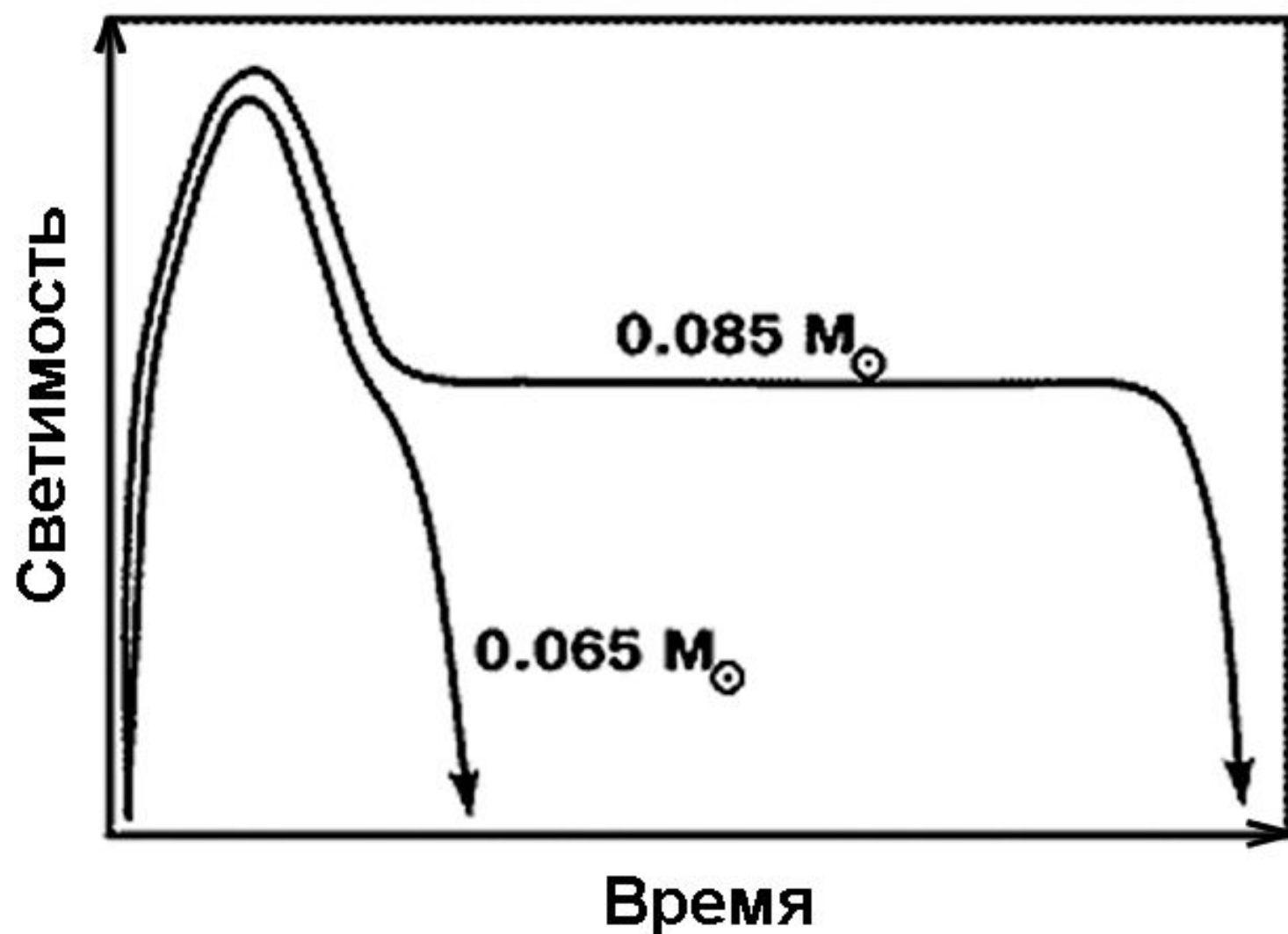
- модель Солнца верна
- нейтрино имеет массу покоя
- происходят осцилляции нейтрино



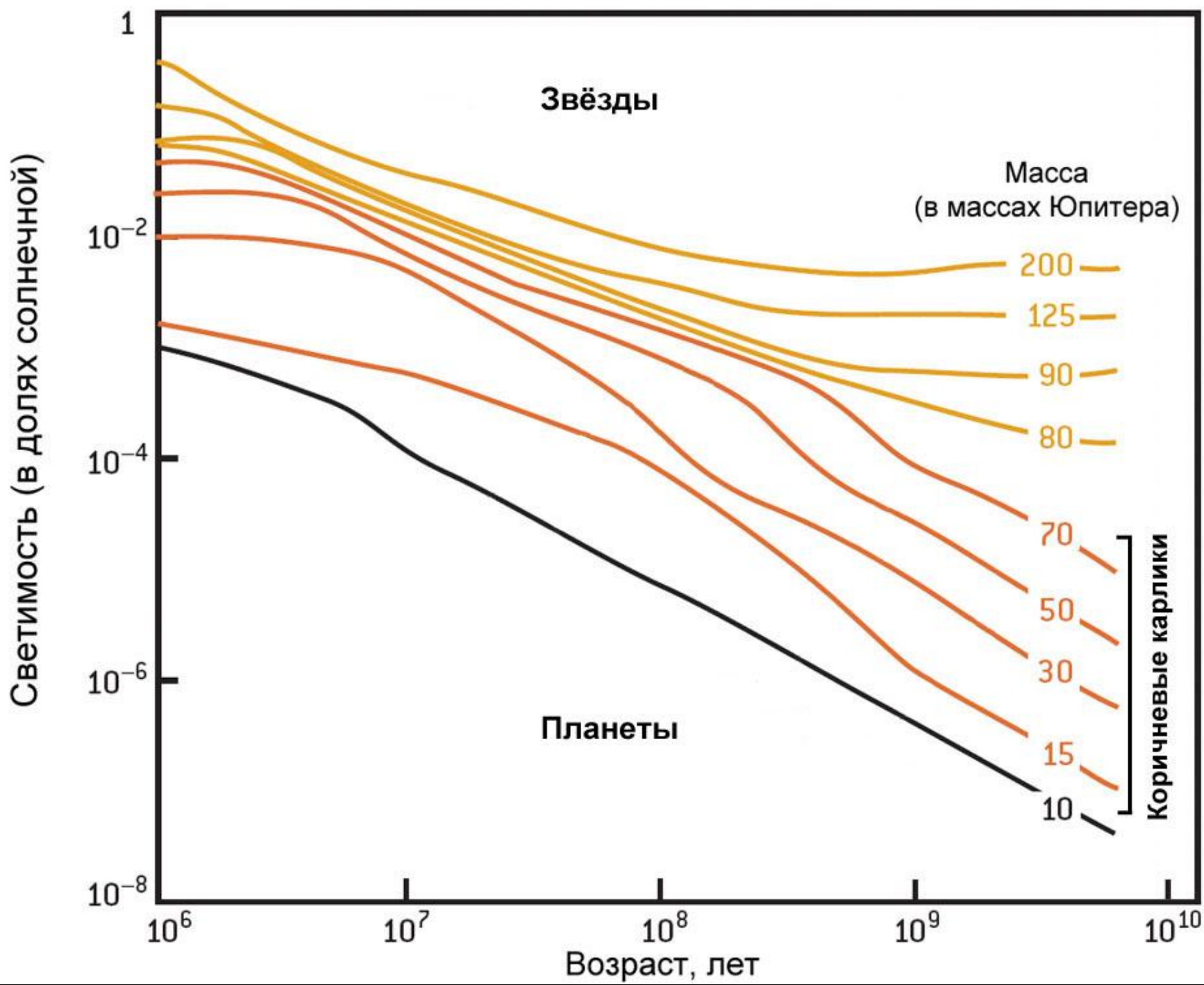
Осцилляции нейтрино по пути от Солнца к Земле

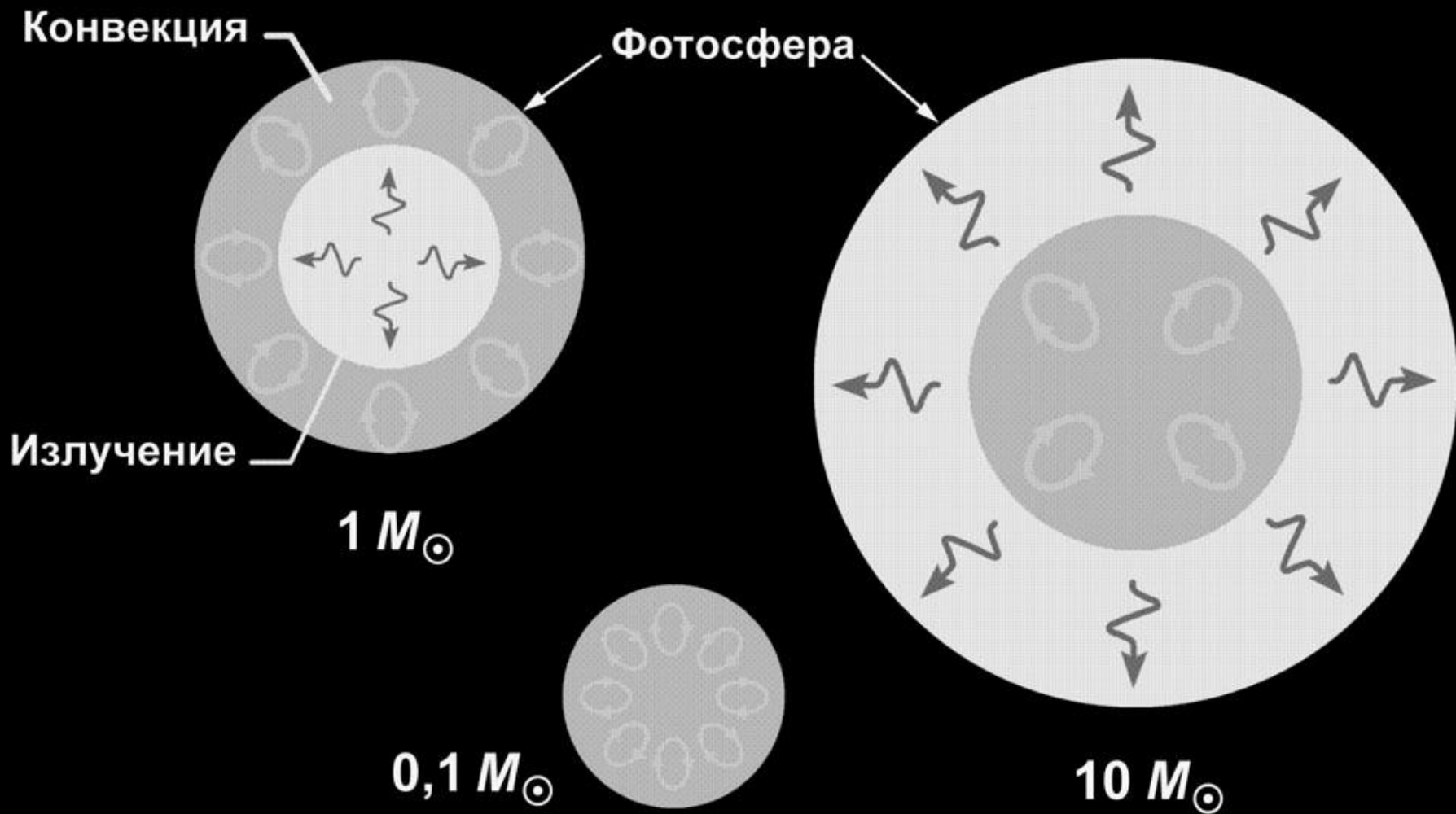


Родившись в недрах Солнца как электронные нейтрино, эти частицы за 8 мин пути к Земле частично превращаются в нейтрино других сортов (ароматов) - мюонные и тау



Эволюция светимости двух протозвезд, имеющих массы чуть больше и чуть меньше нижнего предела, необходимого для протекания термоядерной *pp*-реакции

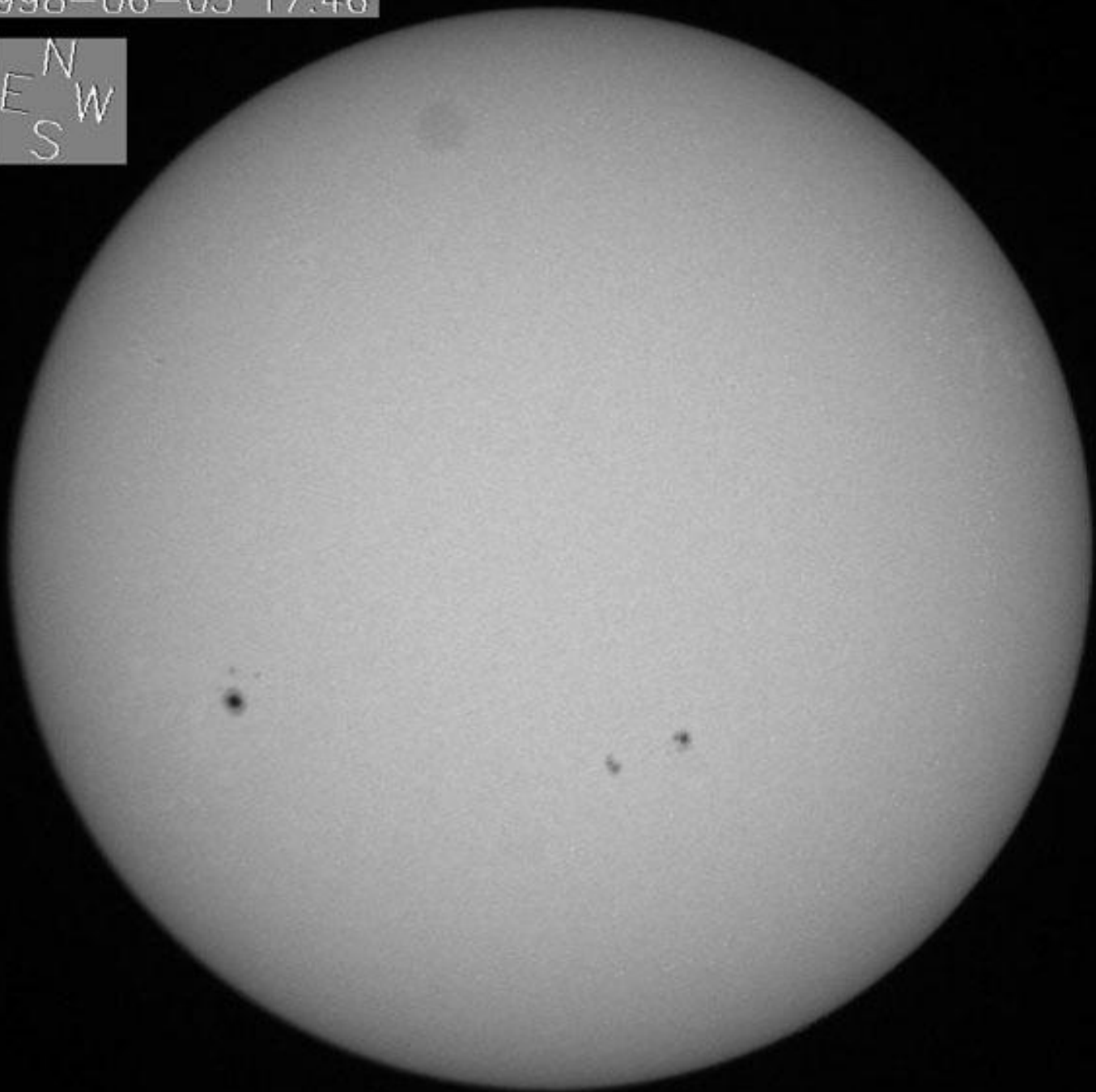




**Перенос энергии
в звездах главной последовательности**

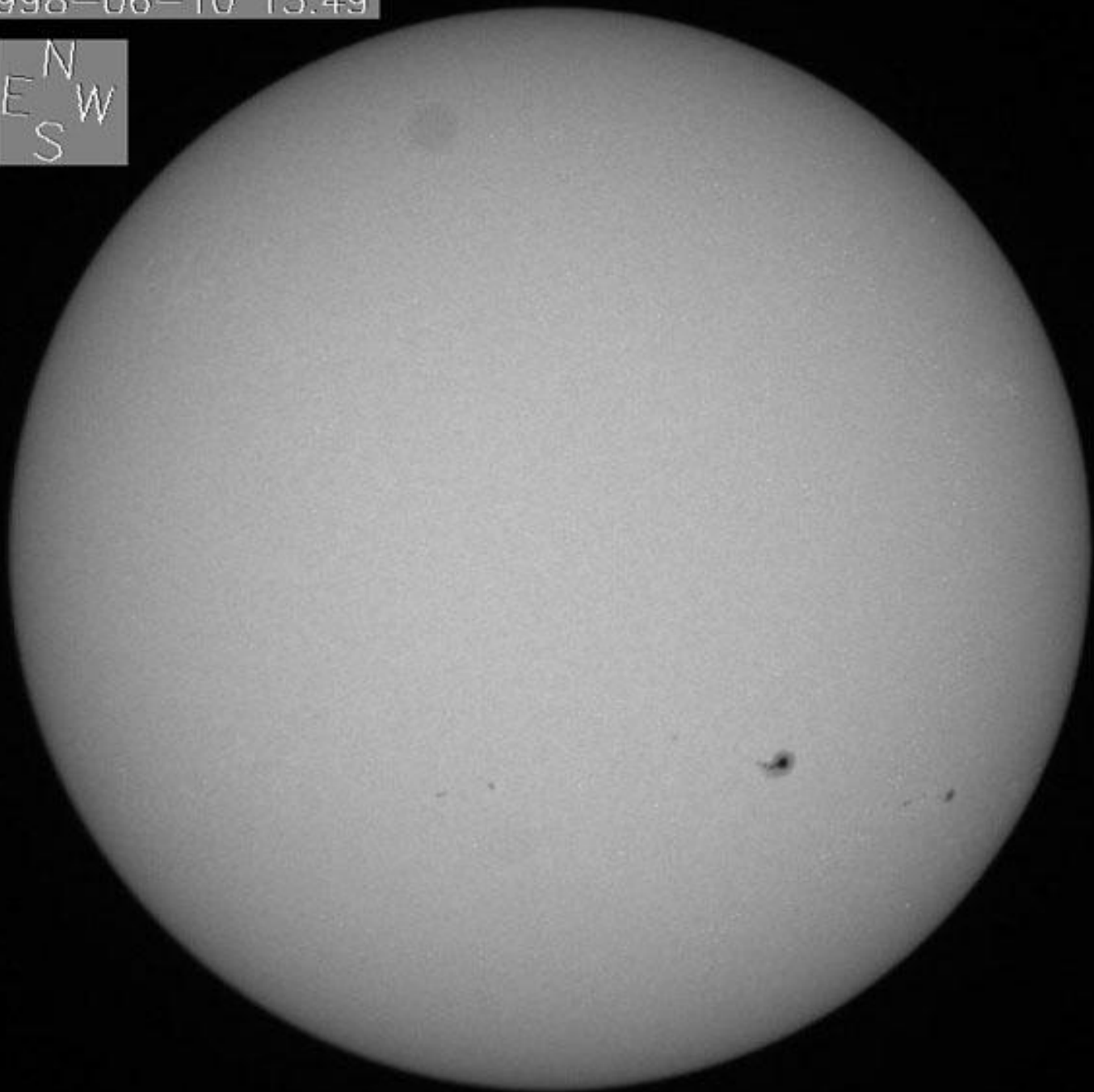
1998-06-05 17:46

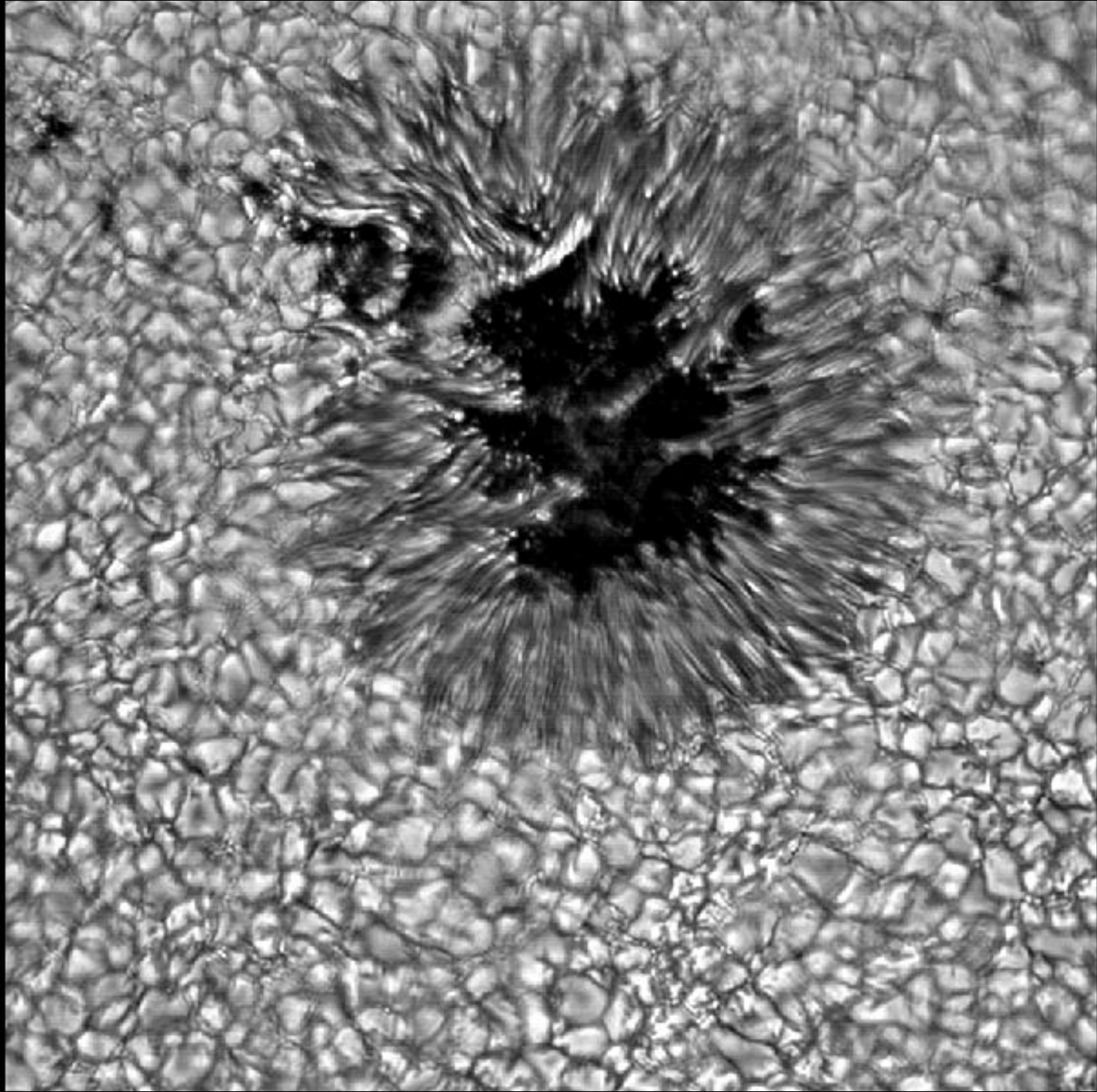
N
E W
S

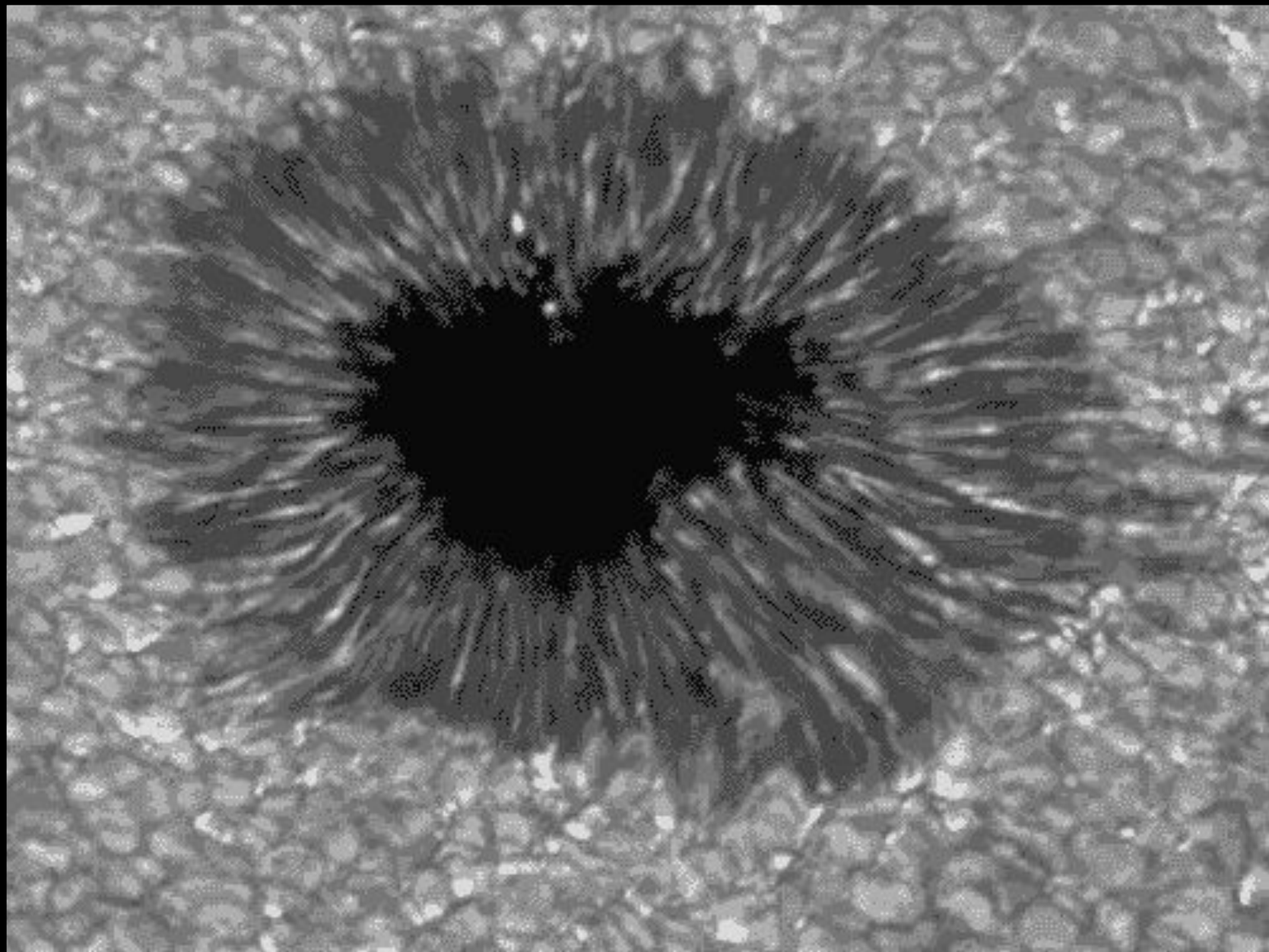


1998-06-10 15:49

N
E W
S

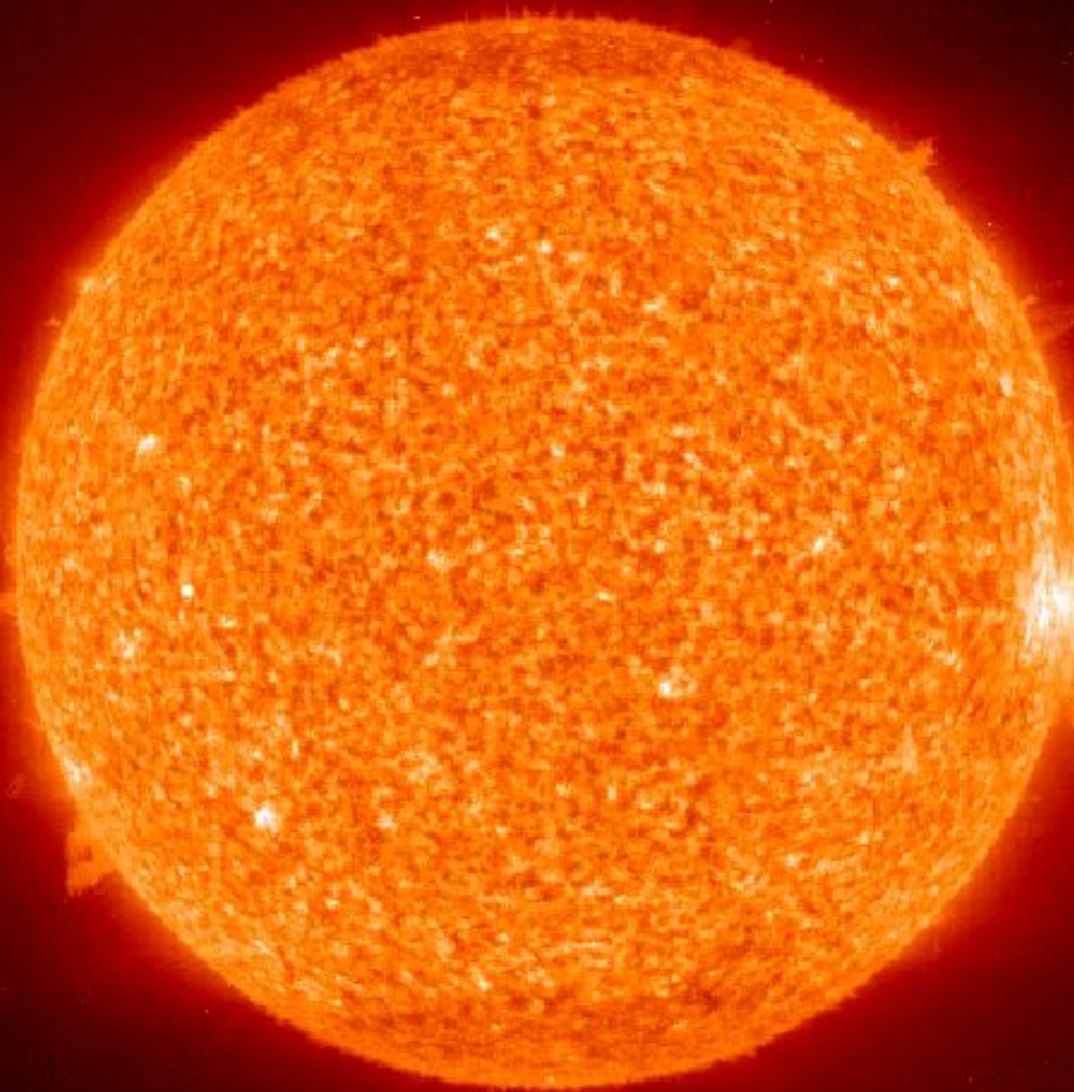




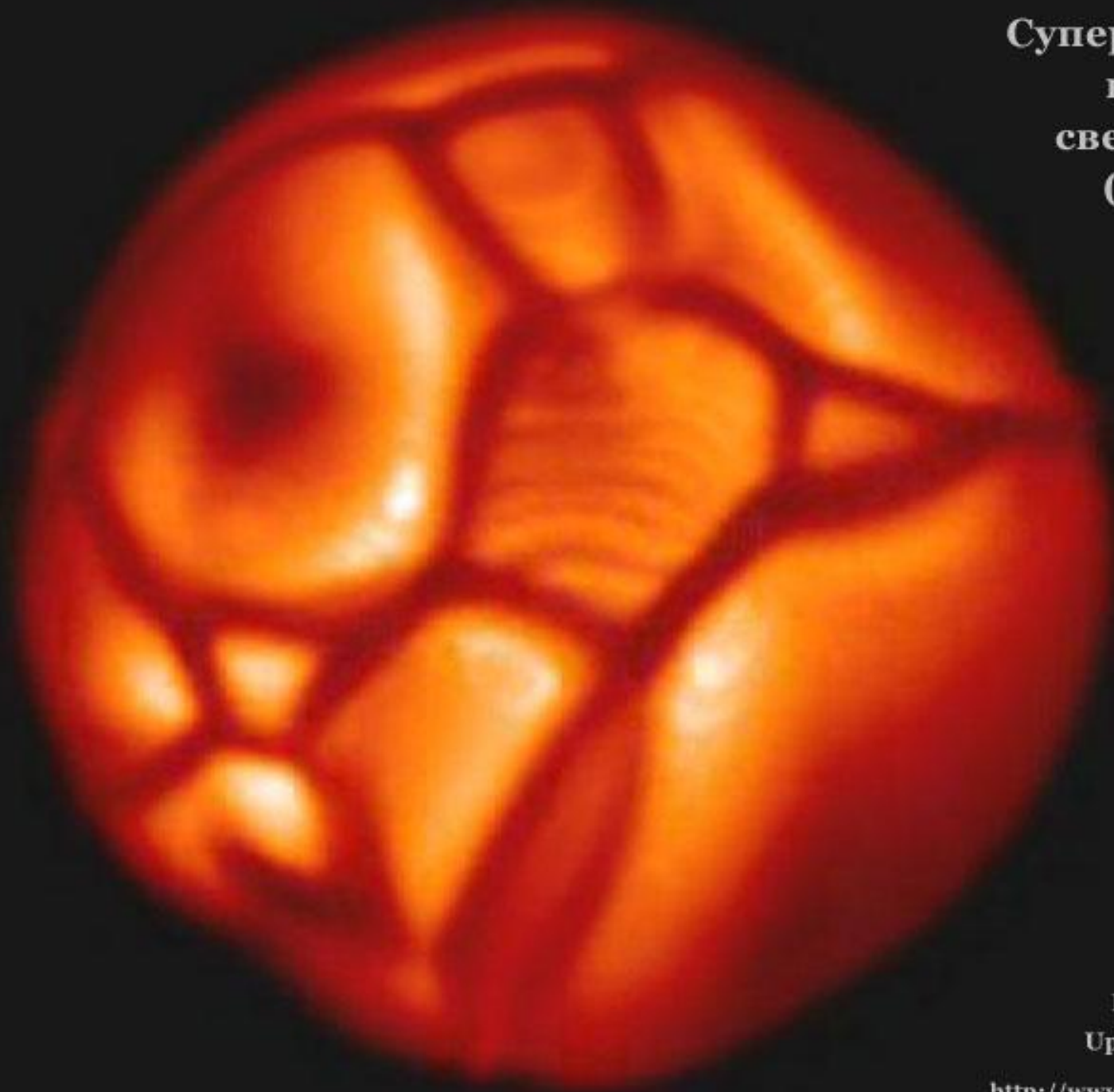


SOHO EIT, He II line, 304 Å

May 18, 1996 at 20:02



**Супергрануляция
красного
сверхгиганта
(модель)**



**Bernd Freytag
Uppsala University**

<http://www.astro.uu.se/~bf/movie/>

Шкала звёздных величин

Идея принадлежит Гиппарху (II в. до н.э.),
разделившему все видимые глазом звёзды
на 6 классов яркости - от 1^м до 6^м
(лат. *magnituda* - величина)

Измерения, проведенные в XIX в., показали,
что разность в 5 зв. величин соответствует
отношению освещенностей около 1:100

Норман ПОГСОН (Англия, 1857) предложил
за основание шкалы принять значение

$$q = 100^{-1/5} = 1/2,511886... \approx 1/2,512 \approx 1/2,5$$

Логарифмические шкалы

Шкала	Интервал	Запись	Выражение
exp	степень экспоненты	n exp	e^n
dex	степень десяти	n dex	10^n
B	бел	n B	10^n
dB	децибел	n dB	$10^{0,1n}$
mag	звездная величина	n mag или n^m	$10^{-0,4n}$

Примеры:

- Громкость и высота звука - децибел, октава (1:2)
- Сила землетрясений - шкала Рихтера-Меркалли (lg)
- Сила ветра - шкала Бофорта (степенная?)
- Гениальность физиков - шкала Ландау (lg или mag)
- Астероидная опасность - Туринская шкала (lg)

Наша неявная склонность к логарифмическому представлению чисел имеет глубокое физиологическое обоснование: оказывается, наши **органы чувств пользуются логарифмическими шкалами.**

Впервые это заметил французский физик **Пьер Бугер** (1698-1758): глаз фиксирует **относительное** различие яркости поверхностей.

В виде правила это сформулировал немецкий физиолог **Эрнст Вебер** (1795-1878), изучавший мышечную и кожную чувствительность. В 1830-34 гг. он установил: мы воспринимаем не абсолютное, а **относительное** изменение силы раздражителя.

Например, если в руке у вас гирька весом в 10 г, то вы уверенно ощущаете добавку к ней еще такого же веса; но если вы держите вес в 10 кг, то добавление к нему 10-граммовой гирьки вы не ощутите.

Позже это подтвердилось и для других органов чувств - зрения, слуха, вкуса.

В 1858 г. немецкий физик и психолог **Густав Фехнер** (1801-1887) сформулировал это математически:

$$S = a \ln I + b$$

S - интенсивность ощущения, I - сила раздражителя, a и b - константы.

Закон Вебера-Фехнера
(основной психофизический закон)

ощущение пропорционально логарифму раздражения

Шкала звёздных величин

Отношение освещенностей от двух звёзд:

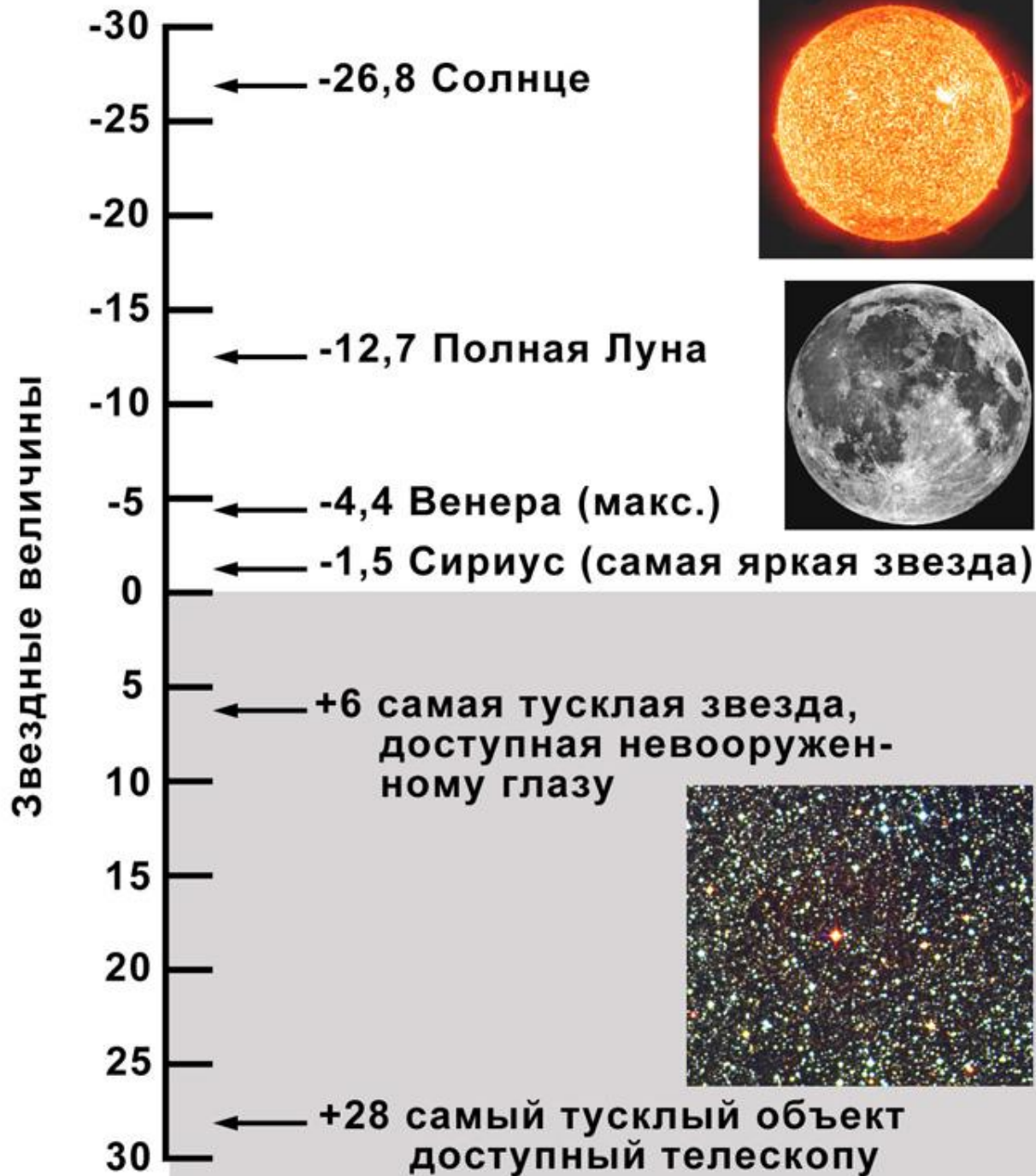
$$\frac{E_{m1}}{E_{m2}} = (2,512\dots)^{-(m1 - m2)}$$

$$\lg \frac{E_{m1}}{E_{m2}} = -0,4(m1 - m2)$$

Формула Погсона

$$m1 - m2 = -2,5 \lg \frac{E_{m1}}{E_{m2}}$$

Диапазон звёздных величин



Поверхностная яркость
ночного неба в зените
вдали от городов

$22,5 - 23 \text{ м}^2/\text{кв.сек}$

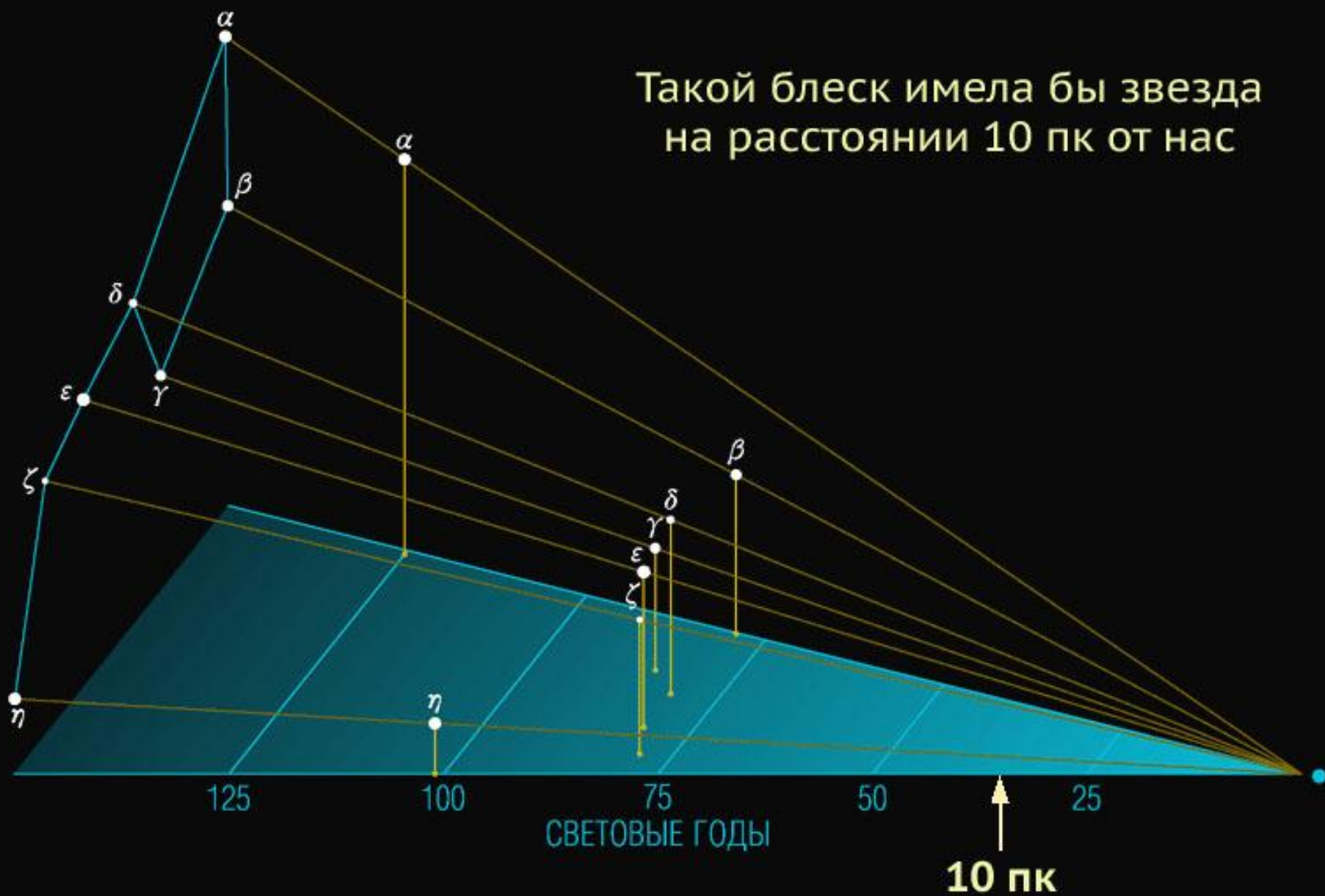
$13,5 - 14 \text{ м}^2/\text{кв.мин}$

Почему телескоп
"видит" до $28^{\text{м}}$?

Почему глаз не видит
звёзд $10 - 12^{\text{м}}$?

Абсолютная звёздная величина

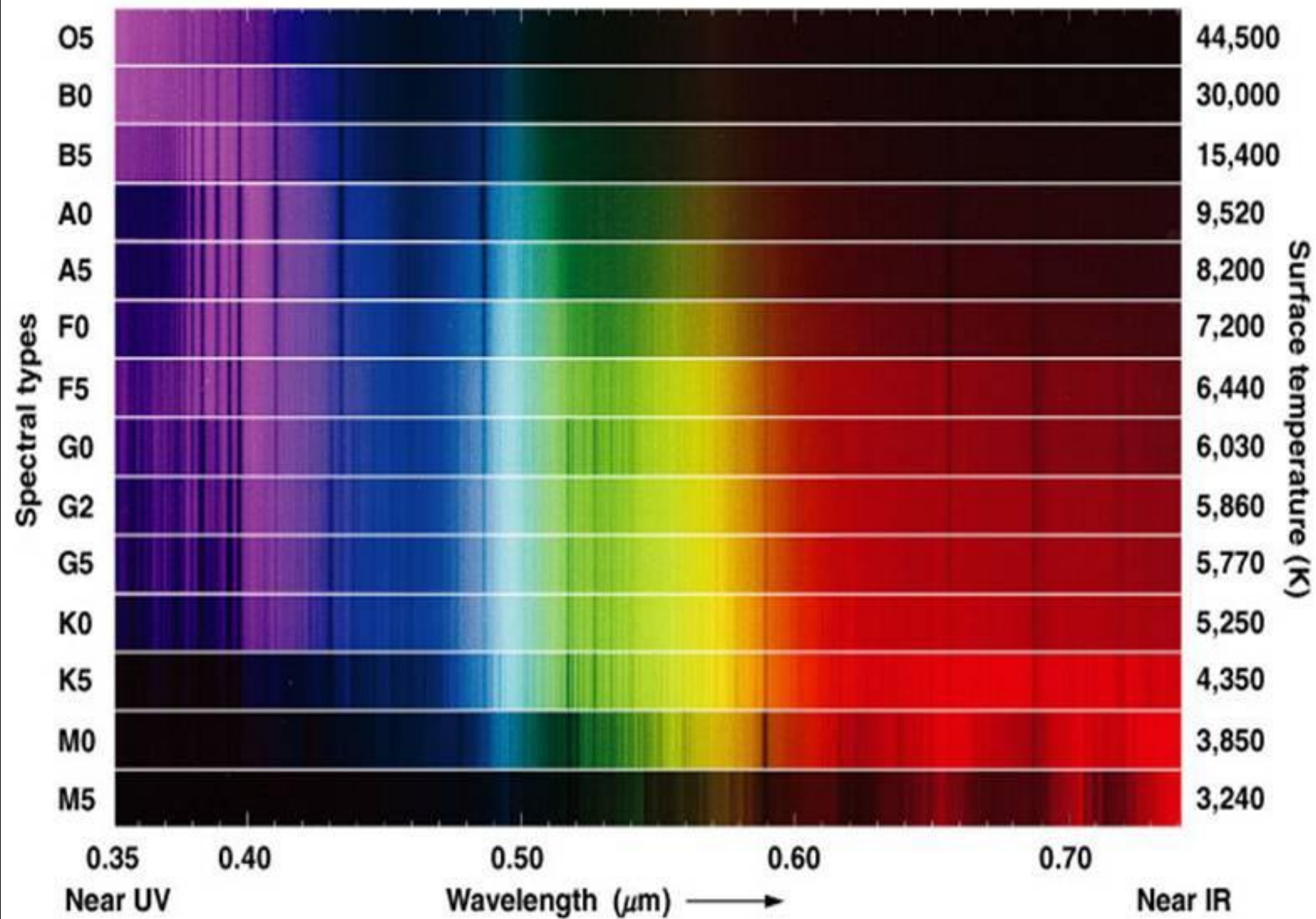
Такой блеск имела бы звезда
на расстоянии 10 пк от нас



Эволюция звезд



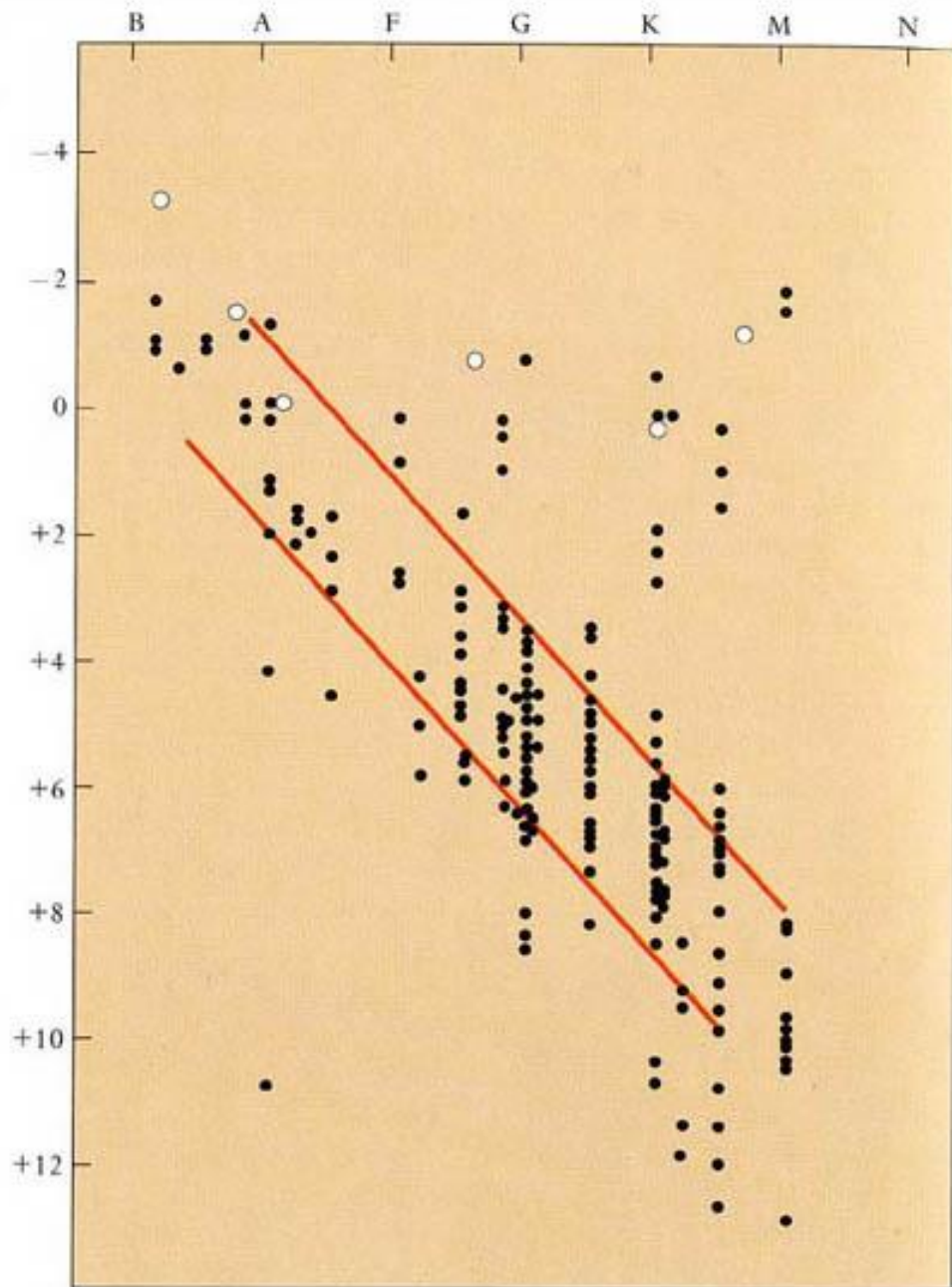
Спектры звёзд



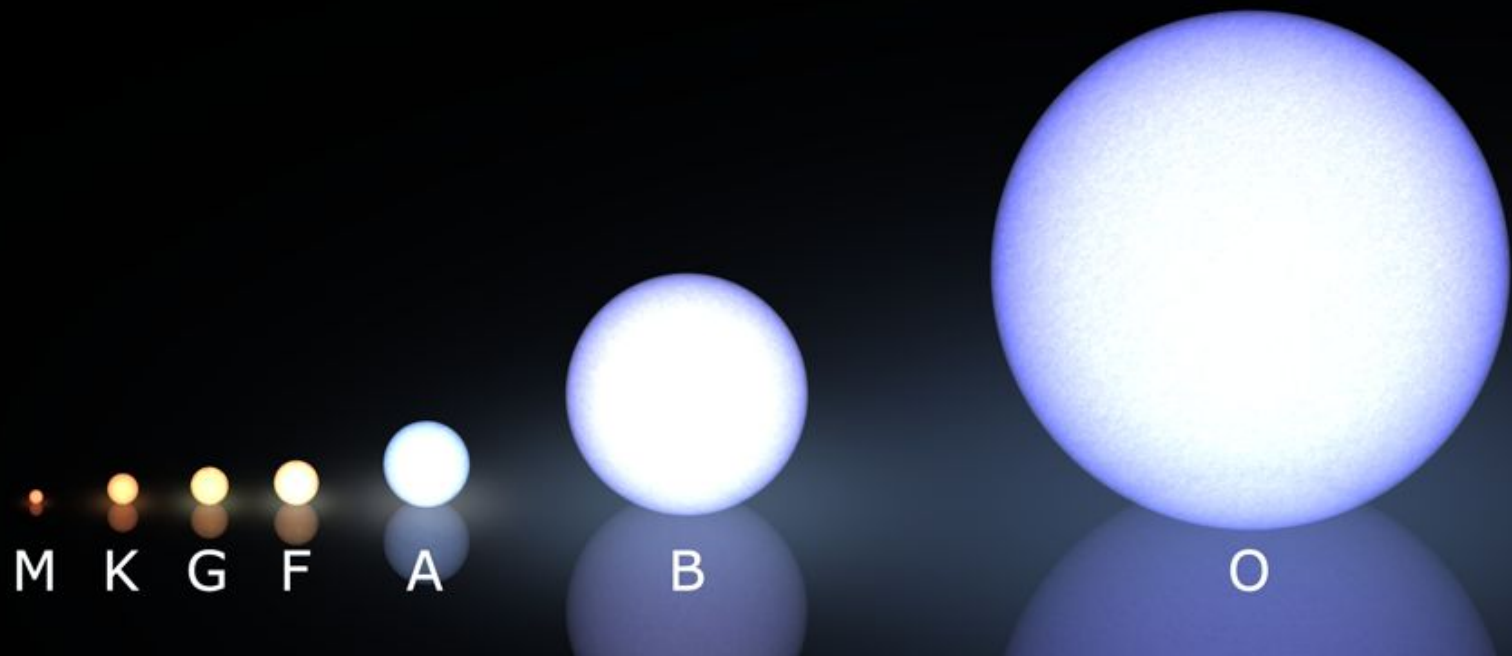
Генри Норрис РАССЕЛ



Einar Hertzsprung, 1937 Bruce Medalist. (Photograph courtesy of the Niels Bohr Library of the American Institute of Physics and from the A.S.P. slide set "Astronomers of the Past".)



Henry Norris Russell's original diagram, in which he plotted absolute visual magnitudes of stars against their spectral classes. The dwarf sequence (now called the main sequence), which



M

K

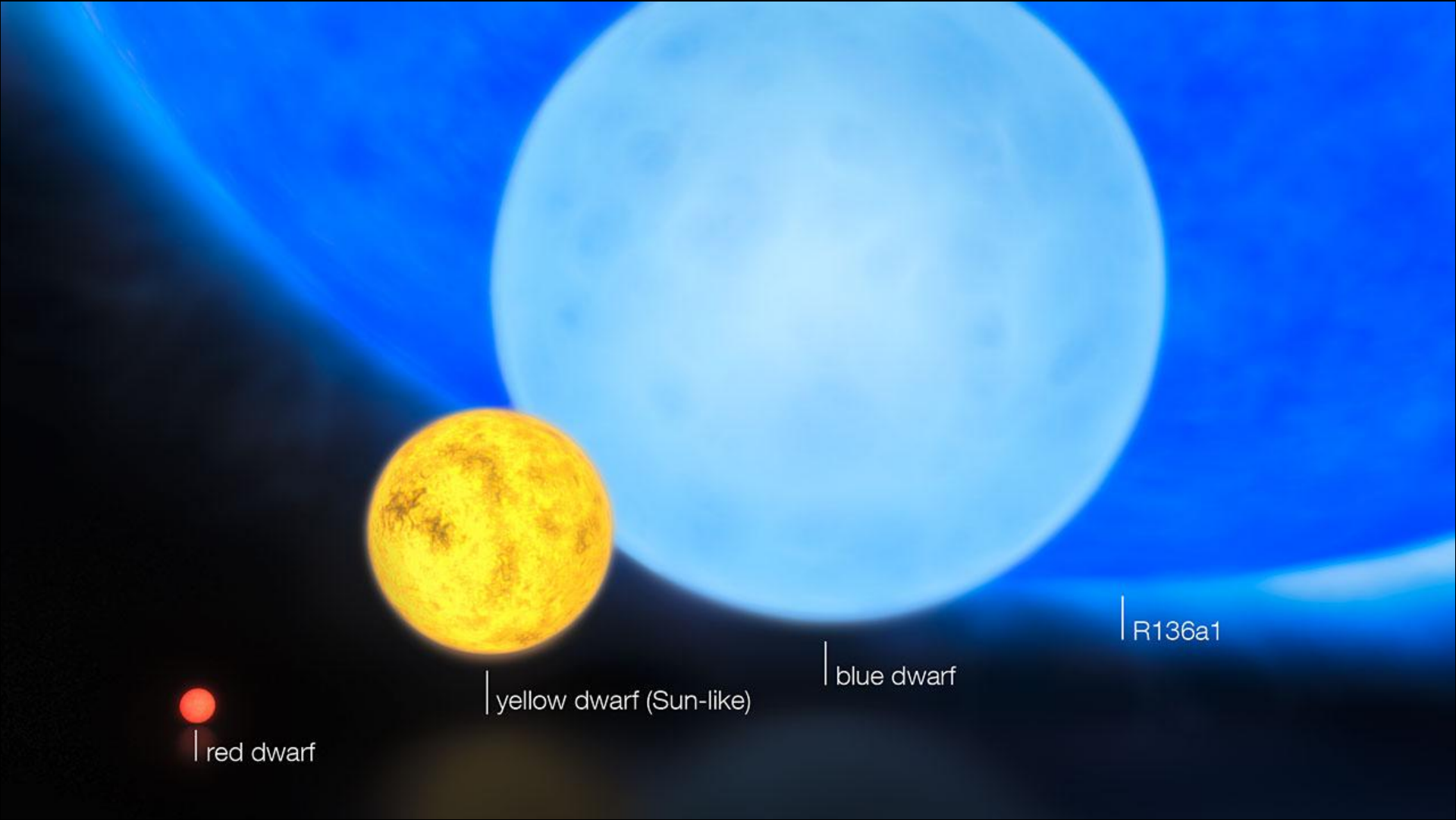
G

F

A

B

O

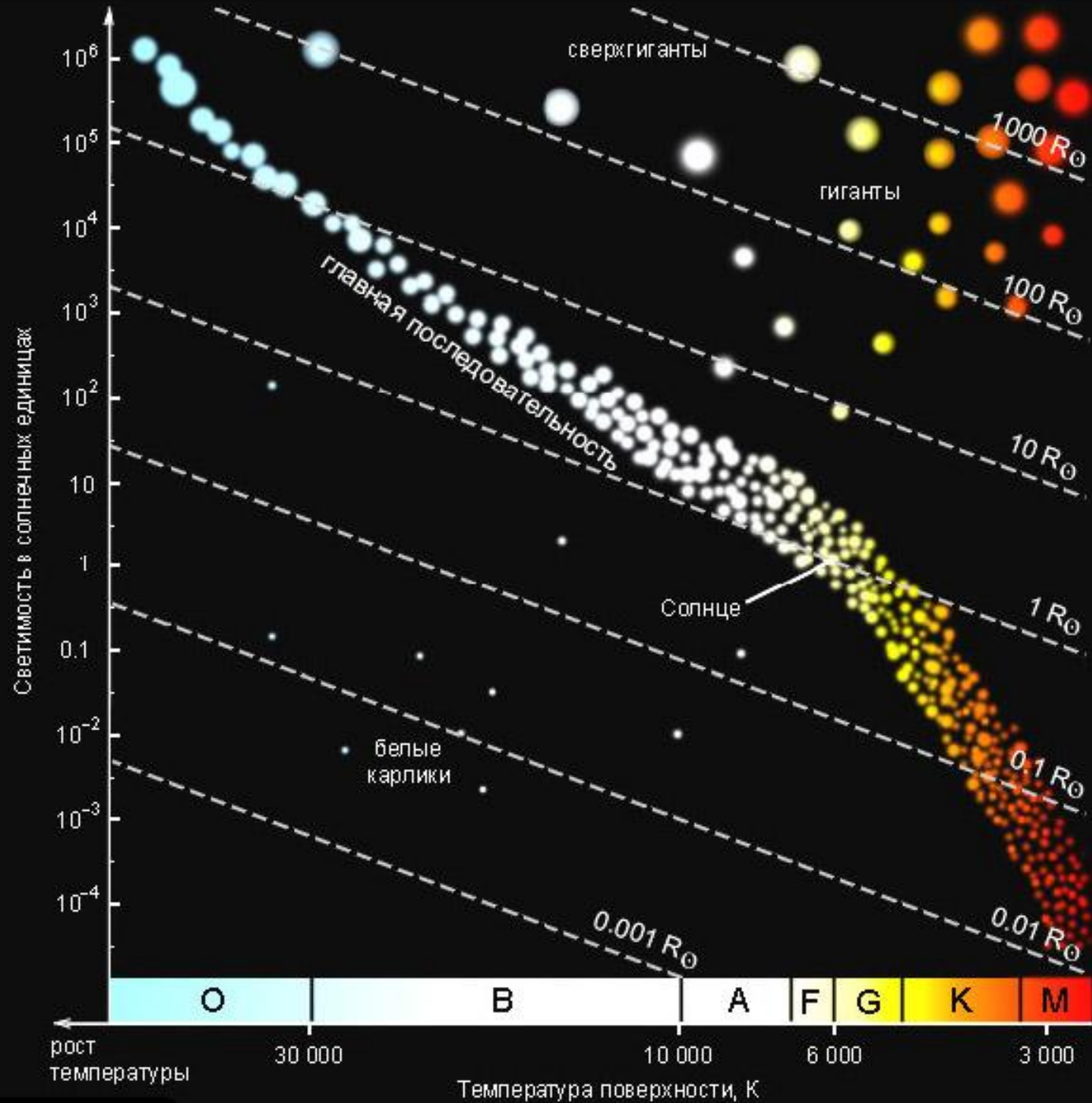


| red dwarf

| yellow dwarf (Sun-like)

| blue dwarf

| R136a1



Светимость в солнечных единицах

сверхгиганты

гиганты

главная последовательность

Солнце

белые карлики

$1000 R_{\odot}$

$100 R_{\odot}$

$10 R_{\odot}$

$1 R_{\odot}$

$0.1 R_{\odot}$

$0.001 R_{\odot}$

$0.01 R_{\odot}$

O

B

A

F

G

K

M

рост температуры

30 000

10 000

6 000

3 000

Температура поверхности, К

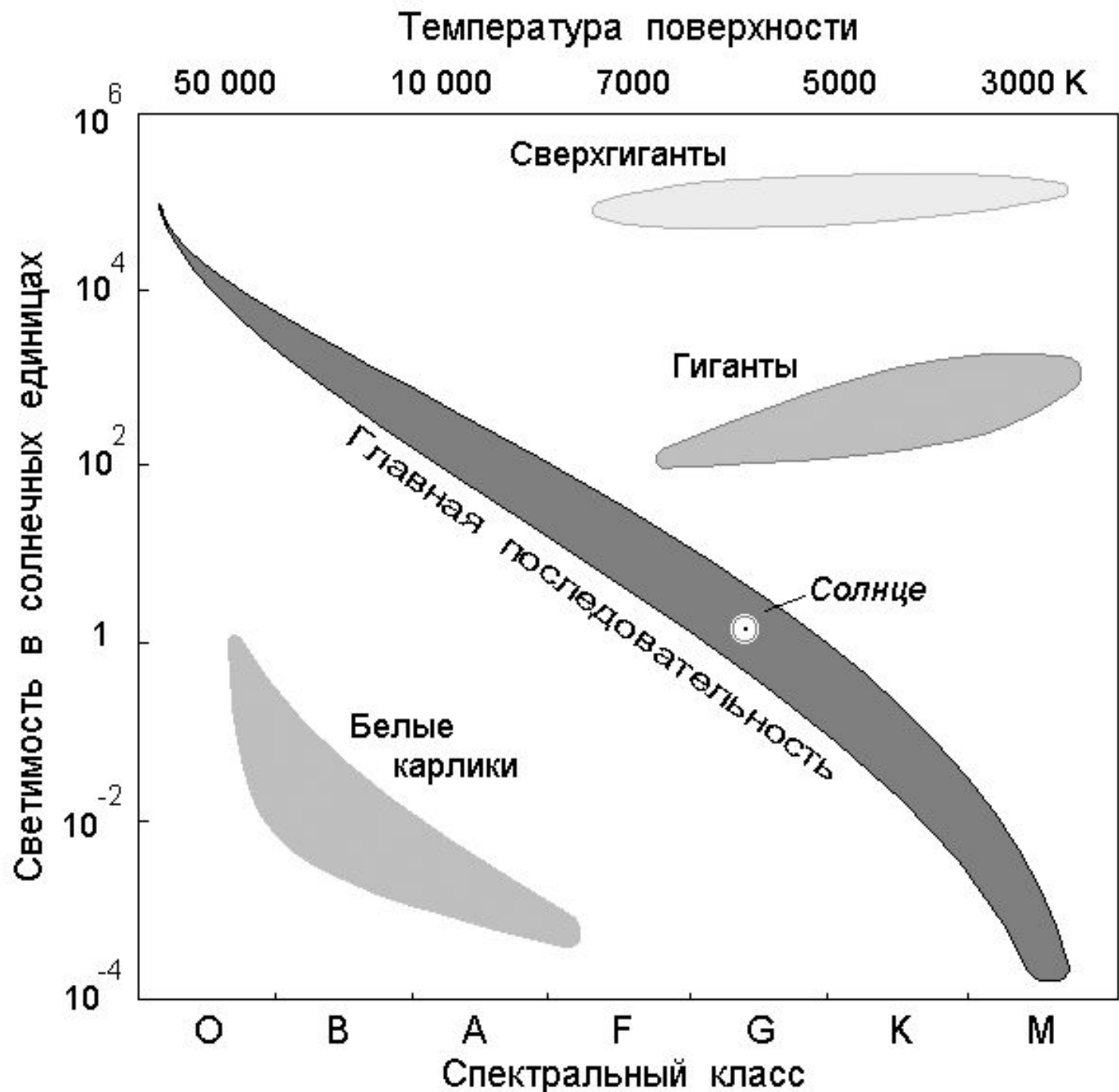


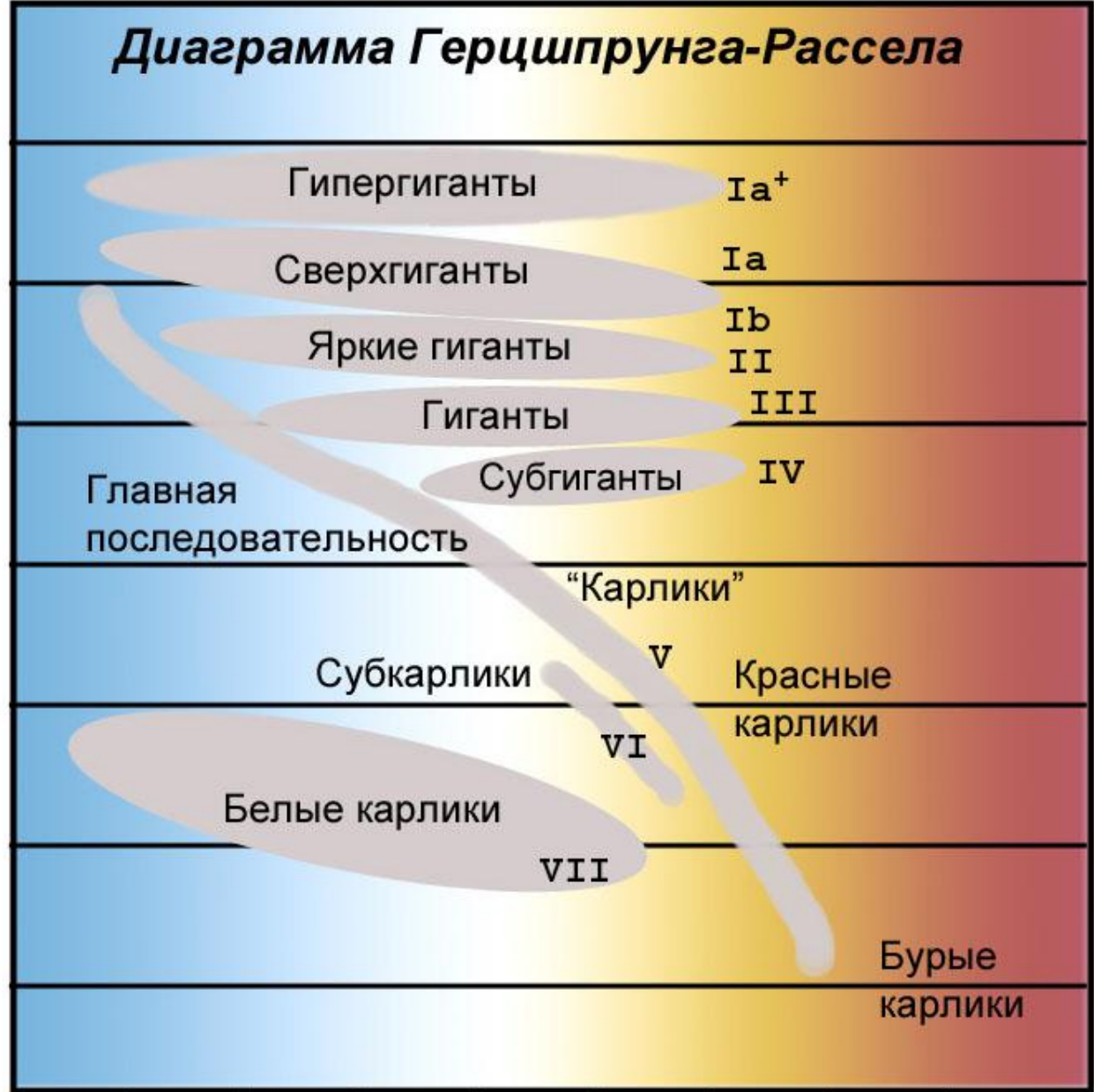
Диаграмма Герцшпрунга-Рассела

Светимость (в солнечных единицах)

1000000
10000
100
1
0,01
0,0001
0,000001

О | В | А | F | G | K | M | L | T

Спектральный класс



Звезда
Вольф 457



Белый карлик
Лейтена

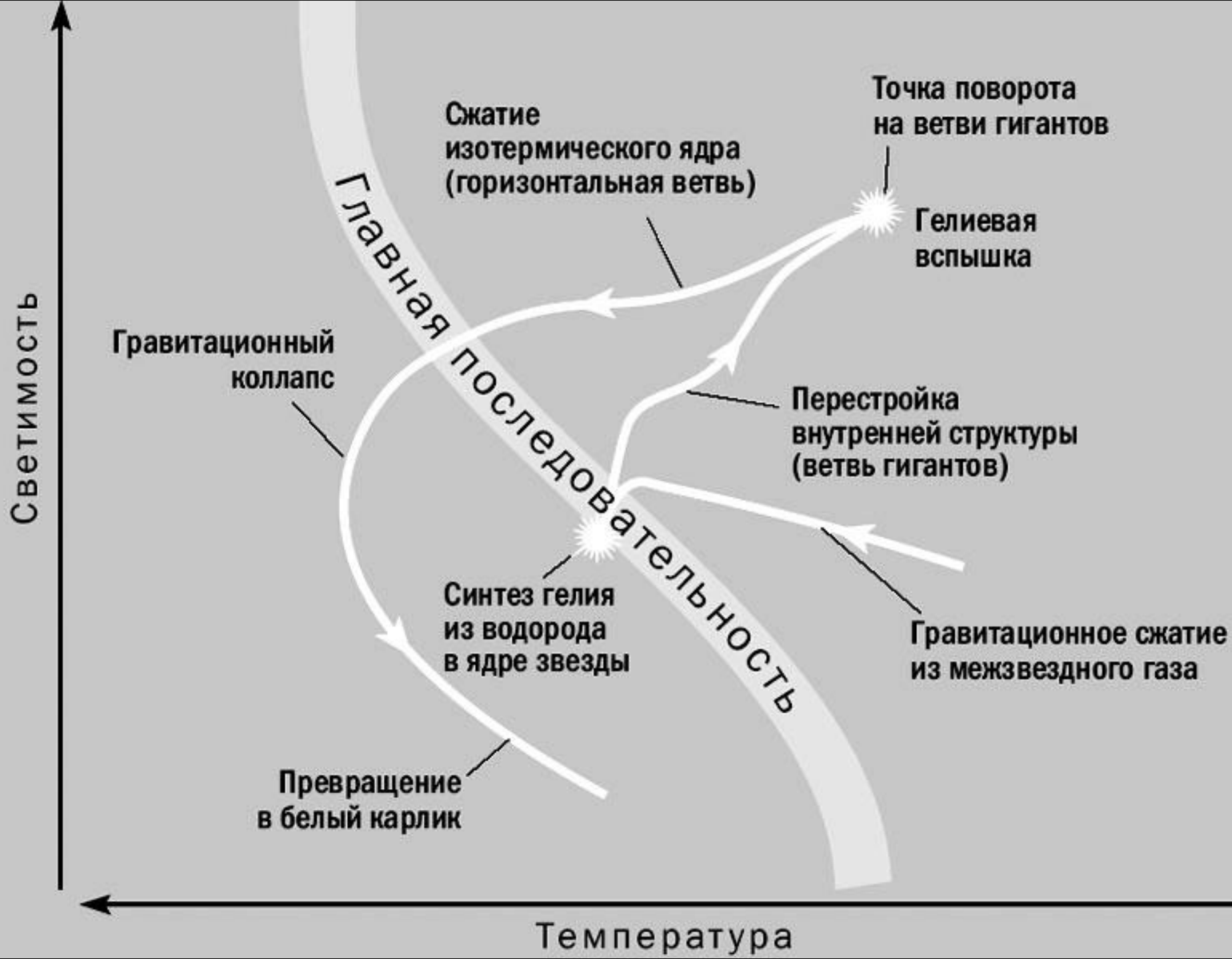


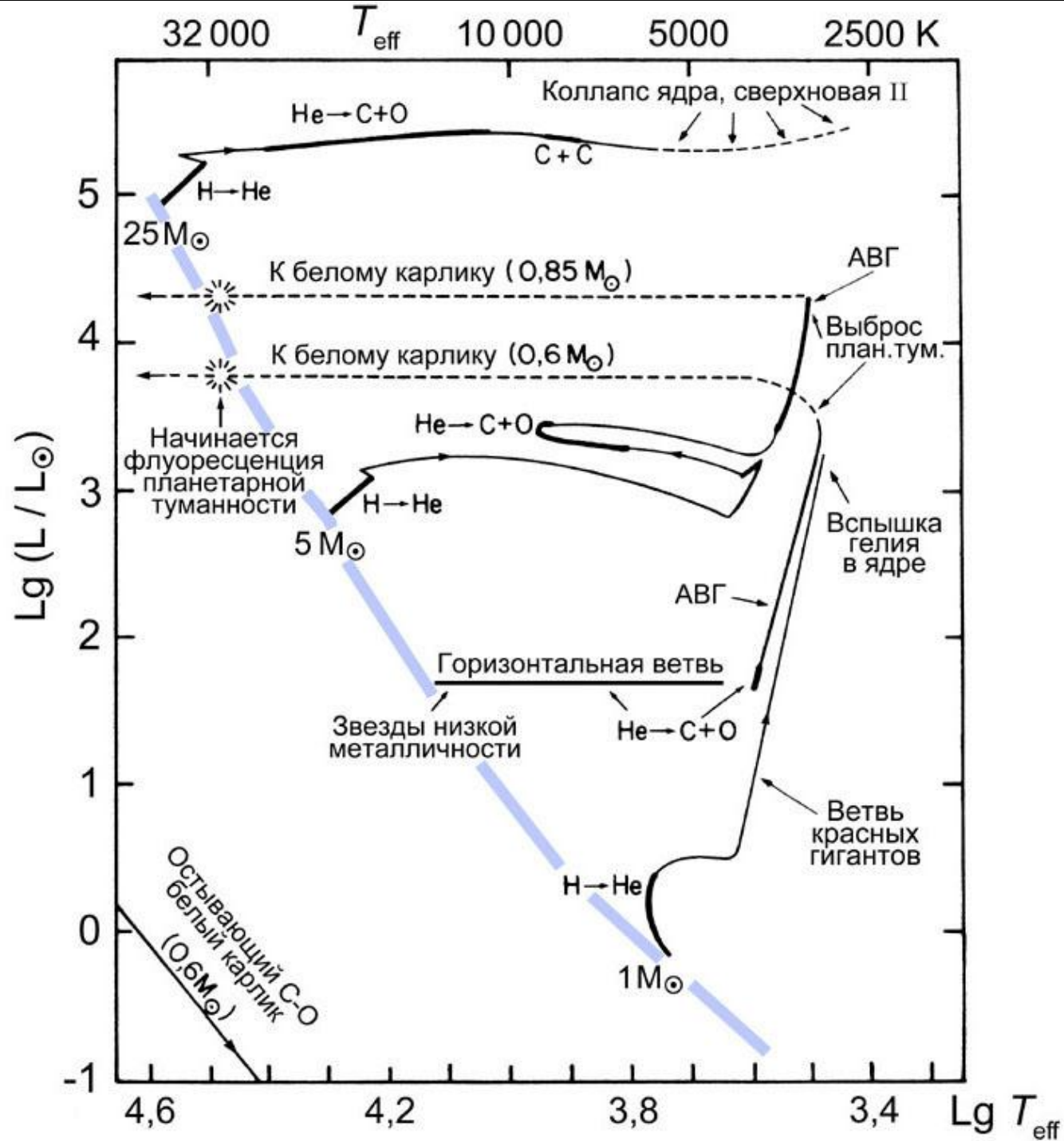
Земля

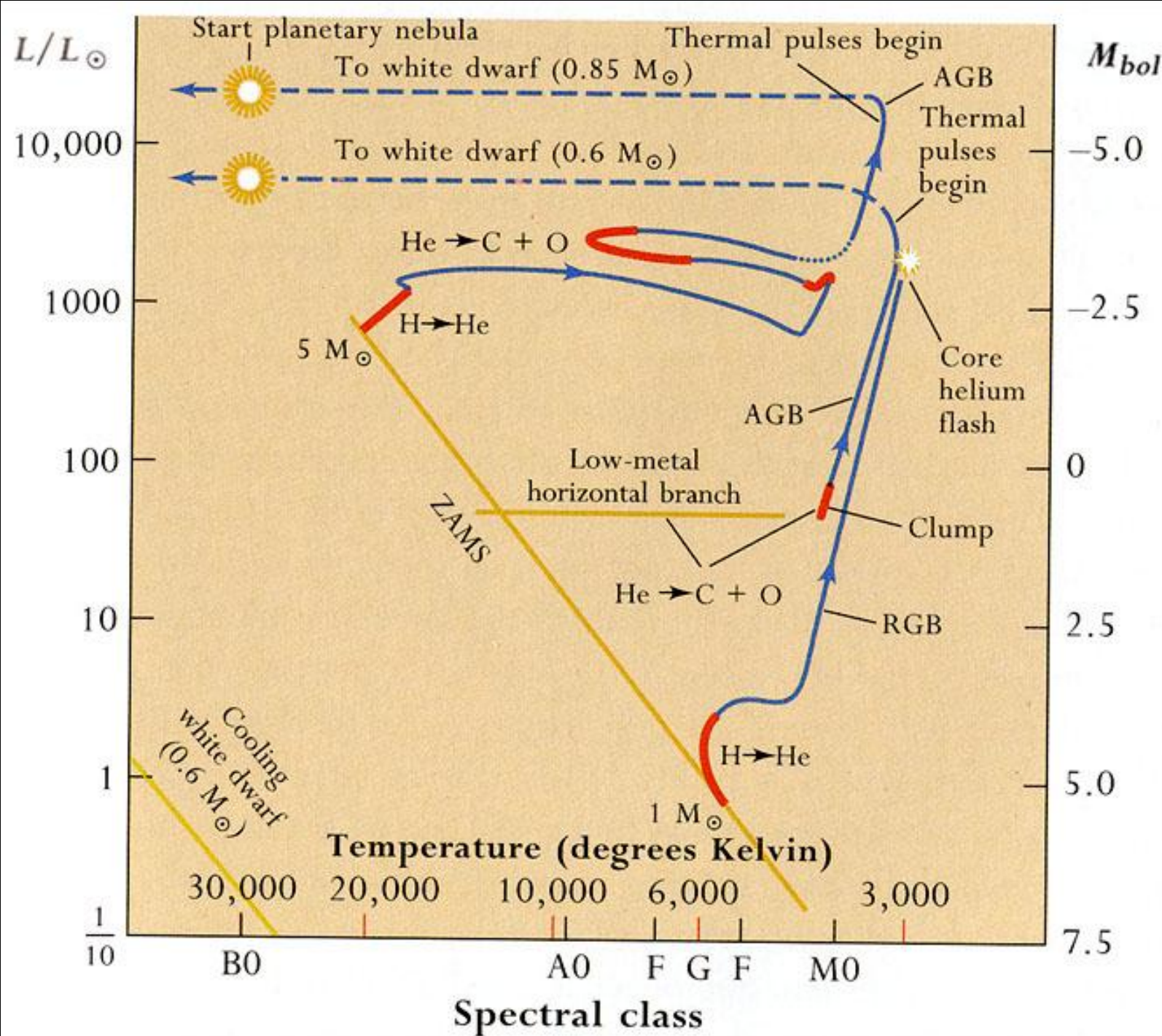


Эволюция Солнца

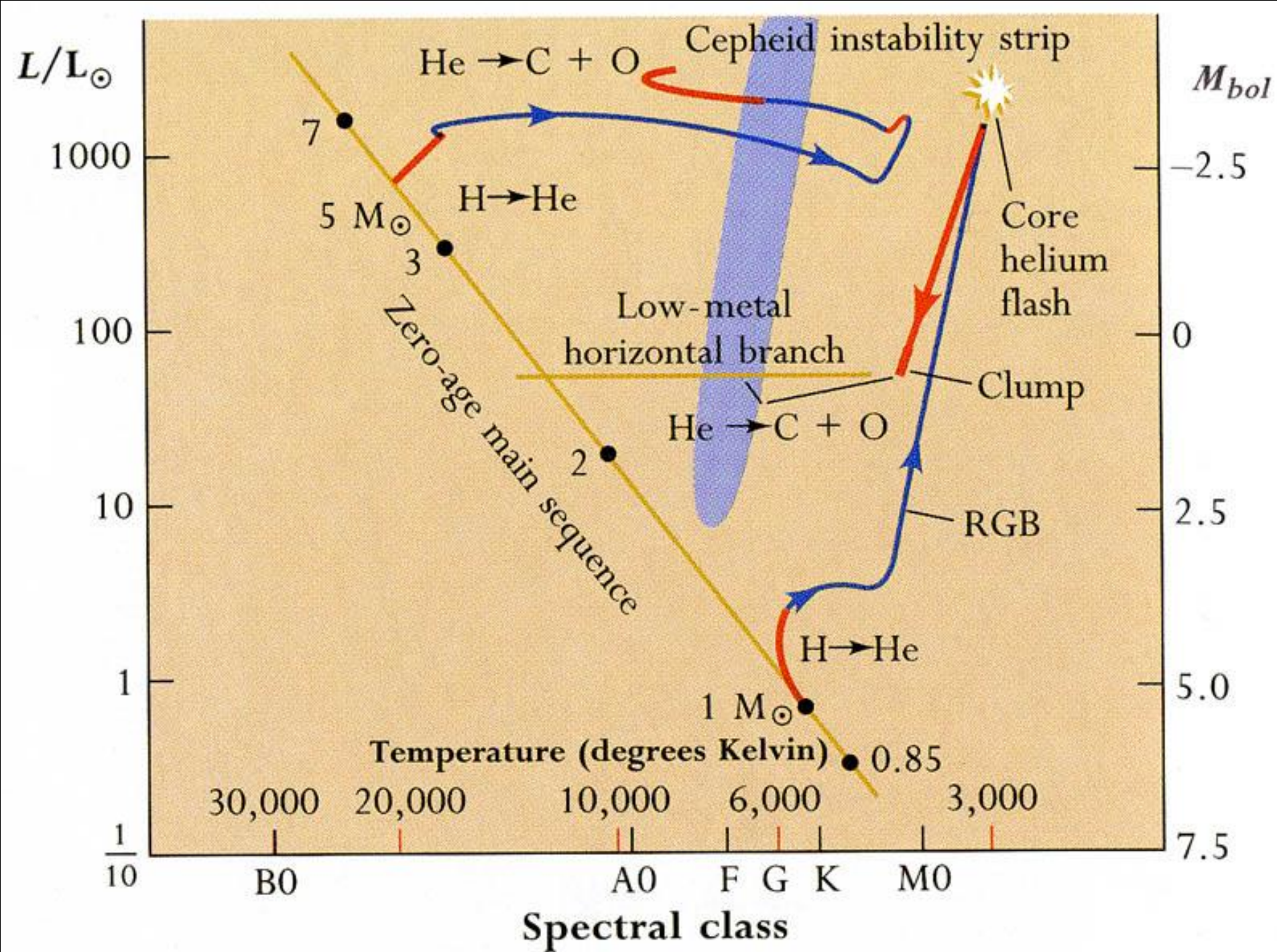


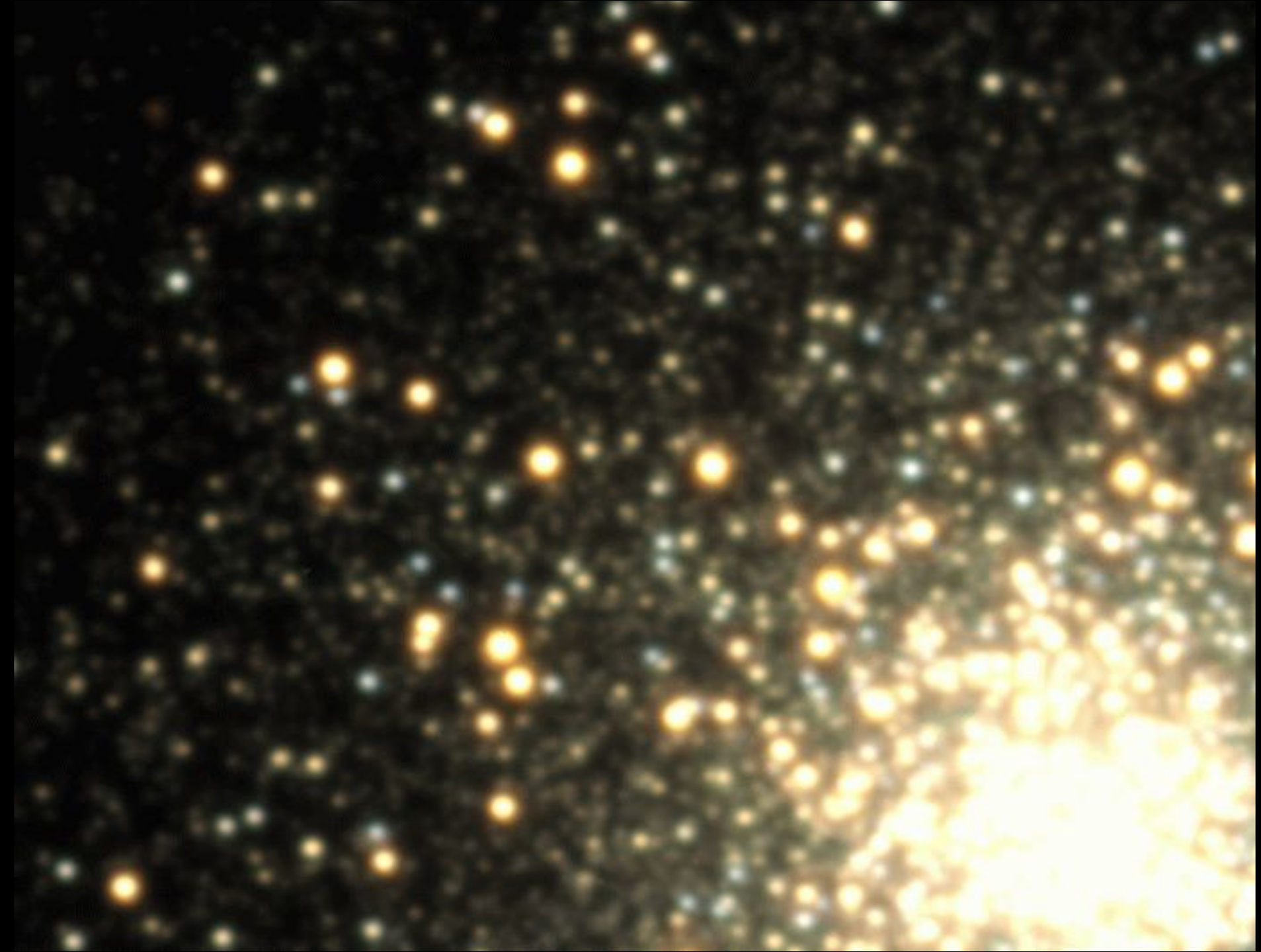






Теоретические эволюционные треки звезд с массами 1 и 5 M_{\odot}

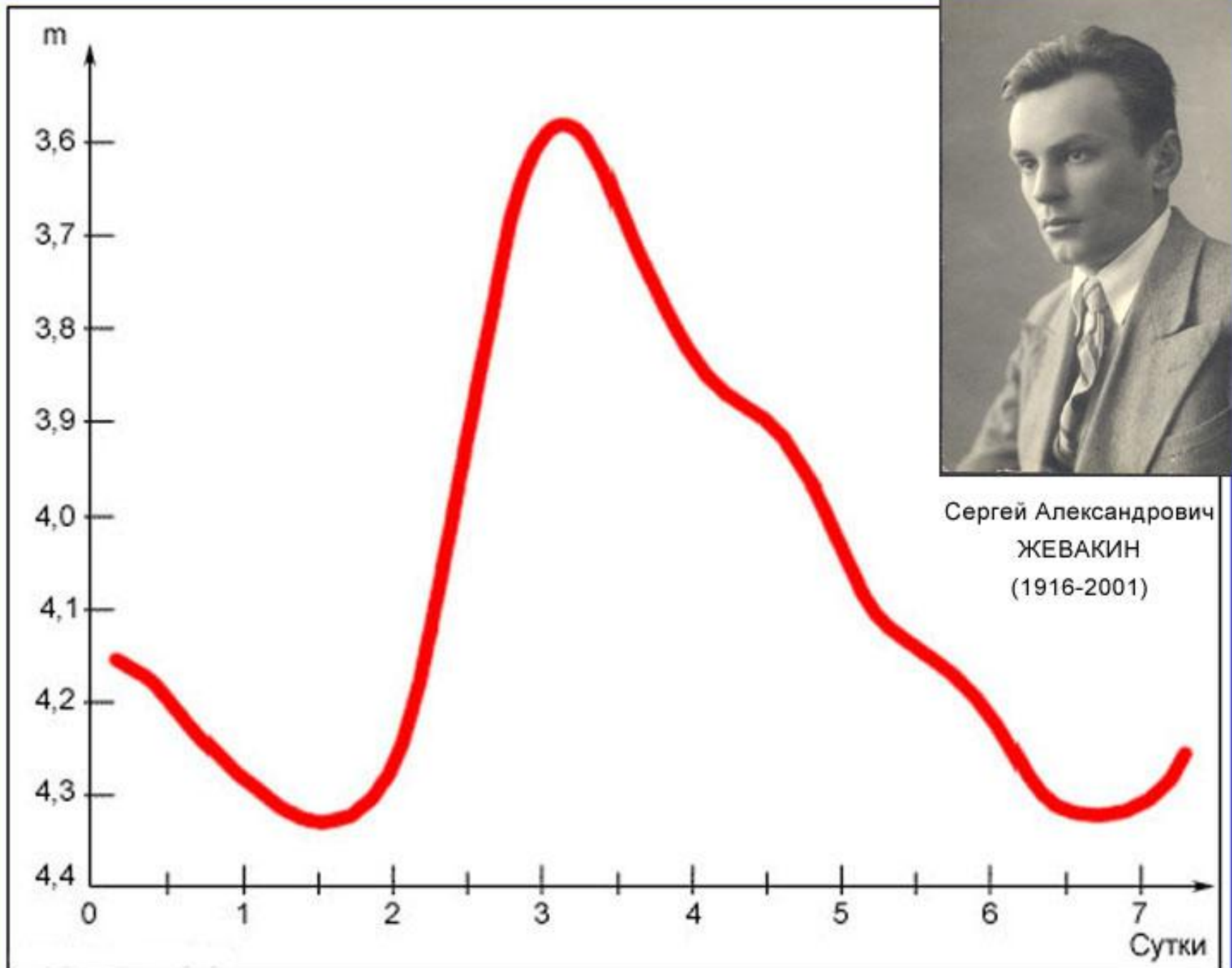








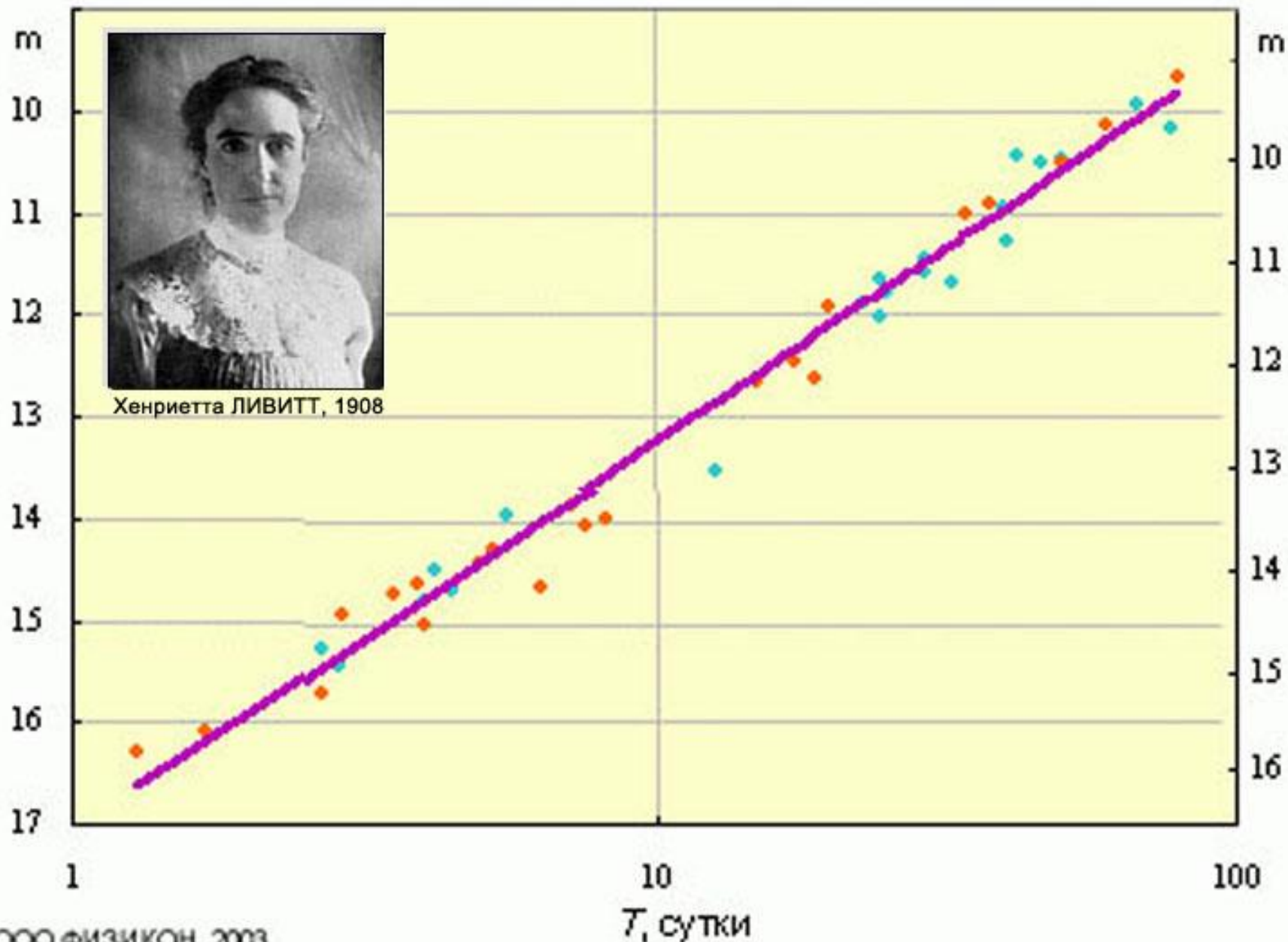
Сергей Александрович
ЖЕВАКИН
(1916-2001)



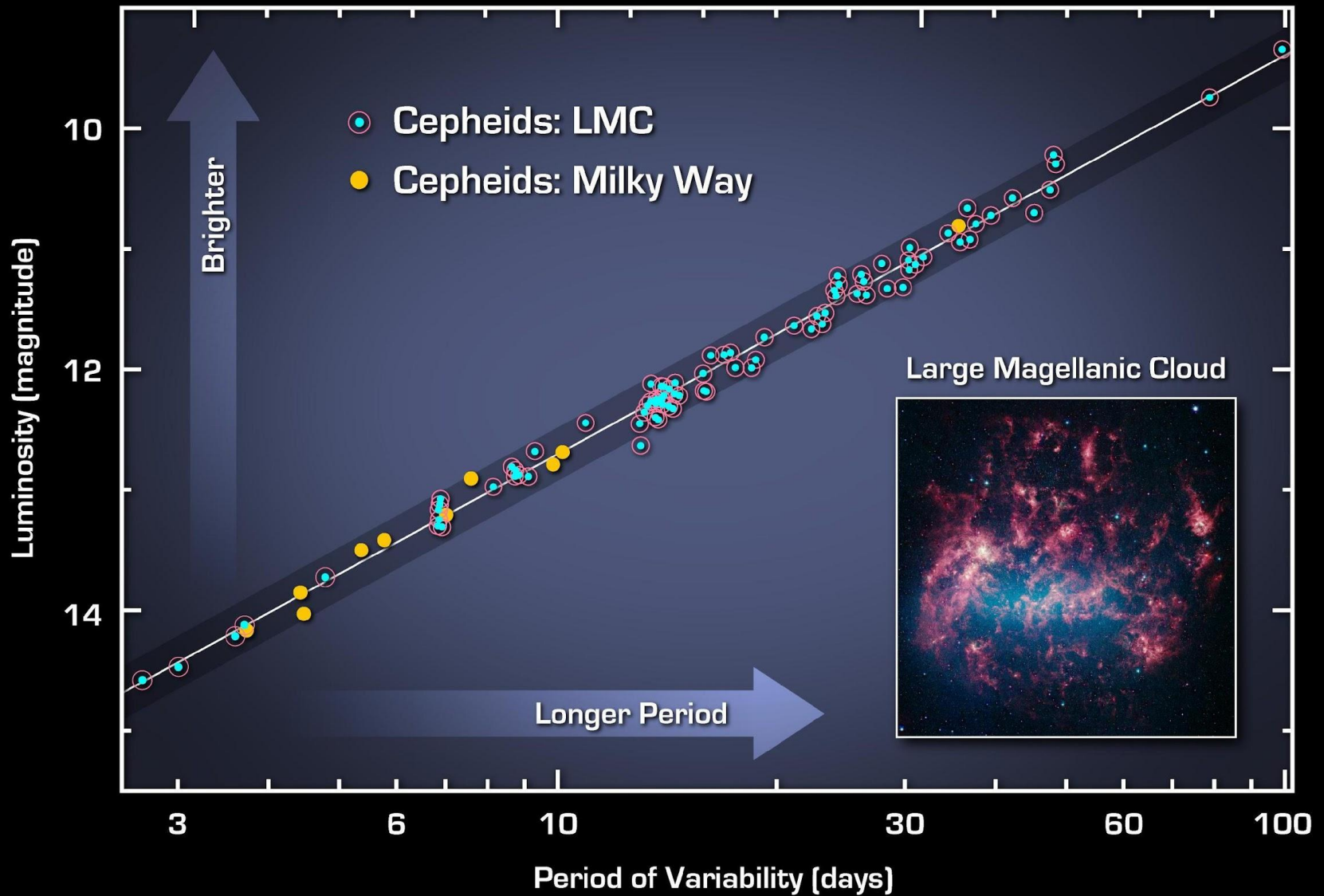


• MMO

• БМО



Хенриетта ЛИВИТТ, 1908



Calibrated Period-luminosity Relationship for Cepheids

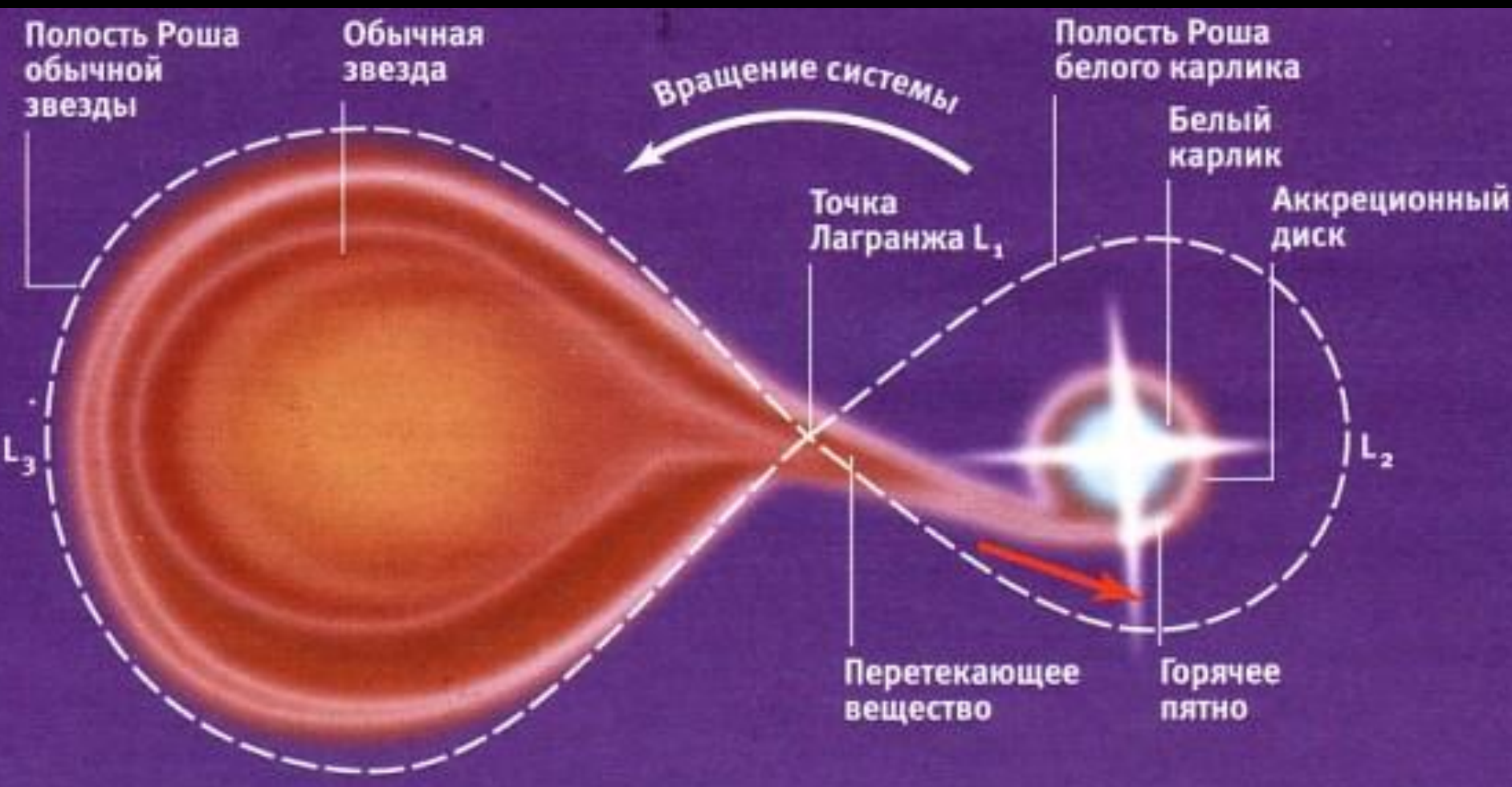
Spitzer Space Telescope • IRAC

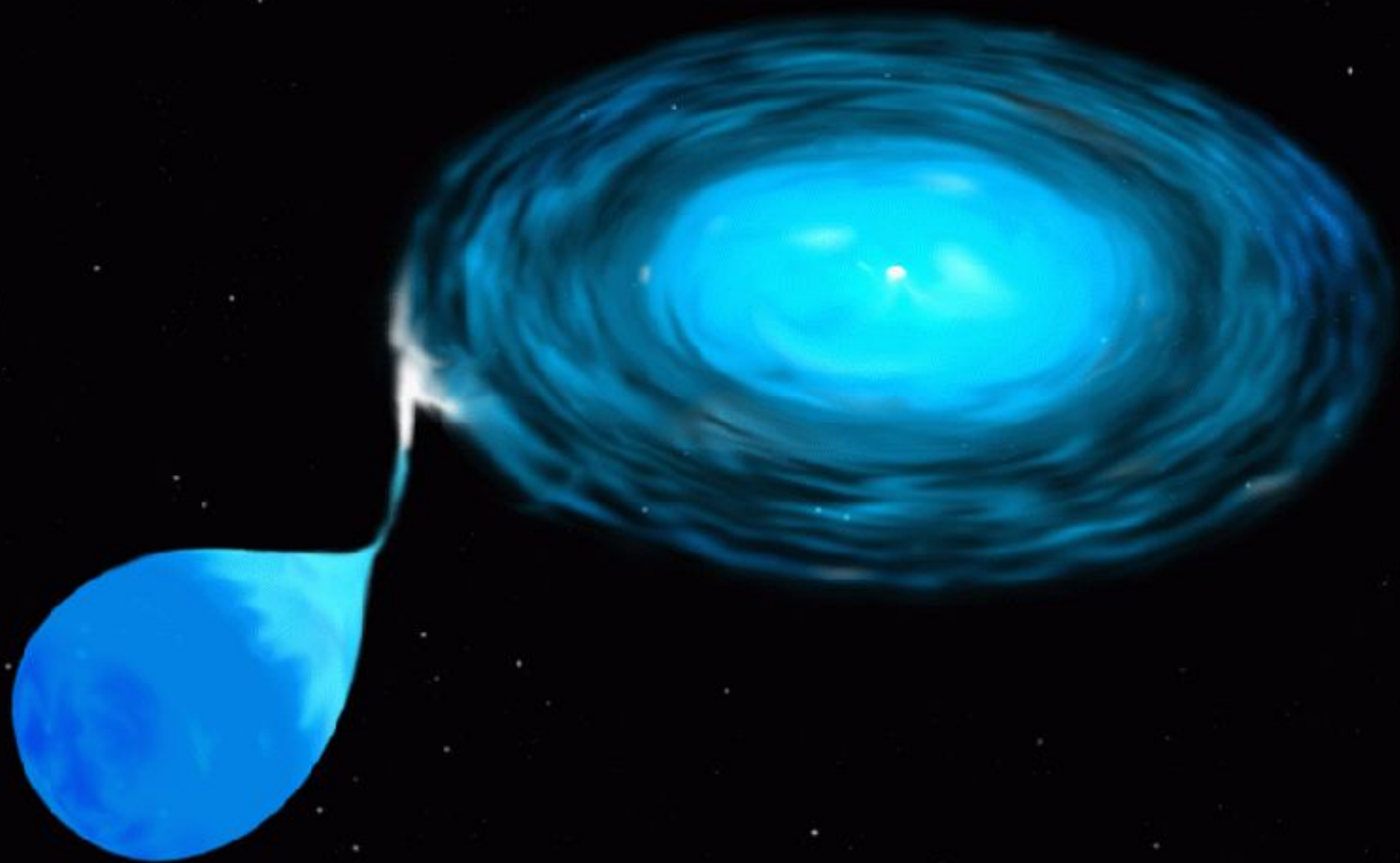


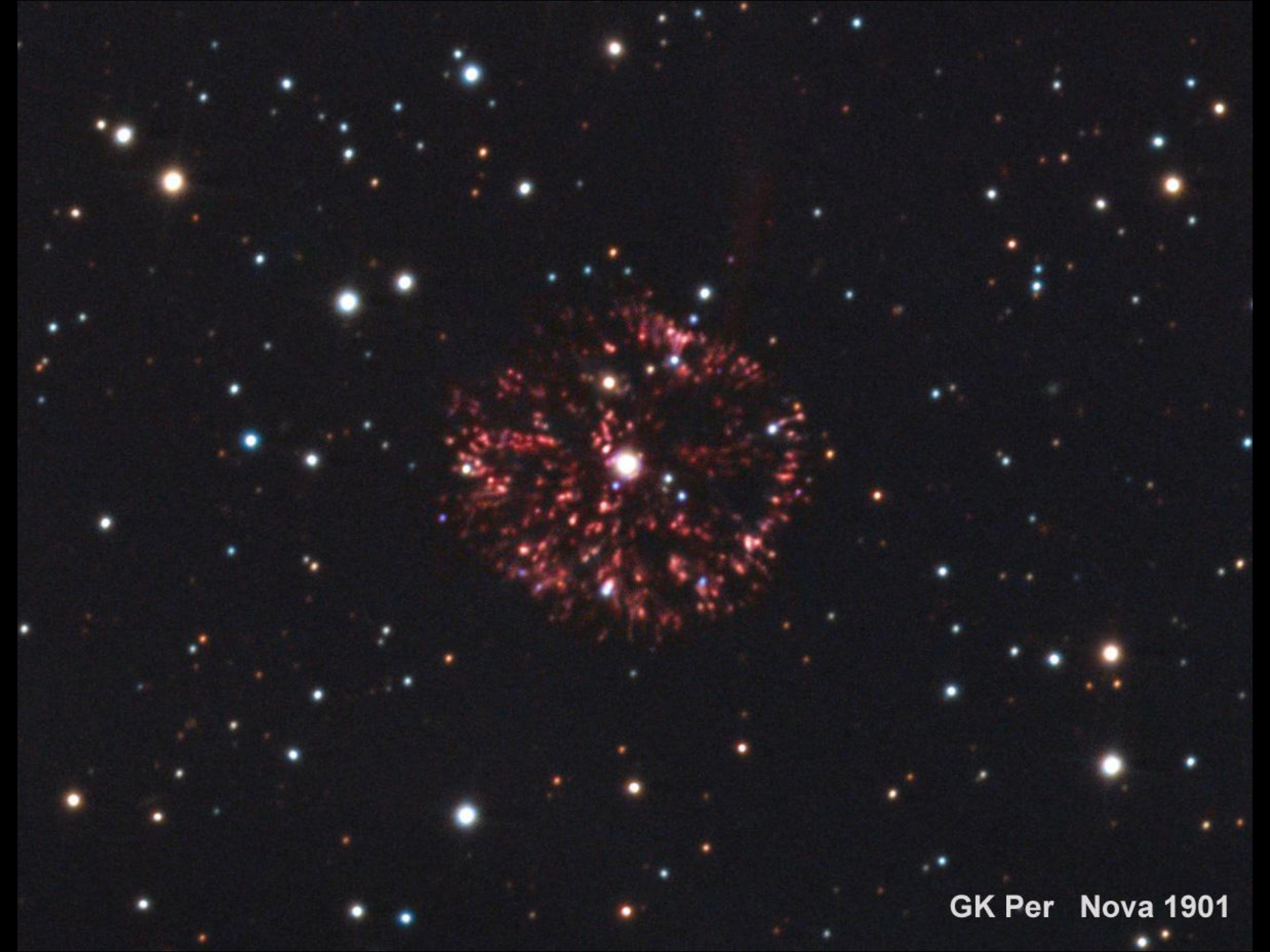




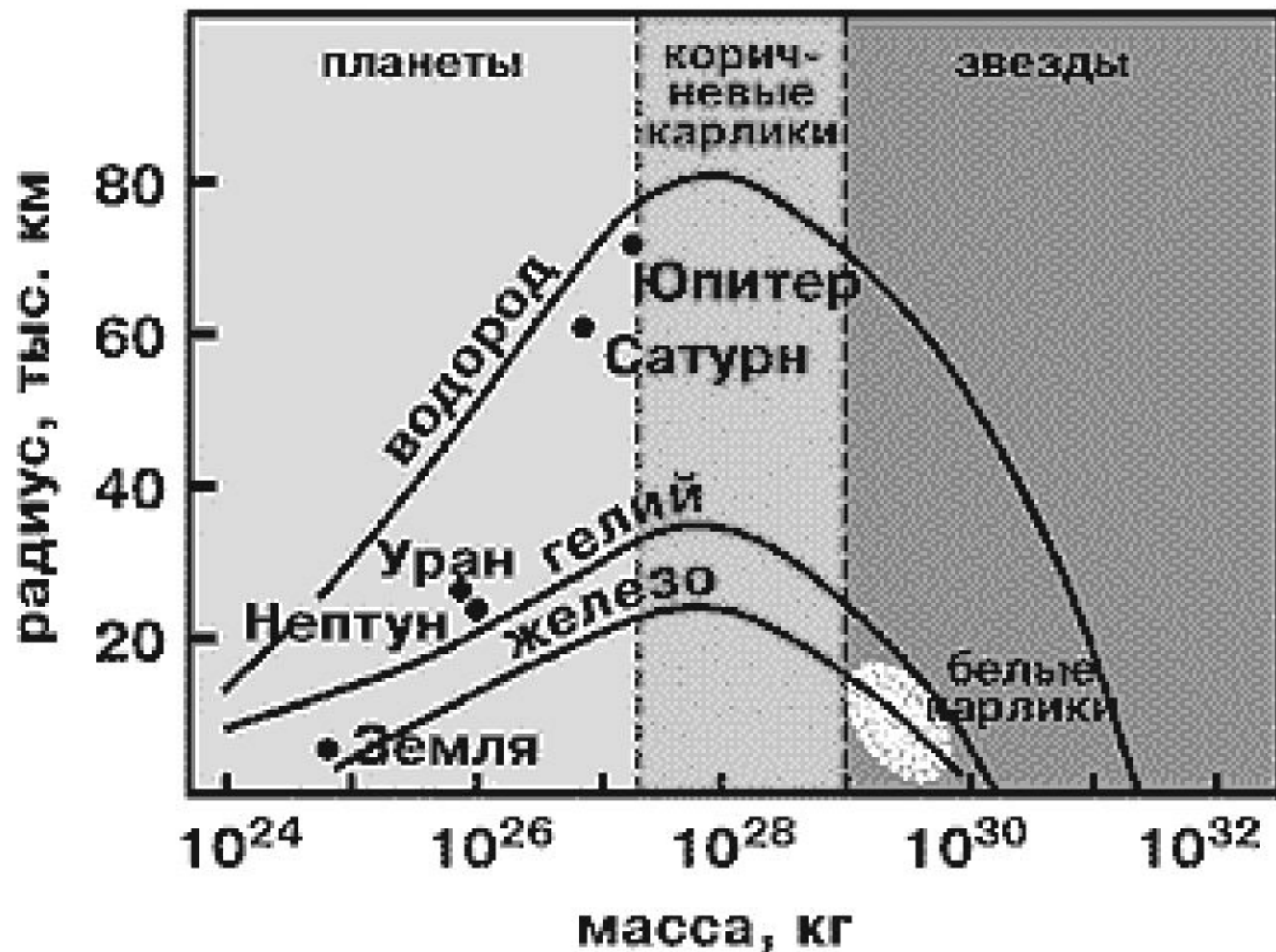








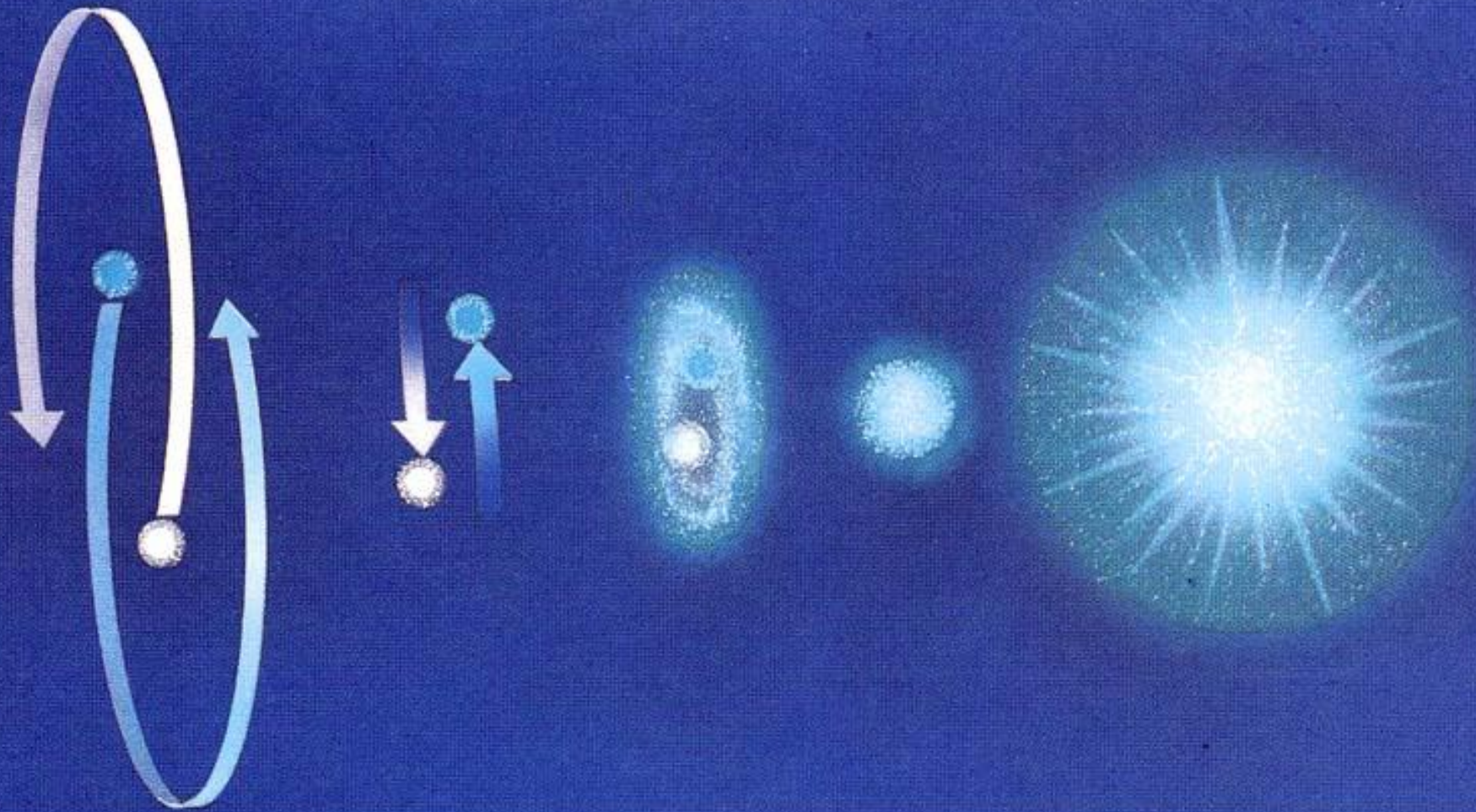
GK Per Nova 1901



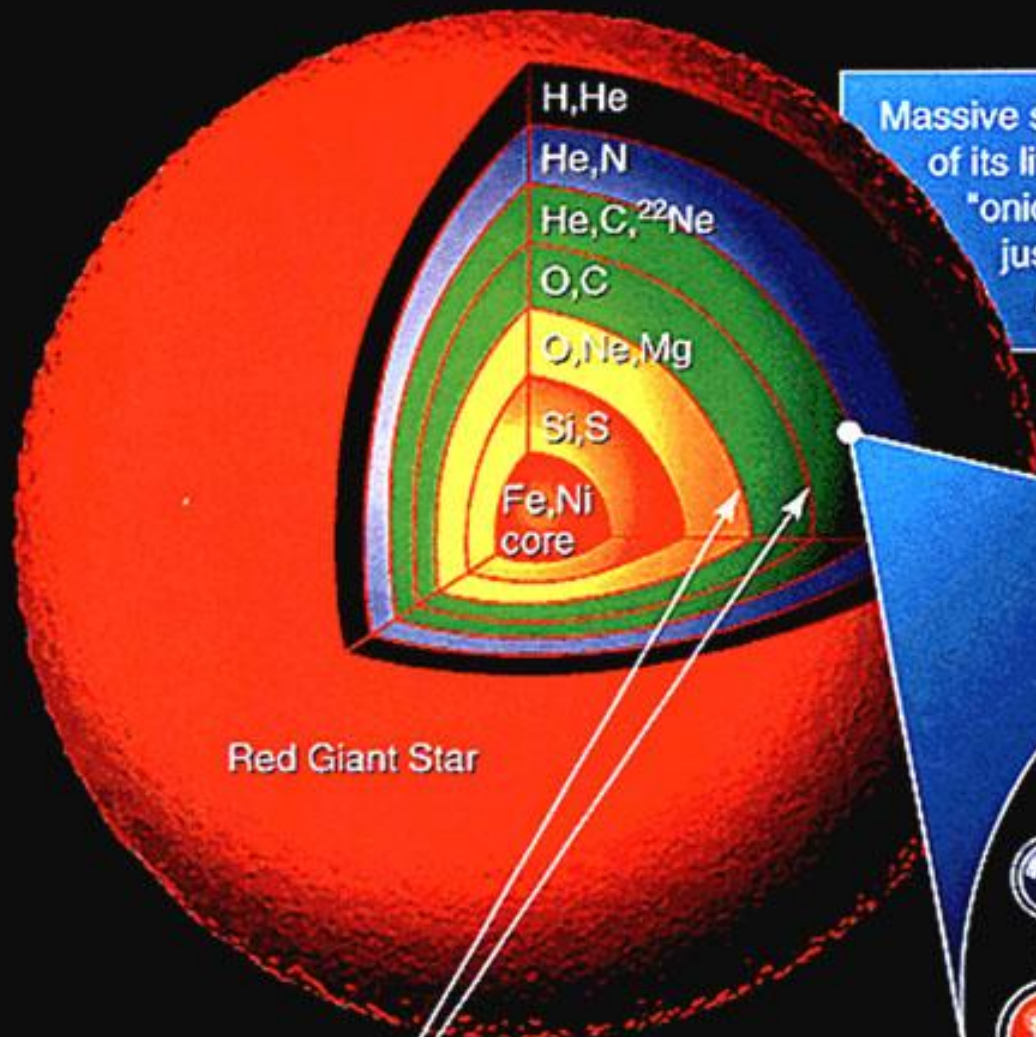
Размер холодных равновесных конфигураций различного химического состава



Субраманьян
Чандрасекар
(1910-1995)

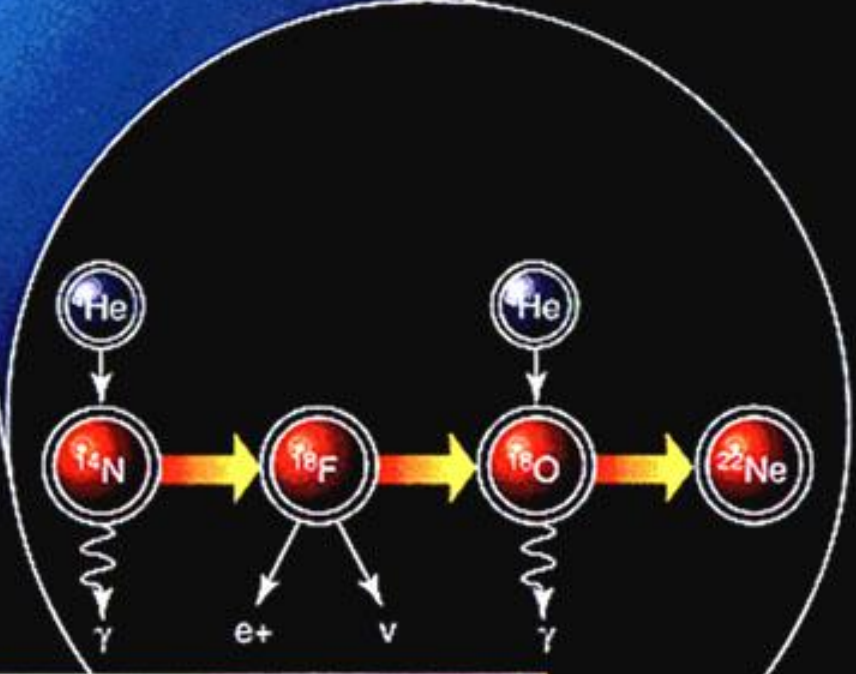


Слияние белых карликов

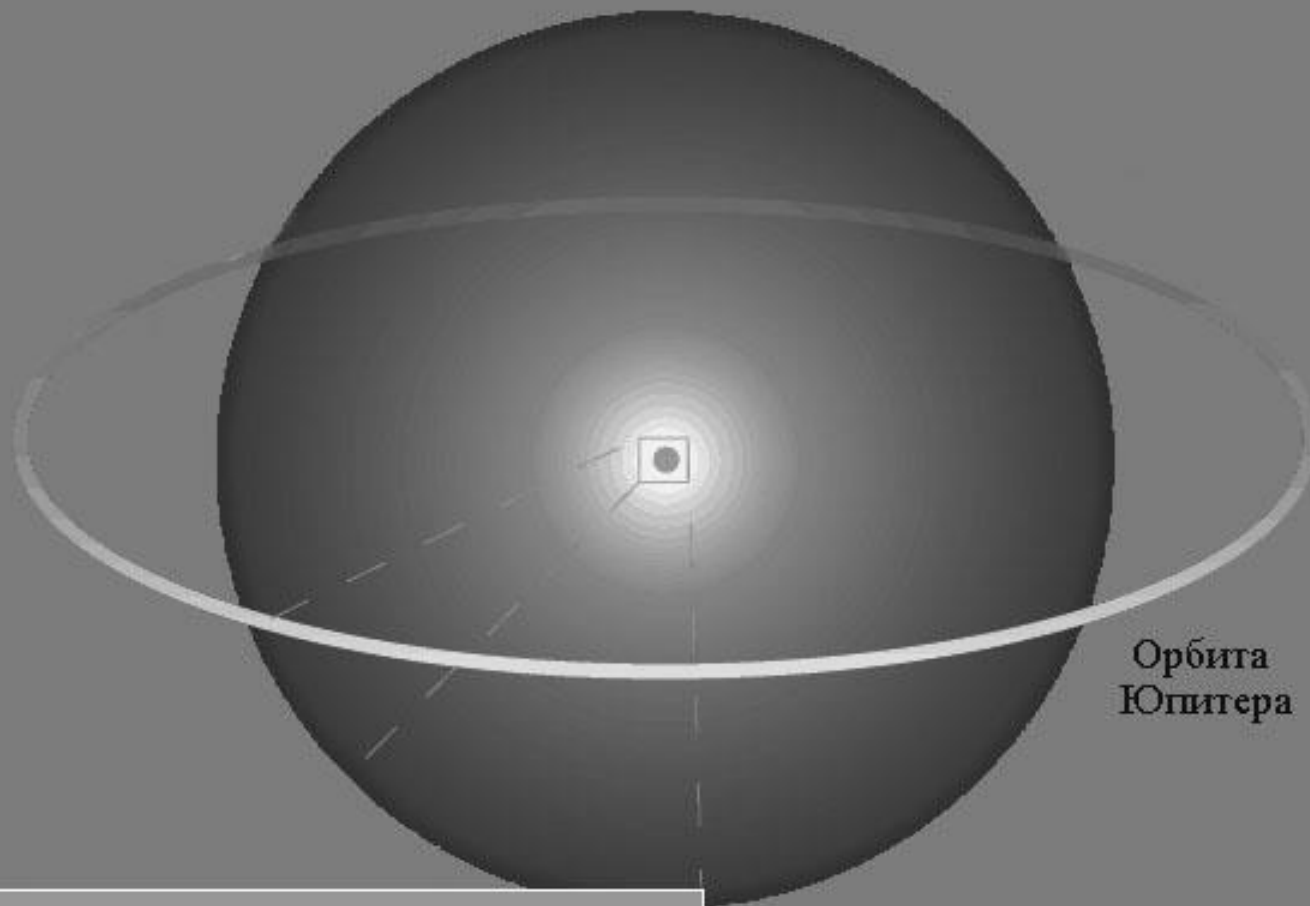


Massive star near the end of its lifetime has an "onion-like" structure just prior to exploding as a supernova

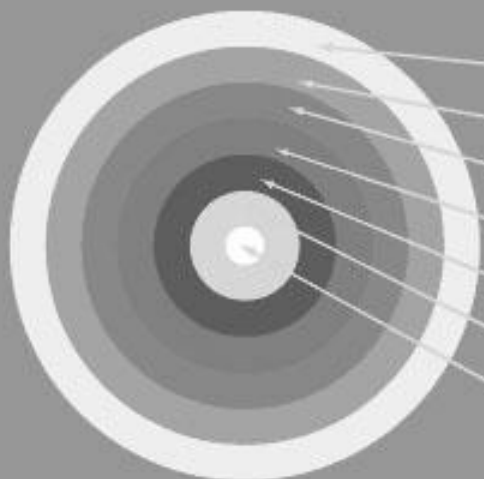
Nuclear burning occurs at the boundaries between zones



Example of nuclear reactions that build neutron-rich isotopes

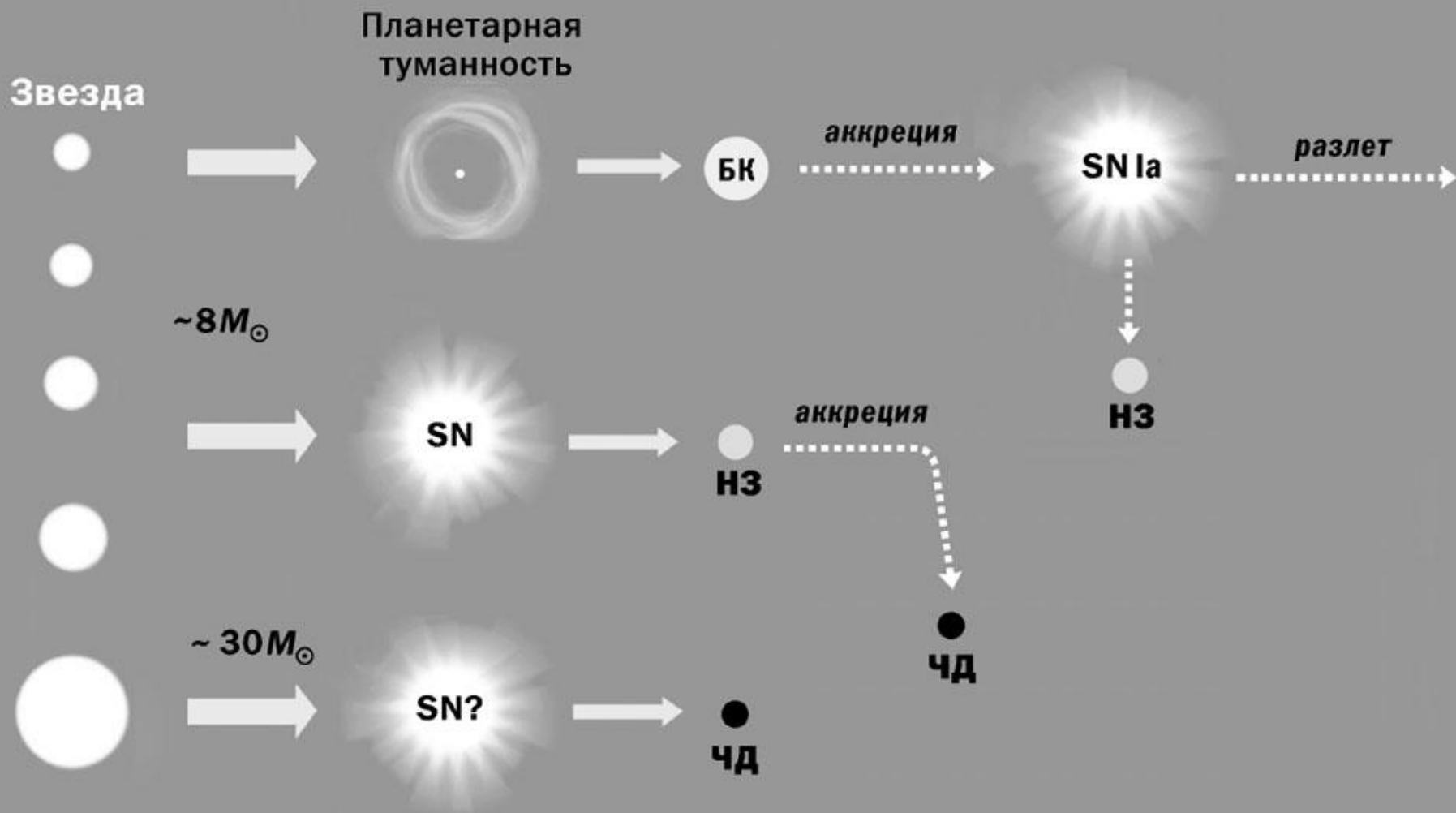


Орбита
Юпитера



H-горение
He-горение
C-горение
O-горение
Ne-горение
Si-горение
Fe-ядро

Строение
красного
сверхгиганта



Конечные стадии эволюции звёзд разной массы



M 51 SN2005CS 7 июля 2005 г.



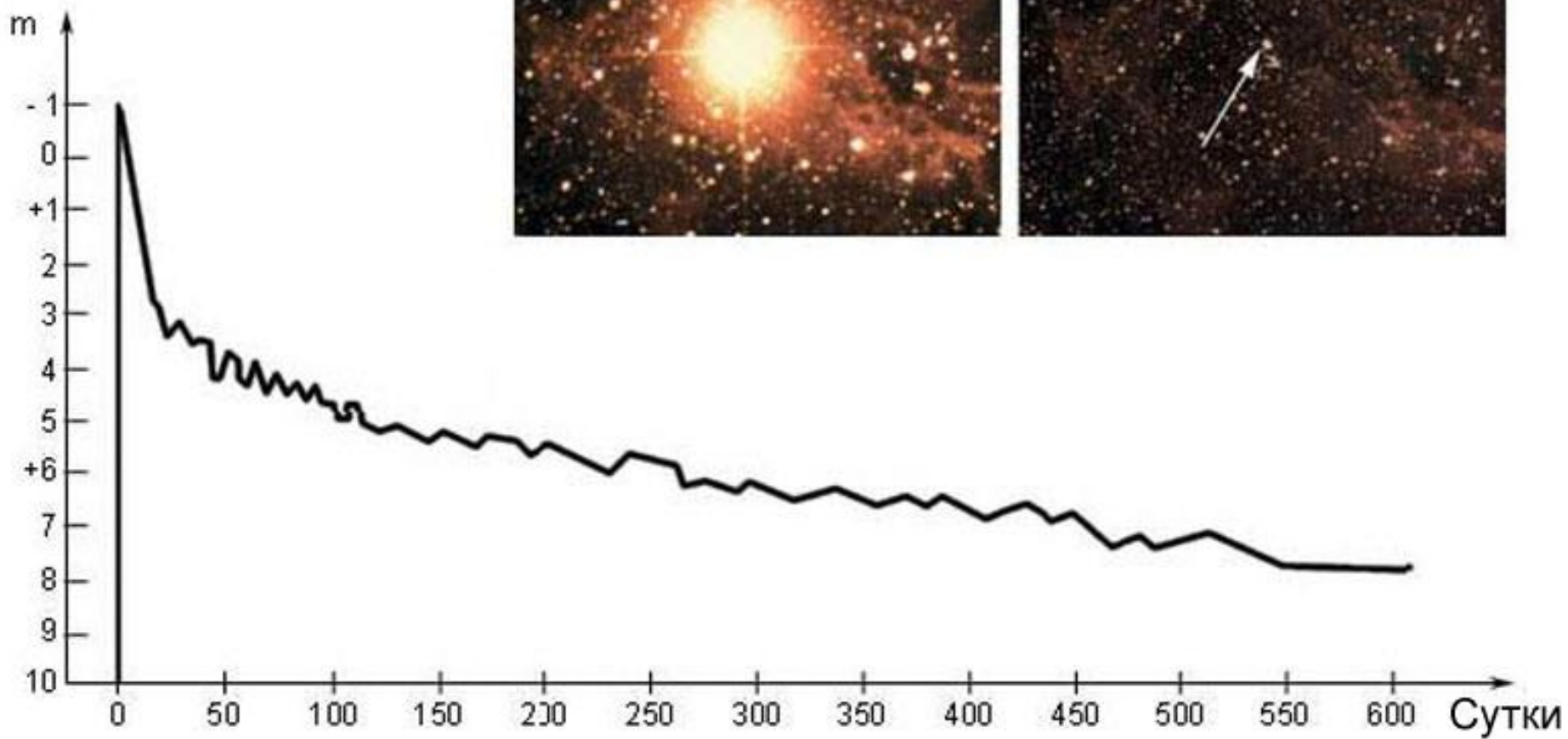
July 7, 2005
SN2005cs



June 7, 2011
SN2011dh

M 51 **2005 г.**

2011г.

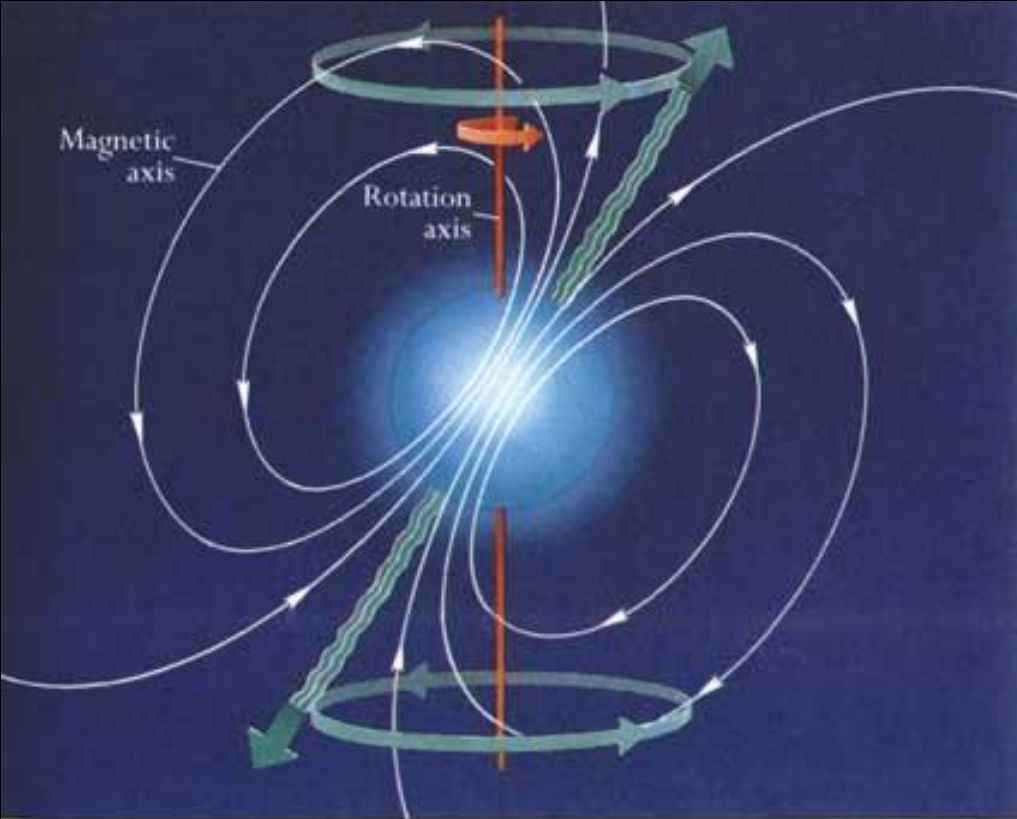


Кривая блеска сверхновой

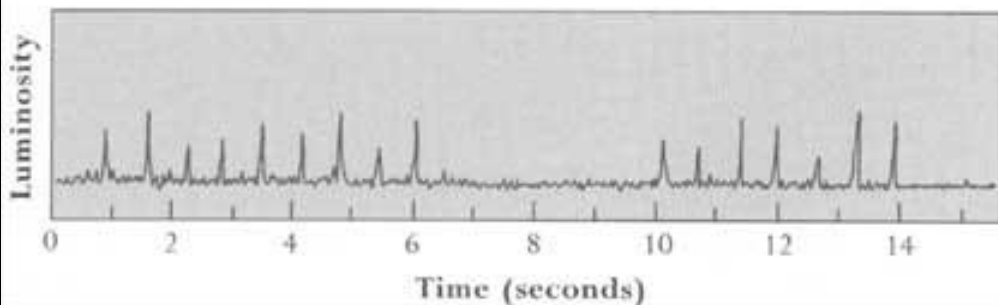


Строение нейтронной звезды





Радиопульсар



Jocelyn Bell Burnell, who discovered the first neutron star in 1967. (Photograph courtesy of S. Jocelyn Bell Burnell.)

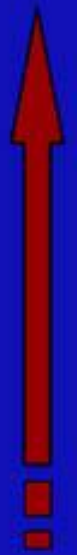


(a) H. Kramer





Коричневые карлики



0.08

Белые карлики, He, $\leq 10\%$



0.5

Белые карлики, C+O, $\leq 90\%$



8

Нейтронные звезды, $> 90\%$



40

Черные дыры, $> 90\%$



100

Полный разлет

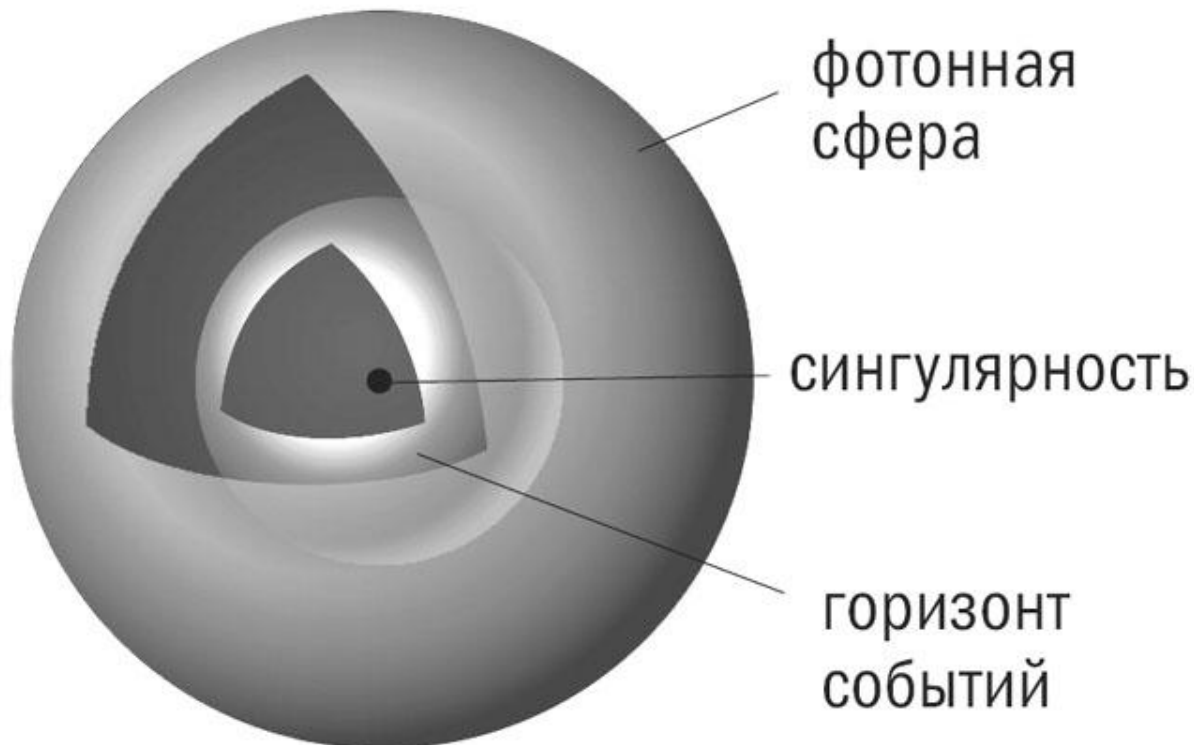


<150

M / M_{\odot}



Карл Шварцшильд (1873–1916)



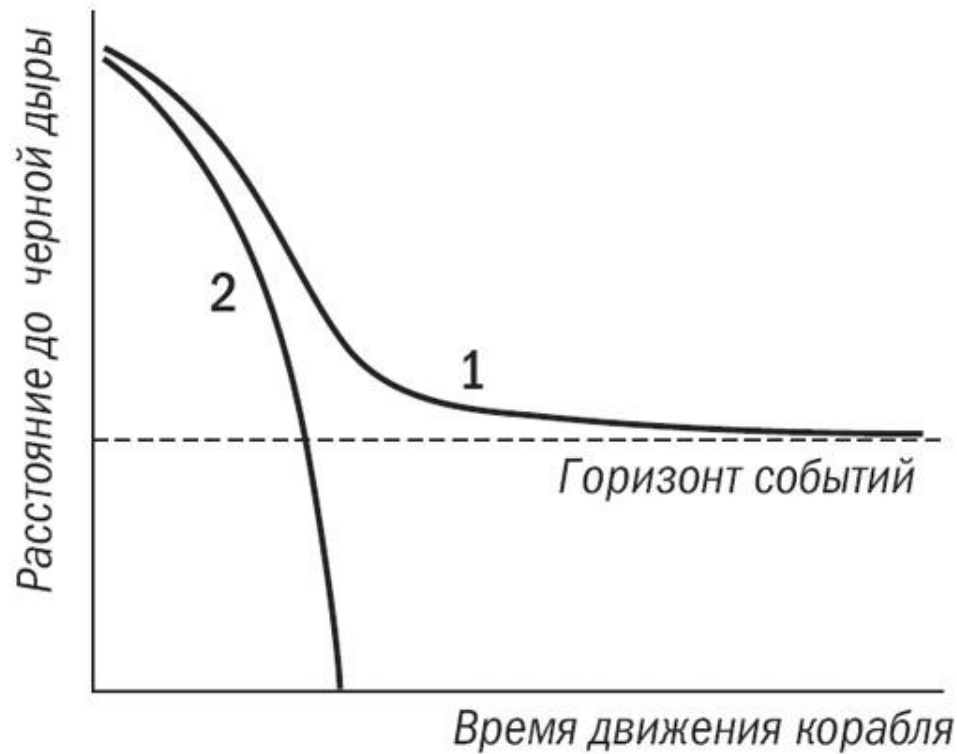
$$\frac{mc^2}{2} = \frac{GMm}{R}$$



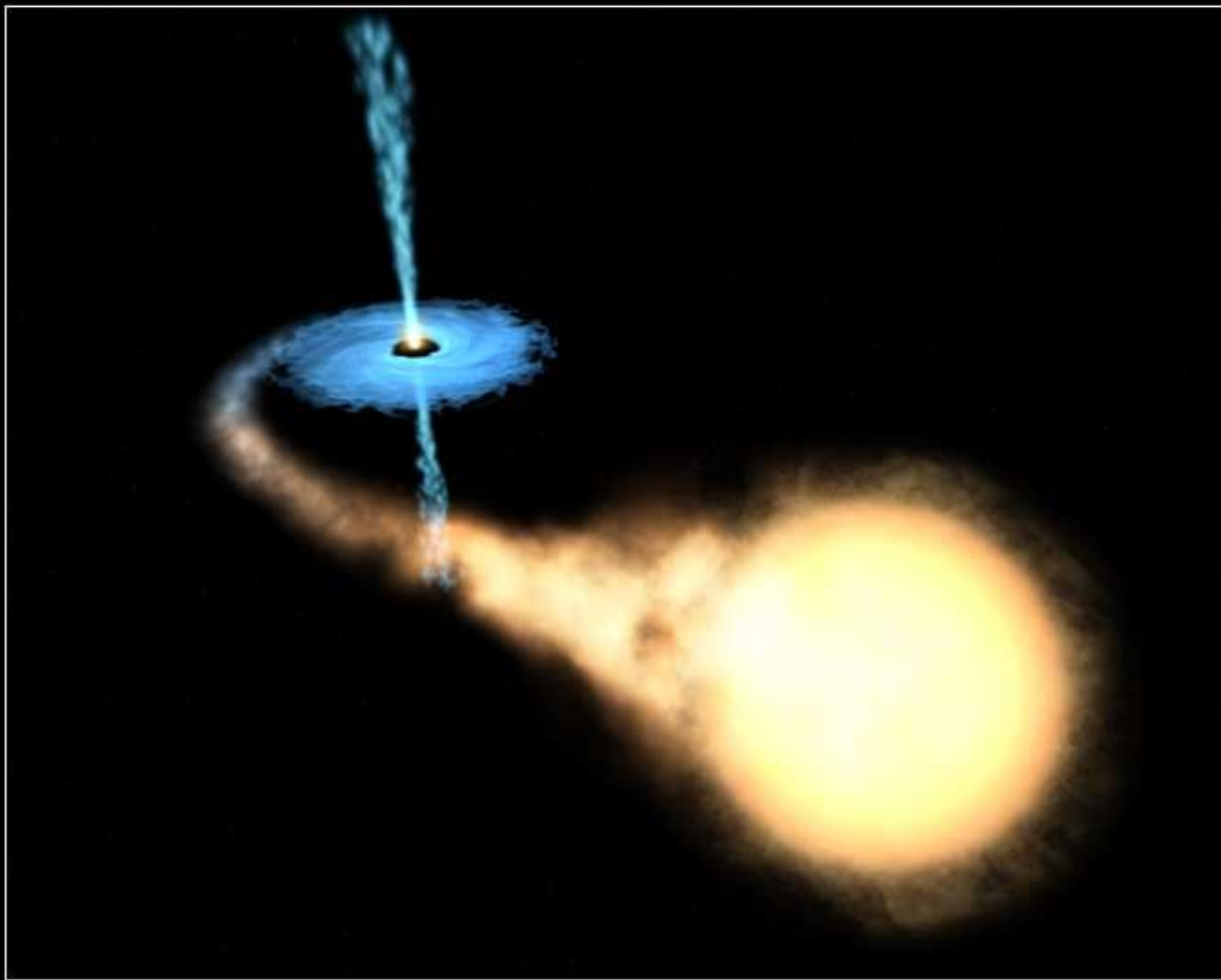
$$R_g = \frac{2GM}{c^2}$$

Радиус
Шварцшильда,
или
Гравитационный
радиус

Горизонт событий чёрной дыры и его радиус



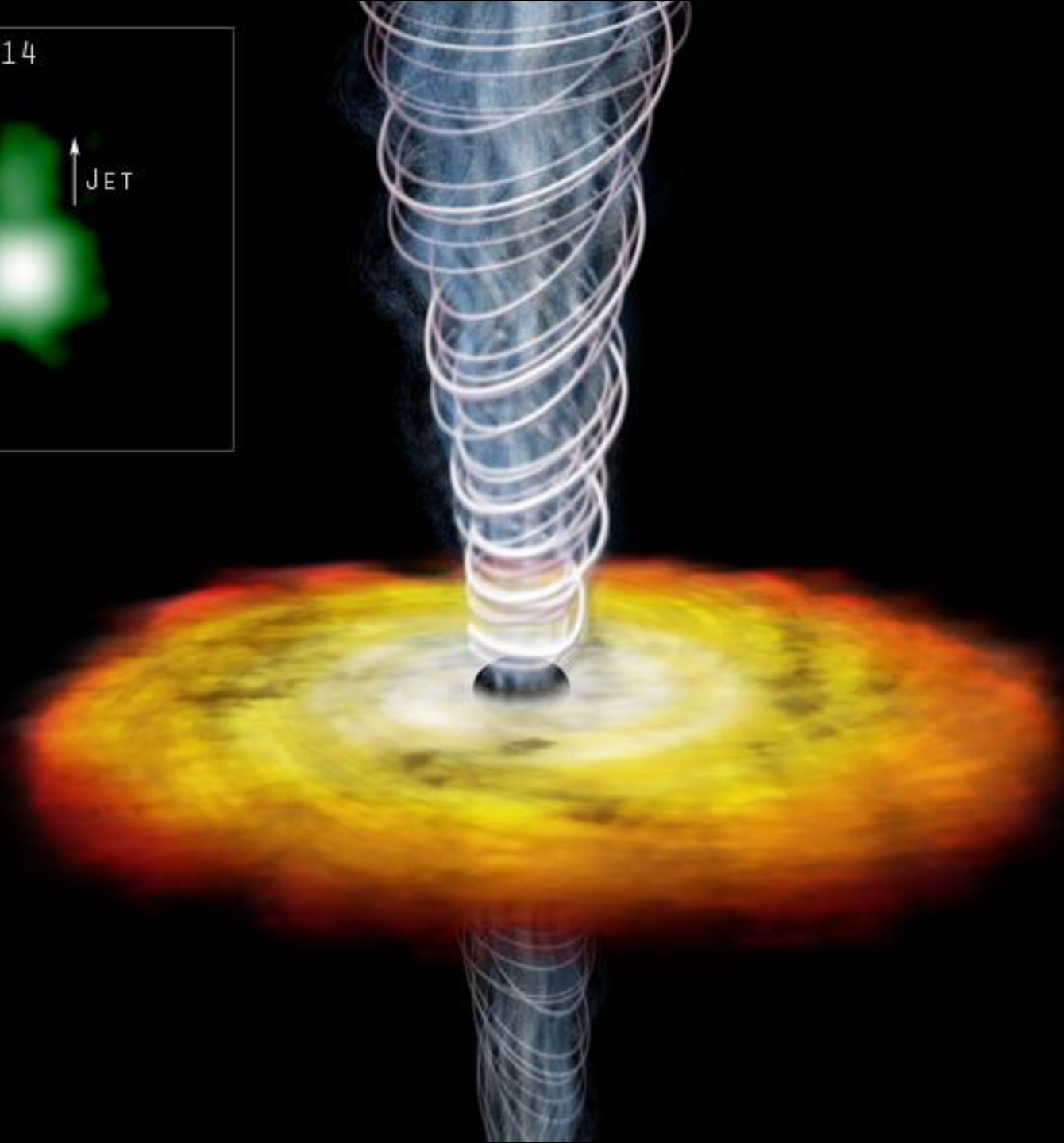
Зависимость времени движения космического корабля к черной дыре от расстояния до ее центра с точки зрения земного наблюдателя (1) и движущегося космонавта (2). С точки зрения земного наблюдателя космический корабль никогда не проникнет внутрь черной дыры. С точки зрения космонавта он проникает внутрь черной дыры за конечное время (пунктирное изображение корабля).



Artist's View of Black Hole and Companion Star GRO J1655-40

ESA, NASA and F. Mirabel (CEA) ■ STScI-PRC02-30

GB1508+5714






С.А. КАПЛАН

ФИЗИКА ЗВЕЗД

Р. ТЕЙЛЕР

СТРОЕНИЕ
И ЭВОЛЮЦИЯ
ЗВЕЗД





В начале XXI века астрономия остается в авангарде естествознания. Вместе с физиками астрономы работают над фундаментальными проблемами, способными изменить наше представление о природе. До сих пор не раскрыты тайны «темного вещества», составляющего основную массу галактик, и «темной энергии», ускоряющей расширение Вселенной. Не выяснены механизмы взрывов звезд и активности ядер галактик. Нет общепринятых теорий происхождения планет, галактик и самой Вселенной. Но работа во всех этих направлениях идет в нарастающем темпе, и каждый день приносит удивительные открытия.



ЗВЁЗДЫ



АСТРОНОМИЯ И АСТРОФИЗИКА

ЗВЁЗДЫ

