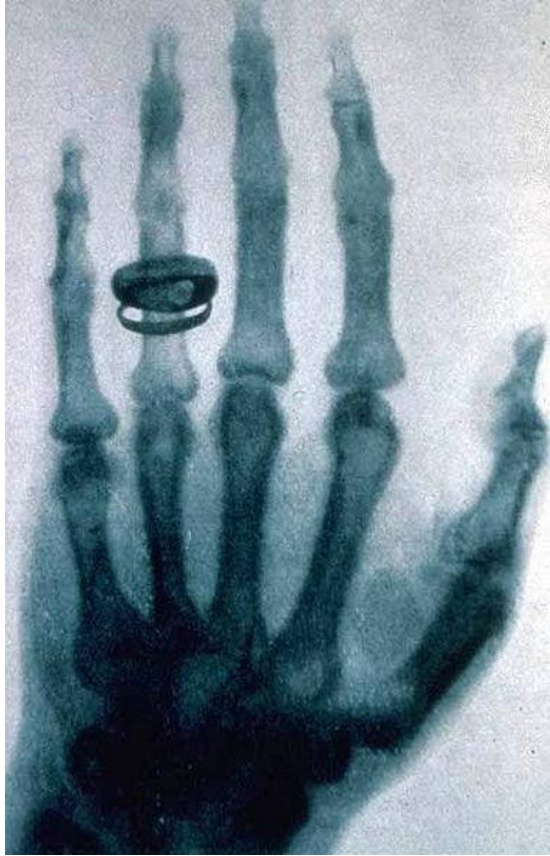


2. РАДИОАКТИВНОСТЬ

2.1. Явление радиоактивности

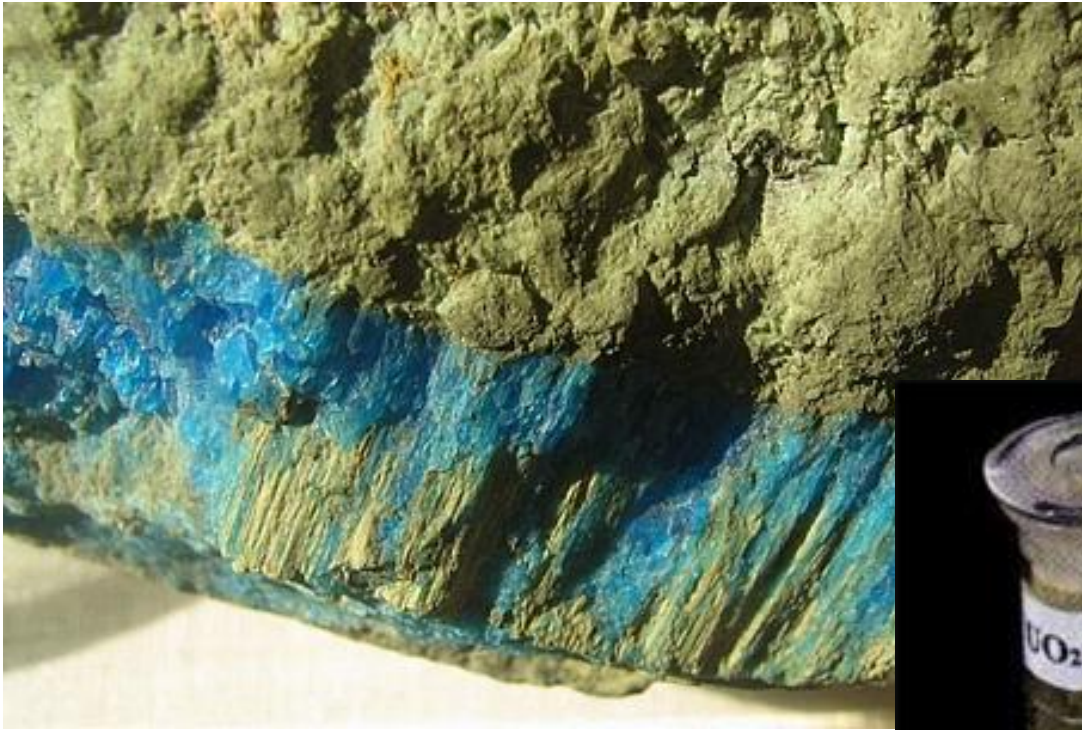
В начале 1896 года сразу после открытия В.К. Рентгеном X-лучей французский физик Анри Беккерель в процессе проверки гипотезы о флуоресцентной природе рентгеновского излучения **обнаружил, что ураново-калиевая соль самопроизвольно, спонтанно, без внешних воздействий испускает жесткое излучение.**



60 - 1000 90. . Sulfate double d'uranyl et de Potassium
Papier noir. Cuvé de Caesium sulfate -
Exposé au soleil le 27. et à la lampe diffuse le 26. -
Dissolvi le 15 mars.

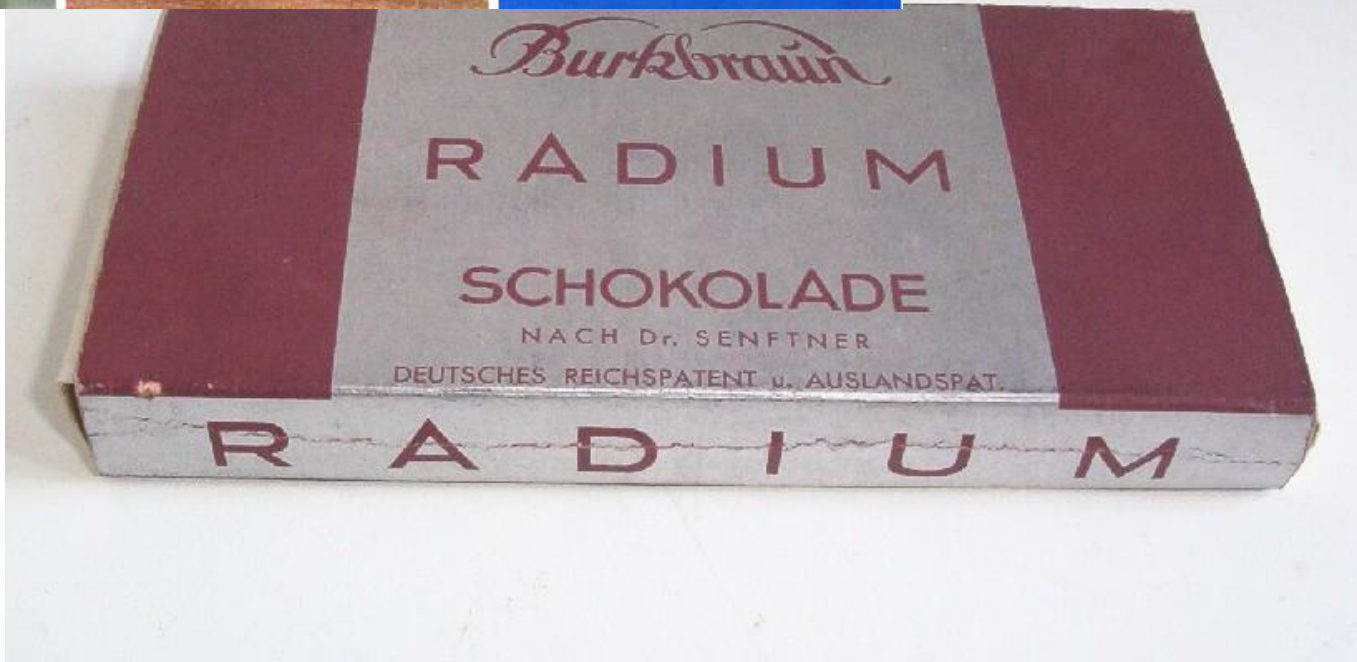






Затем такие свойства были открыты у тория и у полония и радия, открытых Мари и Пьером Кюри, а в дальнейшем – у всех химических элементов, номера которых больше 82.







The Power of Radium at Your Disposal

Twenty-three years ago radium was unknown. Today, thanks to constant laboratory work, the power of this most unusual of elements is at your disposal. Through the medium of Undark, radium serves you safely and surely.

Does Undark really contain radium? Most assuredly. It is radium, combined in exactly the proper manner with zinc sulphide, which gives Undark its ability to shine *continuously* in the dark.

Manufacturers have been quick to recognize the value of Undark. They apply it to the dials of watches and clocks, to electric push buttons, to the buckles of bed room slippers, to house numbers, flashlights, compasses, gasoline gauges, autometers and many other articles which you frequently wish to see in the dark.

The next time you fumble for a lighting switch, bark your shins on furniture, wonder vainly what time it is *because of the dark*—remember Undark. *It shines in the dark.* Dealers can supply you with Undarked articles.

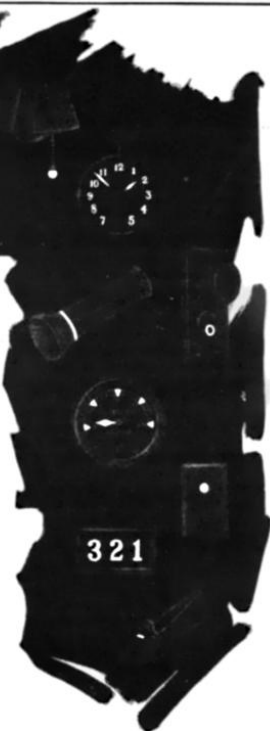
For interesting little folder telling of the production of radium and the uses of Undark address

RADIUM LUMINOUS MATERIAL CORPORATION
56 PINE STREET NEW YORK CITY
Factories: Orange, N. J. Mines: Colorado and Utah

UNDARK

Radium Luminous Material

Shines in the Dark



To Manufacturers

The number of manufactured articles to which Undark will add increased usefulness is manifold. From a sales standpoint, it has many obvious advantages. We gladly answer inquiries from manufacturers and, when it seems advisable, will carry on experimental work for them. Undark may be applied either at your plant, or at our own.

The application of Undark is simple. It is furnished as a powder, which is mixed with an adhesive. The paste thus formed is painted on with a brush. It adheres firmly to any surface.



Радиевые девушки

Были выделены несколько видов испускаемых излучений:

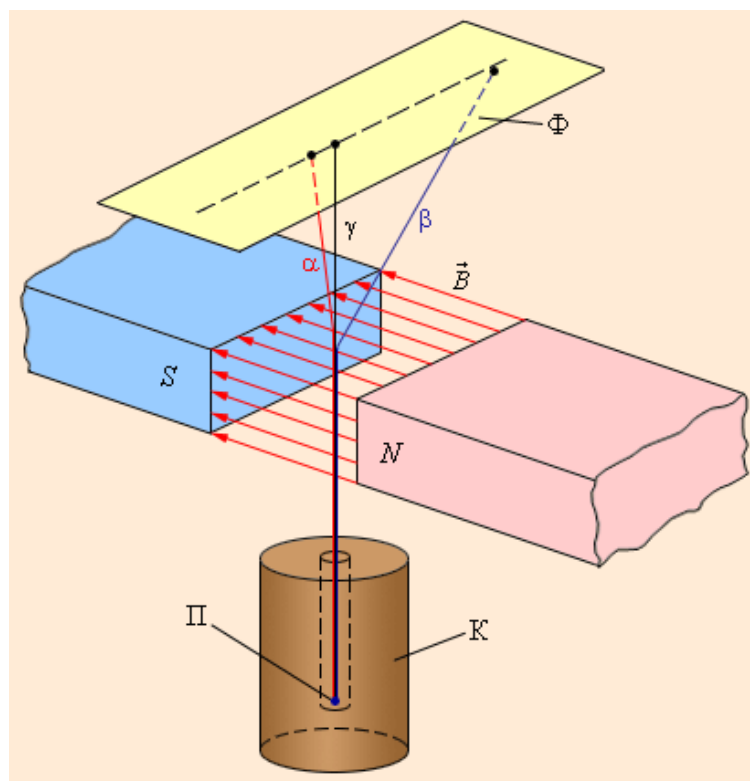
α -излучение, имеет небольшую проникающую способность (задерживается листом бумаги), альфа-частицы являются ядрами

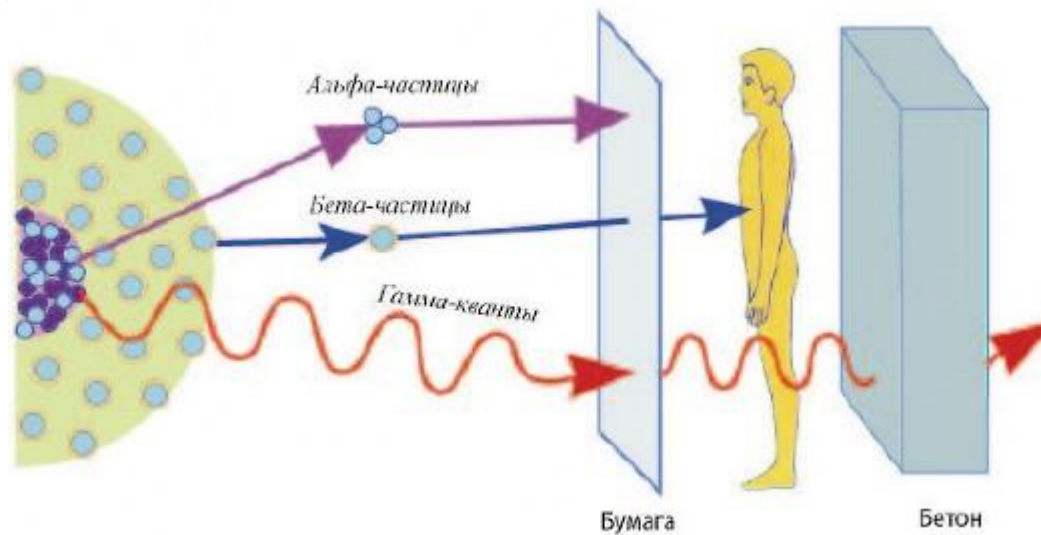
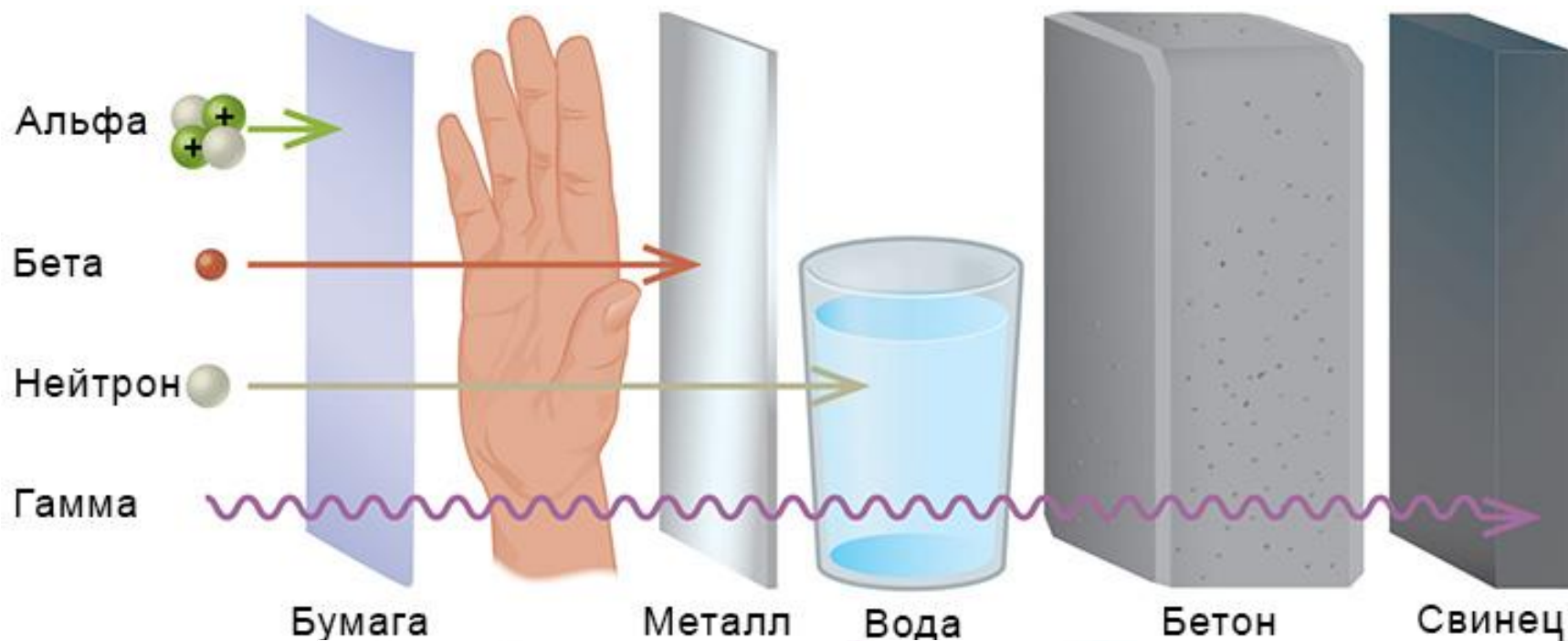
гелия ${}^4_2\text{He}$

β -излучение, несколько большая проникающая способность (до 20 м воздуха, несколько см бумаги или чел. тела).

Является потоком электронов e^- и позитронов e^+ .

γ - излучение, жесткое электромагнитное излучение огромной проникающей способности (тысячи км воздуха, несколько м бетона, десятки см свинца).





Радиоактивность – это самопроизвольное превращение неустойчивых ядер одного химического элемента в ядра других элементов, сопровождающееся испусканием радиоактивных излучений и некоторых элементарных частиц.



Радиоактивность ядер, существующих в природных условиях, называется *естественной*.

Радиоактивность ядер, полученных в результате ядерных реакций, называется *искусственной*.



Радоновый источник



Угольная электростанция



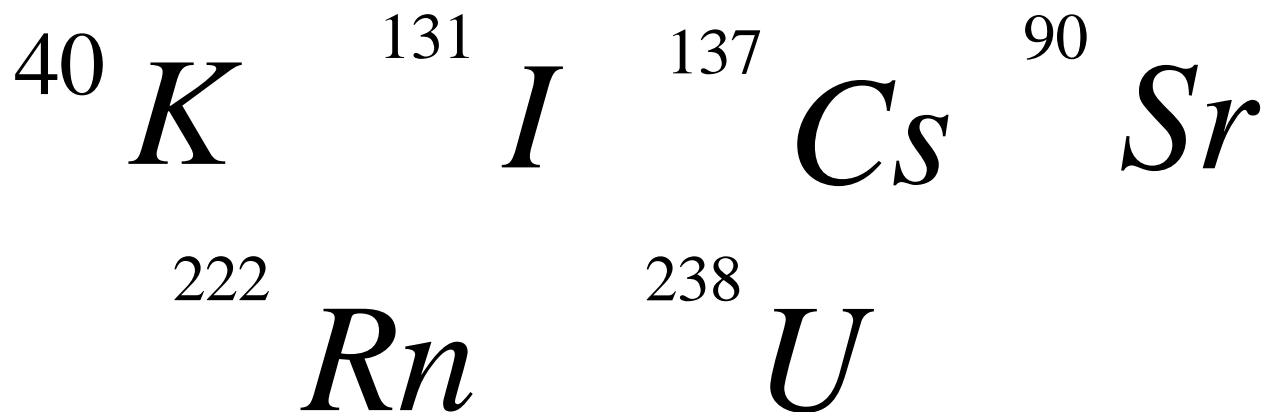
Рентгеновская диагностика (КТ)

- Испускаемое в результате радиоактивности ионизирующее излучение называется *радиацией*.



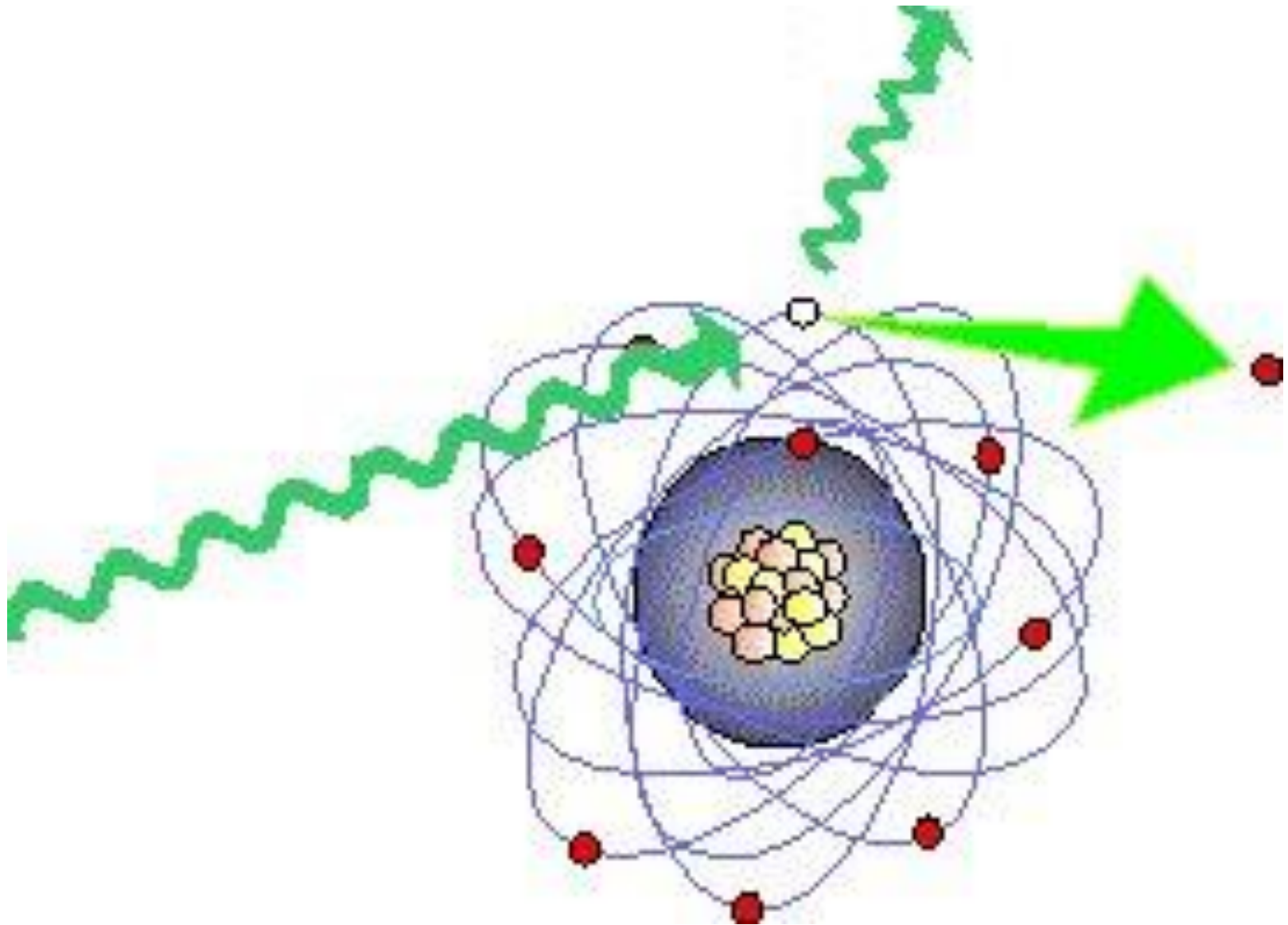
Ядра неустойчивых изотопов называют *радионуклидами*.

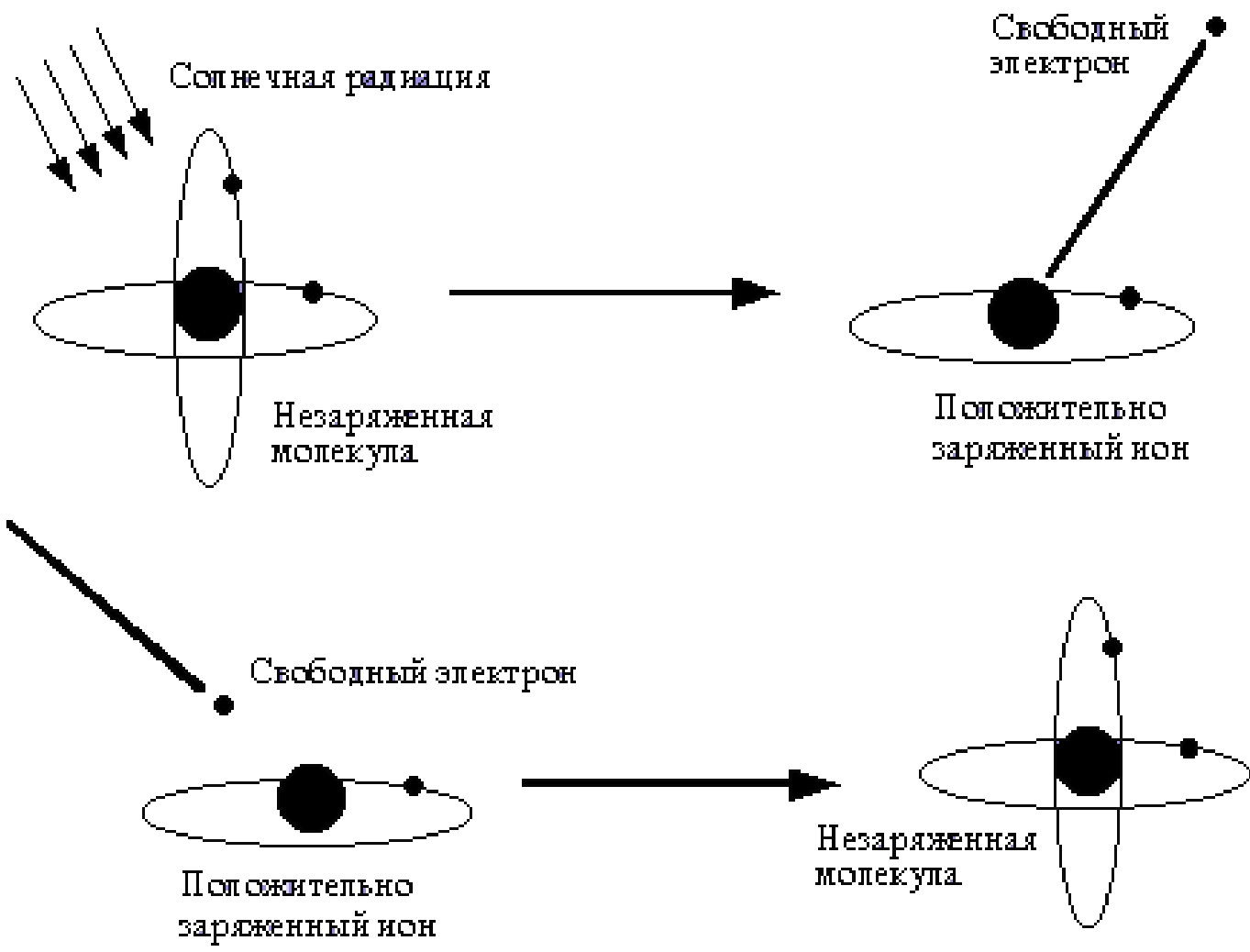
Примеры значимых радионуклидов:



**Особенности радиоактивных
лучей:**

**они *обладают способностью
вызывать ионизацию* газов
(«отрывают» электроны от
атомов и молекул, превращая их
в ионы);**





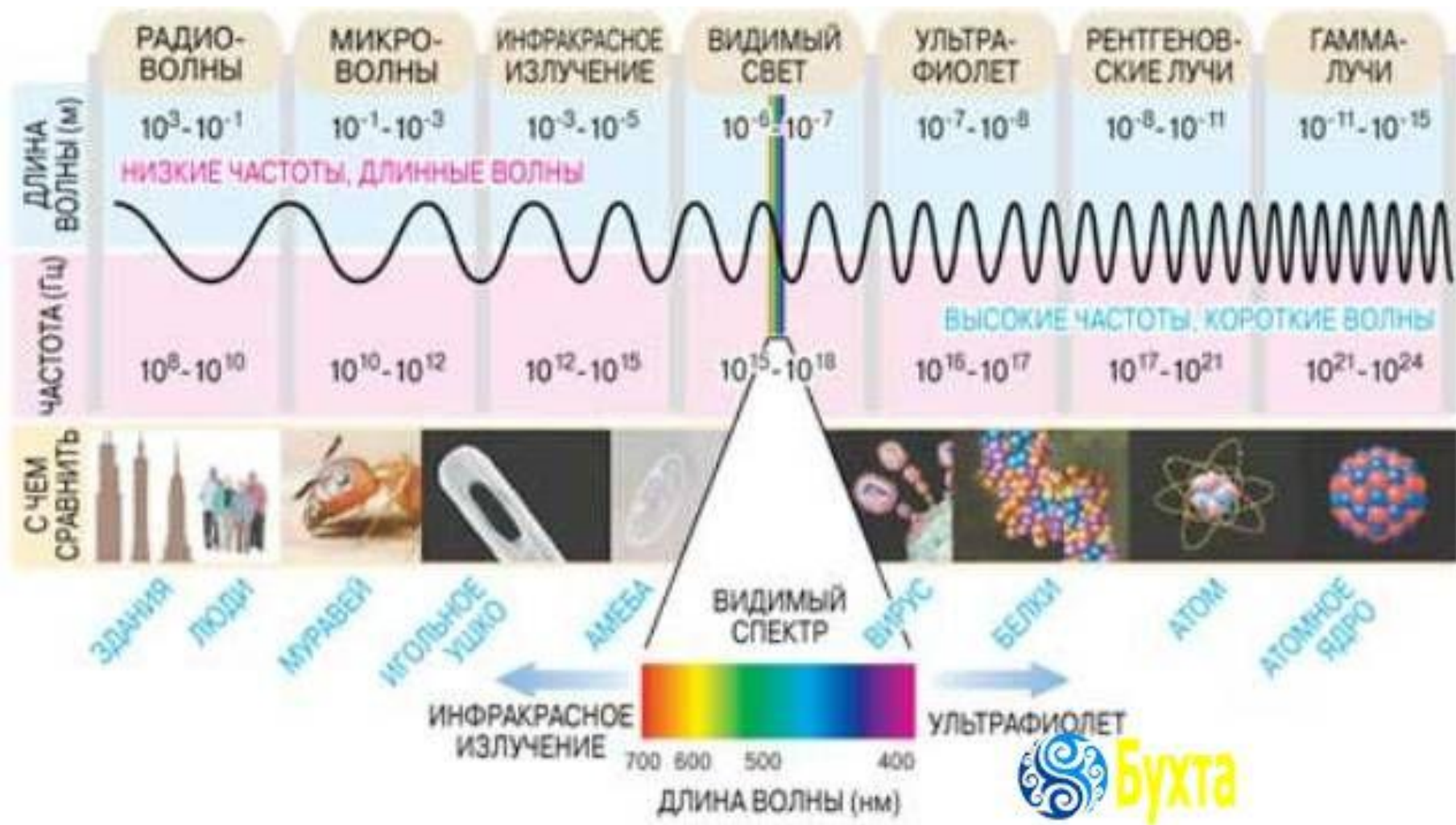
ИОННЫЙ СОСТАВ ВОДЫ. МГ/ДМ³

АНИОНЫ			КАТИОНЫ		
HCO ₃ ⁻	SO ₄ ²⁻	Cl ⁻	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na K
290-400	600-800	900-1600	50-90	20-60	940-1550

**обладают химическим
действием;
возбуждают в ряде твердых тел и
жидкостей флуоресцентное
свечение;
вызывают изменение физико-
механических свойств.**

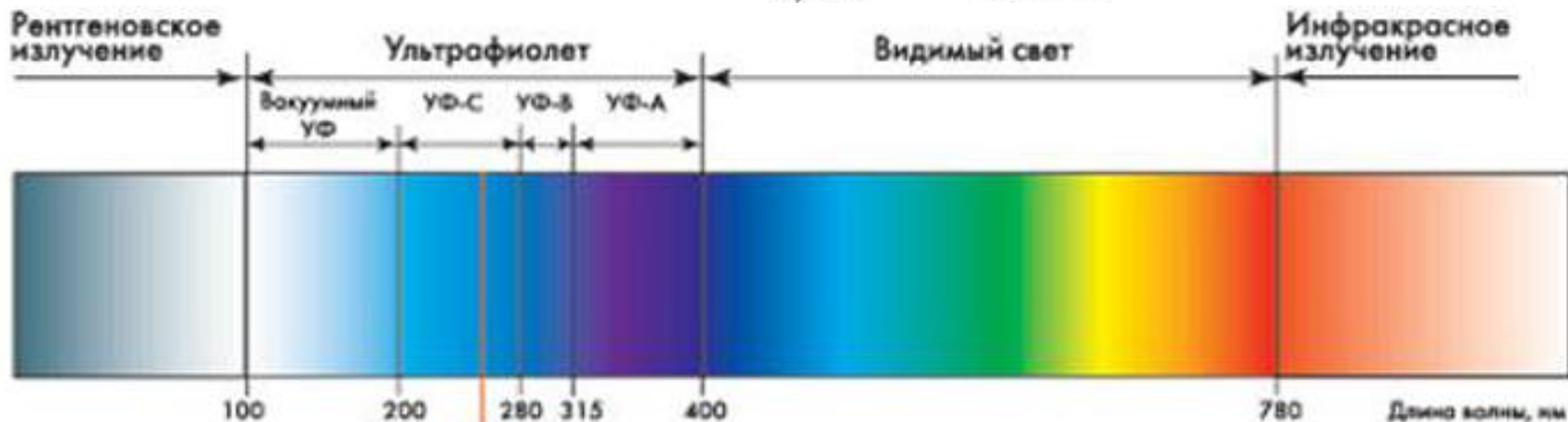
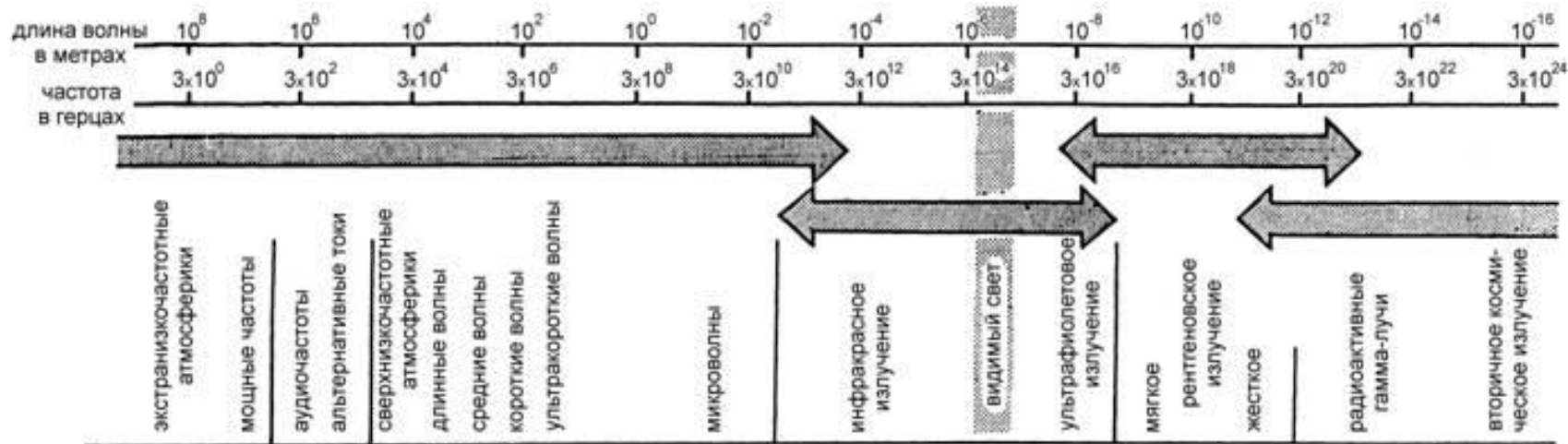


- **Такое широкое действие радиации связано с тем, что *радиация переносит энергию и импульс.***

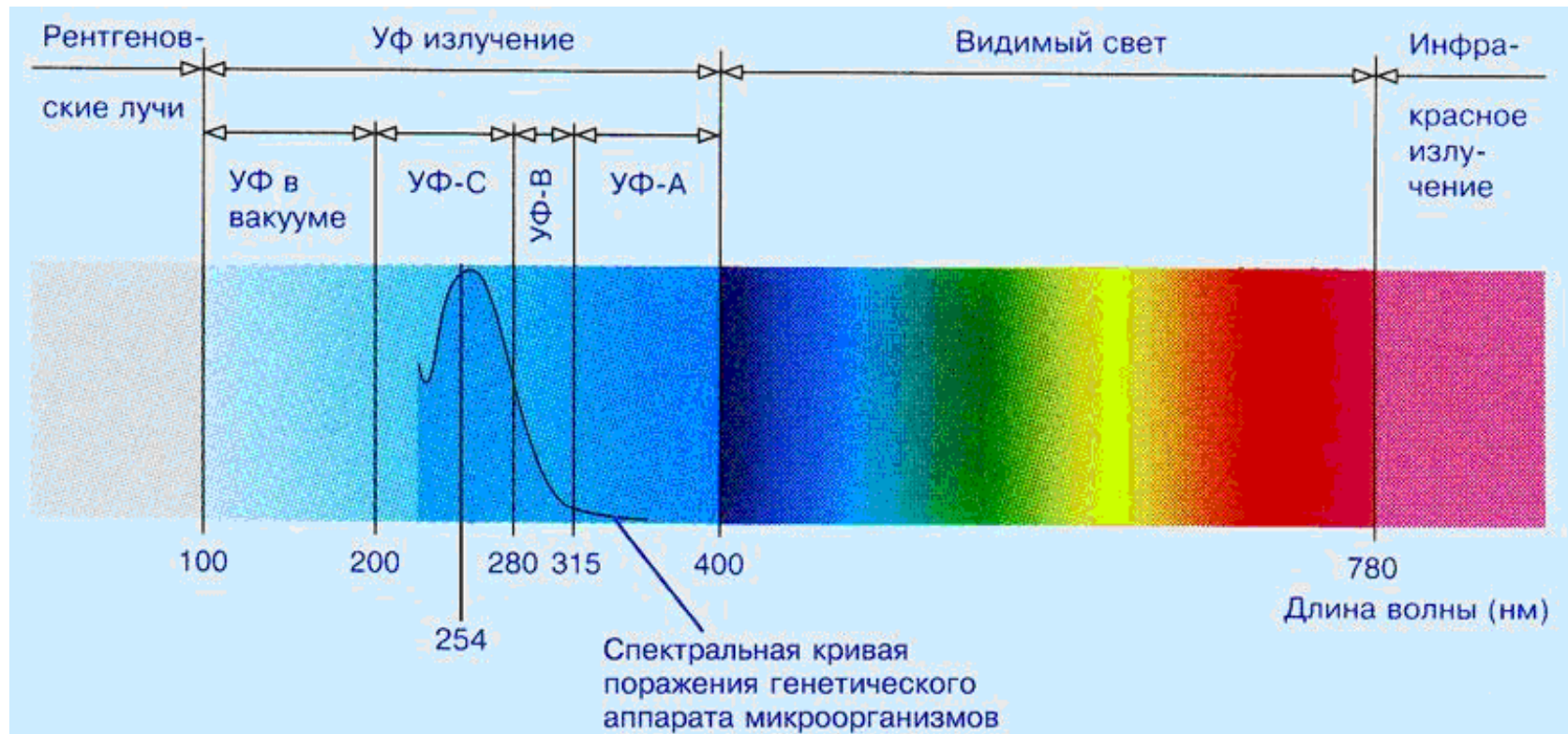


Электромагнитное излучение





Ультрафиолет в спектре электромагнитного излучения

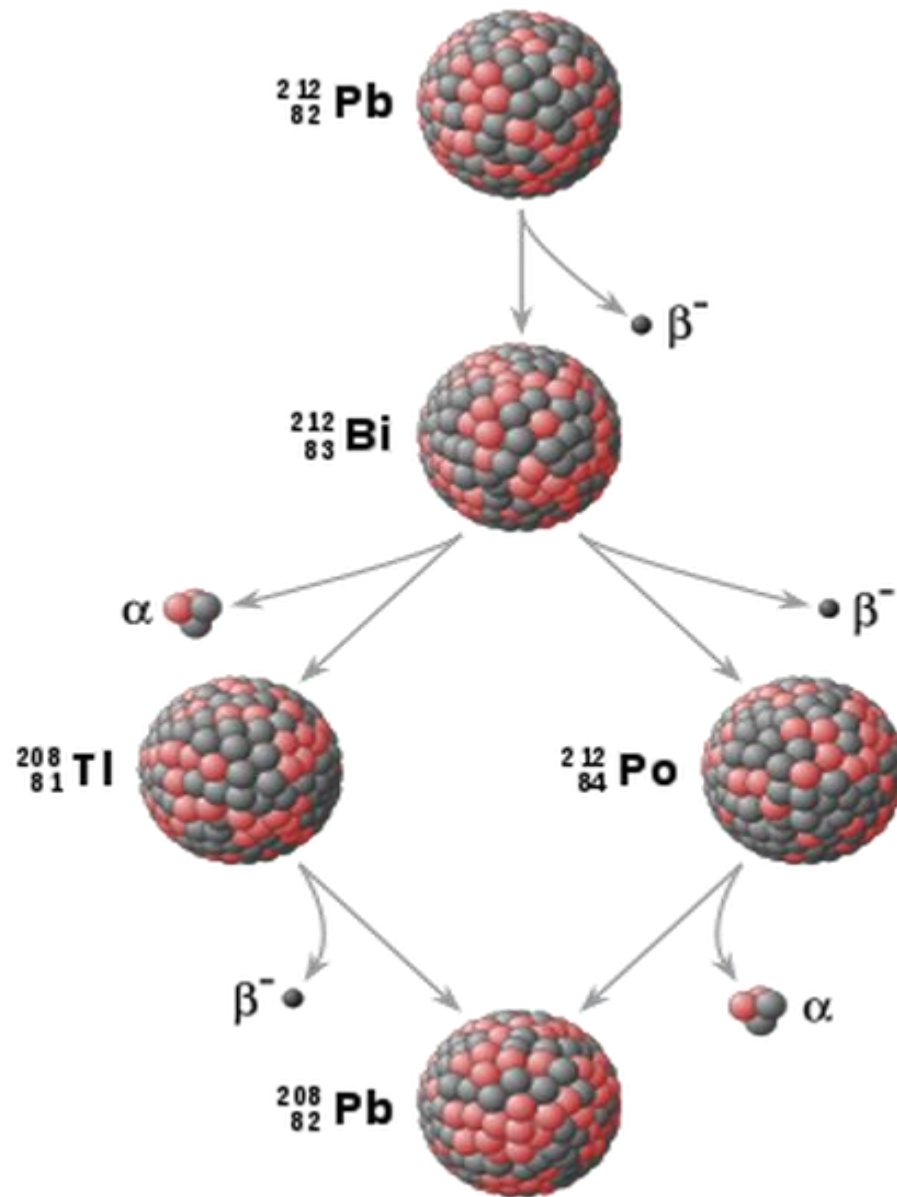


- **Мобильные телефоны не являются источниками радиации, т.к. работают в СВЧ радио-диапазоне ЭМИ (нагревает в-во, как микроволновка), энергии которого недостаточно для ионизации.**

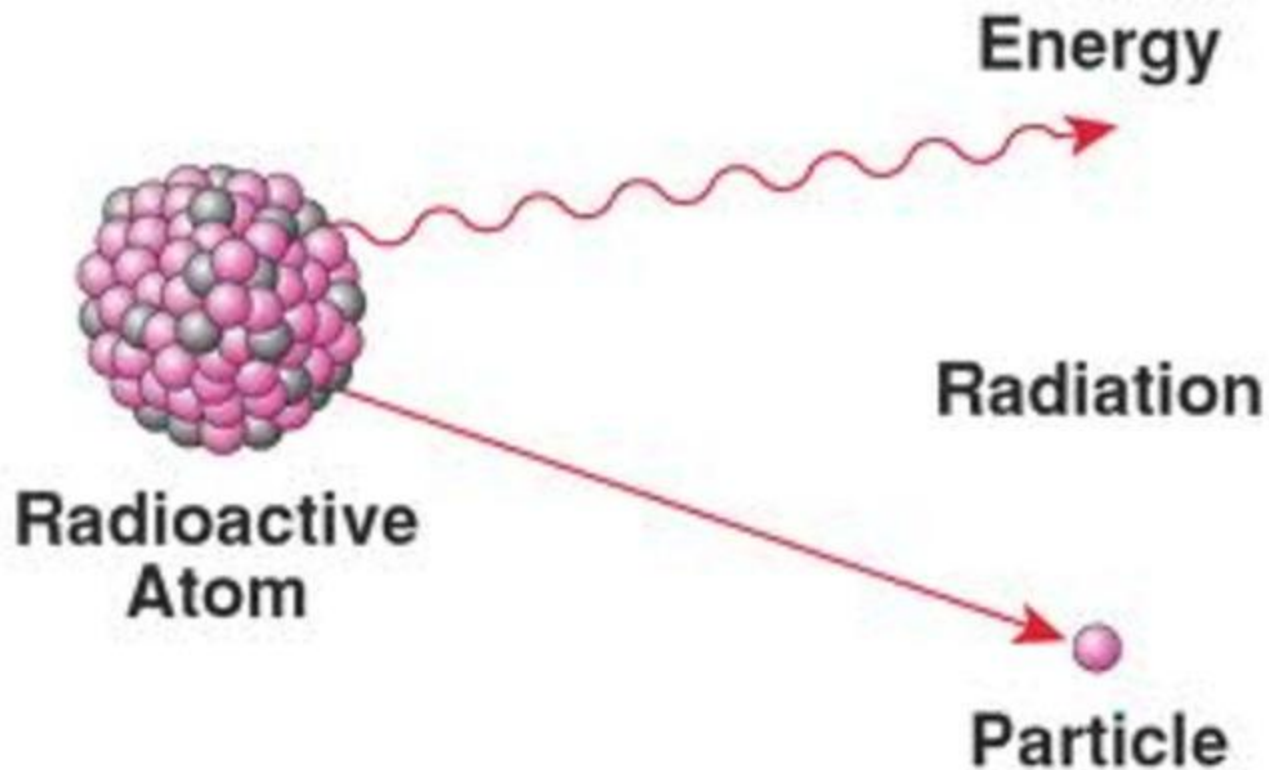


2.2. Закон радиоактивного распада

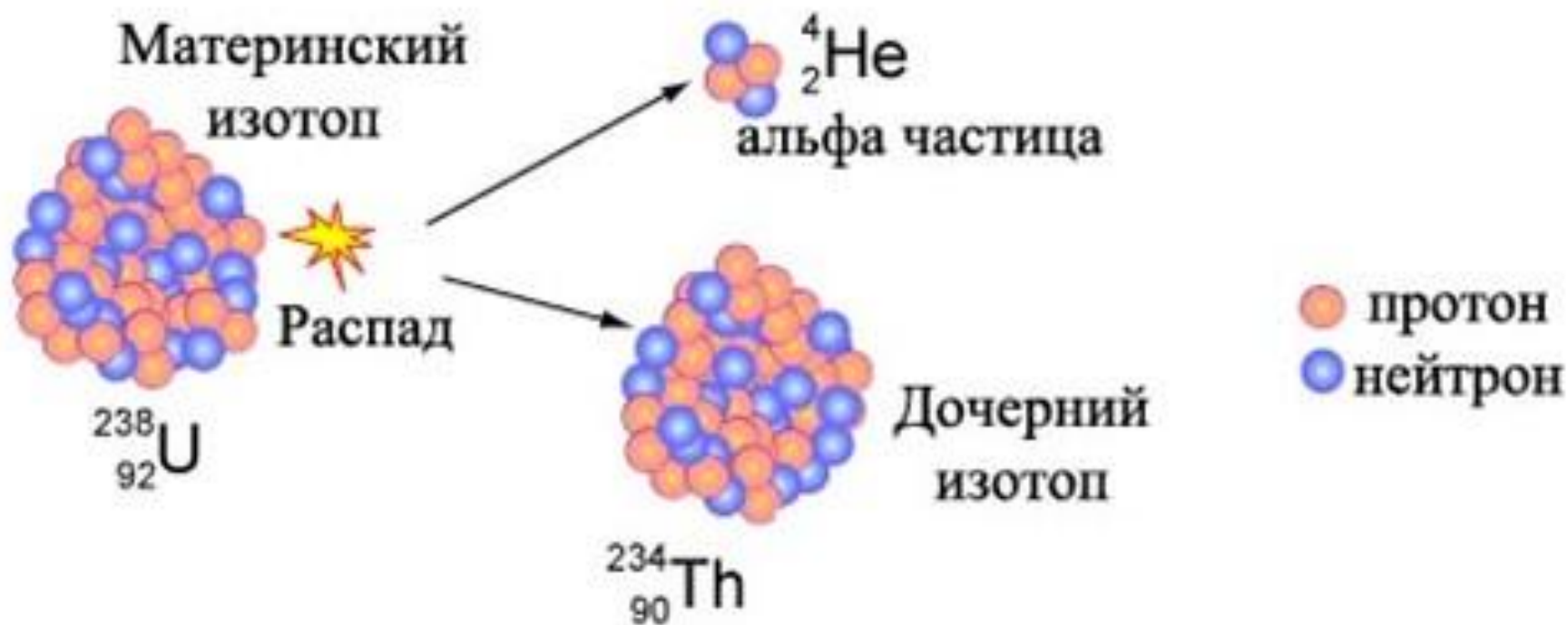
Радиоактивные превращения ядер, происходящие самопроизвольно, часто называют распадом или *радиоактивным распадом.*



Радиоактивный распад – стохастический (случайный, вероятностный) процесс.



Альфа распад урана 238



Закон радиоактивного распада: *число нераспавшихся ядер убывает со временем по экспоненте.*

$$dN = -\lambda \cdot N \cdot dt$$

$$dN / N = -\lambda \cdot dt; \Rightarrow \ln N = -\lambda \cdot t + \ln C$$

$$\ln N - \ln N_0 = -\lambda \cdot t;$$

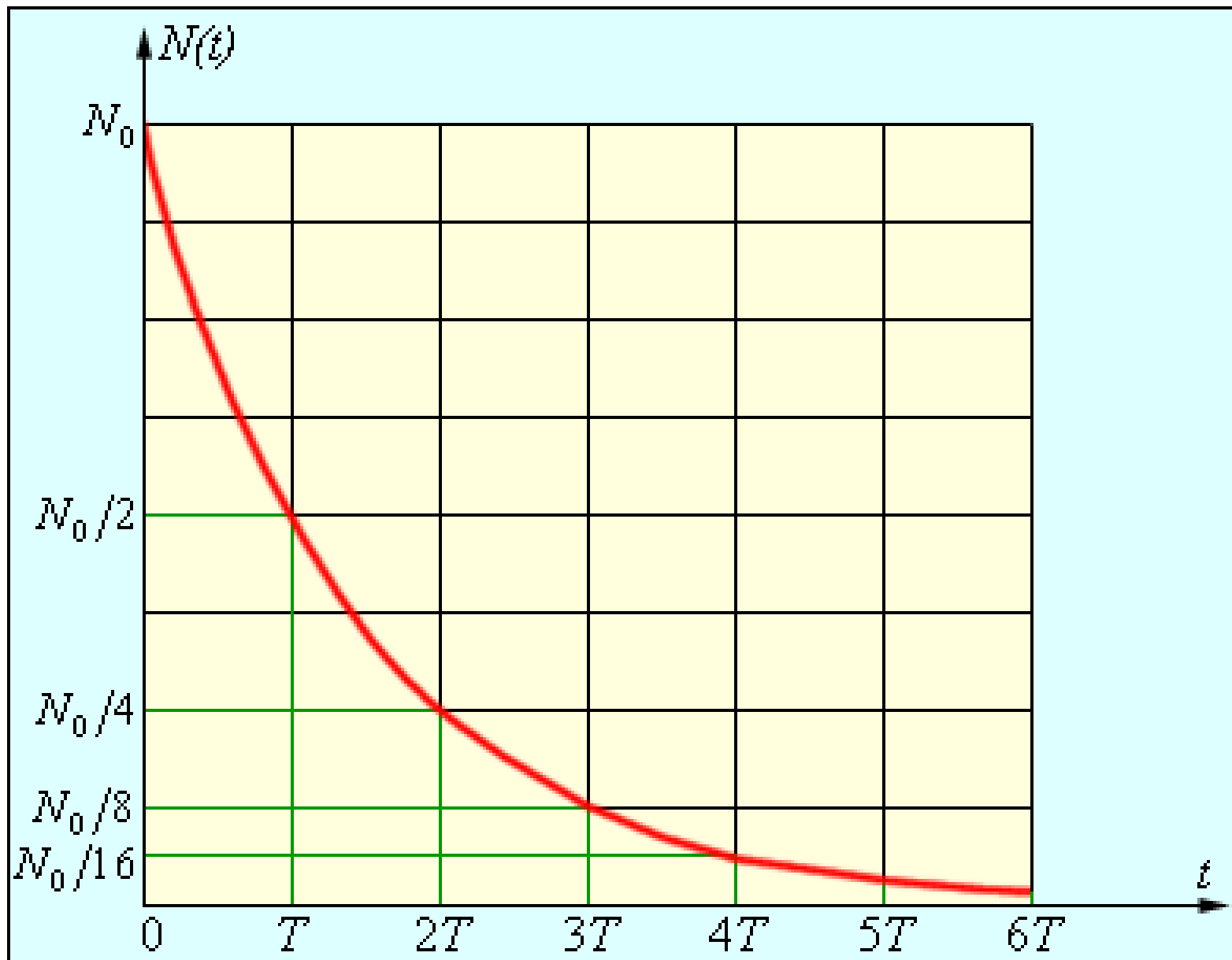
$$\Rightarrow \ln(N / N_0) = -\lambda \cdot t; \Rightarrow$$

$$N = N_0 \cdot e^{-\lambda t}$$

Период полураспада $T_{1/2}$ – время, за которое распадается половина радиоактивных ядер.

$$T_{1/2} = (\ln 2) / \lambda$$

Период полураспада известных нам ядер находится в пределах от $3 \cdot 10^{-7}$ с до $5 \cdot 10^{15}$ лет.



$$T_{1/2}({}_{92}^{238}\text{U}) = 4,49 \text{ млрд. лет}; T_{1/2}({}_{88}^{226}\text{Ra}) = 1600 \text{ лет}; T_{1/2}({}_{86}^{222}\text{Rn}) = 3,825 \text{ сут};$$
$$T_{1/2}({}_{84}^{216}\text{Po}) = 3,05 \text{ мин}; T_{1/2}({}_{15}^{49}\text{P}) = 4,5 \text{ с}.$$

Периоды полураспада радионуклидов, вызвавших основное загрязнение местности после аварии на Чернобыльской АЭС, равны:

$$T_{1/2}({}_{53}^{131}\text{I}) = 8,05 \text{ сут}; T_{1/2}({}_{55}^{137}\text{Cs}) = 28 \text{ лет};$$
$$T_{1/2}({}_{38}^{90}\text{Sr}) = 29 \text{ лет}.$$





РАДИОАКТИВНОСТЬ

ОПАСНАЯ ЗОНА!

ВЫПАС СКОТА,
СЕНОКОШЕНИЕ,
СБОР ГРИБОВ И ЯГОД
ЗАПРЕЩЕНЫ!

- При оценке радиационной обстановки считают, что через *десять периодов полураспада* ($10T_{1/2}$) *число ядер* данного радионуклида *уменьшается* настолько (*в 1024 раза*), что радиоактивностью изотопа данного типа можно пренебречь.

- По этой причине весь период после аварии на ЧАЭС условно разделяют на два этапа: период "йодной" опасности продолжительностью 2 – 3 месяца (80 суток) и период "цезиево-стронциевой" опасности продолжительностью около 300 лет.

Сельское хозяйство



Углерод-11
20 мин.

Медицинская диагностика



Натрий-24
15 час.

Медицинская терапия



Йод-131
8,4 сут.

Промышленность



Криптон-85
10,8 года

Радиоуглеродный анализ



Углерод-14
5730 лет

Ядерная энергетика



Уран-235
700 млн.
лет

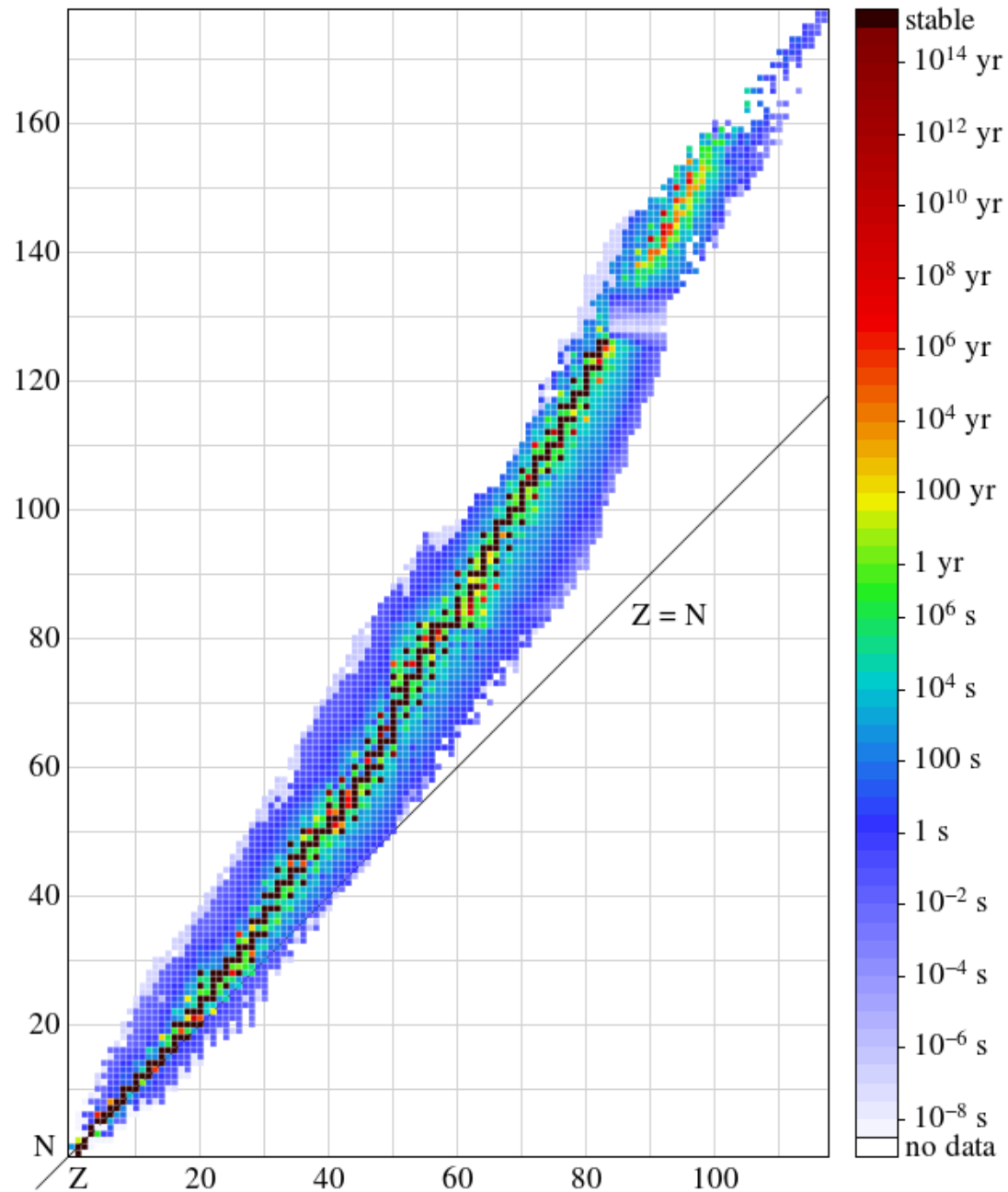
**Период полураспада —
одна из важных характеристик радионуклида**

Период полураспада		Активность выброса (ПБк)		Период полураспада		Активность выброса (ПБк)	
Инертные газы				Элементы с промежуточной летучестью			
^{85}Kr	10,72 лет	33	^{89}Sr	50,5 дней	~115		
^{133}Xe	5,25 дней	6 500	^{90}Sr	29,12 лет	~10		
			^{103}Ru	39,3 дней	>168		
			^{106}Ru	368 дней	>73		
			^{140}Ba	12,7 дней	240		
Летучие элементы				Тугоплавкие элементы (включая топливные частицы)			
$^{129\text{m}}\text{Te}$	33,6 дней	240	^{95}Zr	64,0 дней	84		
^{132}Te	3,26 дней	~1 150	^{99}Mo	2,75 дней	>72		
^{131}I	8,04 дней	~1 760	^{141}Ce	32,5 дней	84		
^{133}I	20,8 часов	910	^{144}Ce	284 дня	~50		
^{134}Cs	2,06 лет	~47	^{239}Np	2,35 дней	400		
^{136}Cs	13,1 дней	36	^{238}Pu	87,74 лет	0,015		
^{137}Cs	30,0 лет	~85	^{239}Pu	24 065 лет	0,013		
			^{240}Pu	6 537 лет	0,018		
			^{241}Pu	14,4 лет	~2,6		

	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	0		
1	H 1 1,00797									He 2 4,0026	
2	Li 3 6,939	Be 4 9,0122	B 5 10,811	C 6 12,01115	N 7 14,0067	O 8 15,9994	F 9 18,9984			Ne 10 20,179	
3	Na 11 22,9898	Mg 12 24,305	Al 13 26,9815	Si 14 28,086	P 15 30,9738	S 16 32,064	Cl 17 35,453			Ar 18 39,948	
4	K 19 39,102	Ca 20 40,08	Sc 21 44,958	Ti 22 47,9	V 23 50,942	Cr 24 51,996	Mn 25 54,938	Fe 26 55,847	Co 27 58,9332	Ni 28 58,71	
5	Cu 29 63,546	Zn 30 65,37	Ga 31 69,72	Ge 32 72,59	As 33 74,8216	Se 34 78,96	Br 35 79,904			Kr 36 83,8	
6	Rb 37 85,47	Sr 38 87,62	Y 39 88,905	Zr 40 91,22	Nb 41 92,906	Mo 42 95,94	Tc 43 [99]	Ru 44 101,07	Rh 45 102,905	Pd 46 106,4	
7	Ag 47 107,868	Cd 48 112,4	In 49 114,82	Sn 50 118,69	Sb 51 121,75	Te 52 127,6	I 53 126,9044			Xe 54 131,3	
8	Cs 55 132,905	Ba 56 137,34	La 57 138,91	Hf 72 178,49	Ta 73 180,948	W 74 183,85	Re 75 186,2	Os 76 190,2	Ir 77 192,2	Pt 78 195,09	
9	Au 79 196,967	Hg 80 200,59	Tl 81 204,37	Pb 82 207,19	Bi 83 208,98	Po 84 [210]	At 85 [210]			Rn 86 [222]	
10	Fr 87 [223]	Ra 88 [226]	Ac 89 [227]	Rf 104 [261]	Db 105 [262]	Sg 106 [263]	Bh 107 [262]	Hs 108 [265]	Mt 109 [266]	Uun 110 [271]	Uuu 111 [273]

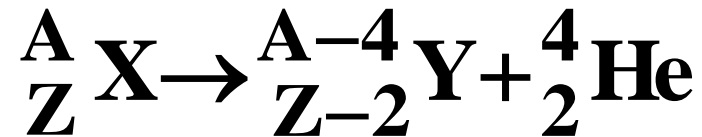
Лантаноиды и Actиноиды

л	Ce 58 140,12	Pr 59 140,907	Nd 60 144,24	Pm 61 [147]	Sm 62 150,35	Eu 63 151,96	Gd 64 157,25	Tb 65 158,924	Dy 66 162,5	Ho 67 164,93	Er 68 167,26	Tm 69 168,934	Yb 70 173,04	Lu 71 174,967
а	Th 90 232,038	Pa 91 [231]	U 92 238,03	Np 93 [237]	Pu 94 [244]	Am 95 [243]	Cm 96 [247]	Bk 97 [247]	Cf 98 [252]	Es 99 [254]	Fm 100 [257]	Md 101 [257]	No 102 [255]	Lr 103 [260]



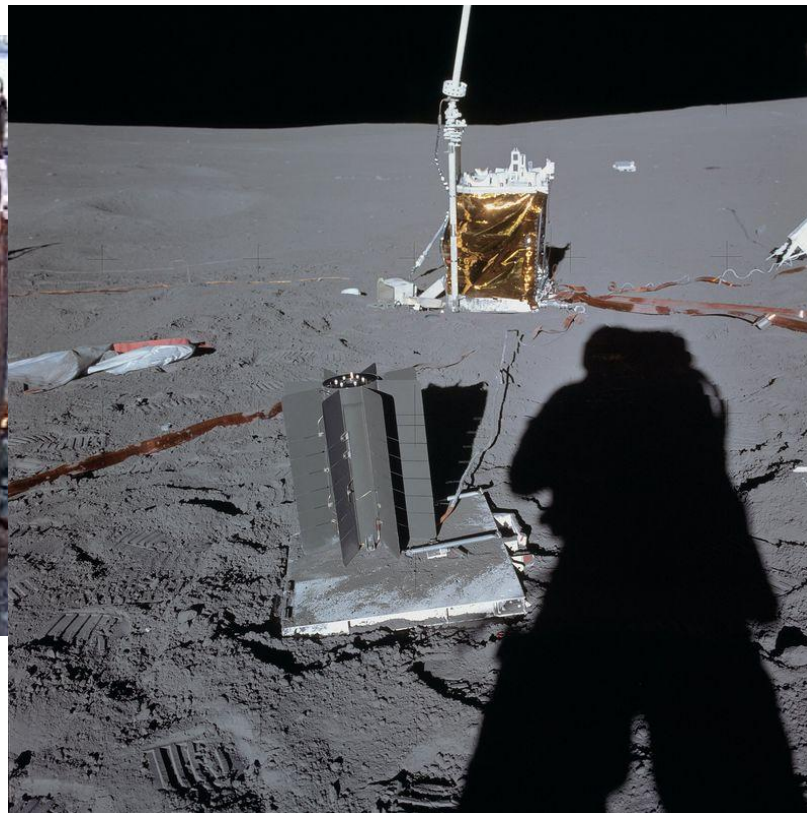
2.4. Виды ядерного распада.

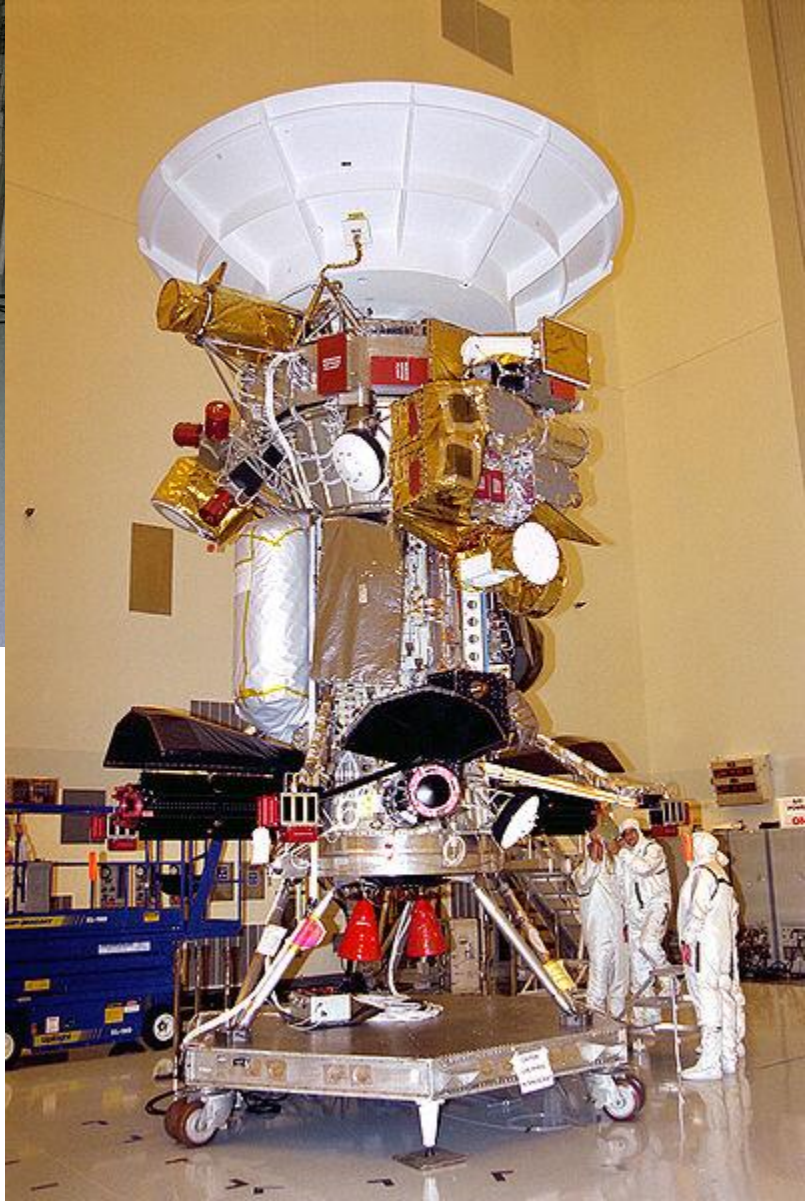
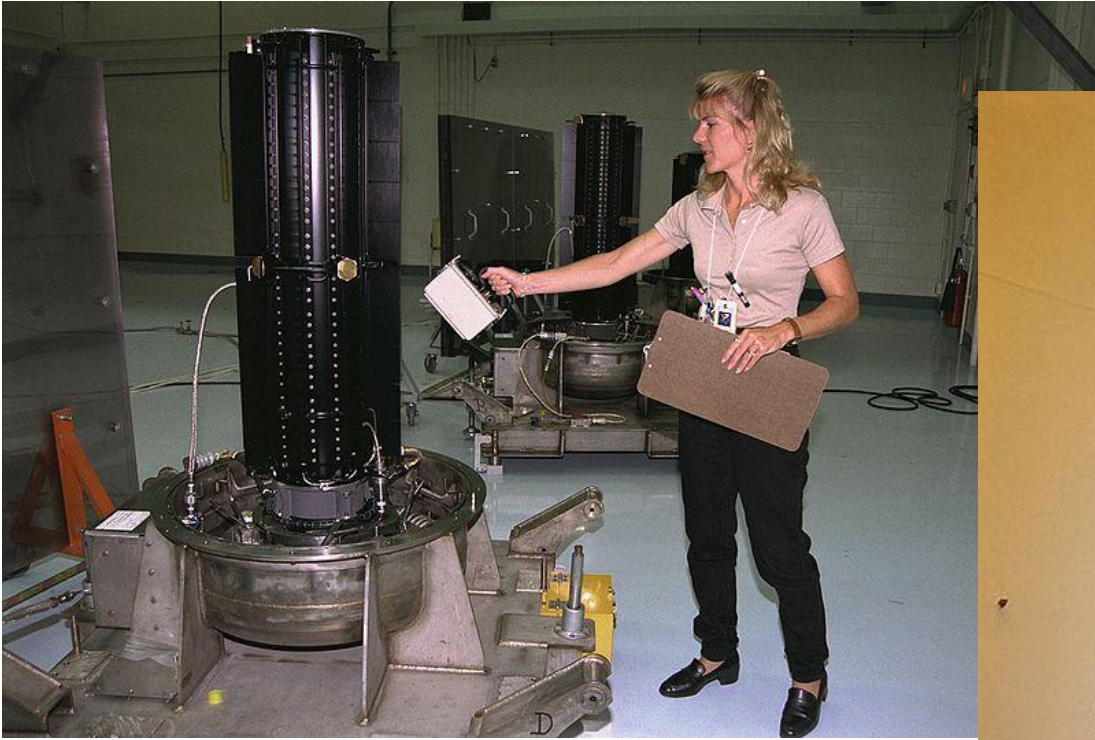
- 1. Альфа-распад



- X - химический символ материнского ядра, Y – химический символ дочернего ядра.

- Использование энергии радиоактивного распада – РИТЭГ, изотопные элементы.





NanoTritiumTM battery



City Labs, Inc.

SN: Sample
Non-working Device
Contains No Tritium
www.citylabs.net

При радиоактивном распаде и любых ядерных реакциях всегда выполняются т.н. *правила смещения*:

а) Закон сохранения электрического заряда:

$$Z_{\text{я}} = \sum Z_i$$

б) Закон сохранения массовых чисел (массы):

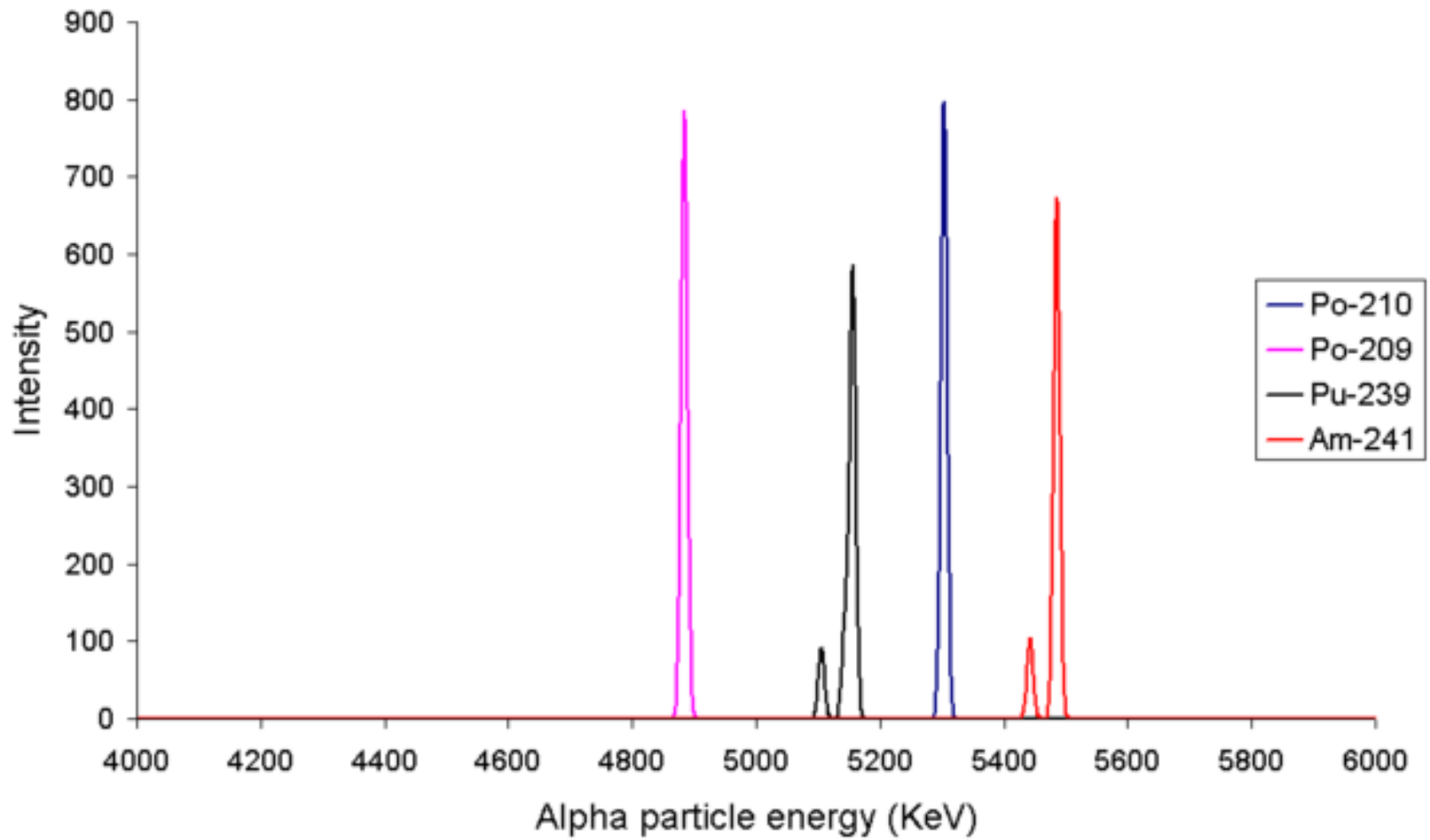
$$A_{\text{я}} = \sum A_i$$

в) Законы сохранения других квантовых чисел (напр. лептонного заряда)

Основные особенности α -распада:

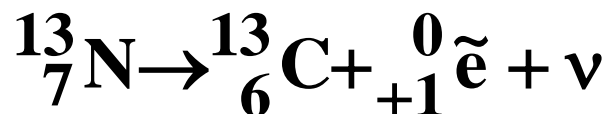
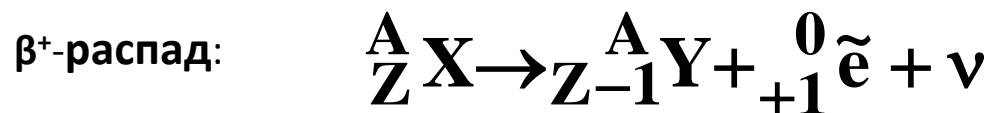
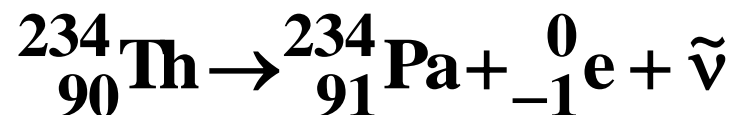
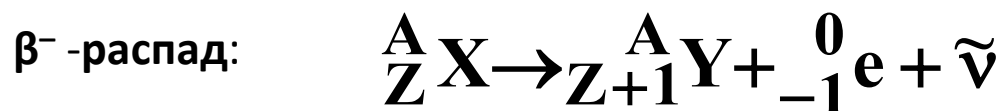
- 1. **Скорости**, с которыми α -частицы вылетают из распадающегося (материнского) ядра, **могут быть очень велики (10^7 м/с)**.
- 2. **Кинетическая энергия α -частиц** почти для всех известных α -активных изотопов лежит в интервале **4...9 МэВ**. Среднее значение кинетической энергии примерно равно 6 МэВ.
- 3. Известны очень **редкие случаи** α -распада, когда кинетическая энергия α -частиц очень велика и превышает **9 МэВ**.

- **4. В большинстве случаев α -частицы, вылетающие при распаде данного определенного изотопа, имеют одинаковые энергии, т.е. α -частицы являются моноэнергетическими.**
- **5. Некоторые ядра испускают несколько типов моноэнергетических α -частиц, образуя тонкую структуру дискретных спектров dN/dE .**

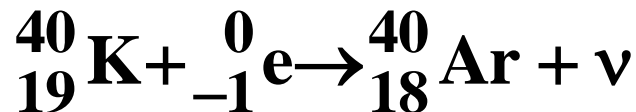
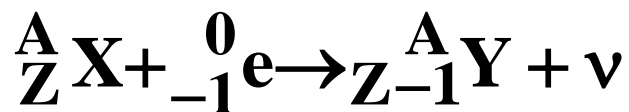


2. Бета-распад

Известны три вида β -распада: β^- -распад, β^+ -распад и K -захват.



e -захват (K -захват):



- **Основные особенности β -распада:**
- **1. Все энергетические β -спектры являются непрерывными (в отличие от α -спектров). Во всех случаях кривая спектра начинается с нуля и ограничена со стороны больших энергий**

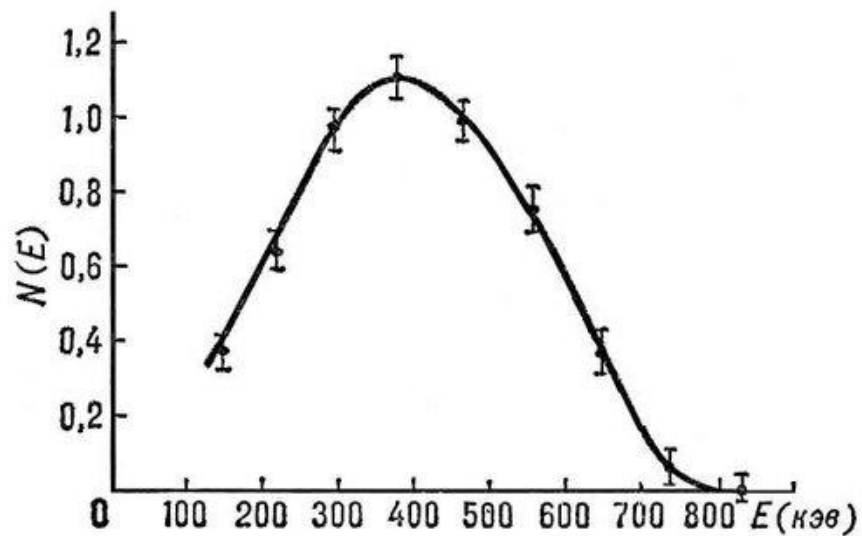
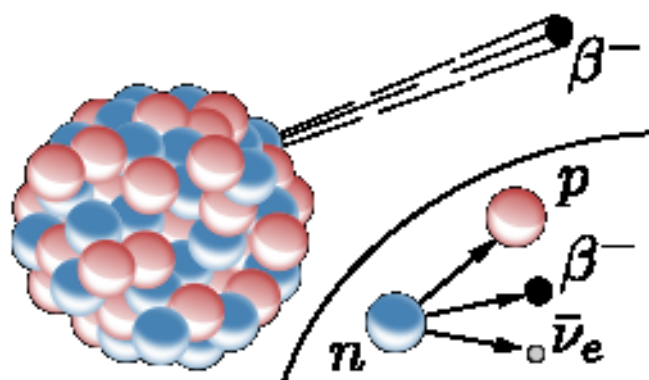




Рис. 1. Пример распределения бета – излучения по энергии.

- **2. Средняя энергия испускаемых частиц обычно близка к $1/3 E_{\text{макс}}$ и для естественных радиоактивных изотопов заключена в пределах $0.25 - 0.45 \text{ МэВ}$.**
- **3. Изучение β -распада привело к открытию нейтрино, уносящего часть энергии реакции.**

Гамма-излучение

- Основные особенности γ -излучения
- 1. γ -лучи как самостоятельный вид естественной радиоактивности не встречается и обычно сопровождает α - и β -распады.
- 2. γ -лучи испускаются не материнским, а возбужденным дочерним ядром.

- . Возбужденное дочернее ядро за малое время ($10^{-14} \dots 10^{-13}$ с) переходит в нормальное (или менее возбужденное) состояние и при этом испускает γ -лучи.
- **4. Энергетический спектр γ -лучей дискретен.** Дискретный характер спектра γ -лучей доказывает, что энергетическое состояние ядер также дискретно.

2.4. Радиоактивные ряды (семейства)

Тяжелые ядра имеют склонность к делению на более легкие. Цепь распадов завершается образованием стабильного изотопа и носит название *ряда* или семейства.



Название ряда	Начальный изотоп	Период полураспада начального изотопа	Примечание
Ряд тория	${}^{232}_{90}\text{Th}$	$1.4 \cdot 10^{10}$ лет	Содержит 11 элем. оканч. ${}^{206}\text{Pb}$
Ряд урана	${}^{238}_{92}\text{U}$ ${}^{235}_{92}\text{U}$	$5 \cdot 10^{10}$ лет	Содержит 15 элем. оканч. ${}^{208}\text{Pb}$
Ряд актиния	${}^{227}_{89}\text{Ac}$	10^9 лет	Содержит 14 элем. оканч. ${}^{207}\text{Pb}$
Ряд нептуния	${}^{237}_{93}\text{Np}$	10^6 лет	Содержит 14 элем. оканч. ${}^{209}\text{Bi}$

