

Межфакультетский учебный курс

Общая астрономия

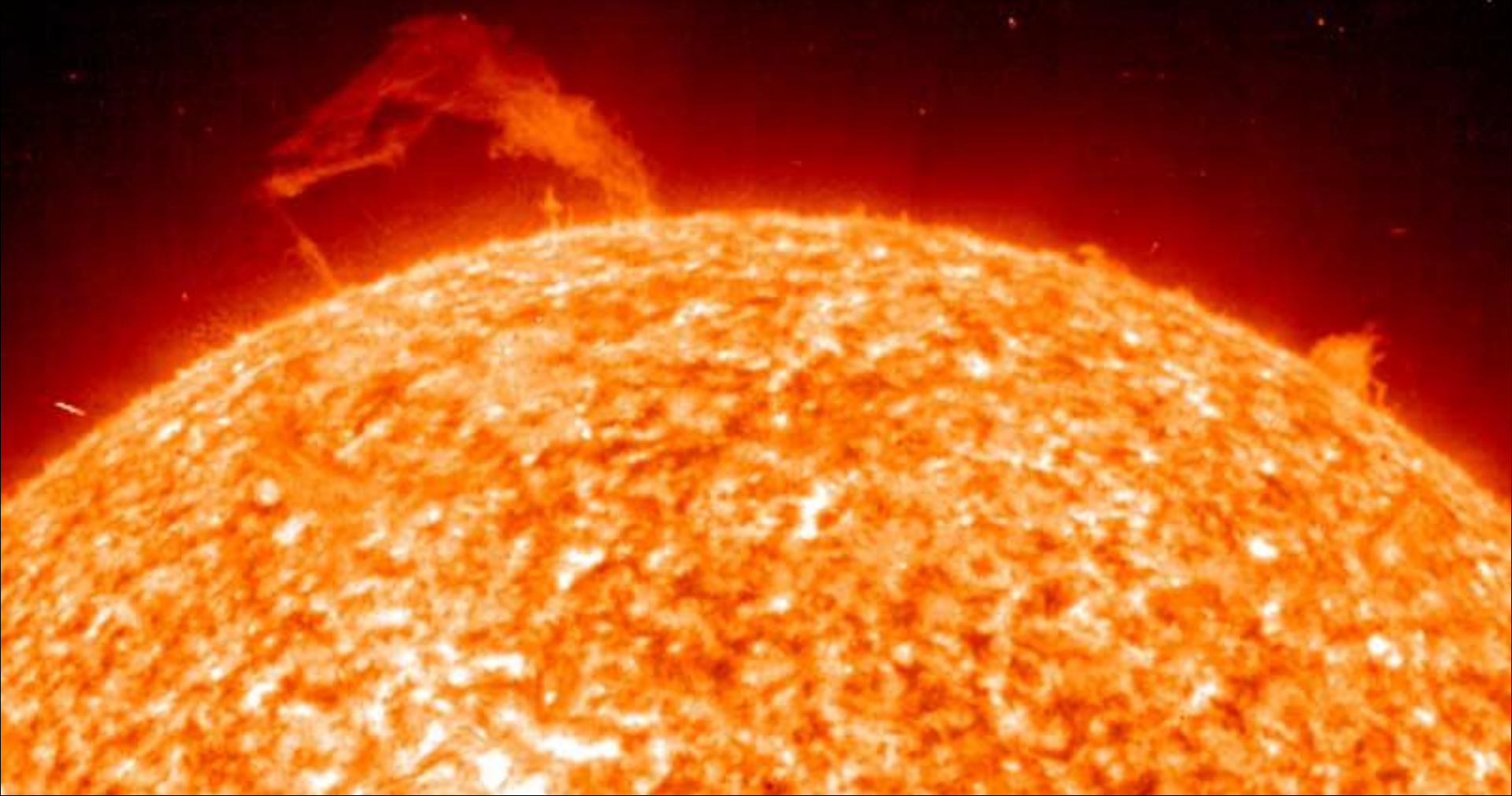
доцент, к.ф.-м.н. Владимир Георгиевич Сурдин



Лекция 11 - Звёзды: эволюция

**ПРИРОДА
И
ЭВОЛЮЦИЯ
ЗВЕЗД**

Источники энергии звёзд



Химические реакции

уголь, нефть, газ



2×10^7 Дж/кг

Химические реакции

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

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

$$Q = 2 \times 10^7 \text{ Дж/кг}$$

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

Работа силы тяжести

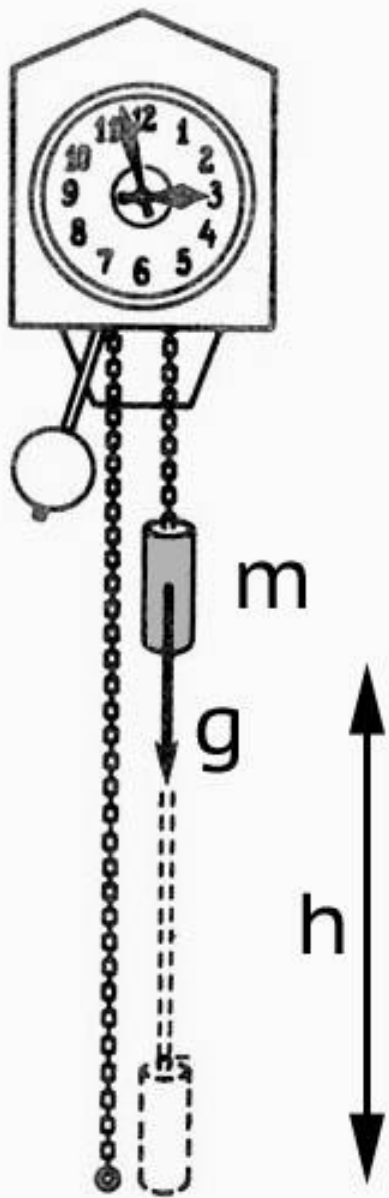
$$E = mgh$$

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

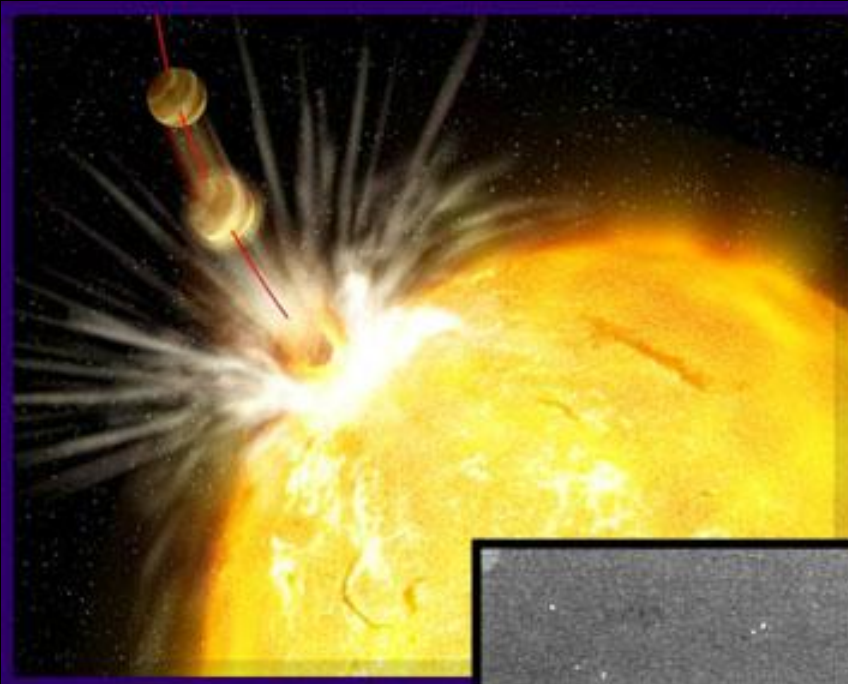
Гравитационная энергия связи

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

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

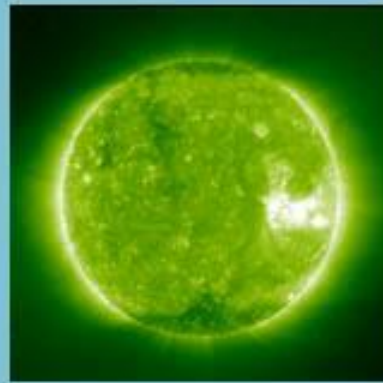
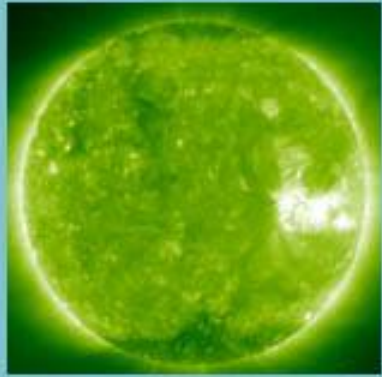


В середине XIX века
в качестве источника
энергии Солнца
рассматривалось
падение на него
космических тел



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

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

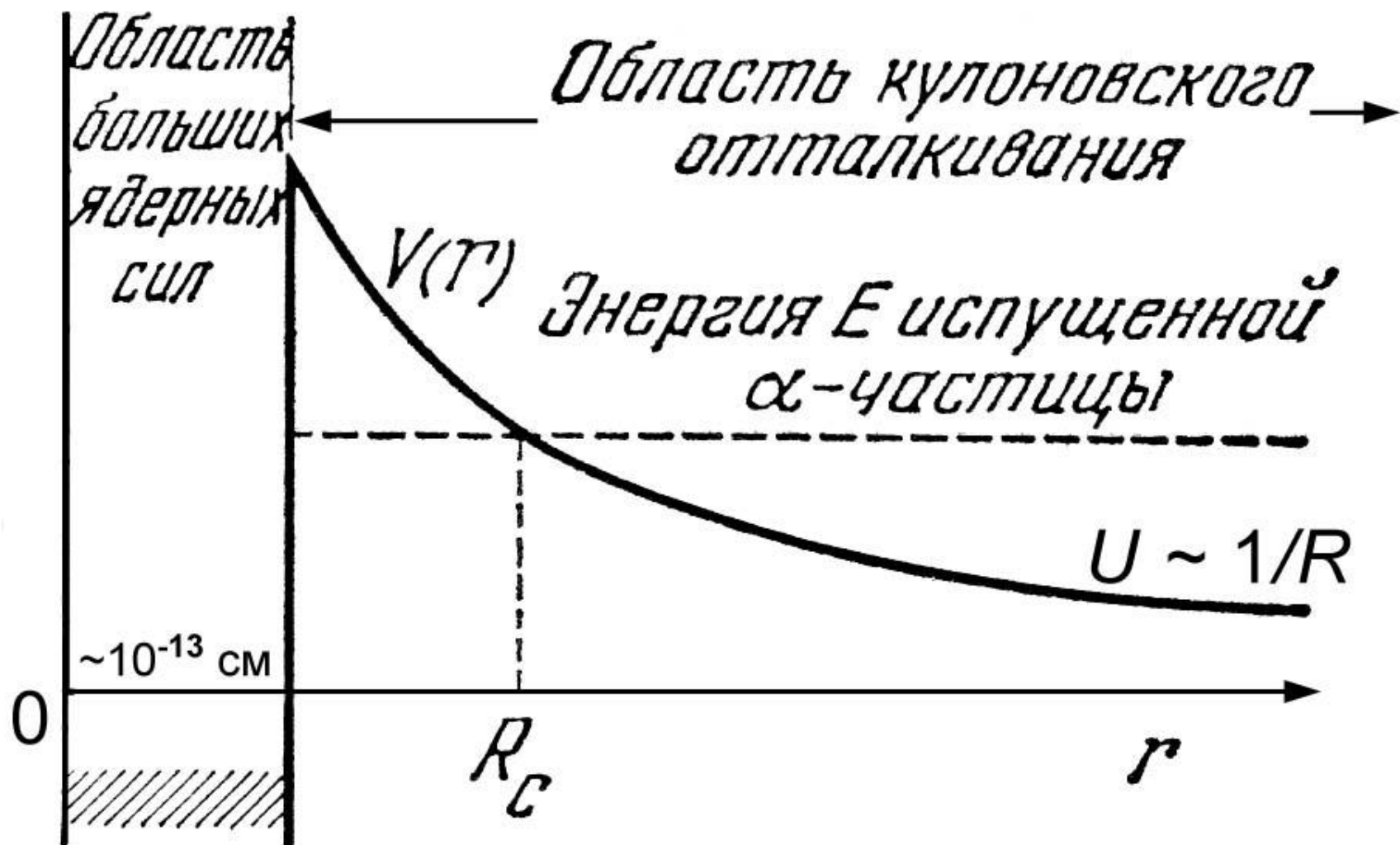
Время высвечивания гравитационной энергии

$$t = U/2L = 30 \text{ млн лет}$$

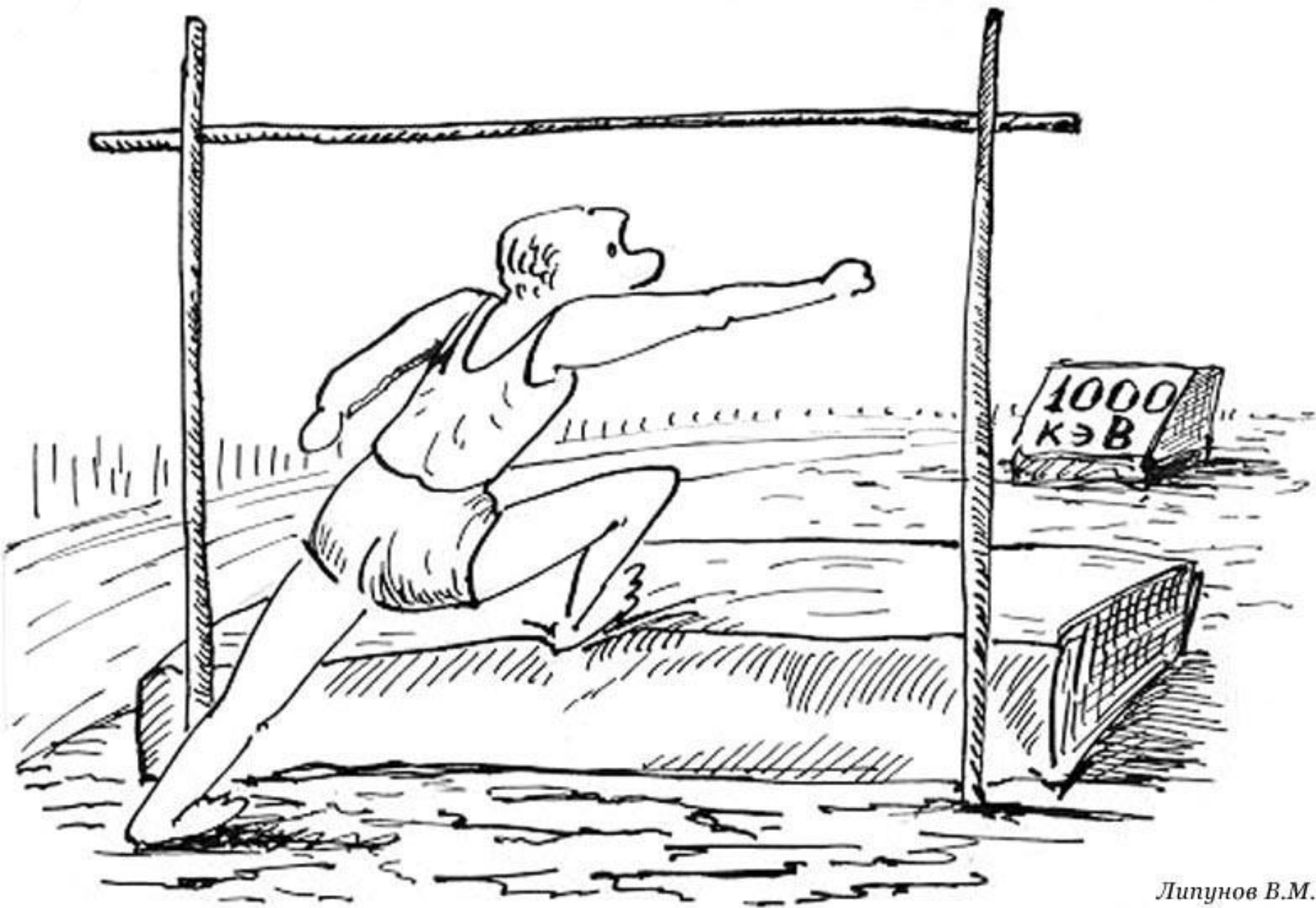
ПЕРИОДИЧЕСКАЯ СИСТЕМА ХИМИЧЕСКИХ ЭЛЕМЕНТОВ Д. И. МЕНДЕЛЕЕВА

№	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 H 1,00797														2 ГЕЛИЙ ² He 4,0026		1
2	3 ЛИТИЙ ³ Li 6,939		4 БЕРИЛЛИЙ ⁴ Be 9,0122		5 БОР ⁵ B 10,811		6 УГЛЕРОД ⁶ C 12,01115		7 АЗОТ ⁷ N 14,0067		8 КИСЛОРОД ⁸ O 15,9994		9 ФТОР ⁹ F 18,9984		10 НЕОН ¹⁰ Ne 20,183		2
3	11 НАТРИЙ ¹¹ Na 22,9898		12 МАГНИЙ ¹² Mg 24,312		13 АЛЮМИНИЙ ¹³ Al 26,9815		14 КРЕМНИЙ ¹⁴ Si 28,086		15 ФОСФОР ¹⁵ P 30,9738		16 СЕРА ¹⁶ S 32,064		17 ХЛОР ¹⁷ Cl 35,453		18 АРГОН ¹⁸ Ar 39,948		3
4	19 КАЛИЙ ¹⁹ K 39,102		20 КАЛЬЦИЙ ²⁰ Ca 40,08		21 СКАНДИЙ ²¹ Sc 44,956		22 ТИТАН ²² Ti 47,90		23 ВАНАДИЙ ²³ V 50,942		24 ХРОМ ²⁴ Cr 51,996		25 МАРГАНЕЦ ²⁵ Mn 54,938		26 ЖЕЛЕЗО ²⁶ Fe 55,845		4
5	29 МЕДЬ ²⁹ Cu 63,54		30 ЦИНК ³⁰ Zn 65,37		31 ГАЛЛИЙ ³¹ Ga 69,72		32 ГЕРМАНИЙ ³² Ge 72,59		33 МЫШЬЯК ³³ As 74,9216		34 СЕЛЕН ³⁴ Se 78,96		35 БРОМ ³⁵ Br 79,909		36 КРИПТОН ³⁶ Kr 83,80		5
6	37 РУБИДИЙ ³⁷ Rb 85,47		38 СТРОНЦИЙ ³⁸ Sr 87,62		39 ИТРИЙ ³⁹ Y 88,905		40 ЦИРКОНИЙ ⁴⁰ Zr 91,22		41 НИОБИЙ ⁴¹ Nb 92,906		42 МОЛИБДЕН ⁴² Mo 95,94		43 ТЕХНЕЦИЙ ⁴³ Tc 97,907		44 РУБИДИЙ ⁴⁴ Ru 101,07		6
7	47 СЕРЕБРО ⁴⁷ Ag 107,87		48 КАДМИЙ ⁴⁸ Cd 112,40		49 ИНДИЙ ⁴⁹ In 114,82		50 ОЛОВО ⁵⁰ Sn 118,69		51 СУРЬМА ⁵¹ Sb 121,75		52 ТЕЛЛУР ⁵² Te 127,60		53 ИОД ⁵³ I 126,9044		54 КСЕНОН ⁵⁴ Xe 131,30		7
8	55 ЦЕЗИЙ ⁵⁵ Cs 132,905		56 БАРИЙ ⁵⁶ Ba 137,34		57 ЛАНТАН** ⁵⁷ La 138,91		72 ГАФНИЙ ⁷² Hf 178,49		73 ТАНТАЛ ⁷³ Ta 180,948		74 ВОЛЬФРАМ ⁷⁴ W 183,85		75 РЕНИЙ ⁷⁵ Re 186,2		76 ОСМИЙ ⁷⁶ Os 190,23		8
9	79 ЗОЛОТО ⁷⁹ Au 196,967		80 РУТУТЬ ⁸⁰ Hg 200,59		81 ТАЛЛИЙ ⁸¹ Tl 203,205		82 СВИНЕЦ ⁸² Pb 207,19		83 БИСМУТ ⁸³ Bi 208,980		84 ПОЛОНИЙ ⁸⁴ Po 209		85 АСТАТИН ⁸⁵ At 210		86 ЗМАНАЦИЯ ⁸⁶ Em 223		9
10	87 ФРАНЦИЙ ⁸⁷ Fr 223		88 РАДИЙ ⁸⁸ Ra 226		89 АКТИНИЙ*** ⁸⁹ Ac 227		104 ЗКАГАФИЙ ¹⁰⁴ E-Hf 266-270		105 ЗКАТАНТАЛ ¹⁰⁵ E-Ta 271, 273		106 ЗКАВОЛЬФРАМ ¹⁰⁶ E-W 272-276		107 ЗКАРЕНИЙ ¹⁰⁷ E-Re 277		108 E-Os 278		10
11	111 ЗКАЗОЛОТО ¹¹¹ E-Au 287		112 ЗКАРТУТЬ ¹¹² E-Hg 288-292		113 ЗКАТАЛЛИЙ ¹¹³ E-Tl 293		114 ЗКАСВИНЕЦ ¹¹⁴ E-Pb 292-298		115 ЗКАВИСМУТ ¹¹⁵ E-Bi 299		116 ЗКАПОЛОНИЙ ¹¹⁶ E-Po 300-304		117 ЗКААСТАТИН ¹¹⁷ E-At 305		118 ЗКАЗМАНАЦИЯ ¹¹⁸ E-Em 306-310		11

** ЛАНТАНИДЫ		** ЛАНТАНИДЫ		** ЛАНТАНИДЫ		** ЛАНТАНИДЫ		** ЛАНТАНИДЫ		** ЛАНТАНИДЫ		** ЛАНТАНИДЫ		** ЛАНТАНИДЫ		** ЛАНТАНИДЫ	
27 ²⁷ Co 58,9332	58 ⁵⁸ Ni 58,71	58 ⁵⁸ Ce 140,12	59 ⁵⁹ Pr 140,907	60 ⁶⁰ Nd 144,24	61 ⁶¹ Pm 145	62 ⁶² Sm 150,35	63 ⁶³ Eu 151,96	64 ⁶⁴ Gd 157,25	65 ⁶⁵ Tb 158,924	66 ⁶⁶ Dy 162,50	67 ⁶⁷ Ho 164,930	68 ⁶⁸ Er 167,26	69 ⁶⁹ Tm 168,934	70 ⁷⁰ Yb 173,04	71 ⁷¹ Lu 174,97	72 ⁷² Hf 178,49	73 ⁷³ Ta 180,948
77 ⁷⁷ Ir 192,22	78 ⁷⁸ Pt 195,09	90 ⁹⁰ Th 232,038	91 ⁹¹ Pa 231,036	92 ⁹² U 238,03	93 ⁹³ Np 237,048	94 ⁹⁴ Pu 244	95 ⁹⁵ Am 243,061	96 ⁹⁶ Cm 247	97 ⁹⁷ Bk 247,07	98 ⁹⁸ Cf 251	99 ⁹⁹ Es 254,088	100 ¹⁰⁰ Fm 254	101 ¹⁰¹ Md 258	102 ¹⁰² No 259	103 ¹⁰³ Lw 262	104 ¹⁰⁴ Rf 261	105 ¹⁰⁵ Db 262

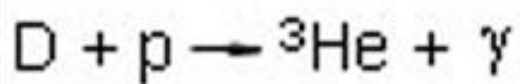


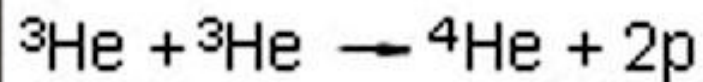
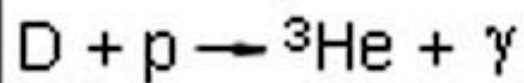
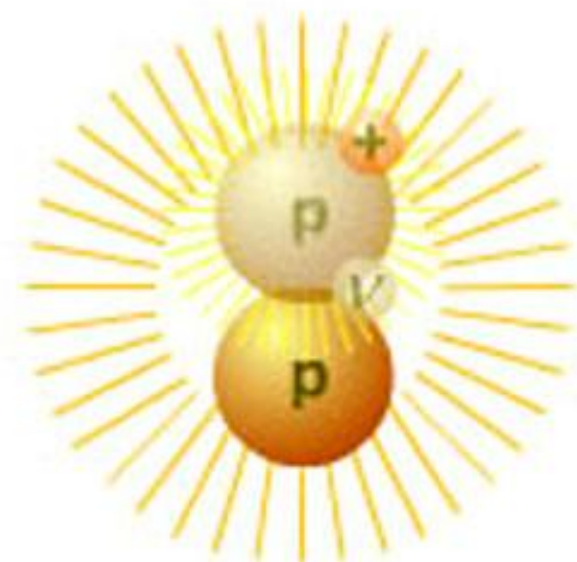
Потенциальная энергия α -частицы
вблизи атомного ядра

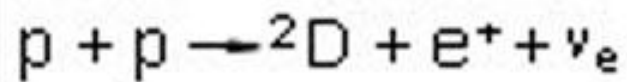


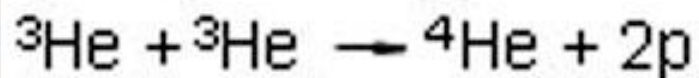
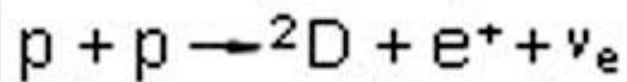
Липунов В.М.

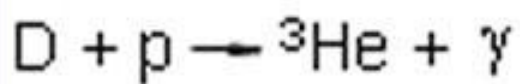
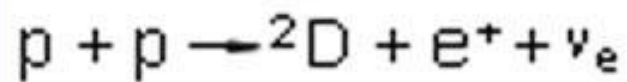
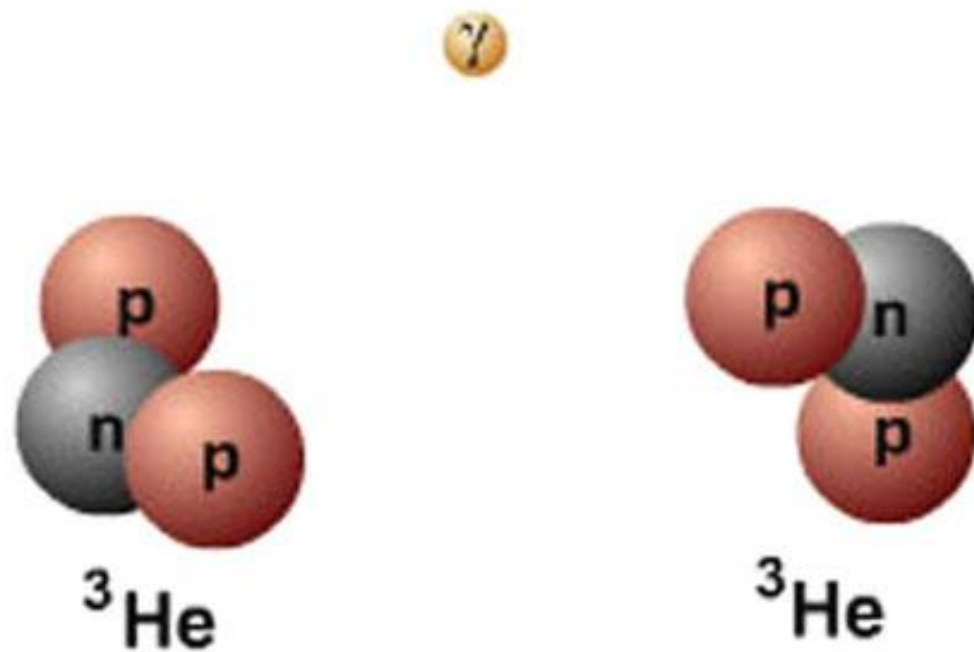
Квантовый туннельный эффект (подбарьерный переход, благодаря которому светят звезды)

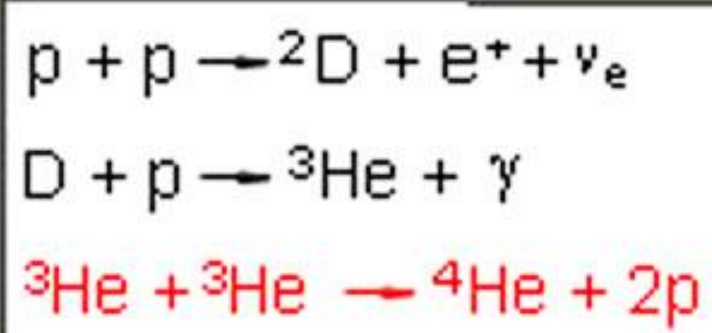
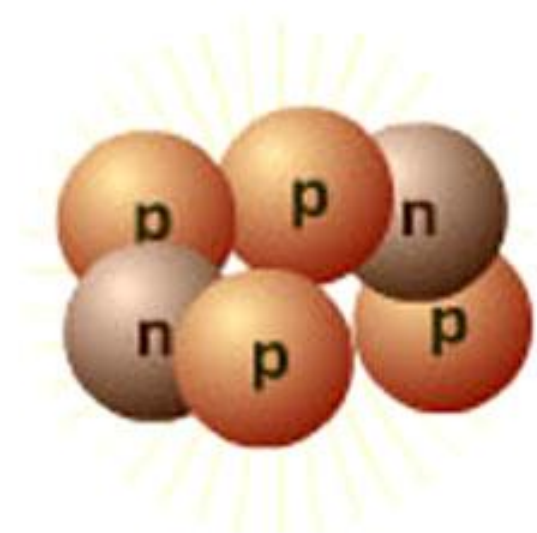


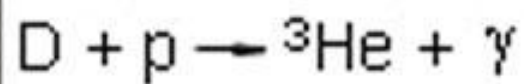
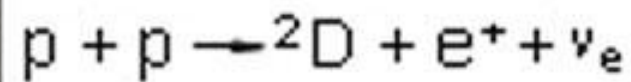
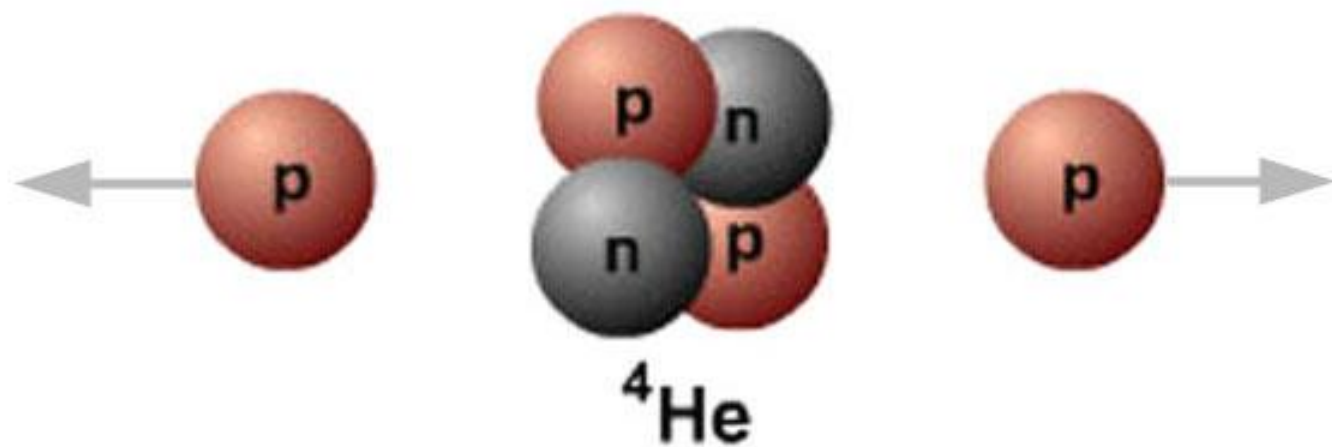














Протон-протонная цепочка (pp-цикл) термоядерного синтеза гелия из водорода



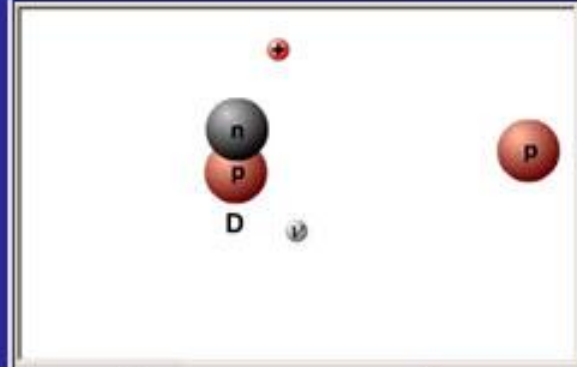
$p + p \rightarrow {}^2\text{D} + e^+ + \nu_e$
 $\text{D} + p \rightarrow {}^3\text{He} + \gamma$
 ${}^3\text{He} + {}^3\text{He} \rightarrow {}^4\text{He} + 2p$

© 000-Евразикон, 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-Евразикон, 2003



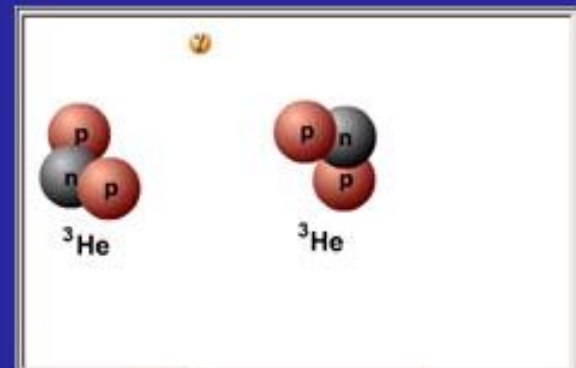
$p + p \rightarrow {}^2\text{D} + e^+ + \nu_e$
 $\text{D} + p \rightarrow {}^3\text{He} + \gamma$
 ${}^3\text{He} + {}^3\text{He} \rightarrow {}^4\text{He} + 2p$

© 000-Евразикон, 2003



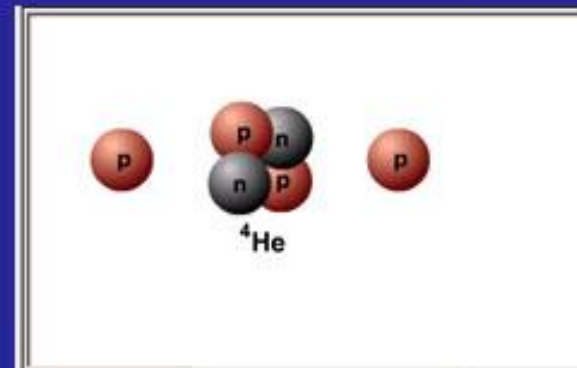
$p + p \rightarrow {}^2\text{D} + e^+ + \nu_e$
 $\text{D} + p \rightarrow {}^3\text{He} + \gamma$
 ${}^3\text{He} + {}^3\text{He} \rightarrow {}^4\text{He} + 2p$

© 000-Евразикон, 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-Евразикон, 2003



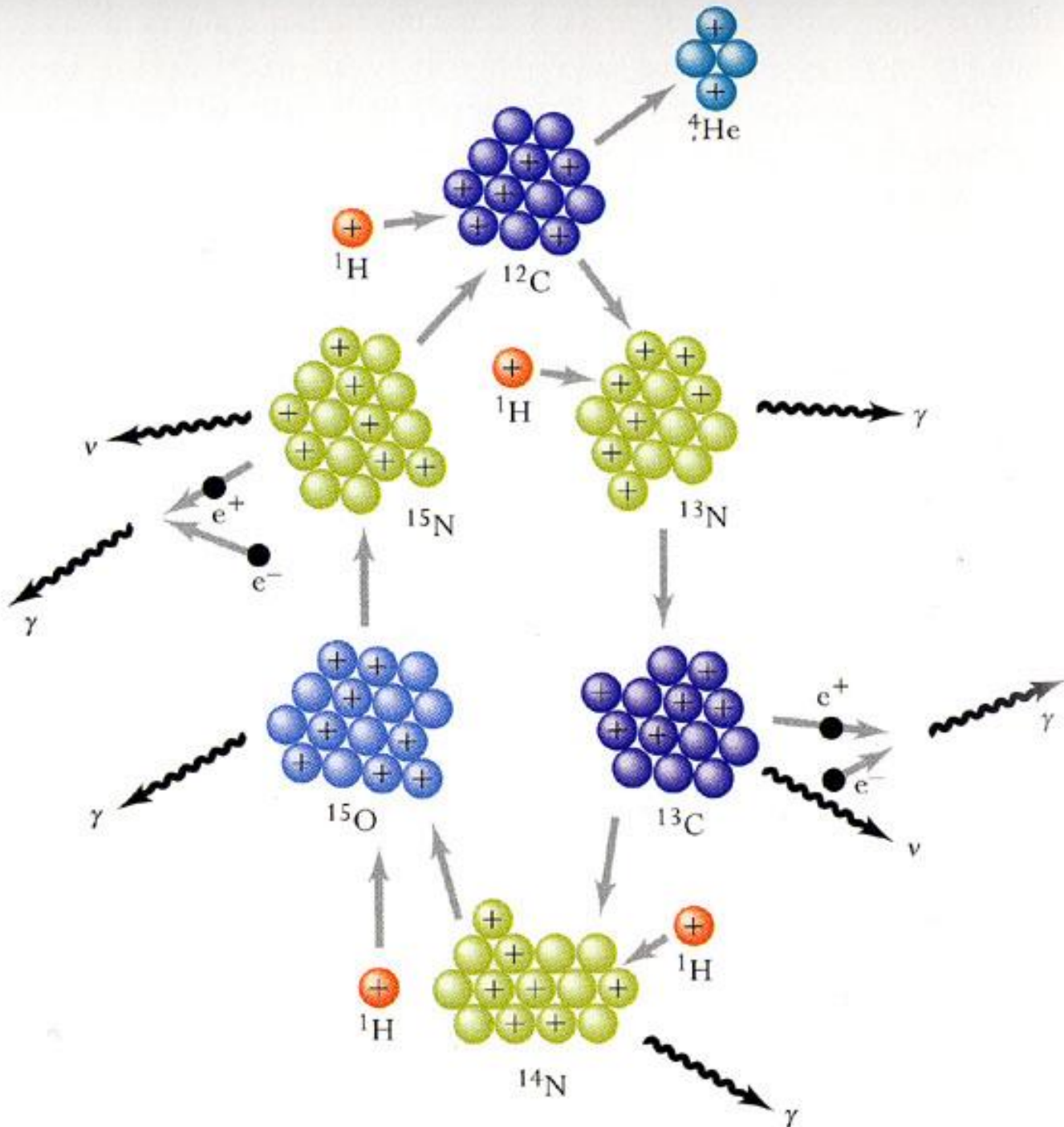
$p + p \rightarrow {}^2\text{D} + e^+ + \nu_e$
 $\text{D} + p \rightarrow {}^3\text{He} + \gamma$
 ${}^3\text{He} + {}^3\text{He} \rightarrow {}^4\text{He} + 2p$

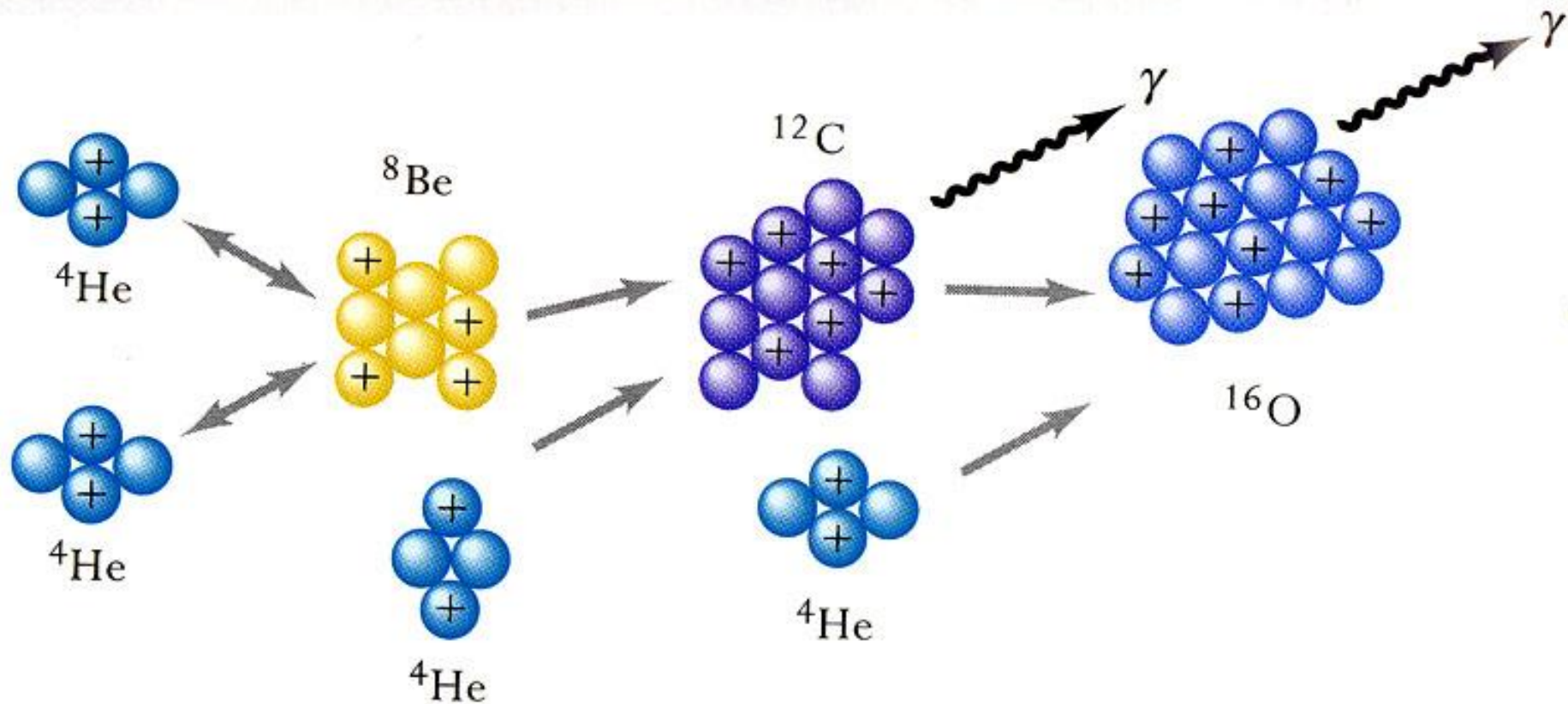
© 000-Евразикон, 2003

Углеродно-азотный цикл

CNO-цикл

Carbon cycle

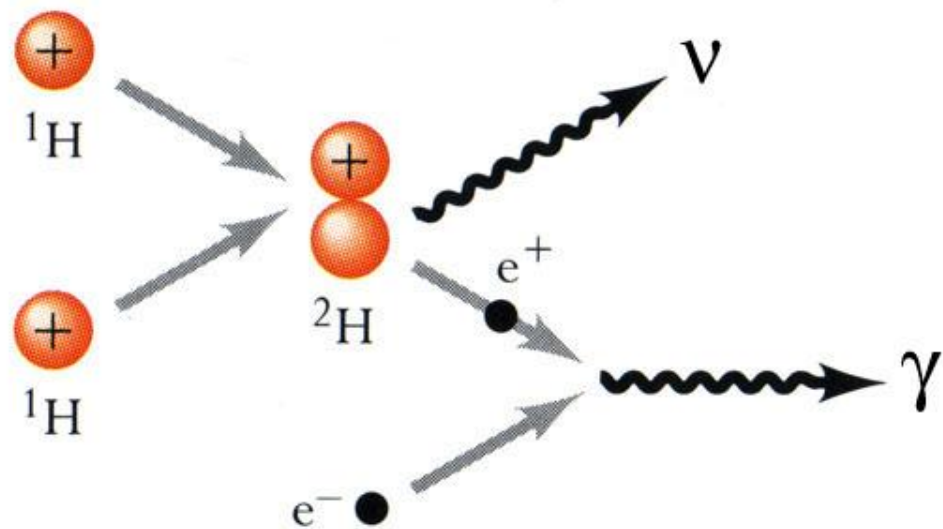




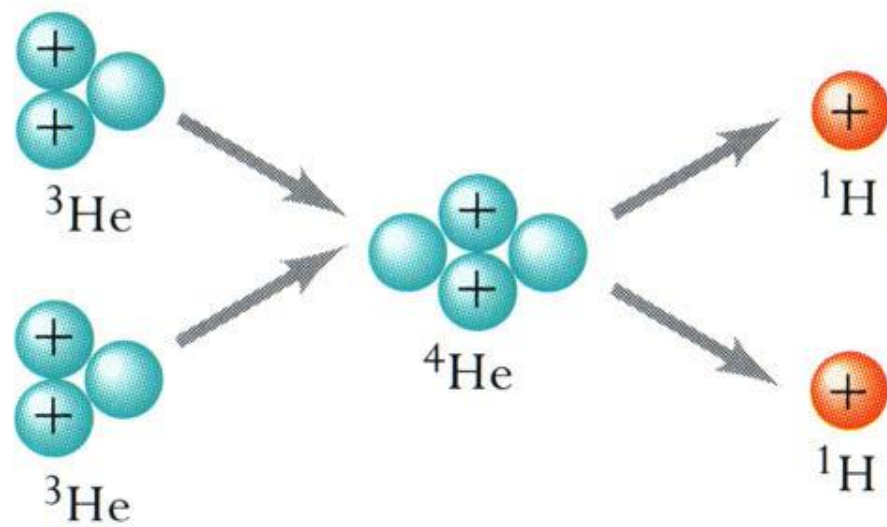
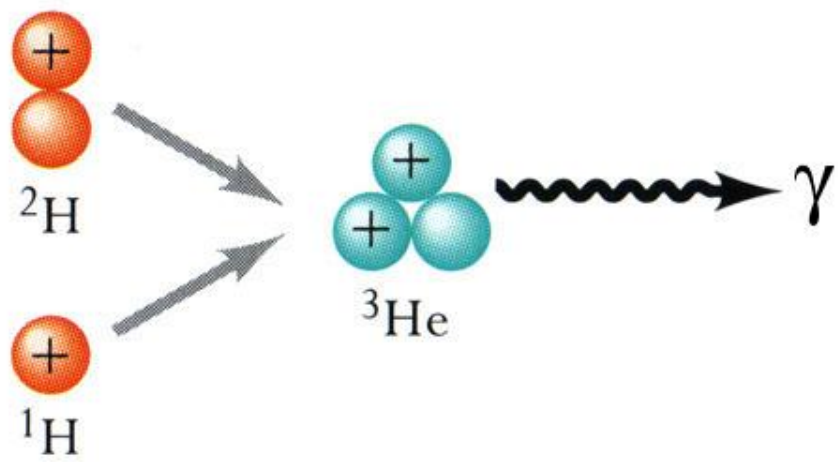
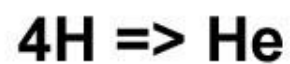
3 α -реакция

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)

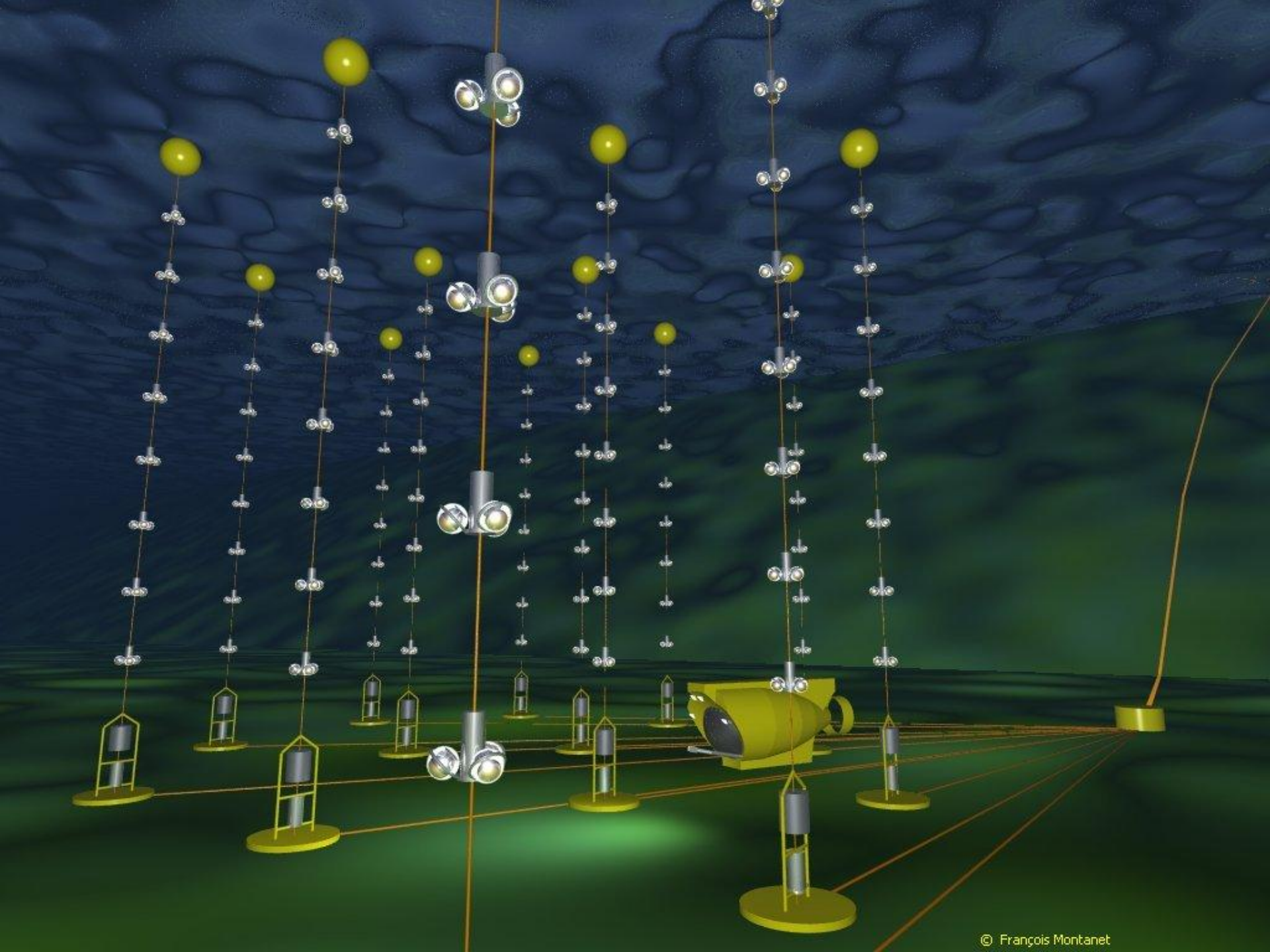
Глубина 1,5 км

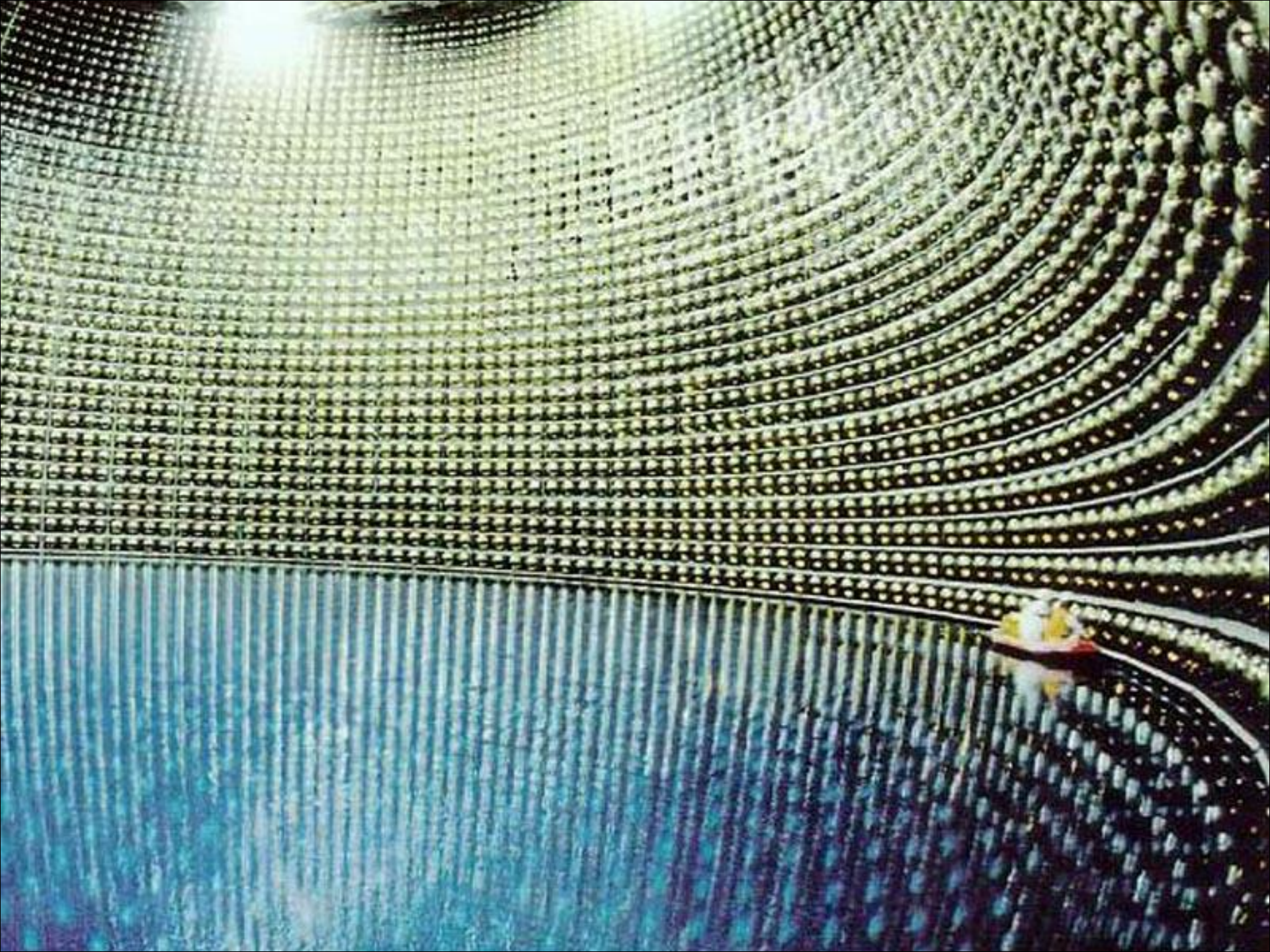
Объем 380 тыс л

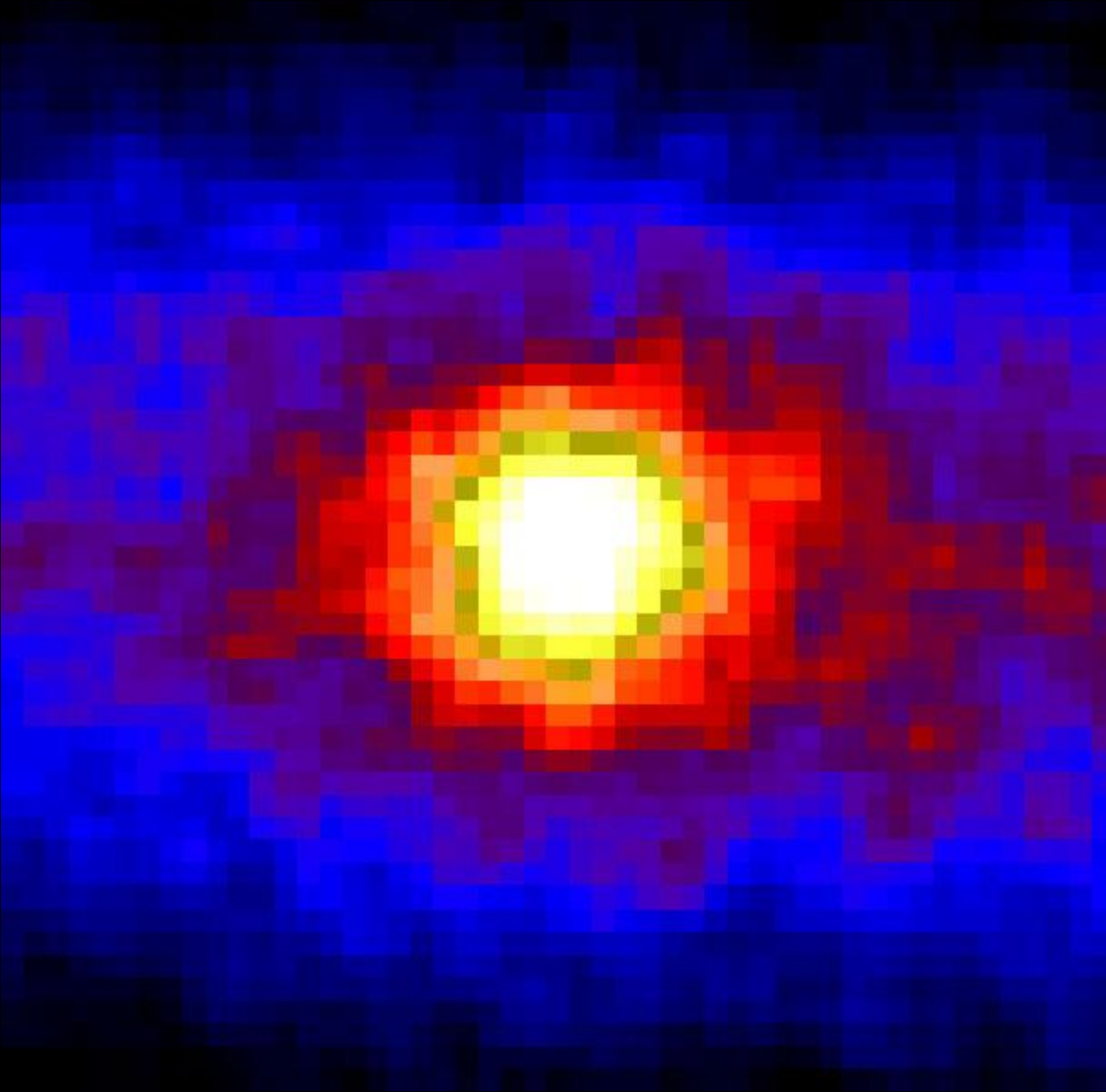
Вещество -
тетрахлорэтилен
 C_2Cl_4

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

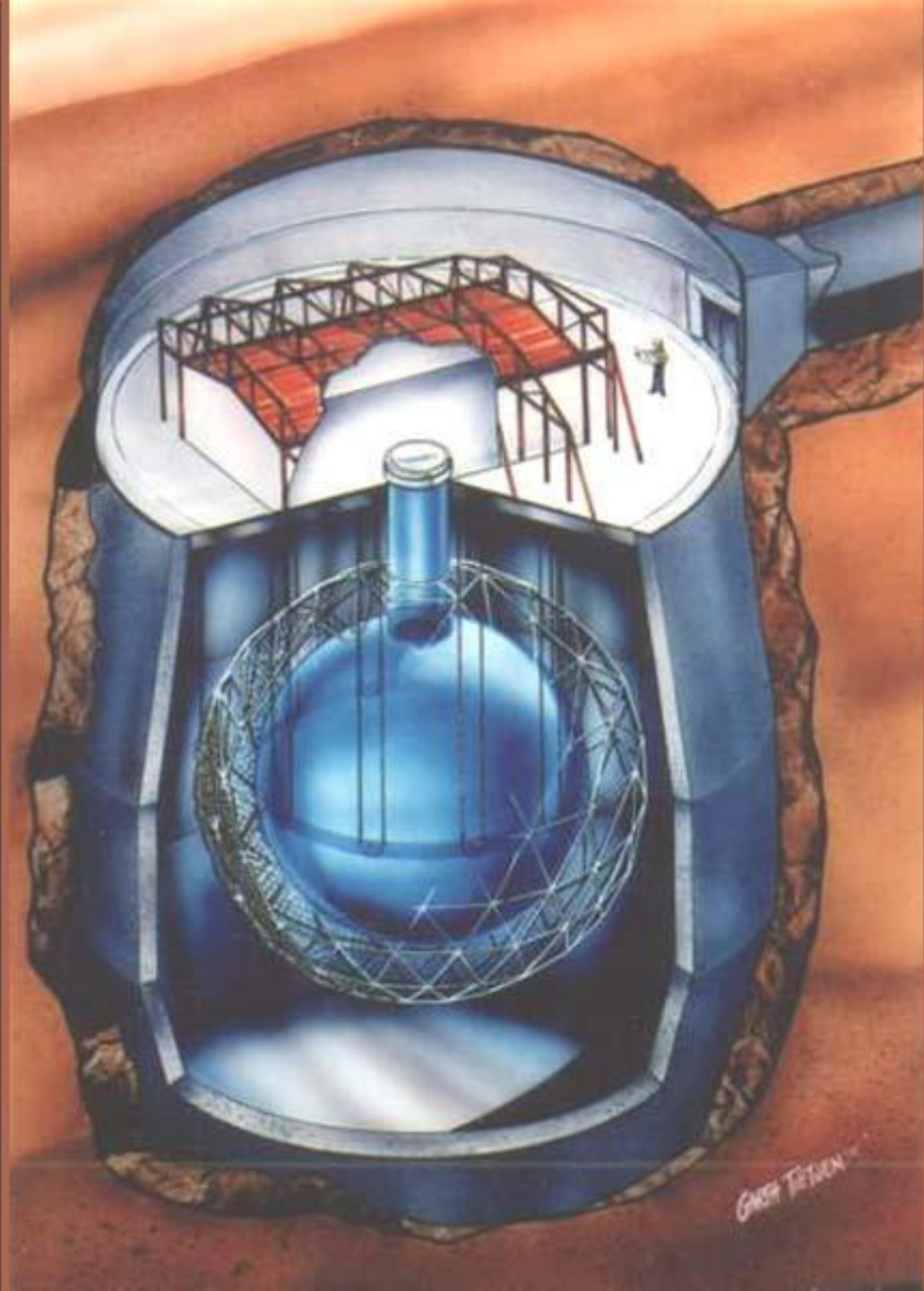
Садберийская нейтринная обсерватория
(г. Садбери, провинция Онтарио, Канада).

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.

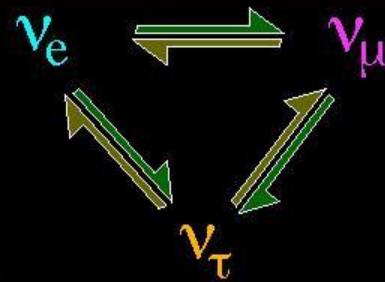
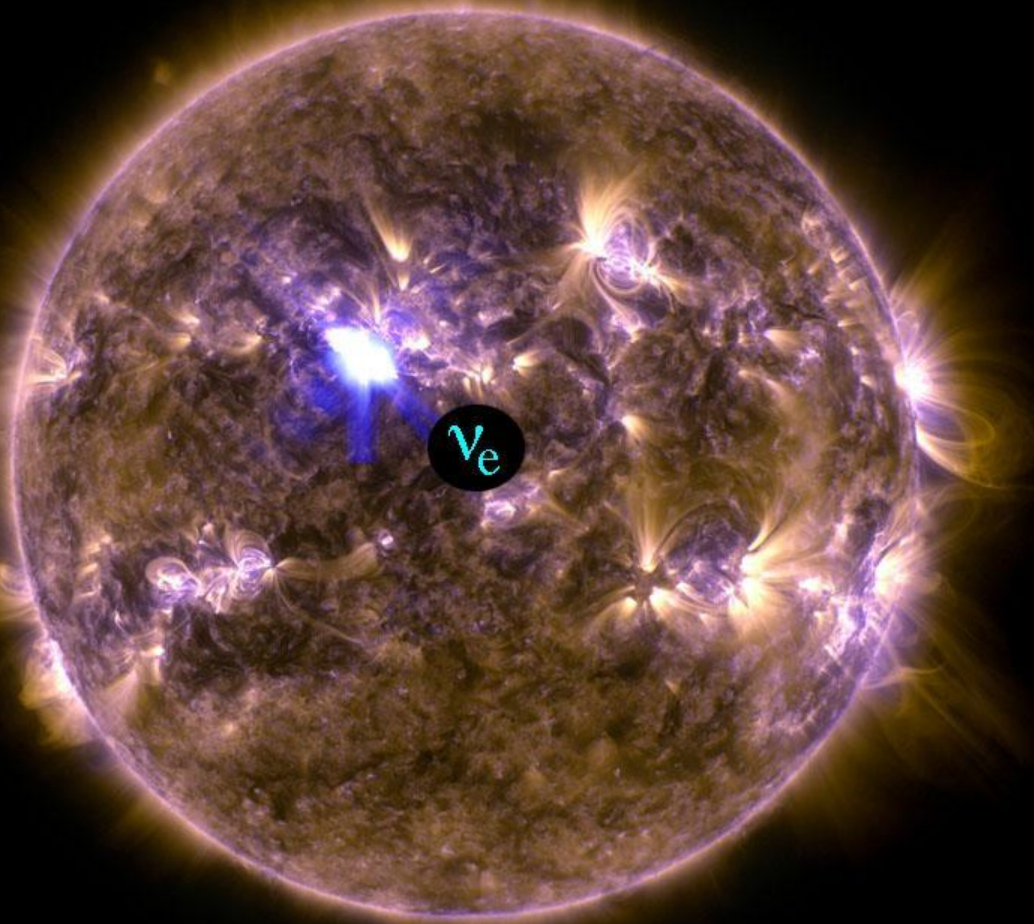
В 2002 г. здесь решена проблема
солнечного нейтрино -
зарегистрированы все три типа нейтрино
(ν_e ν_μ ν_τ) в таком общем количестве,
сколько ν_e должно рождаться на Солнце

Тем самым доказано, что:

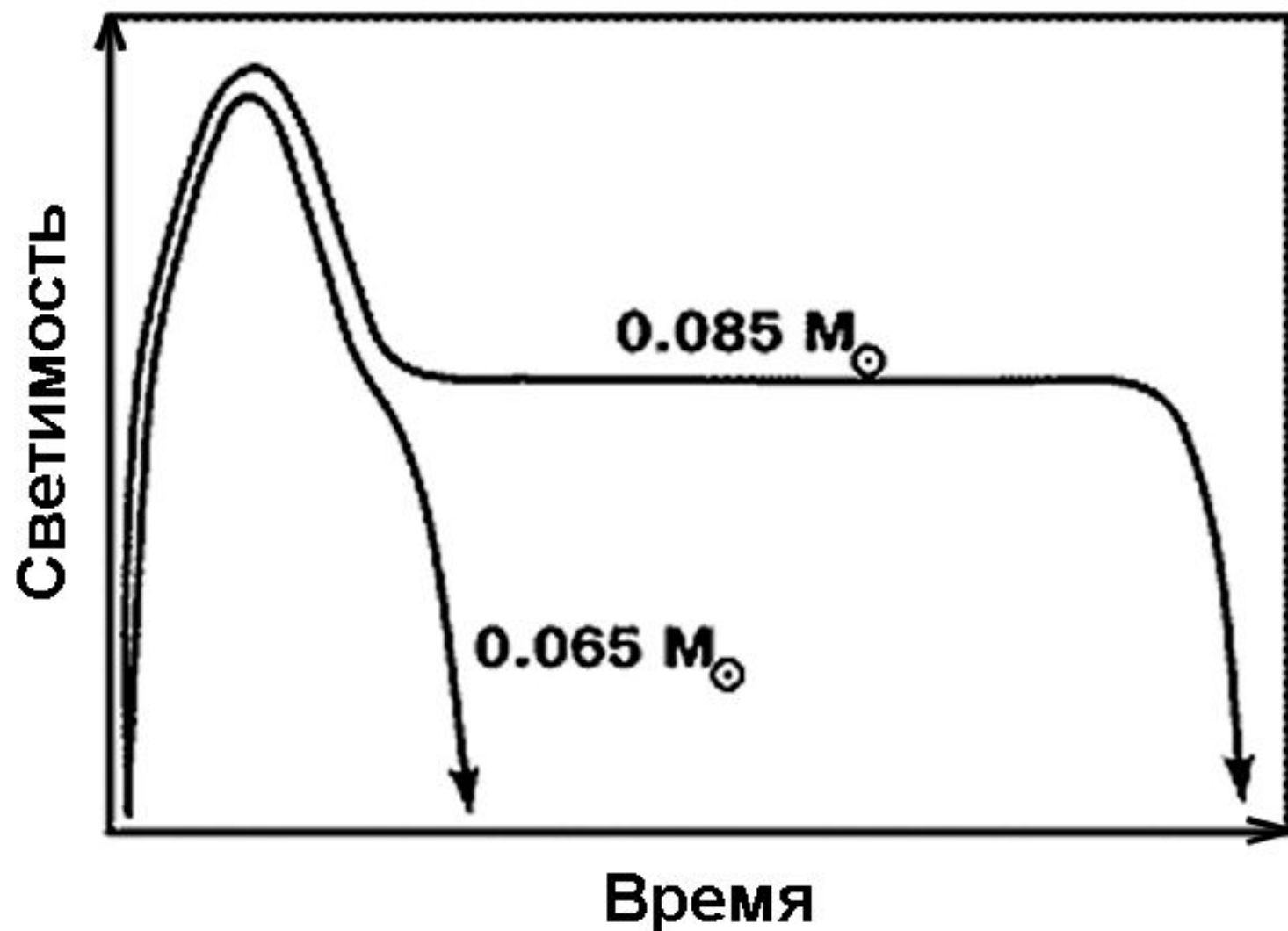
- модель Солнца верна
- нейтрино имеет массу покоя
- происходят осцилляции нейтрино



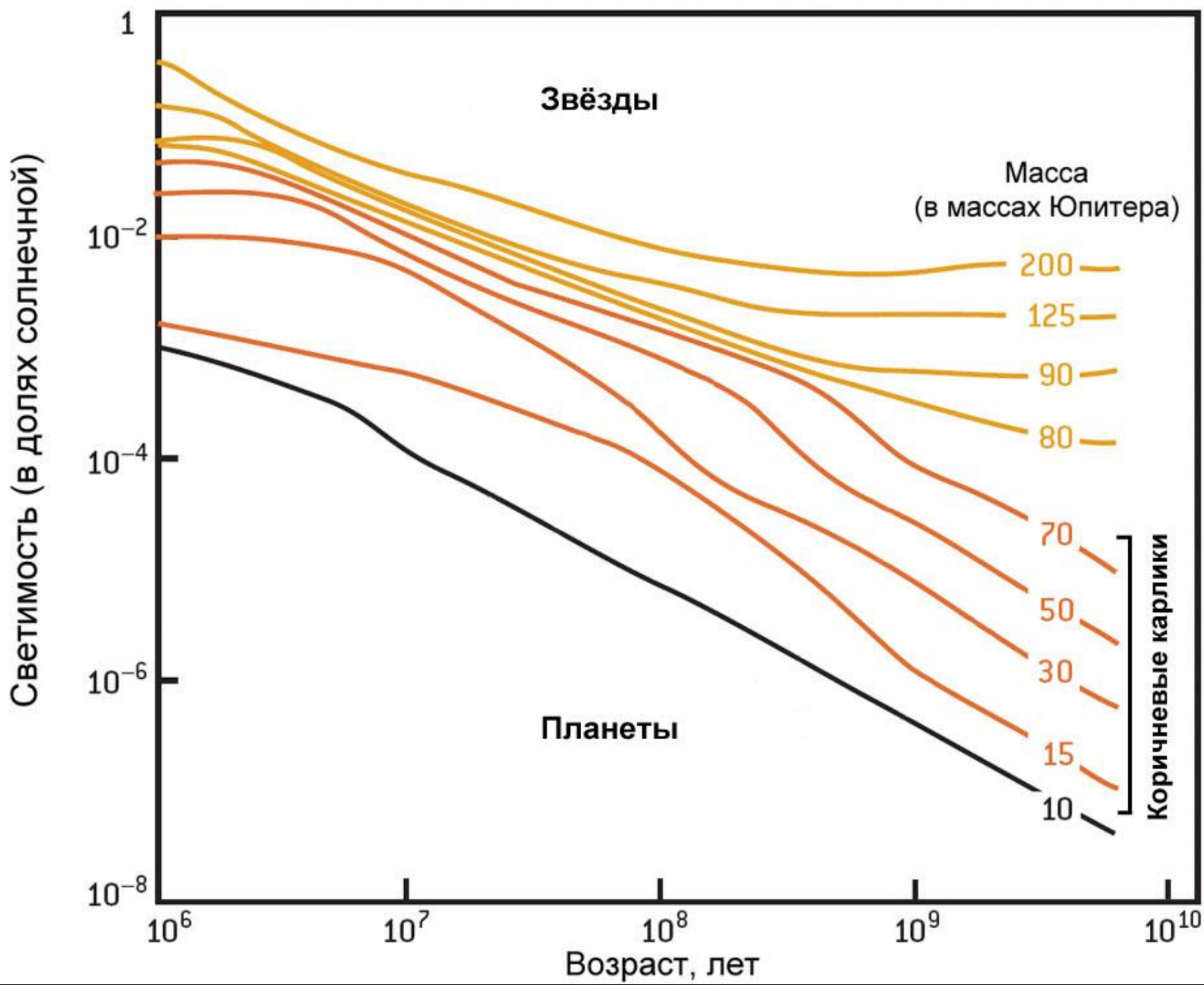
Осцилляции нейтрино по пути от Солнца к Земле

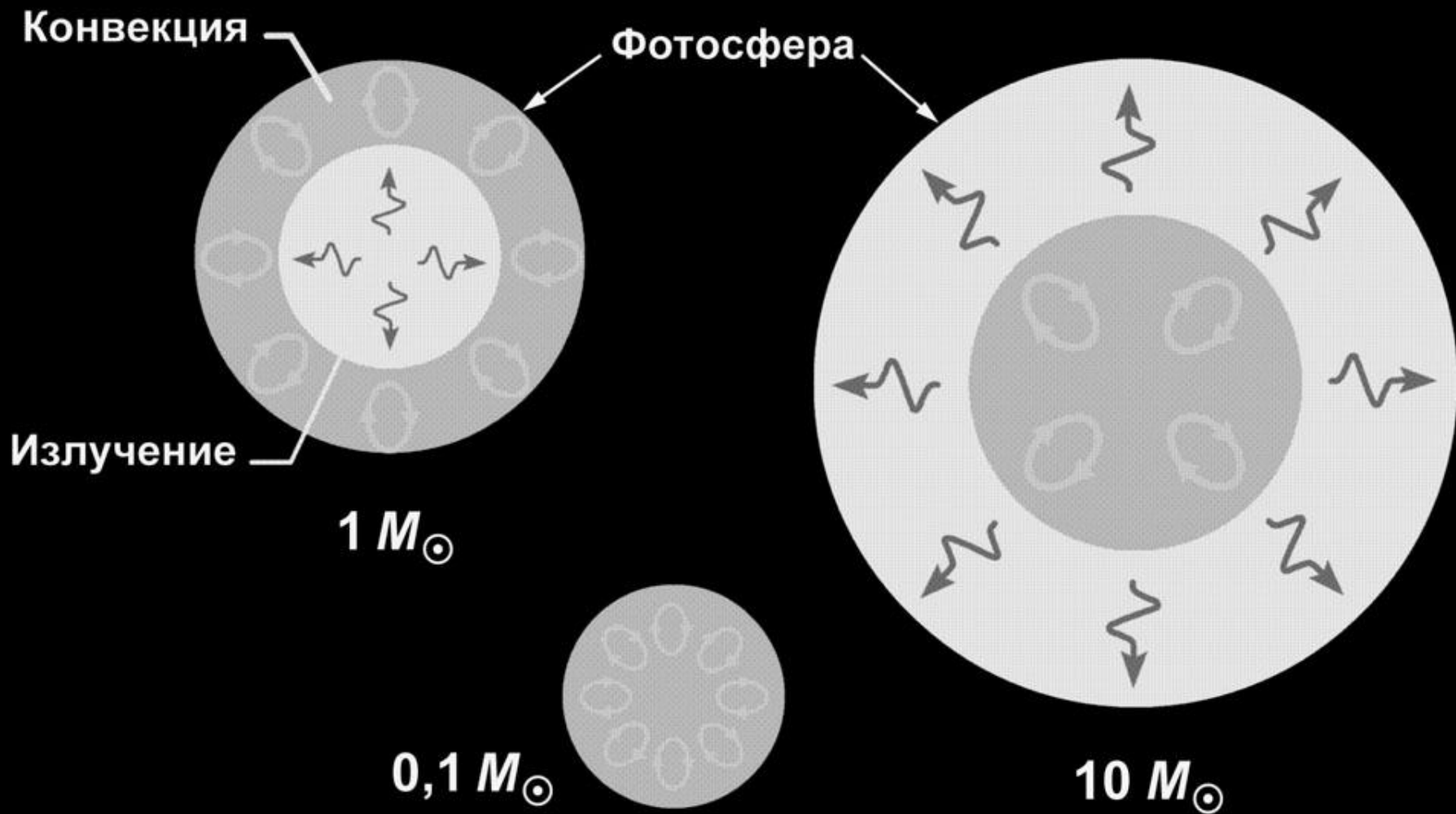


Родившись в недрах Солнца как электронные нейтрино, эти частицы за 8 мин пути к Земле частично превращаются в нейтрино других сортов (ароматов) - мюонные и тау



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

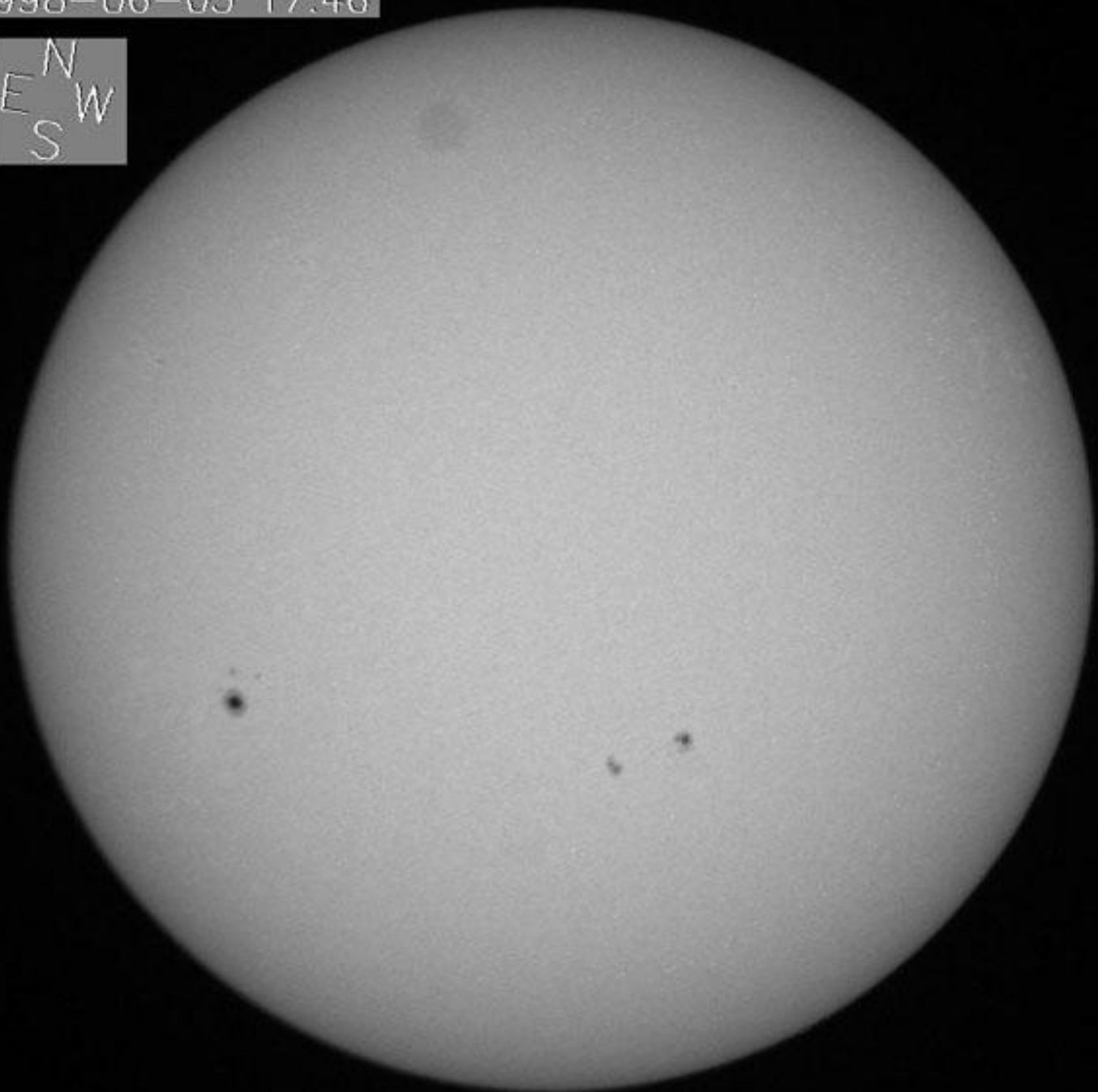




**Перенос энергии
в звездах главной последовательности**

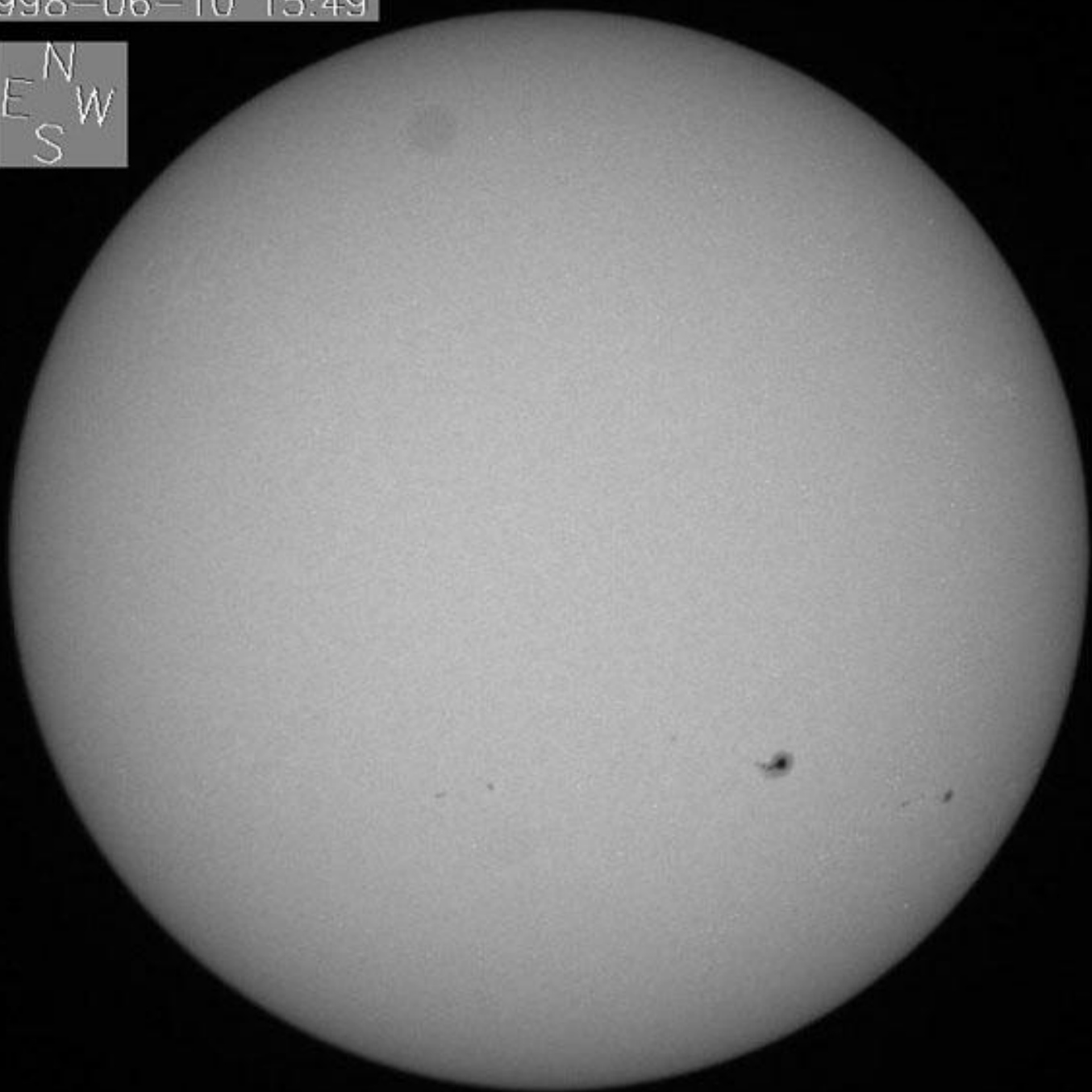
1998-06-05 17:46

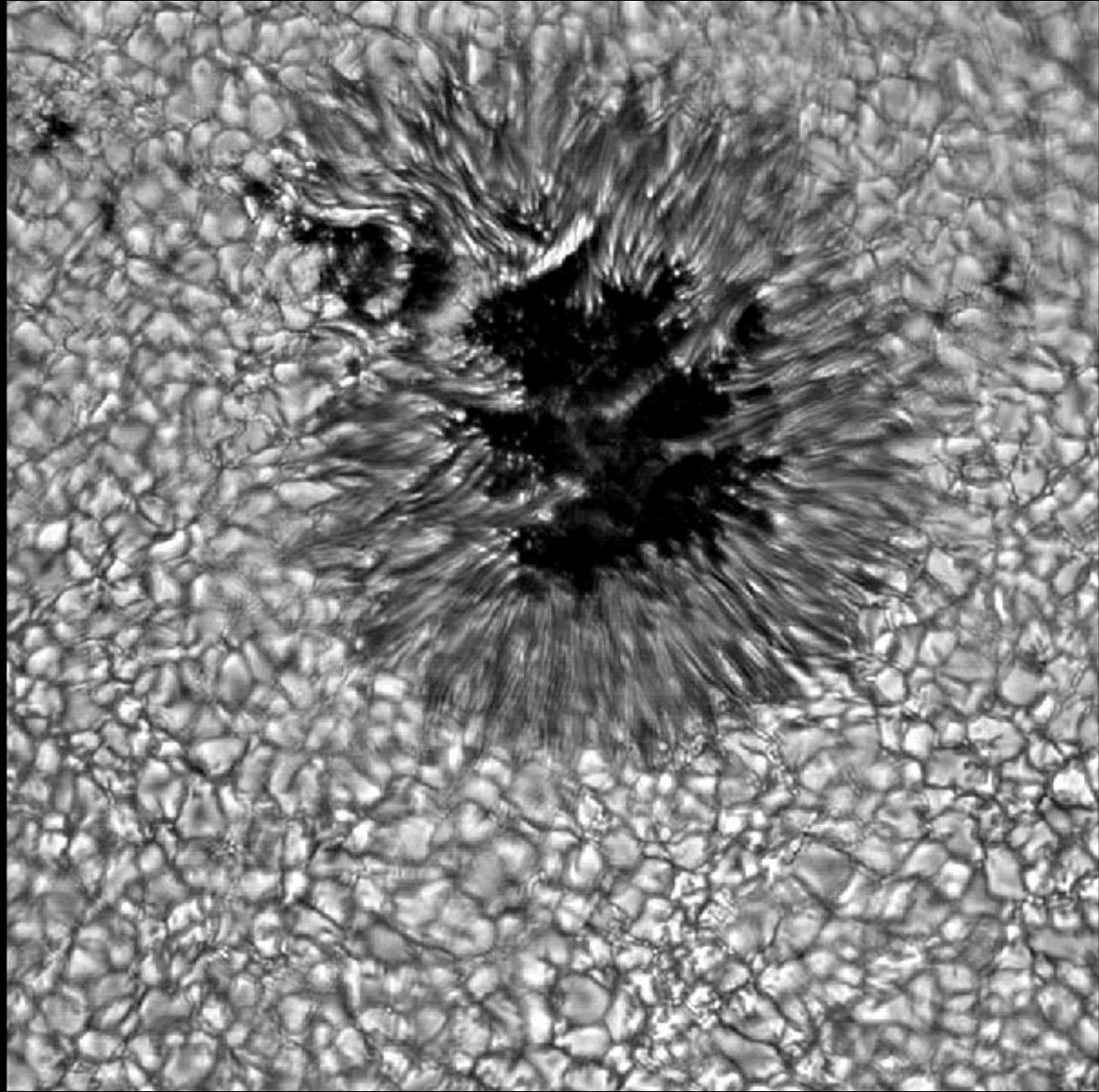
N
E W
S

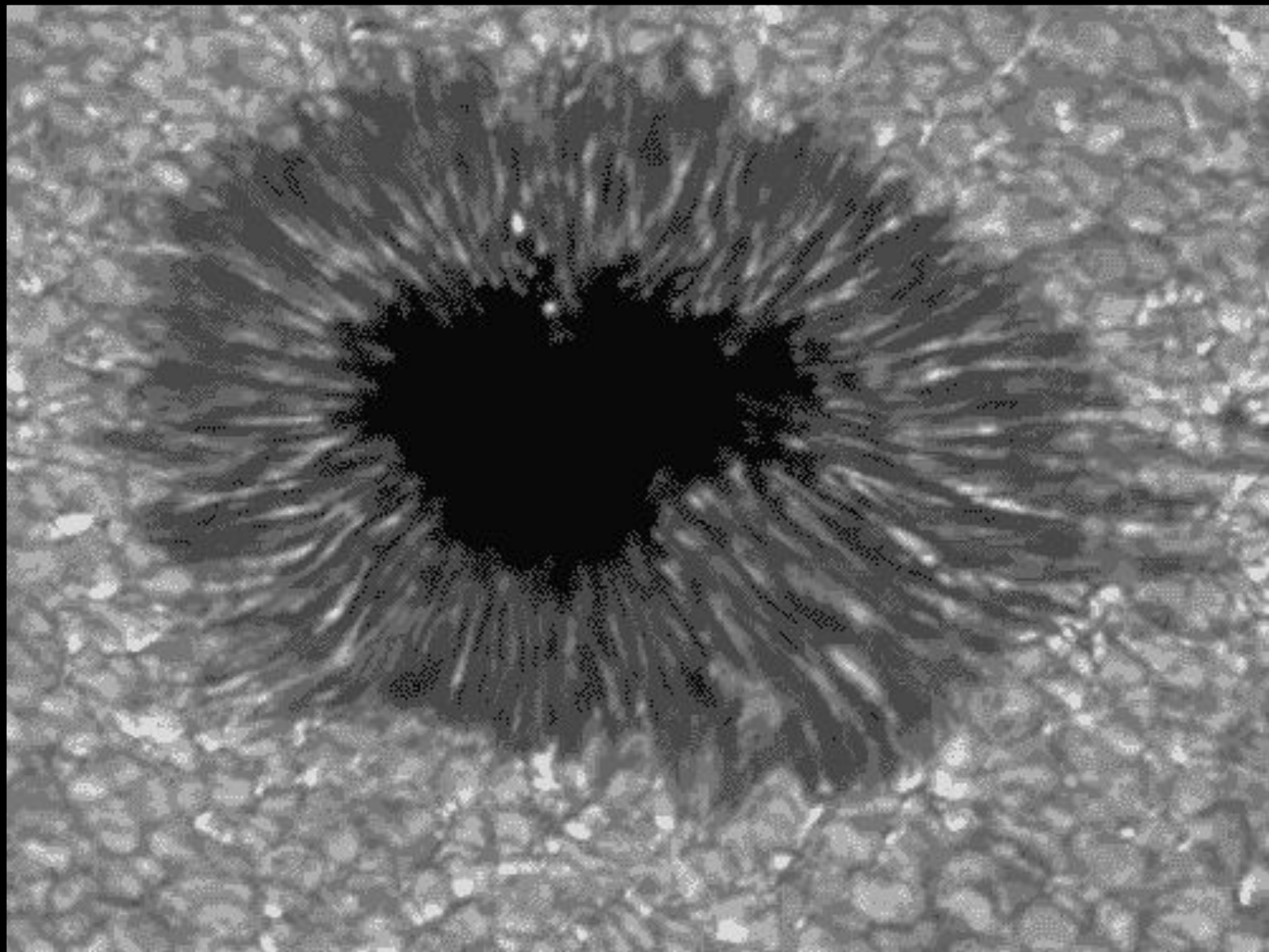


1998-06-10 15:49

N
E W
S

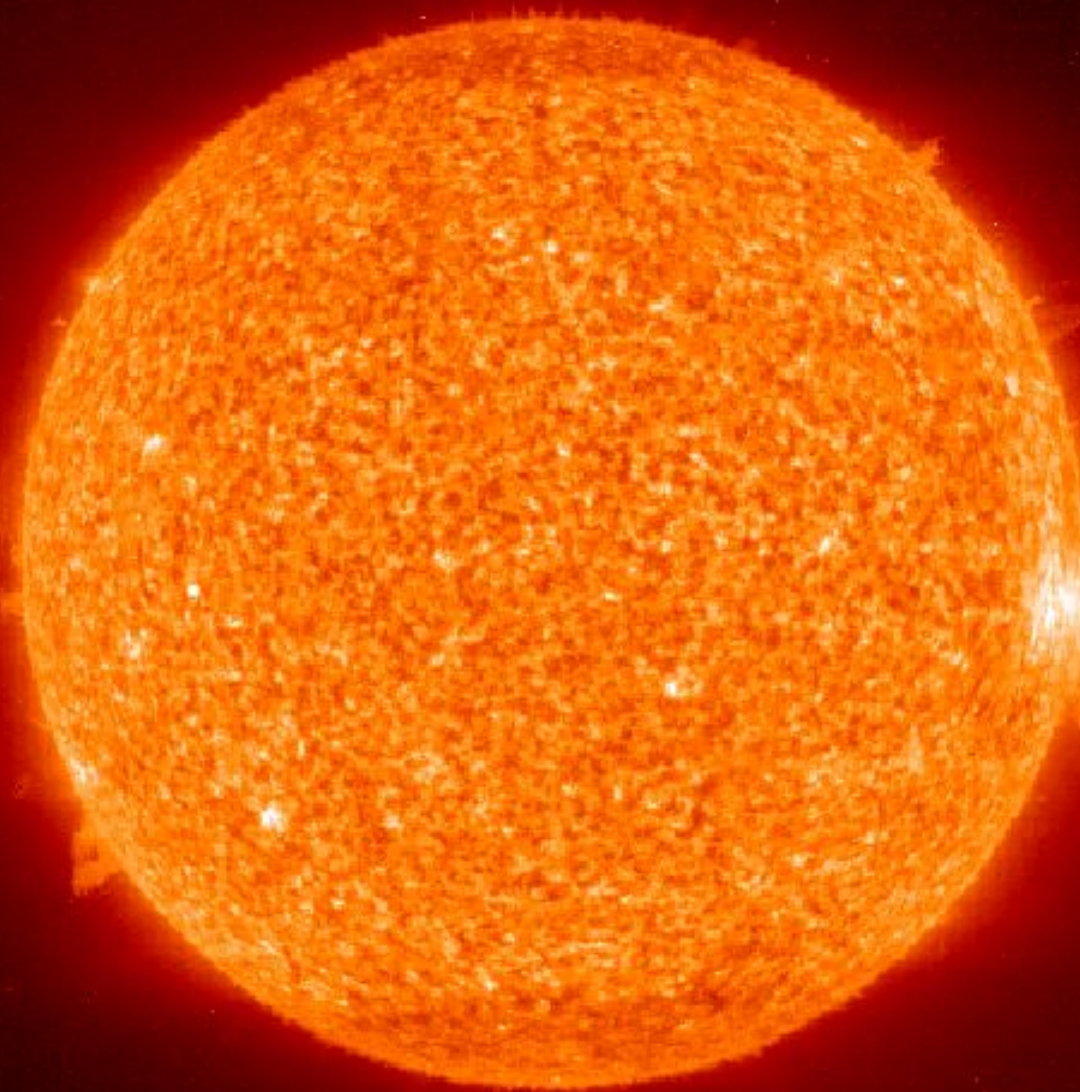




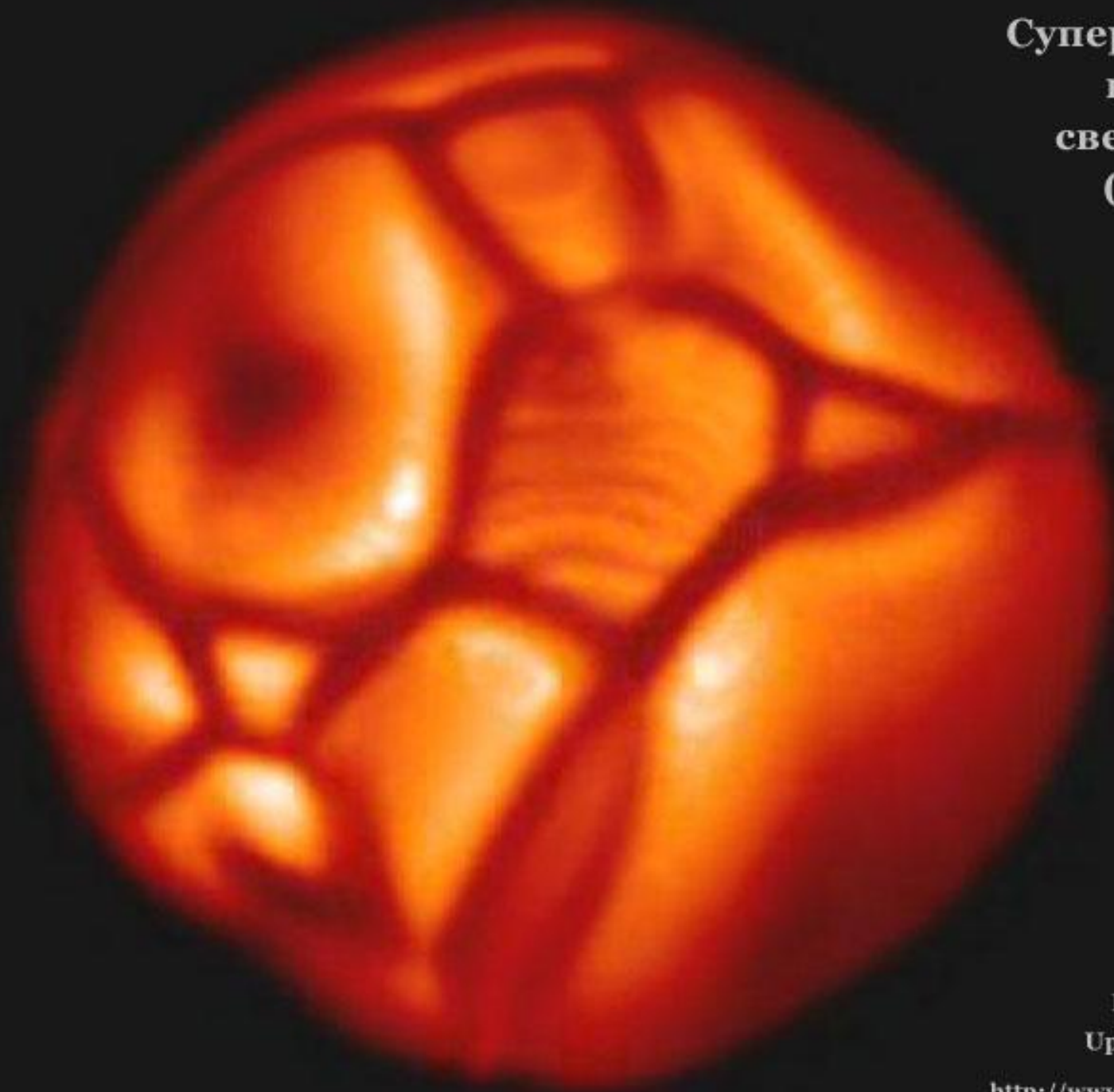


SOHO EIT, He II line, 304 Å

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:

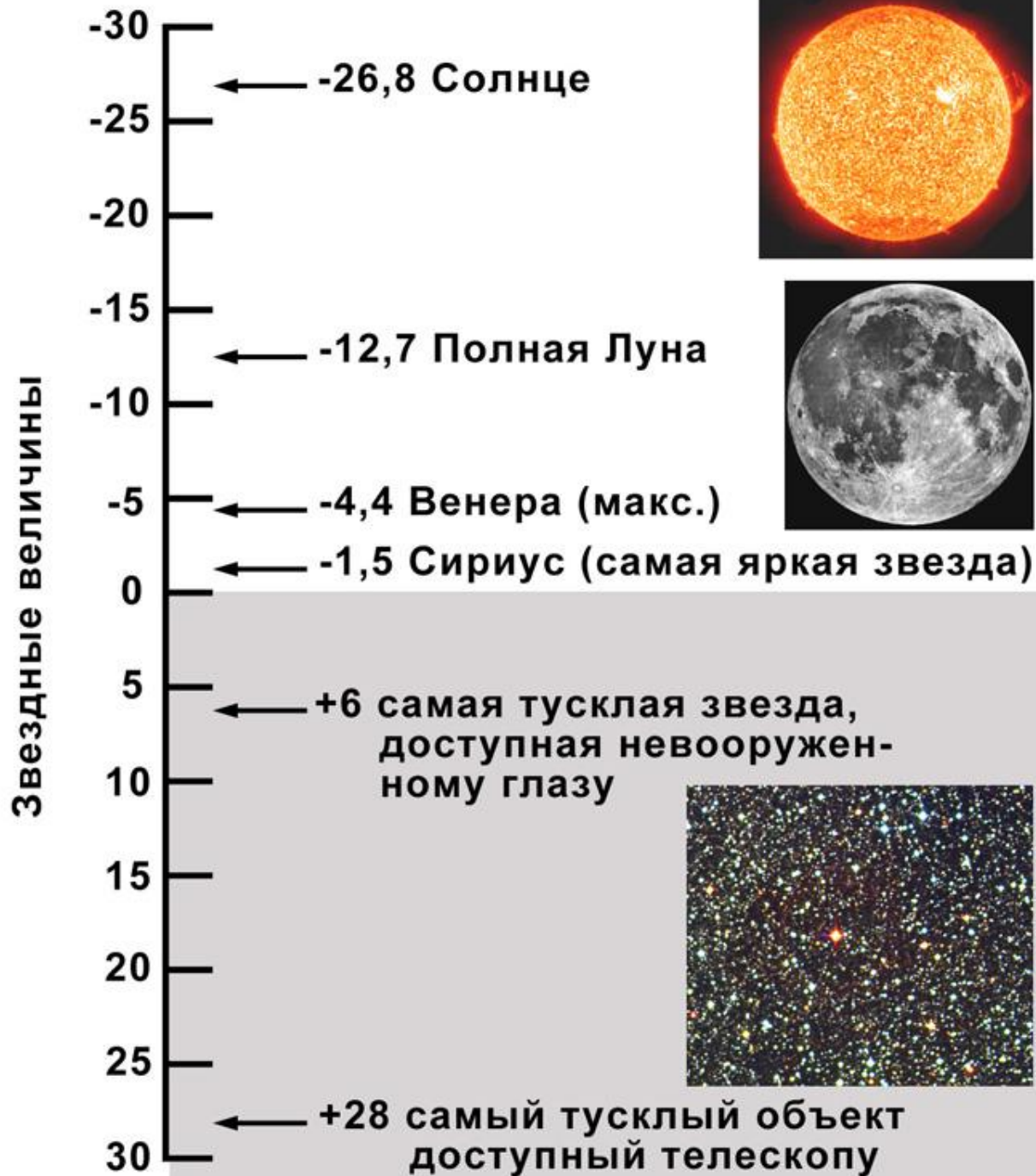
$$\frac{E_{m1}}{E_{m2}} = (2,512\dots)^{-(m1 - m2)}$$

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

Формула Погсона

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

Диапазон звёздных величин



Поверхностная яркость
ночного неба в зените
вдали от городов

$22,5 - 23 \text{ м}^2/\text{кв.сек}$

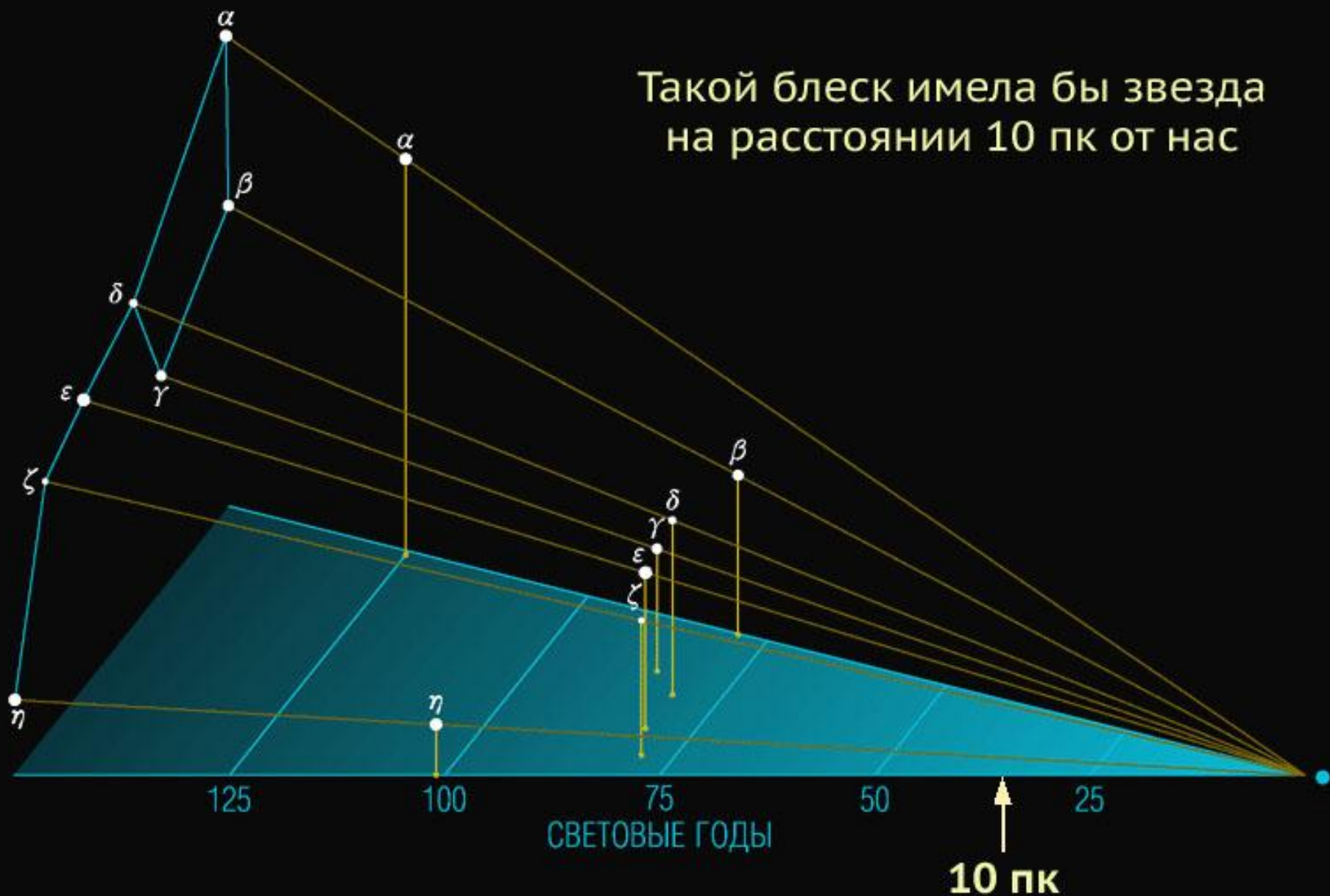
$13,5 - 14 \text{ м}^2/\text{кв.мин}$

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

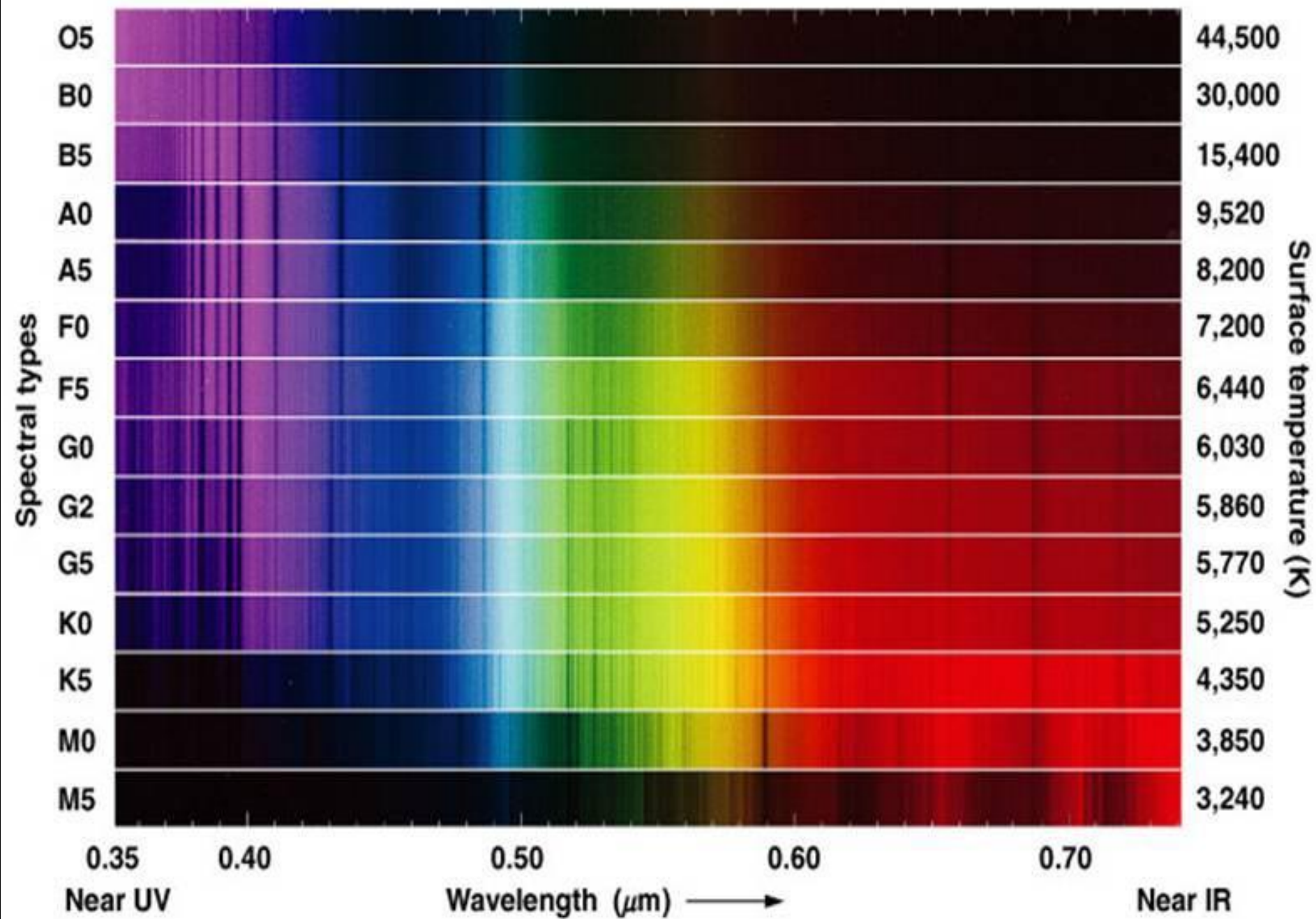


10 пк

Эволюция звезд



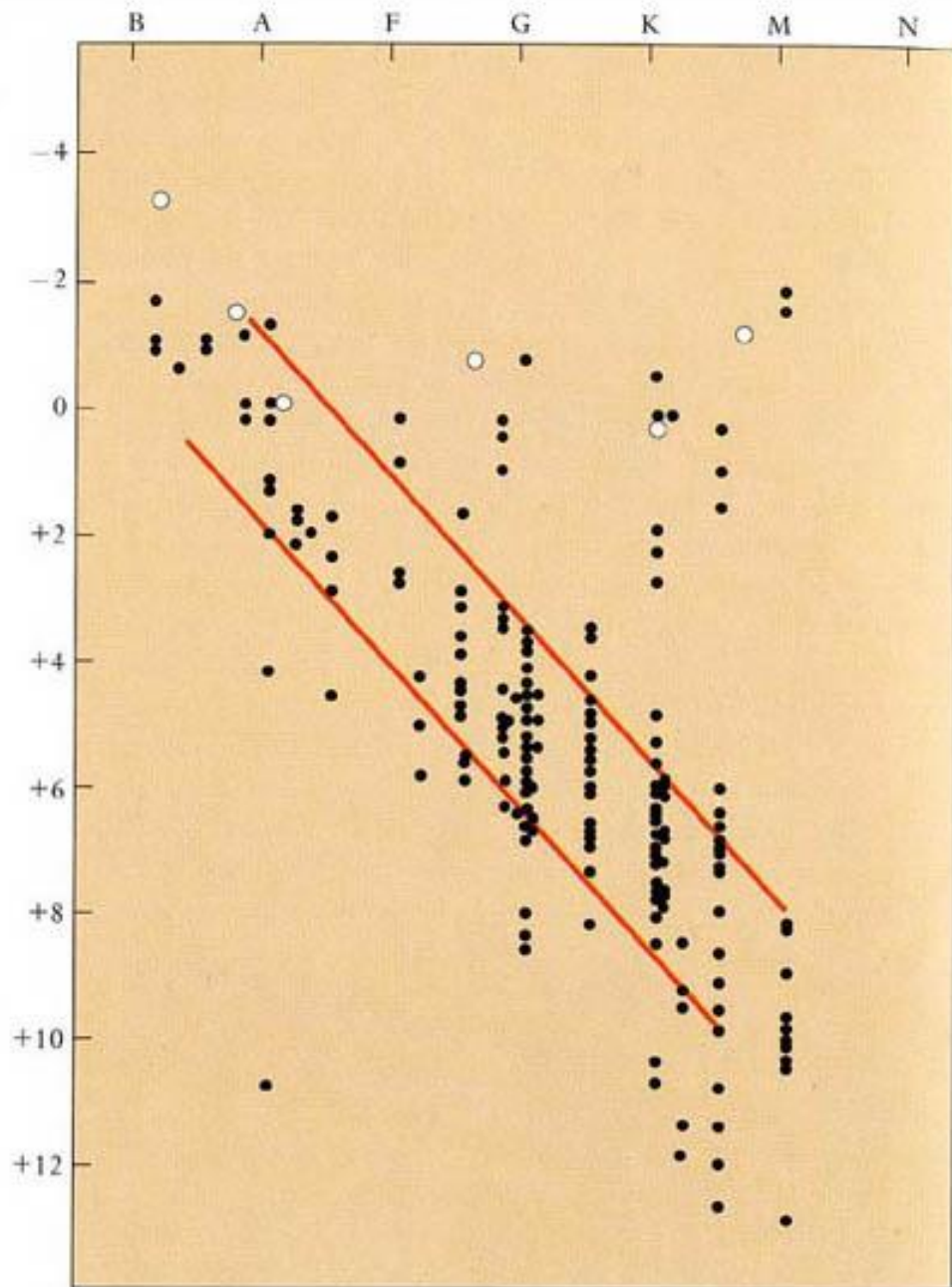
Спектры звёзд



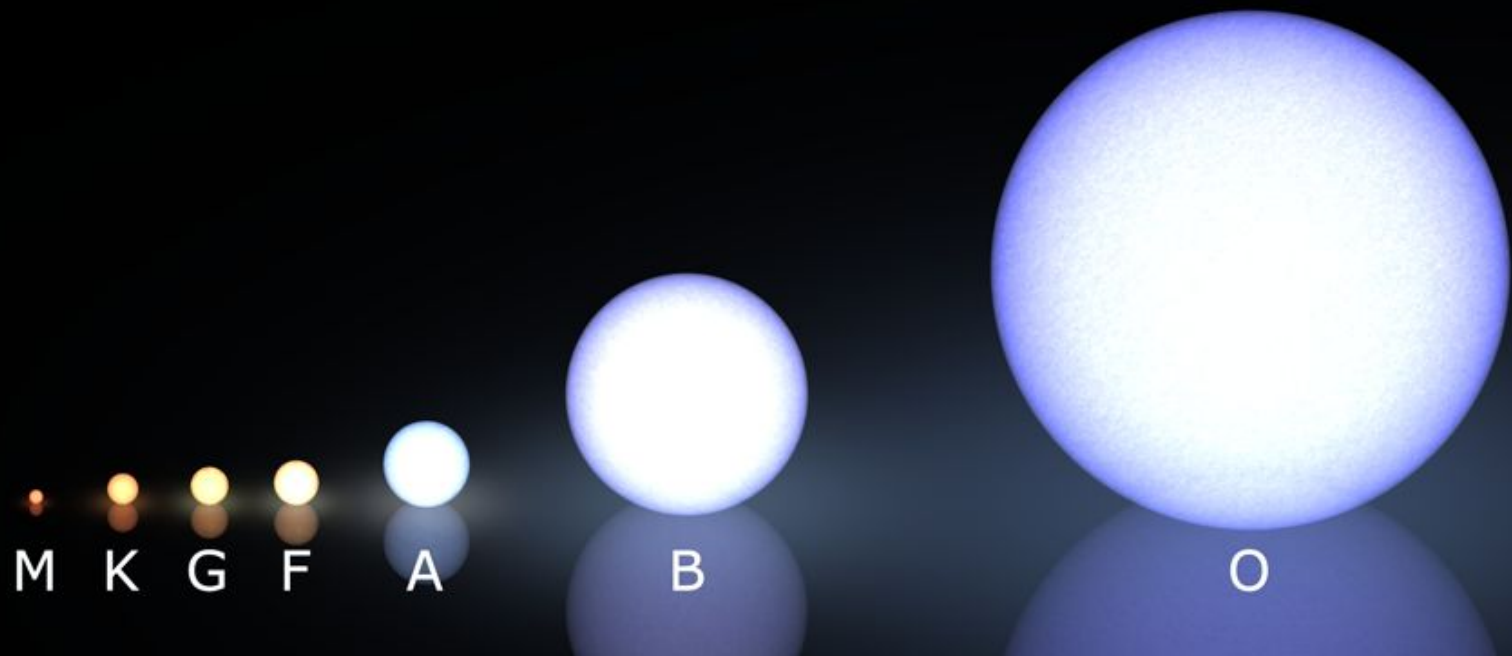
Генри Норрис РАССЕЛ



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

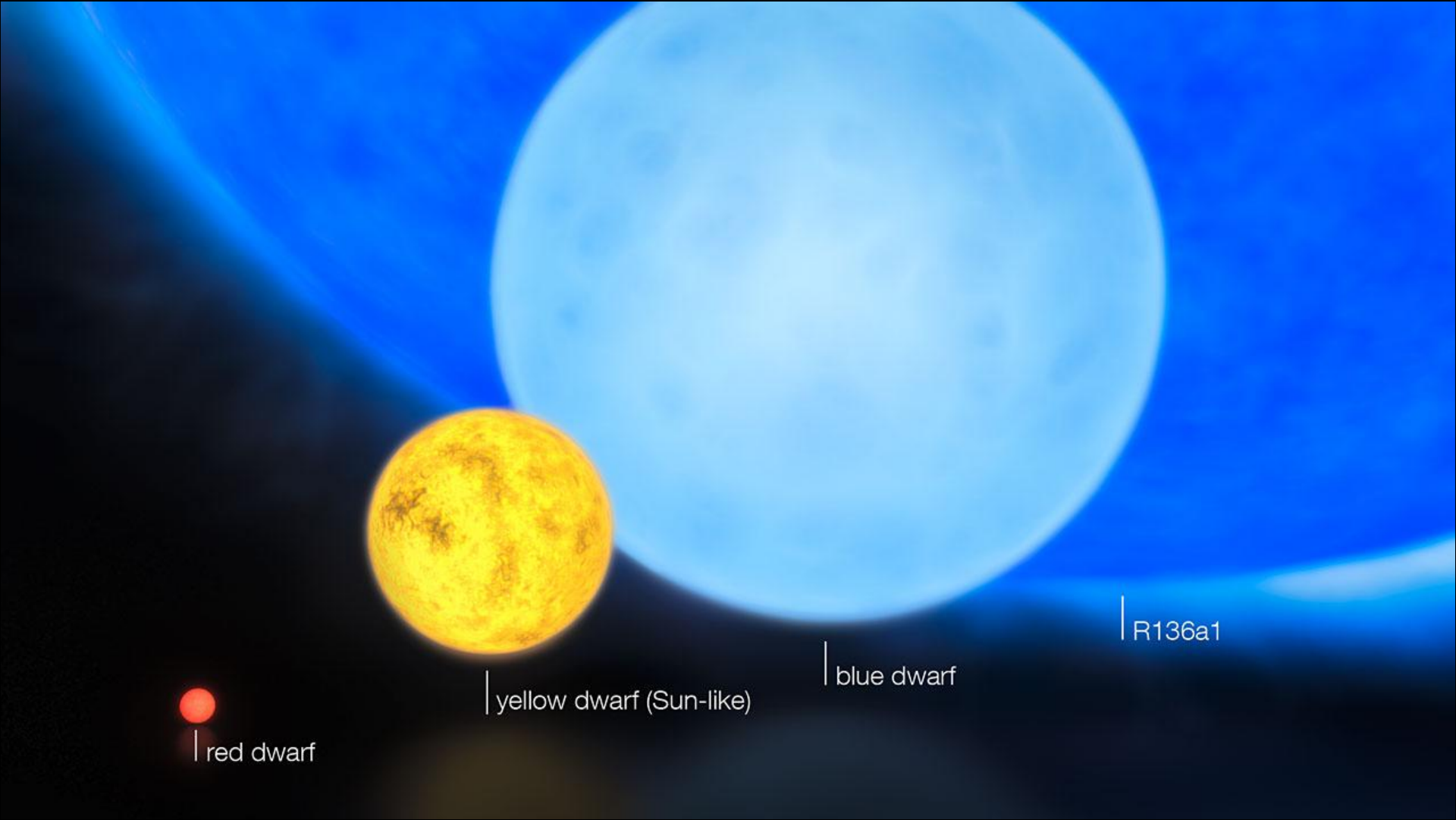
G

F

A

B

O

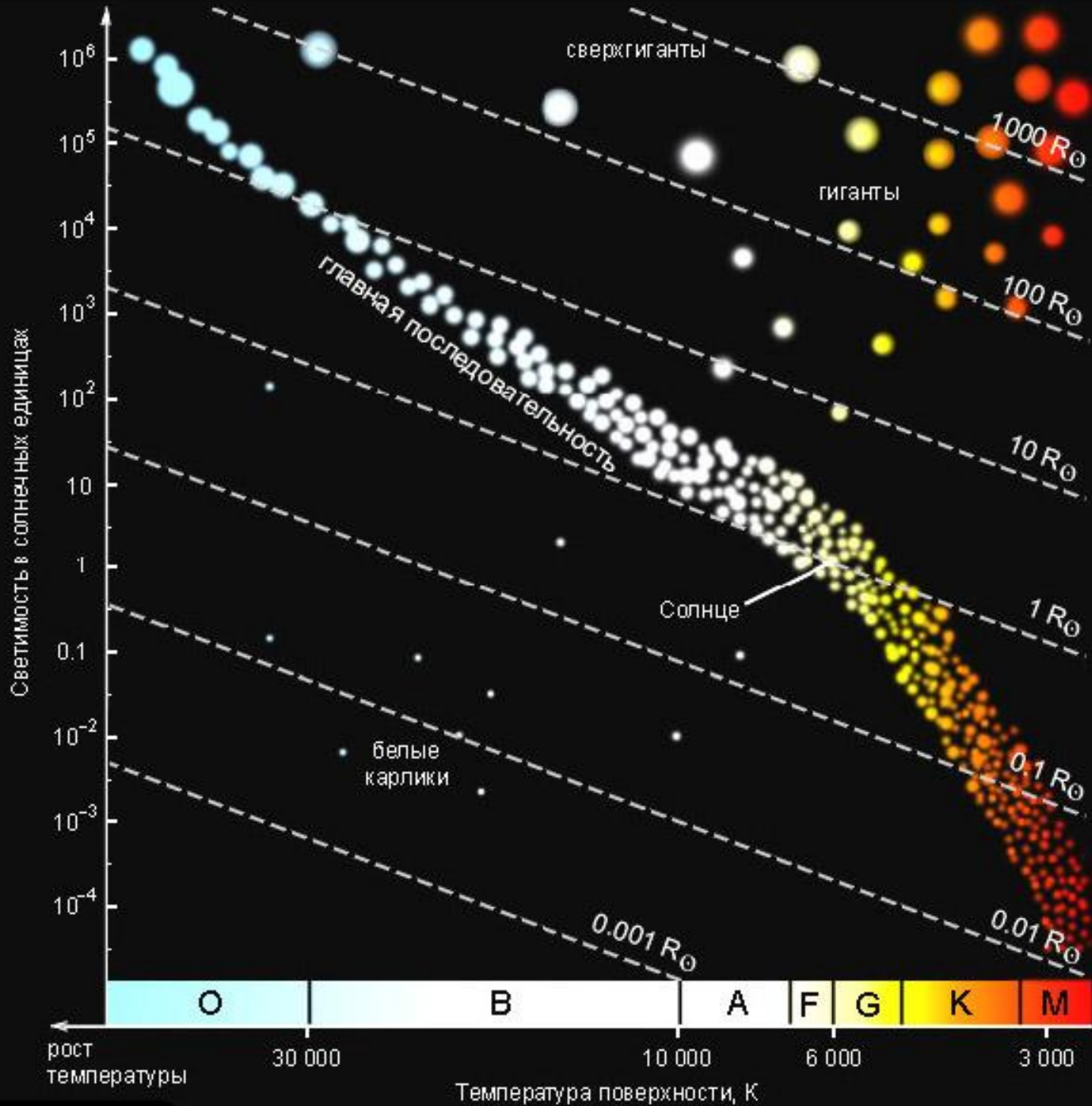


| red dwarf

| yellow dwarf (Sun-like)

| blue dwarf

| R136a1



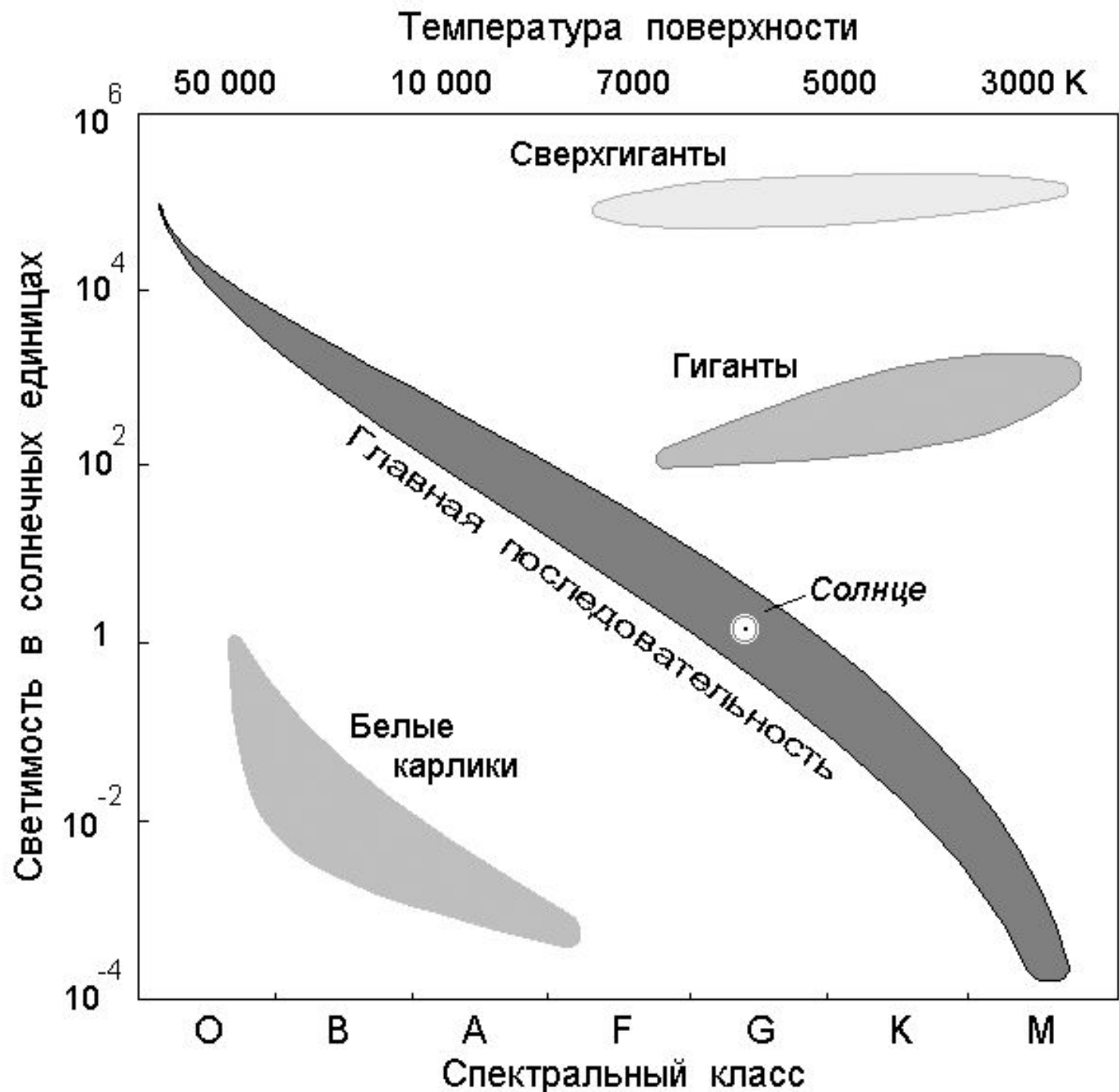


Диаграмма Герцшпрунга-Рассела

Светимость (в солнечных единицах)

1000000

10000

100

1

0,01

0,0001

0,000001

Гипергиганты

Ia⁺

Сверхгиганты

Ia

Яркие гиганты

Ib

II

Гиганты

III

Главная
последовательность

Субгиганты

IV

"Карлики"

Субкарлики

V

Красные
карлики

VI

Белые карлики

VII

Бурые
карлики

O

B

A

F

G

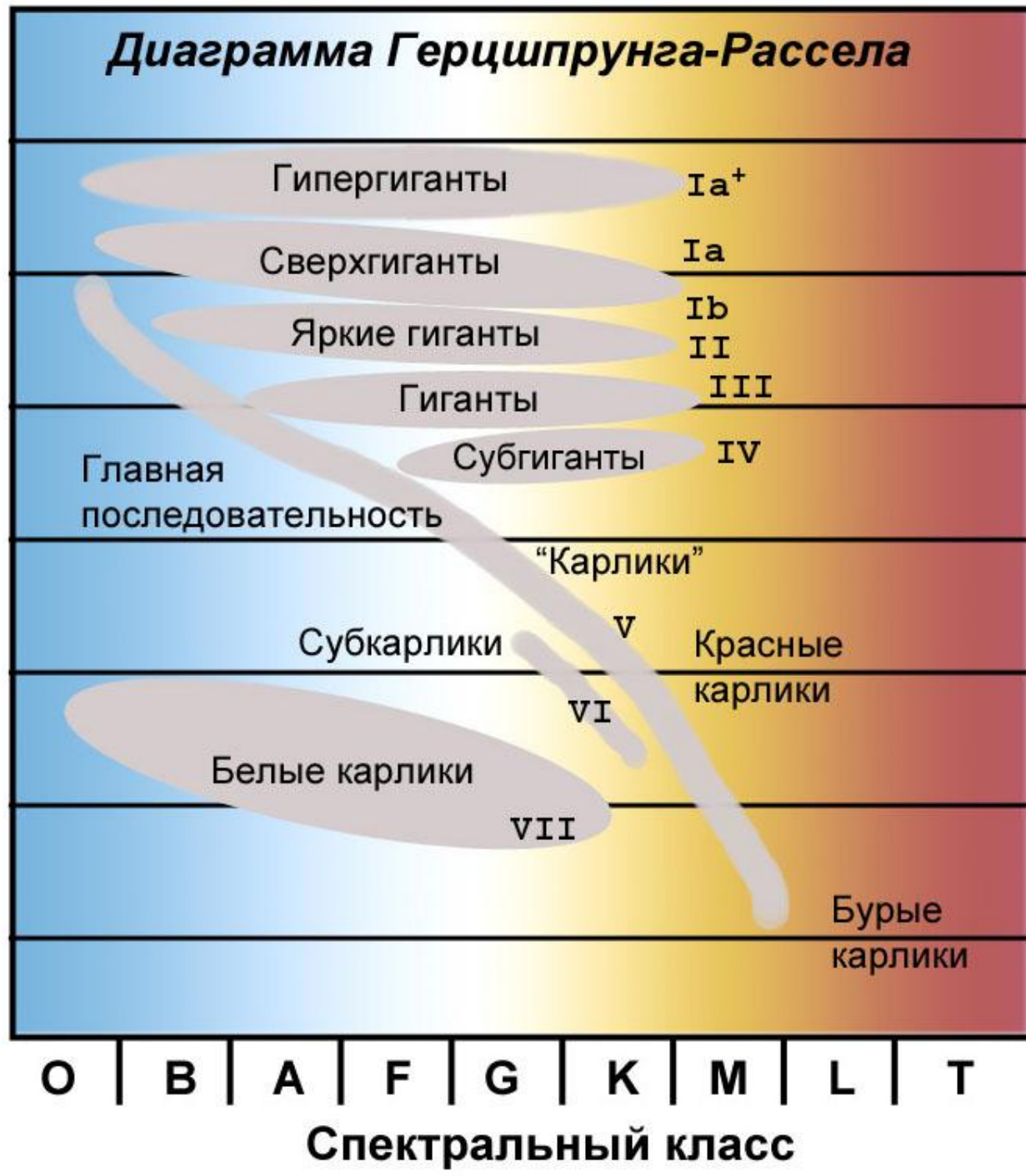
K

M

L

T

Спектральный класс



Звезда
Вольф 457



Белый карлик
Лейтена

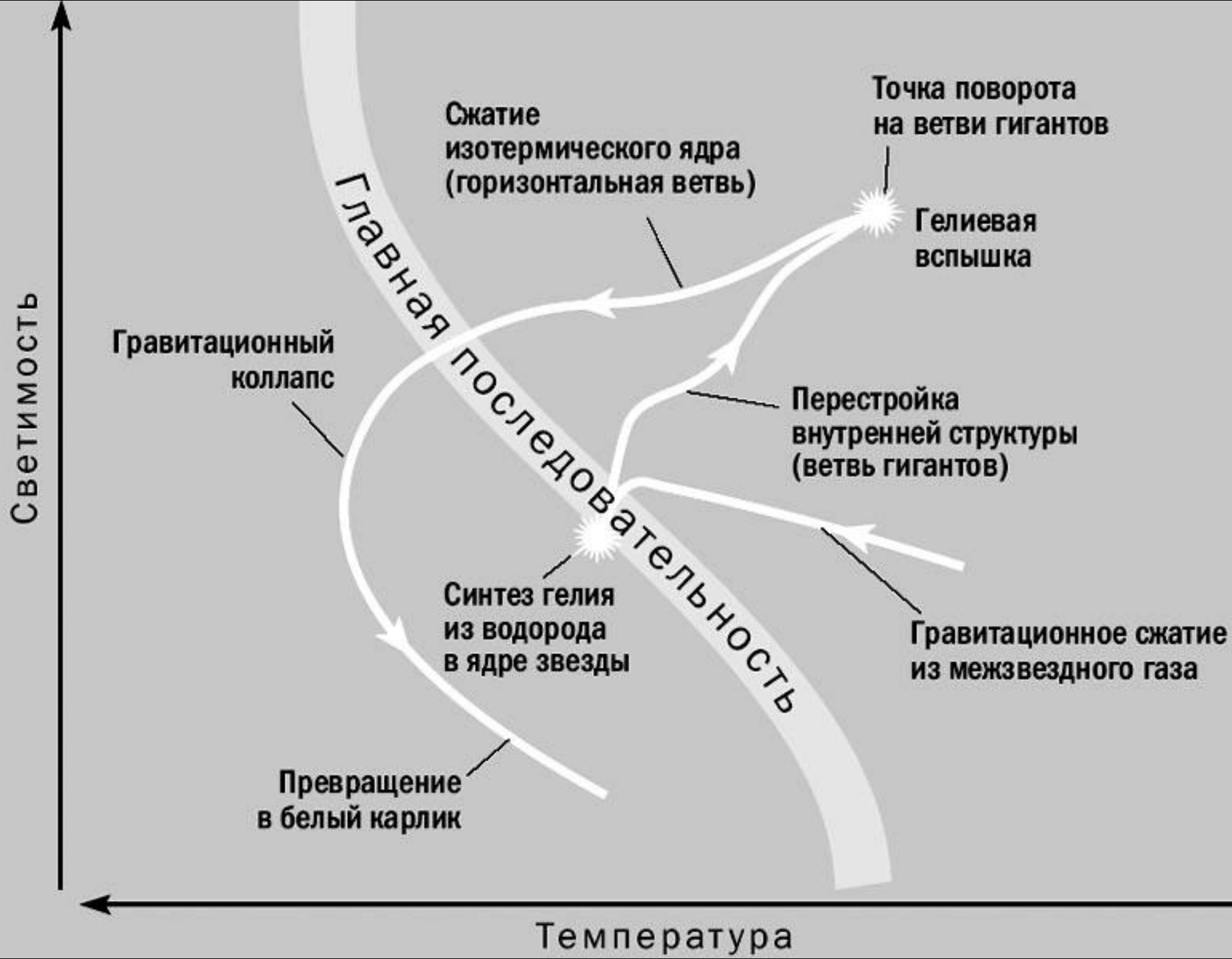


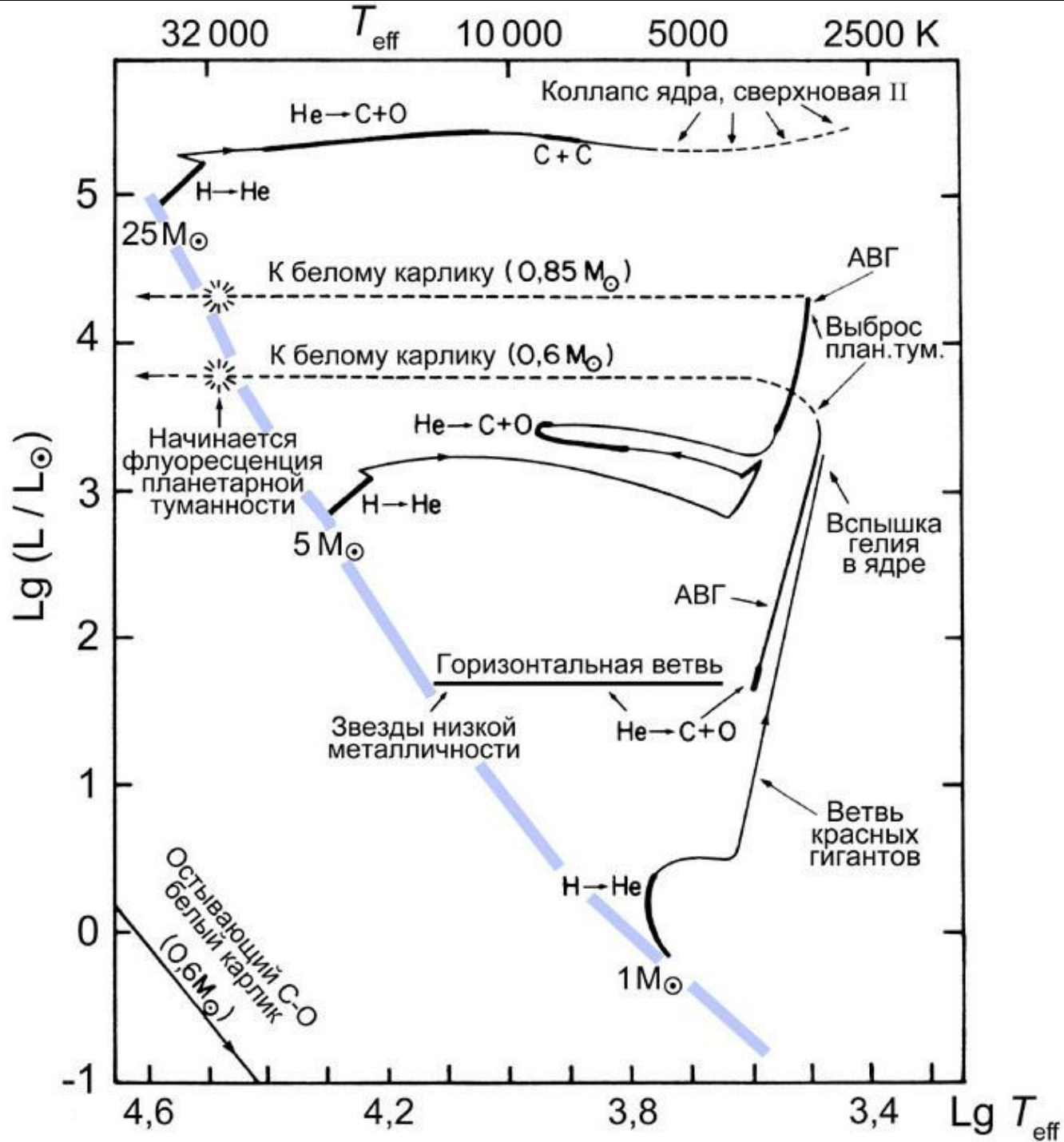
Земля

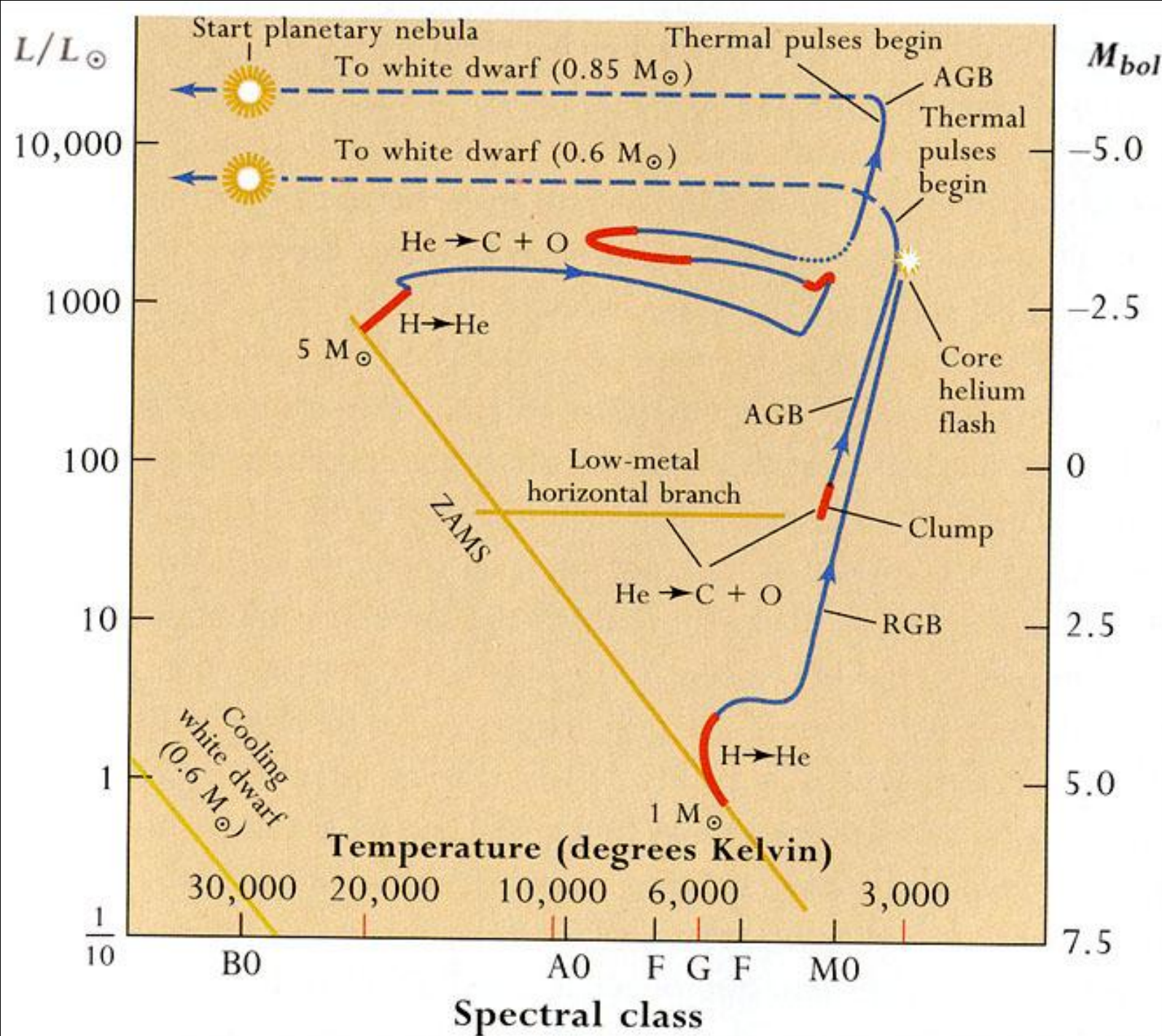


Эволюция Солнца

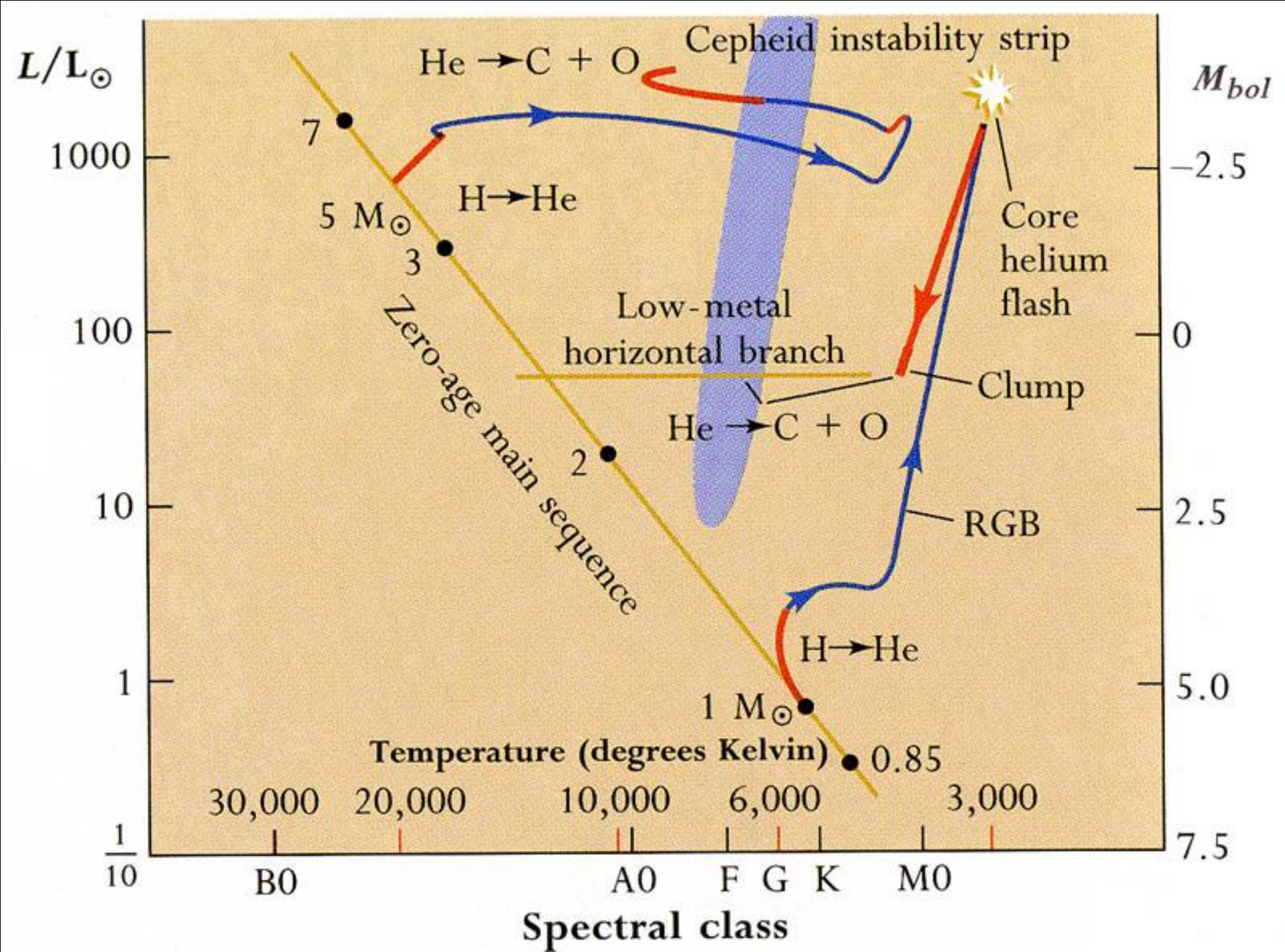


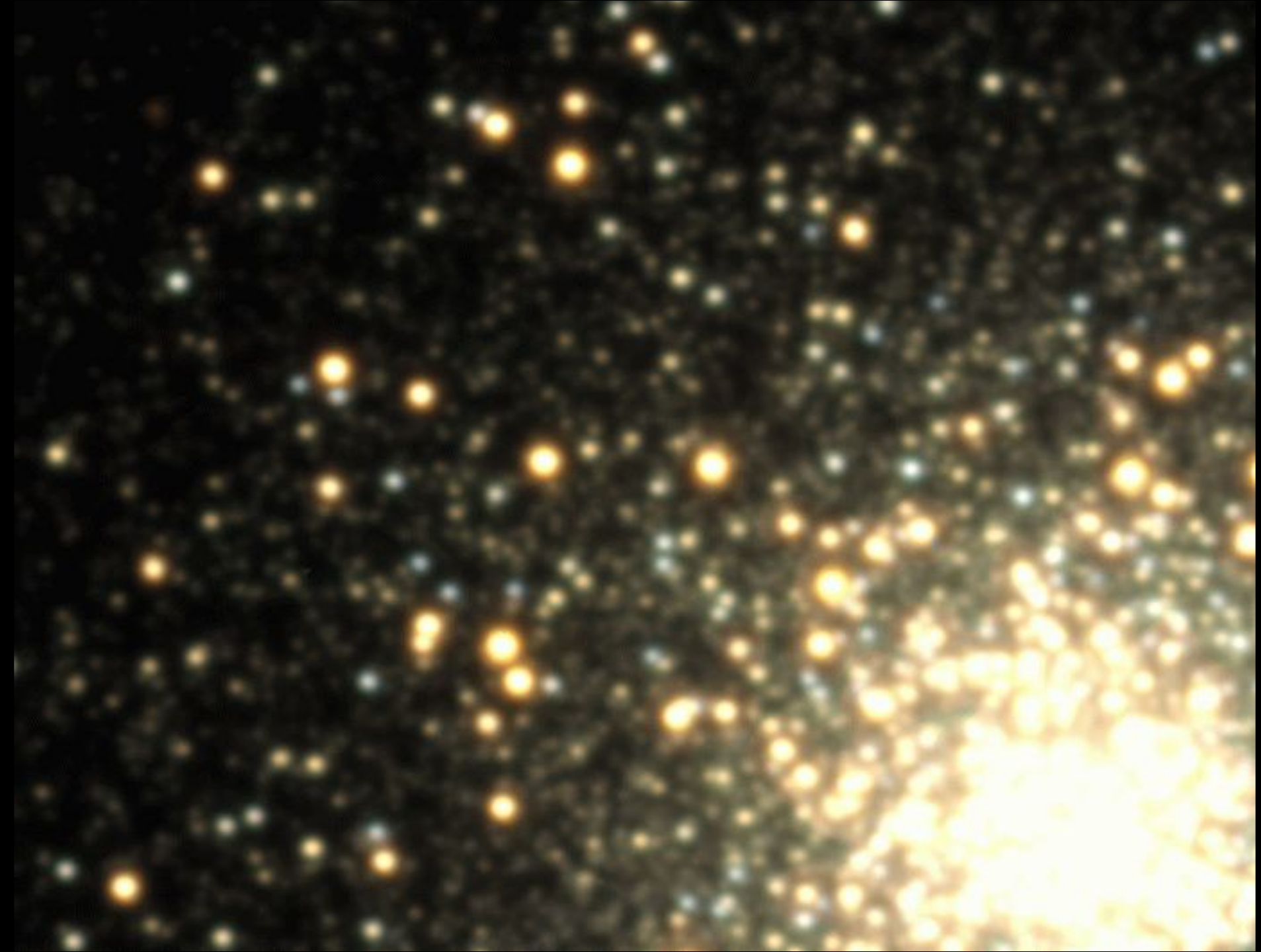






Теоретические
эволюционные
треки звезд
с массами
1 и 5 M_{\odot}

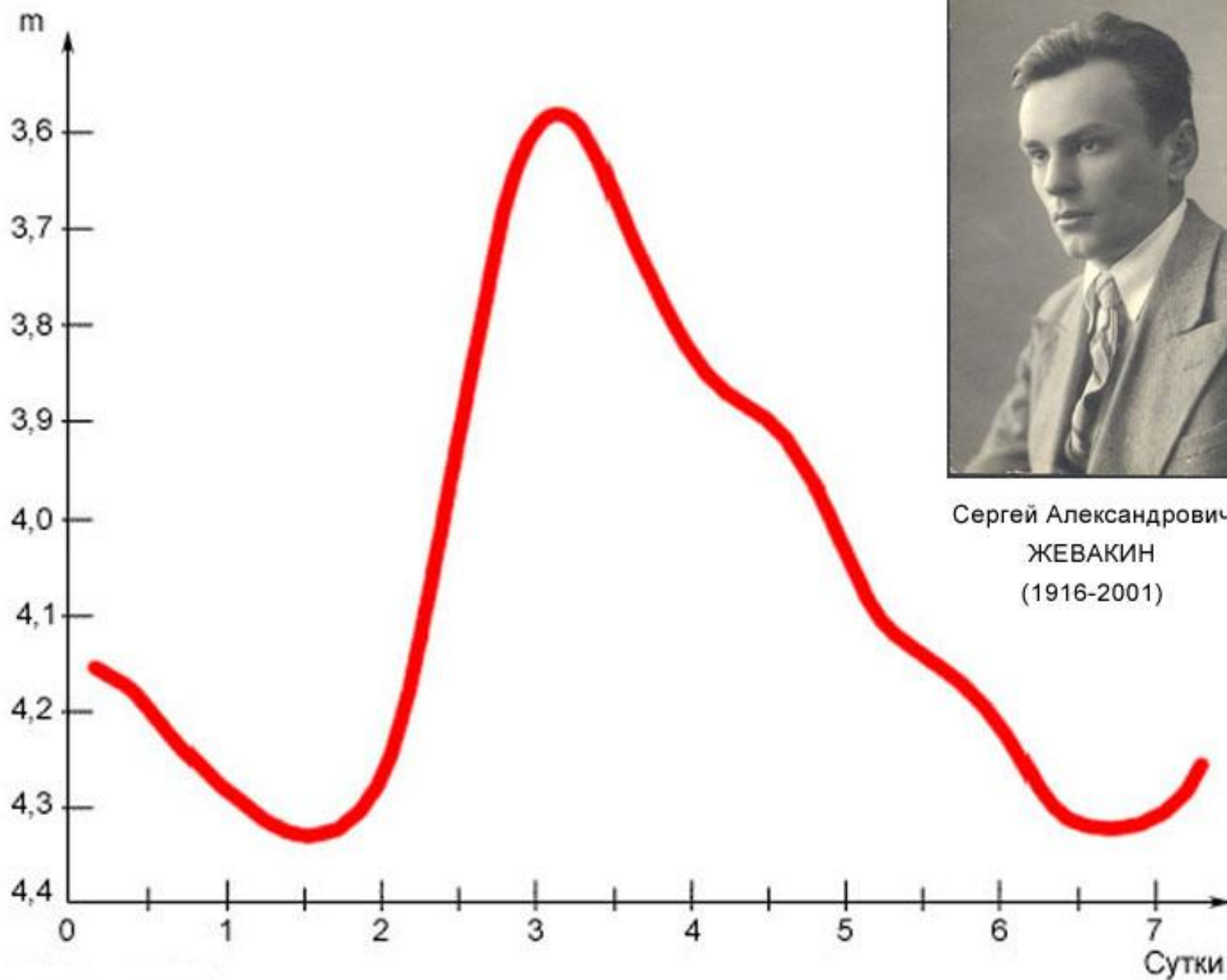








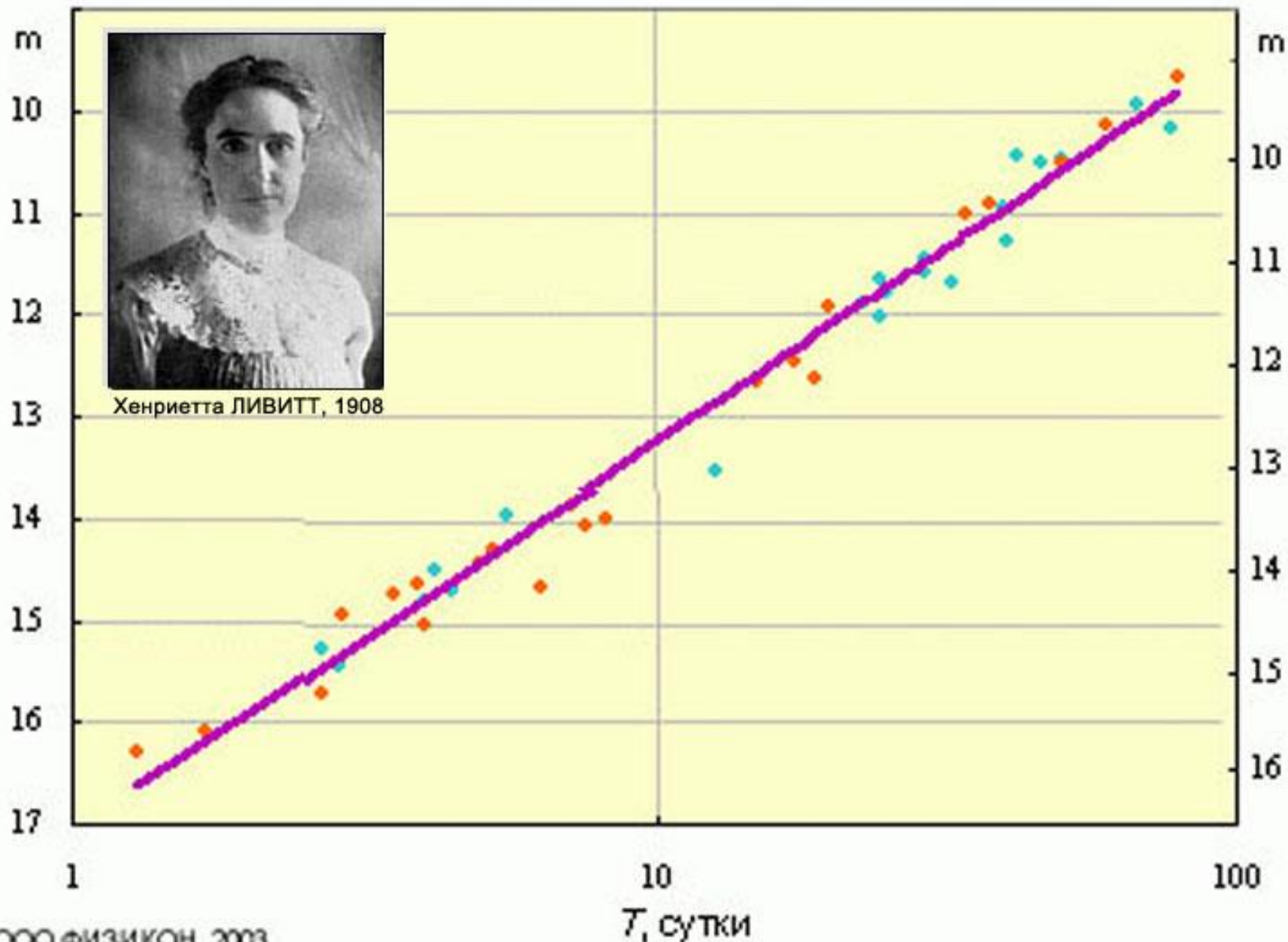
Сергей Александрович
ЖЕВАКИН
(1916-2001)



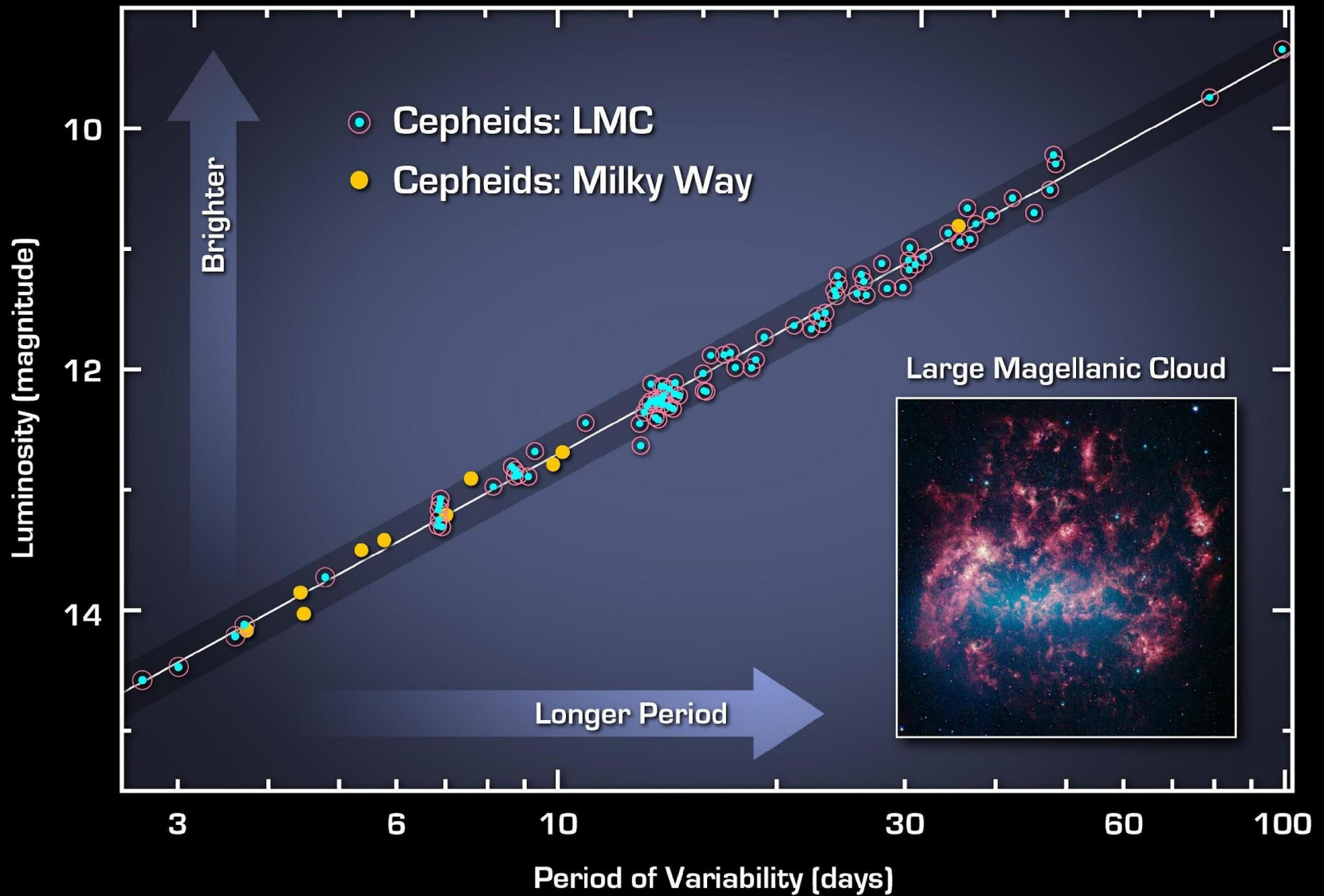


• MMO

• БМО



Хенриетта ЛИВИТТ, 1908



Calibrated Period-luminosity Relationship for Cepheids

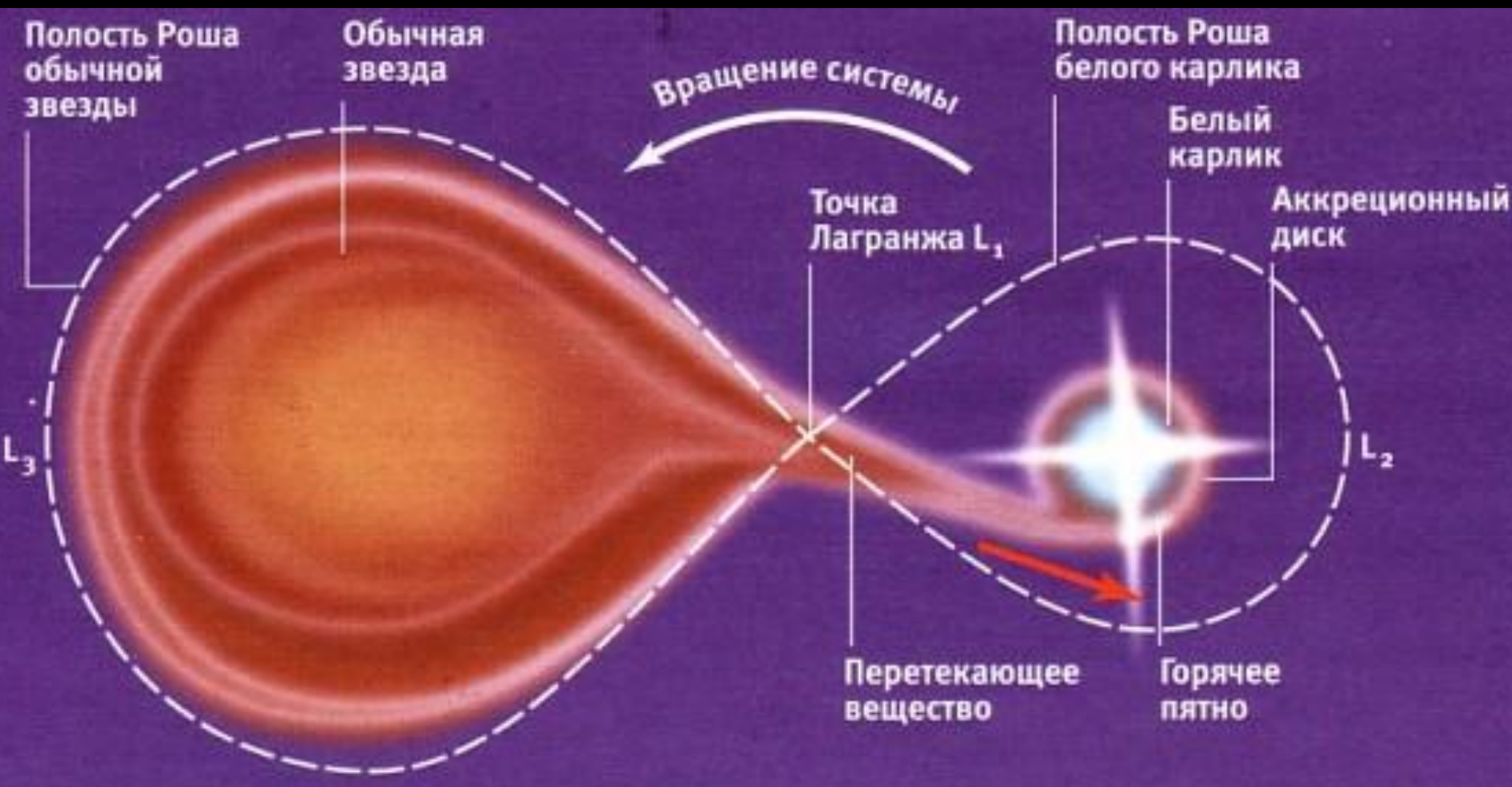
Spitzer Space Telescope • IRAC

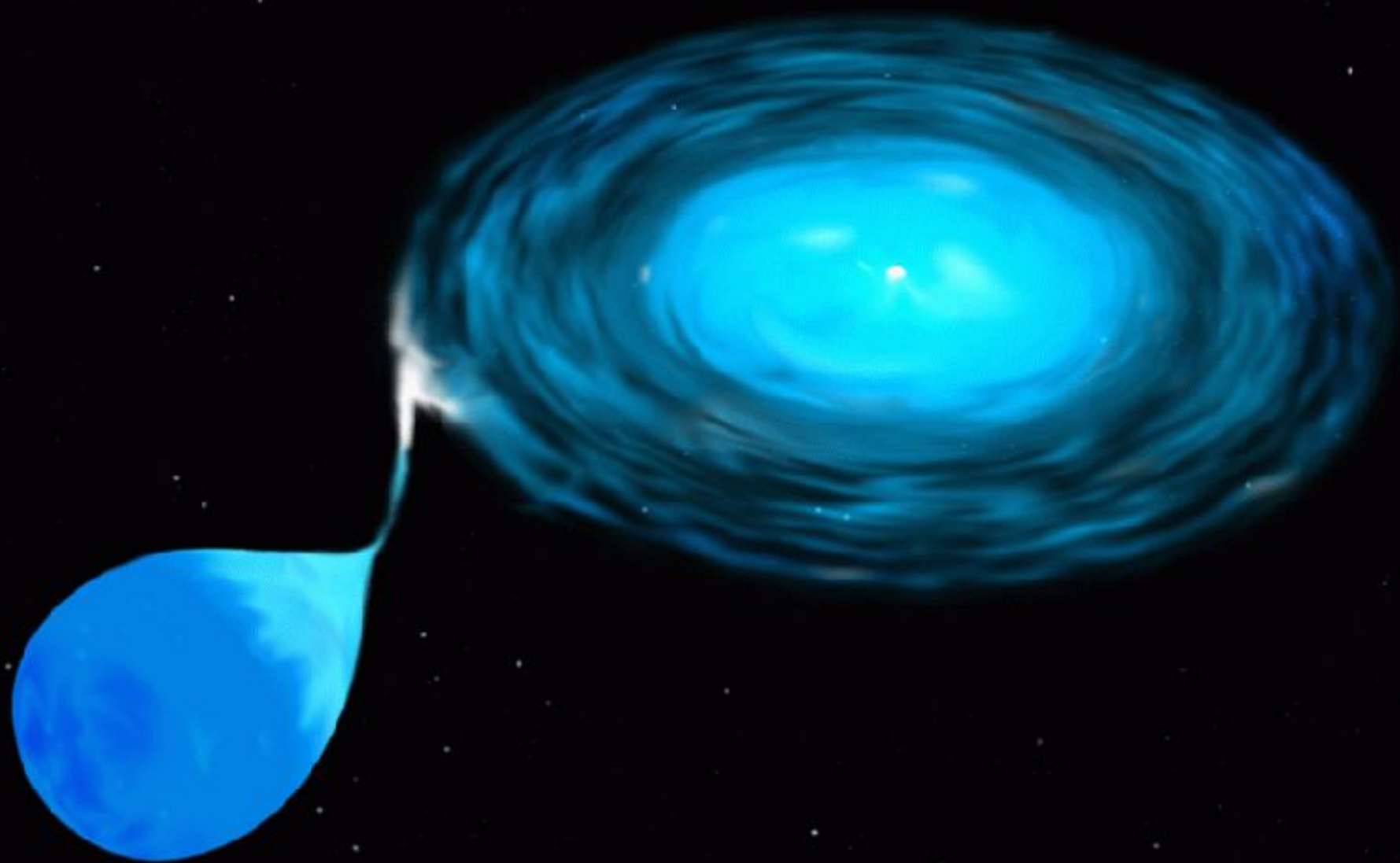


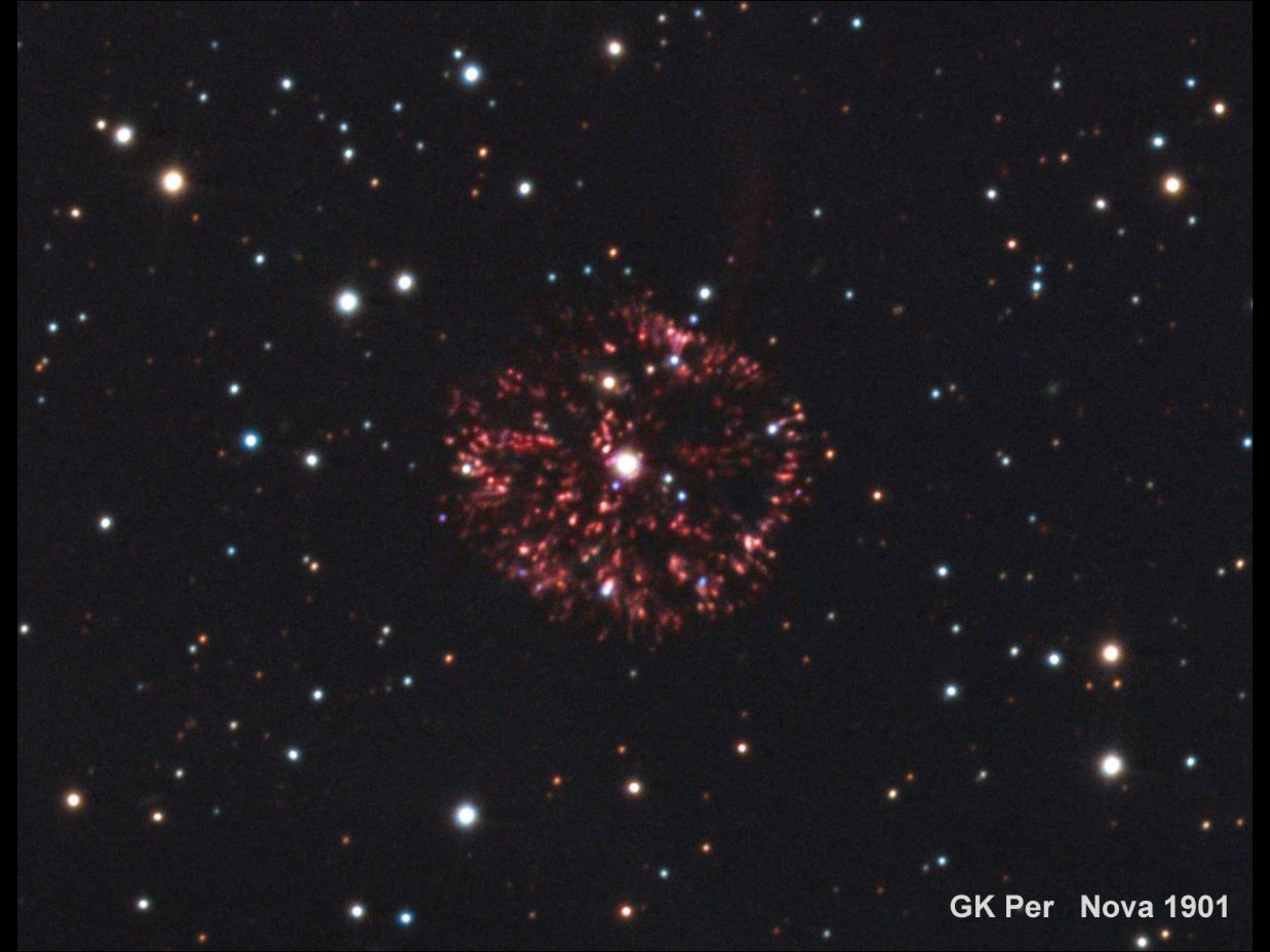




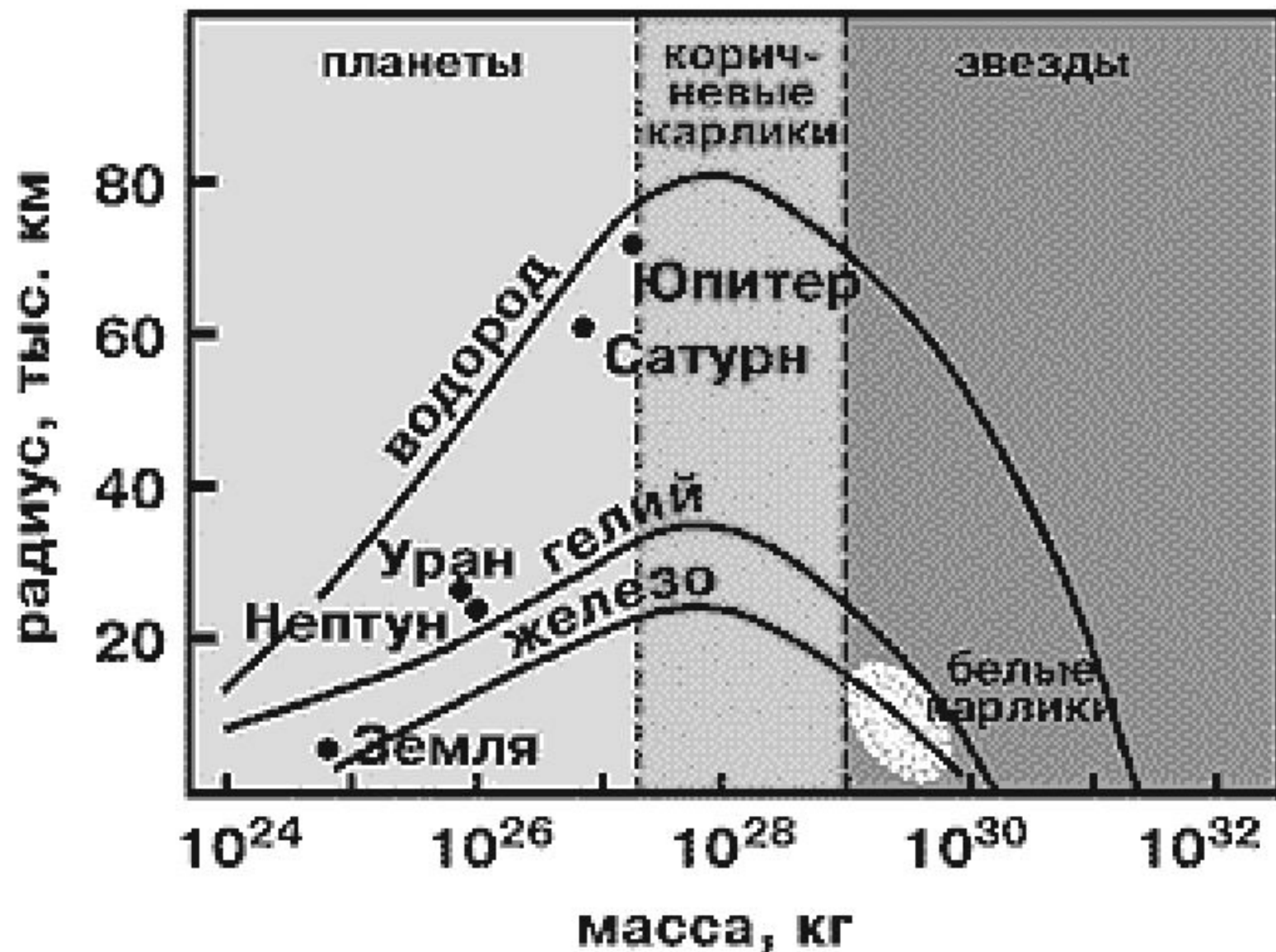








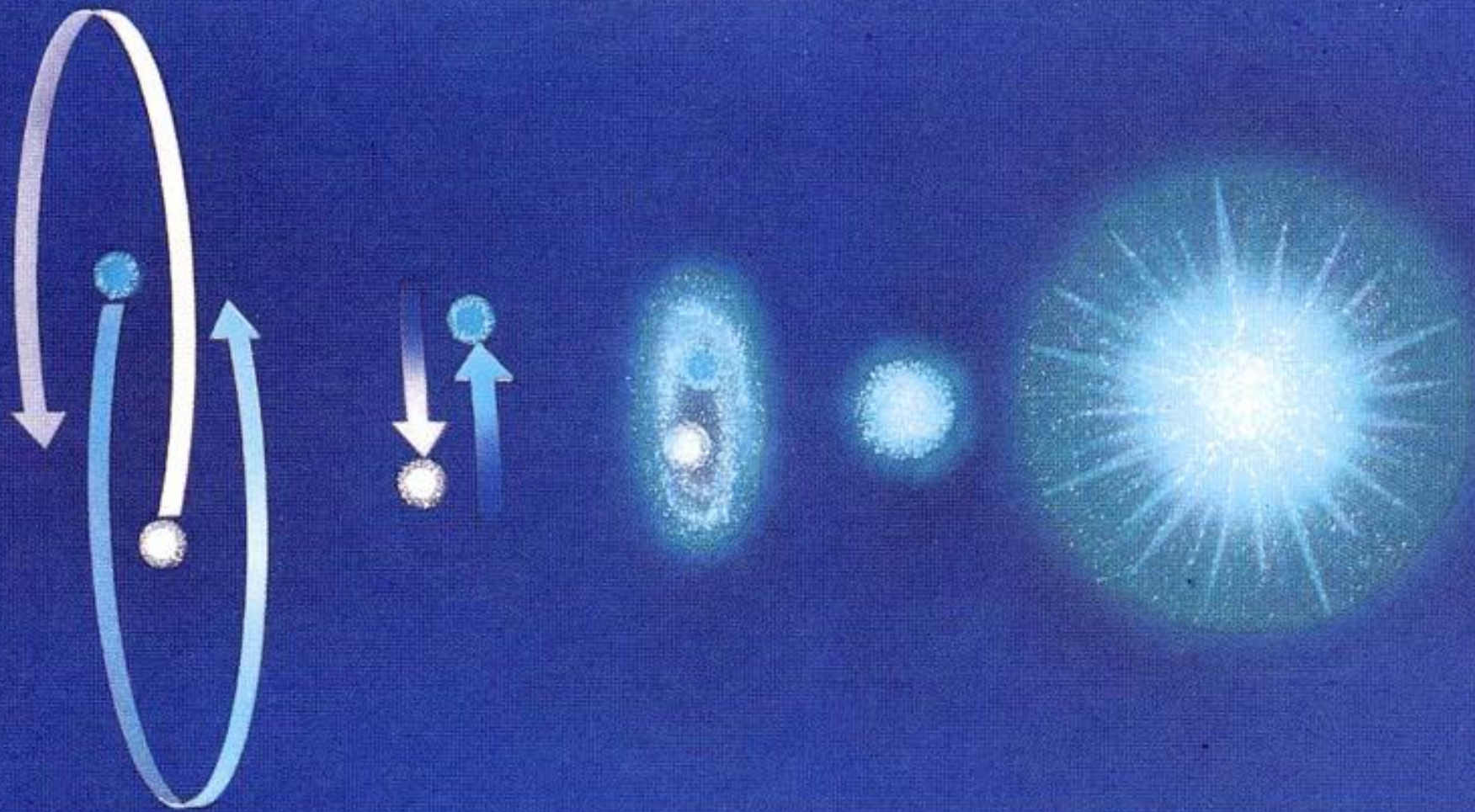
GK Per Nova 1901



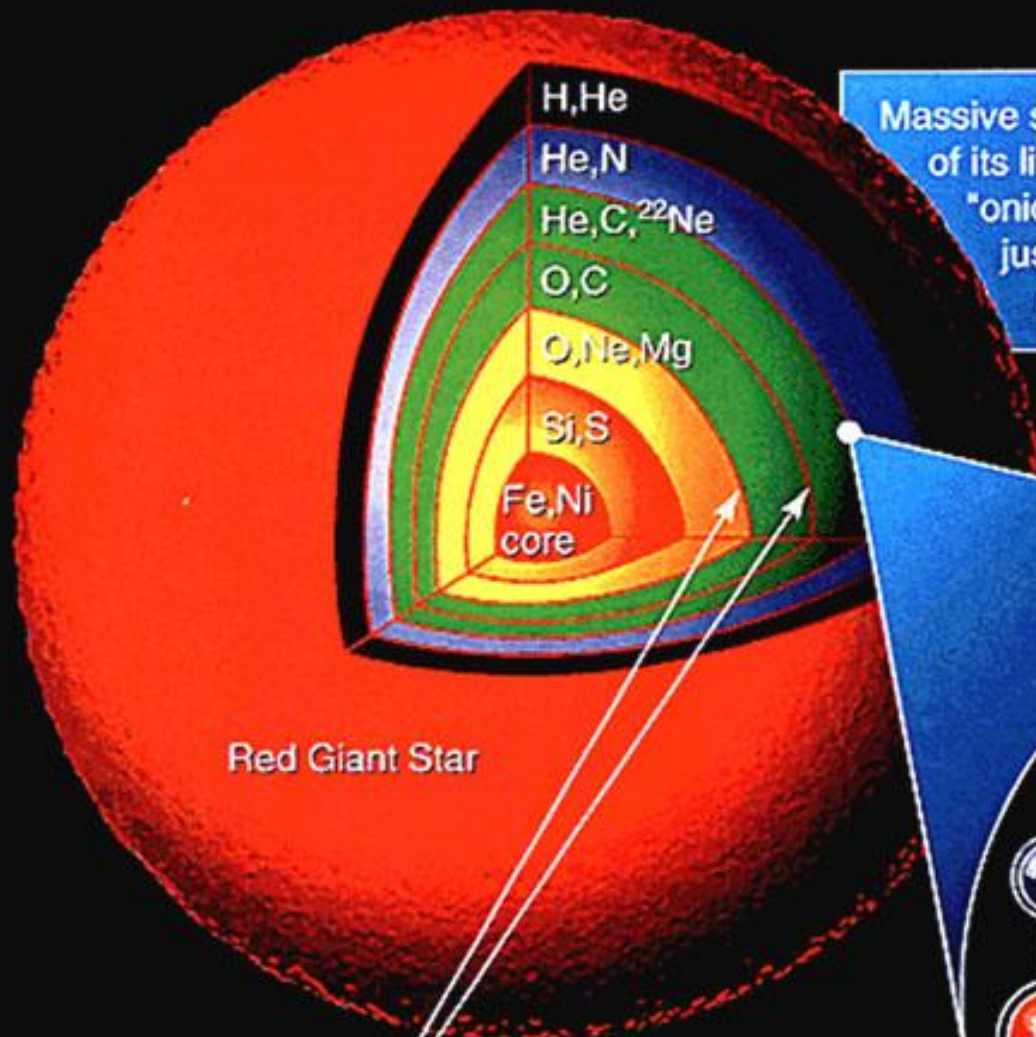
Размер холодных равновесных конфигураций различного химического состава



Субраманьян
Чандрасекар
(1910-1995)



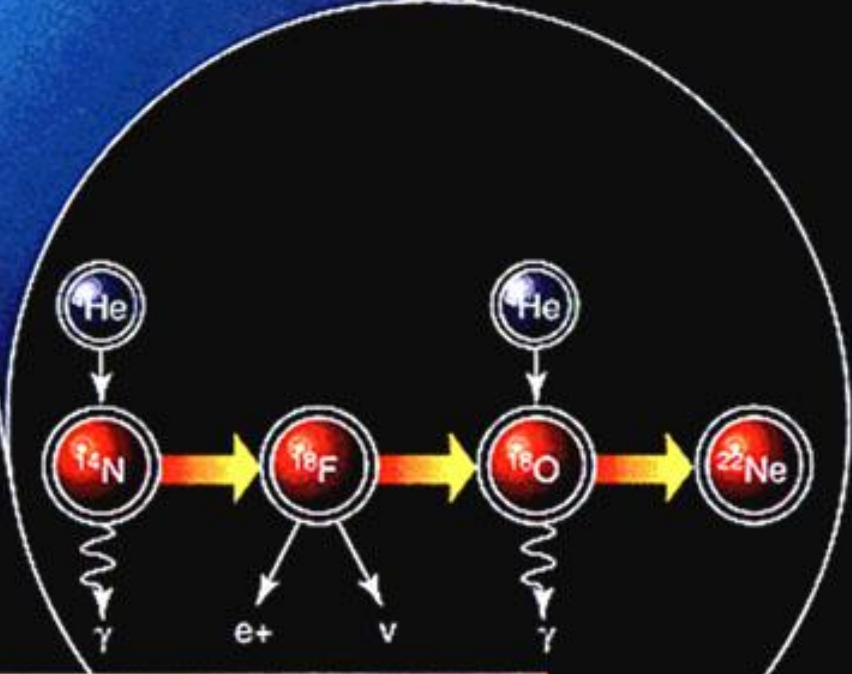
Слияние белых карликов



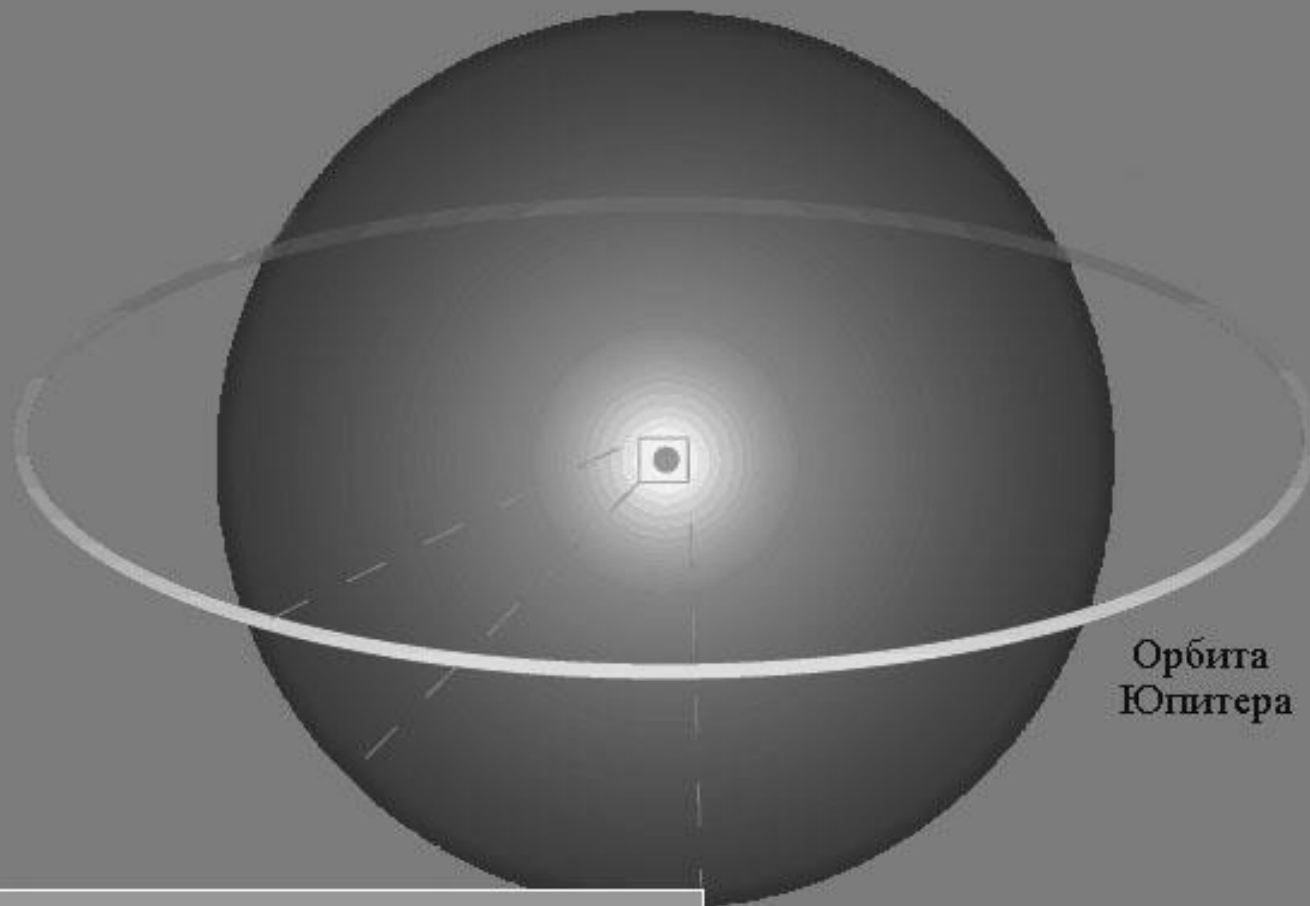
Massive star near the end of its lifetime has an "onion-like" structure just prior to exploding as a supernova

Red Giant Star

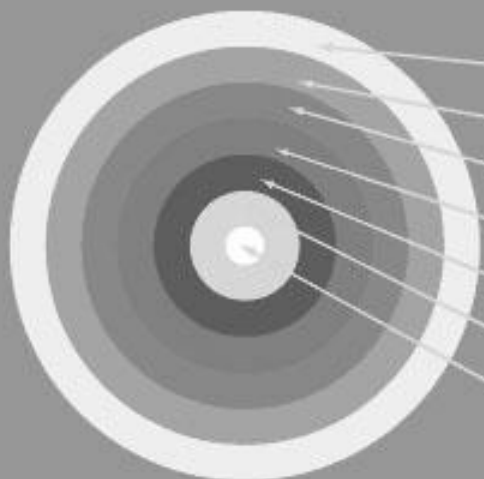
Nuclear burning occurs at the boundaries between zones



Example of nuclear reactions that build neutron-rich isotopes

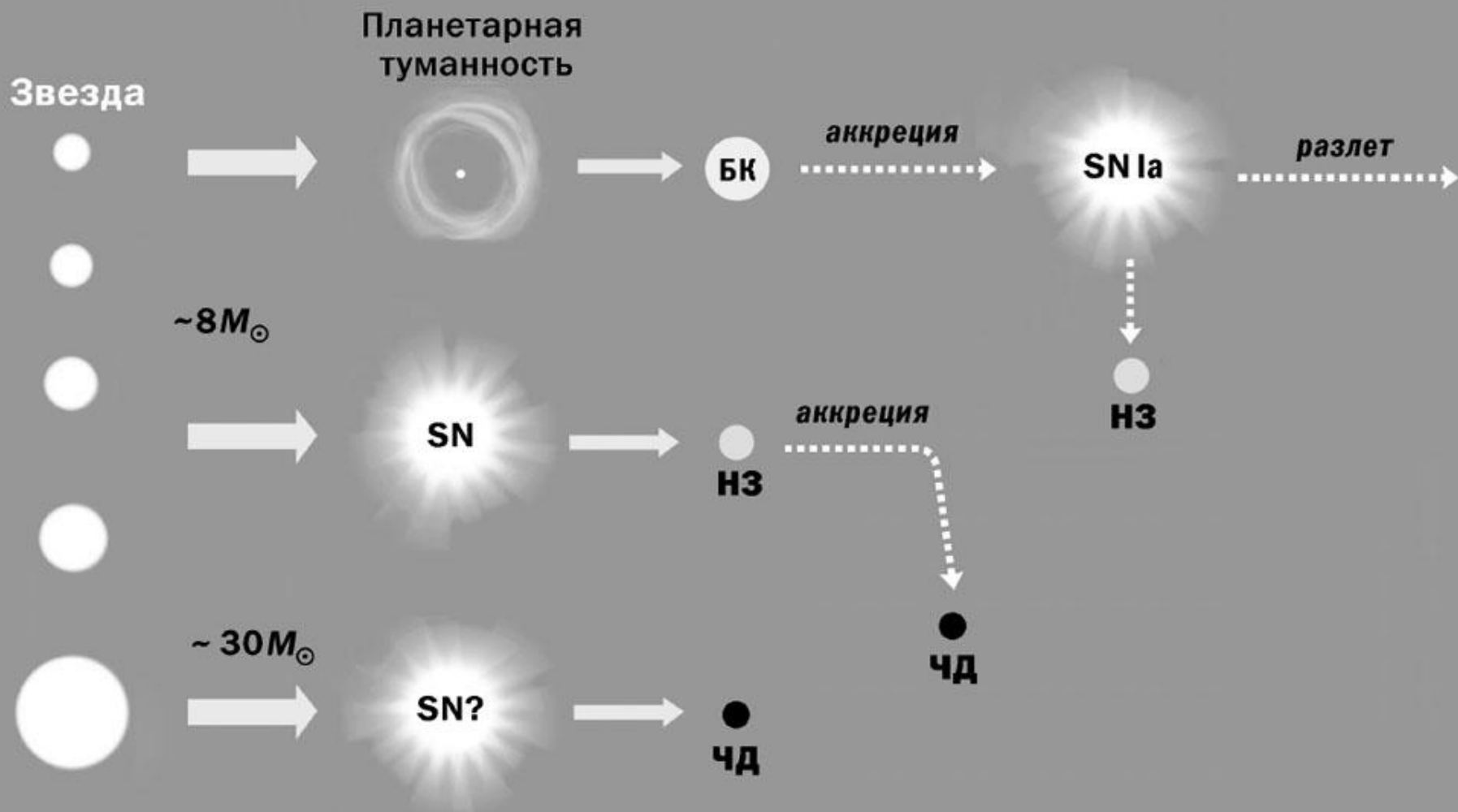


Орбита
Юпитера



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.



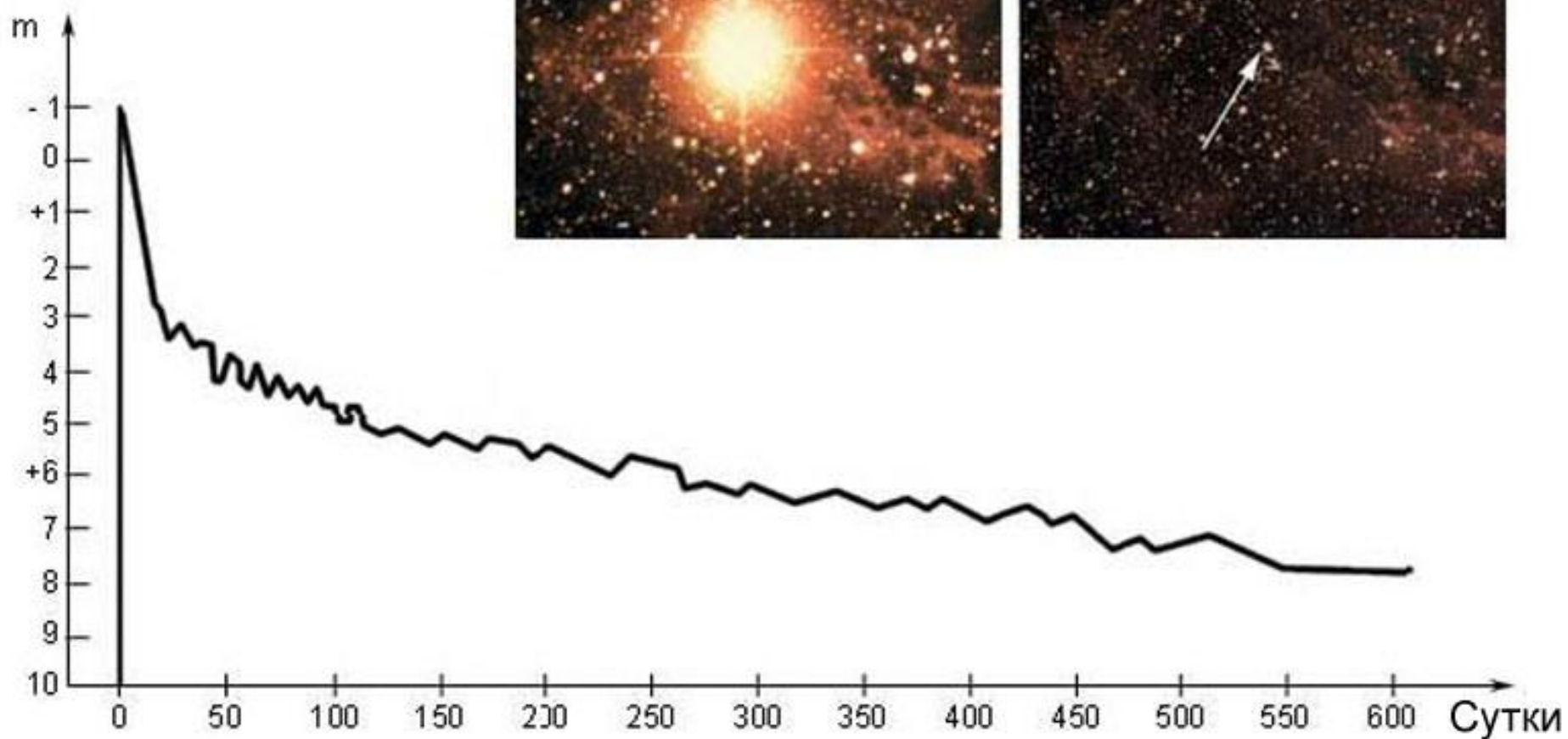
July 7, 2005
SN2005cs



June 7, 2011
SN2011dh

M 51 **2005 г.**

2011г.

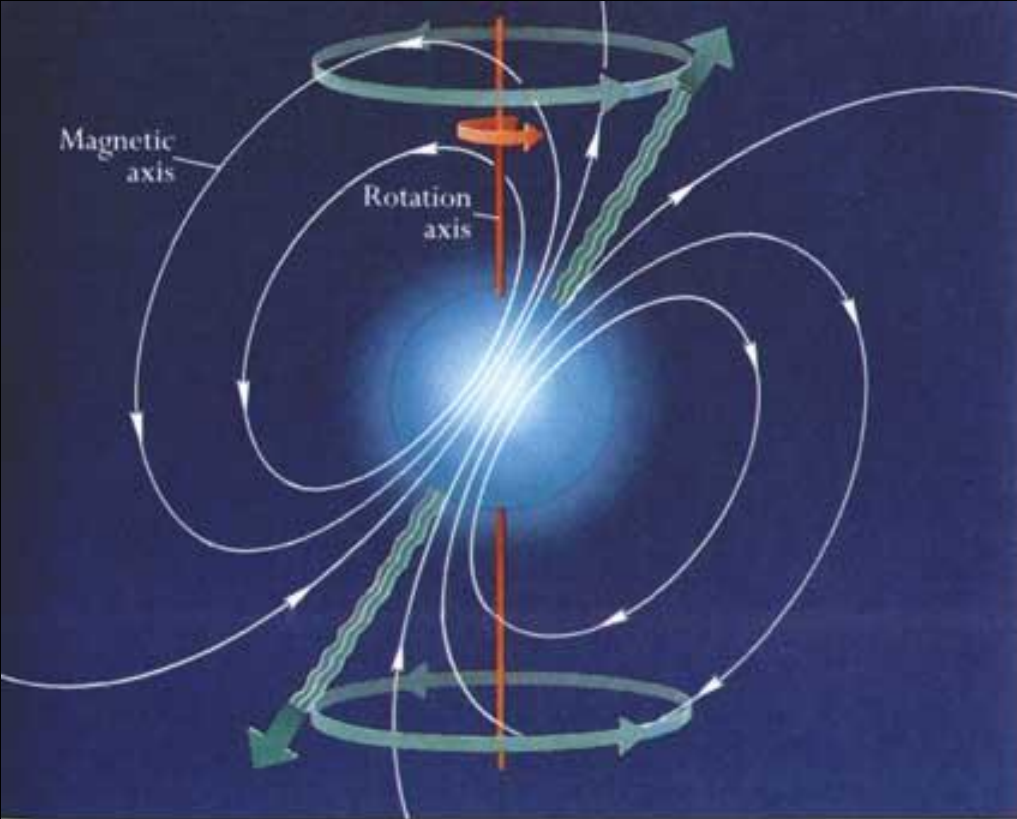


Кривая блеска сверхновой

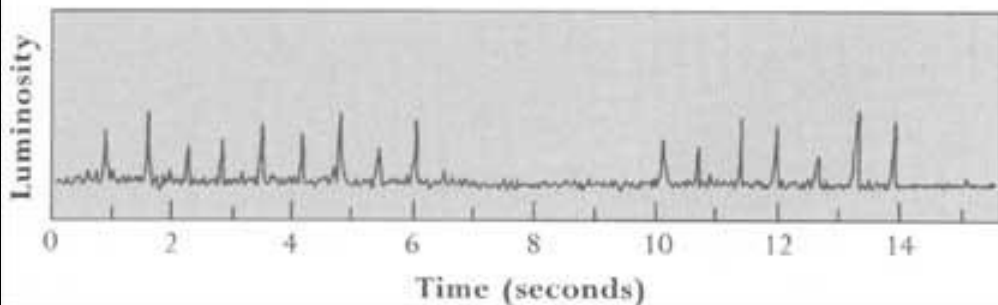


Строение нейтронной звезды

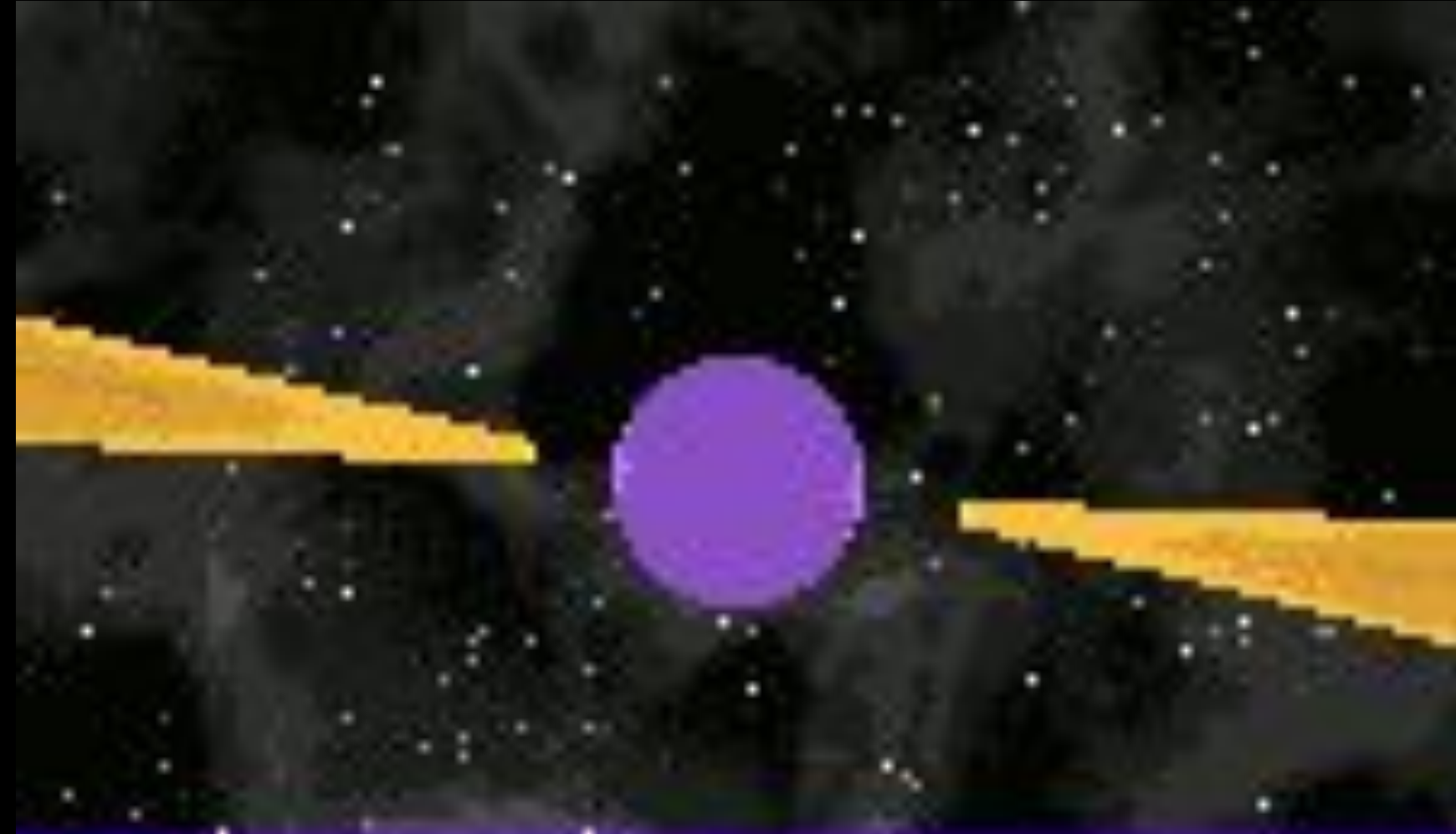




Радиопульсар



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

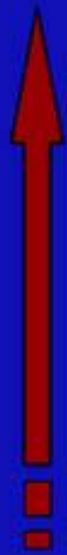


(a) H. Kromer





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

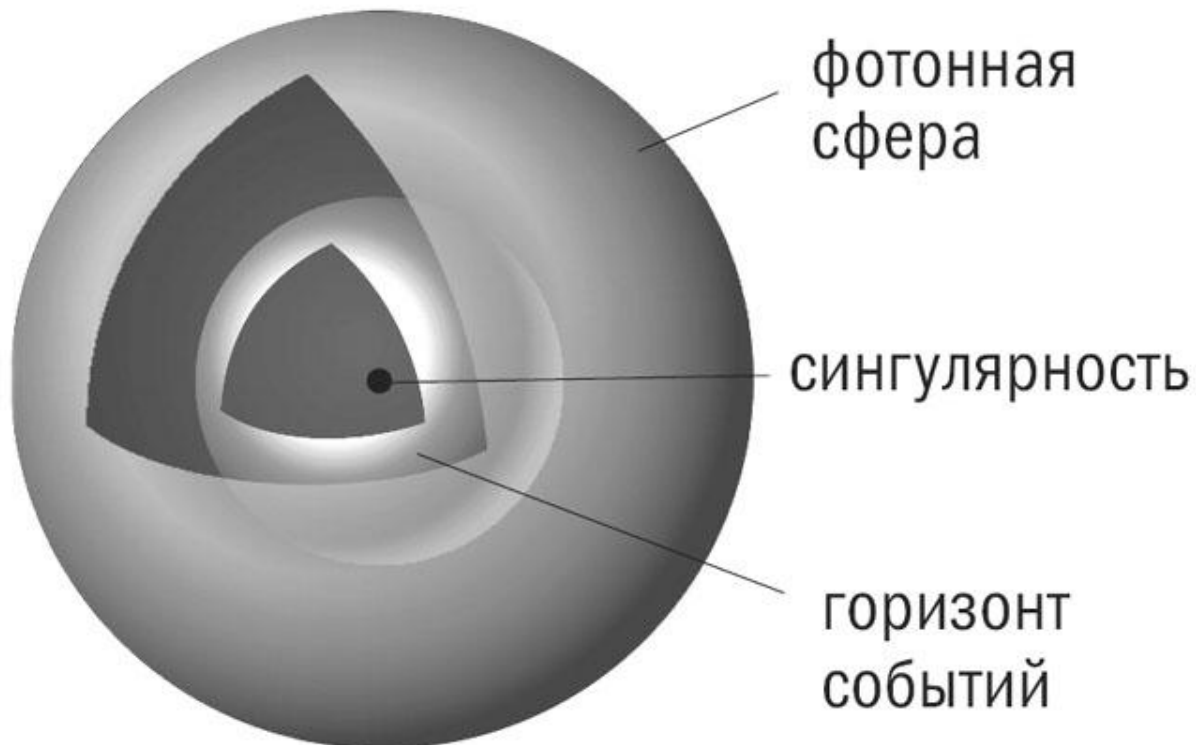


<150

M / M_{\odot}



Карл Шварцшильд (1873–1916)



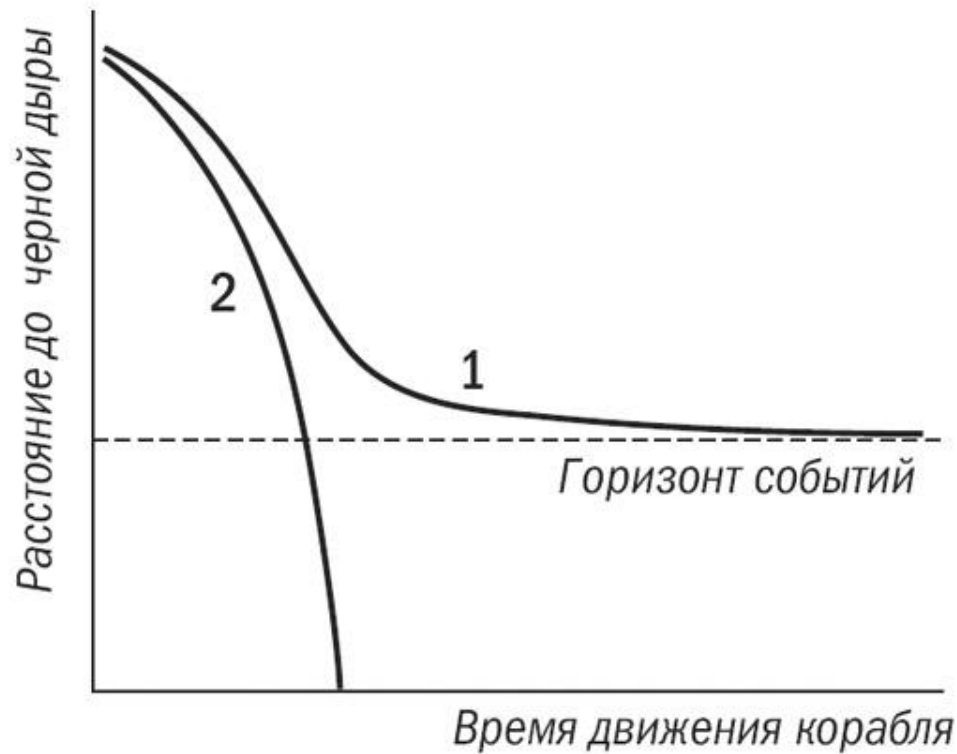
$$\frac{mc^2}{2} = \frac{GMm}{R}$$



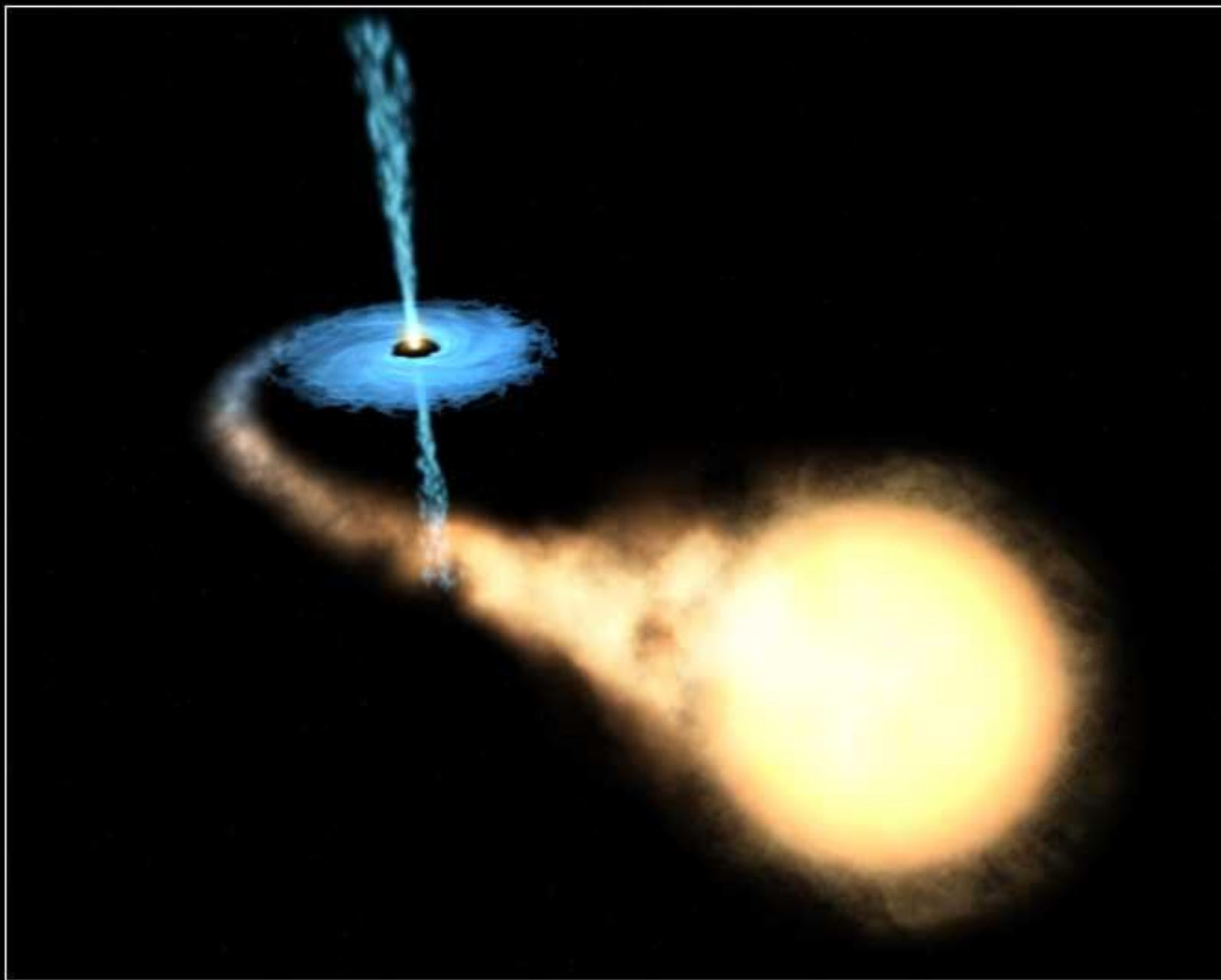
$$R_g = \frac{2GM}{c^2}$$

Радиус
Шварцшильда,
или
Гравитационный
радиус

Горизонт событий чёрной дыры и его радиус



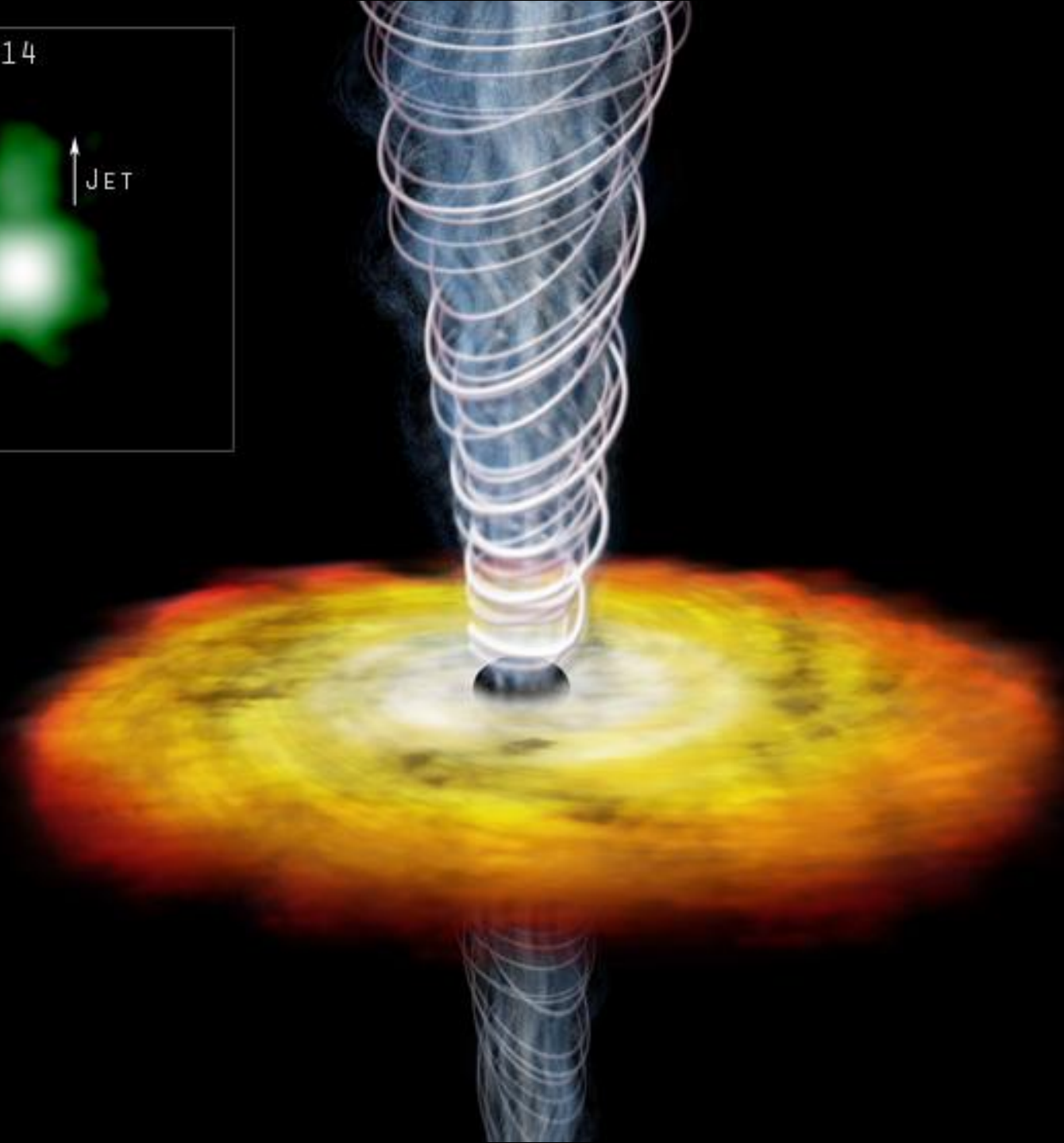
Зависимость времени движения космического корабля к черной дыре от расстояния до ее центра с точки зрения земного наблюдателя (1) и движущегося космонавта (2). С точки зрения земного наблюдателя космический корабль никогда не проникнет внутрь черной дыры. С точки зрения космонавта он проникает внутрь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

