

# Физическая экология

Занятие 5

Природная радиоактивность.

# Из жизни радиоактивных ядер

Нуклиды - атомы, ядра которых содержат определенное число протонов и нейтронов.

Изотопы - нуклиды с одинаковым числом протонов.

Изобары - нуклиды с одинаковым суммарным числом протонов и нейтронов.

Последние элементы, получившие официальные названия:

элемент 105 - Дубний (Dubnium, Db),

элемент 106 - Сиборгий (Seaborgium, Sg),

элемент 107 - Борий (Bohrium, Bh),

элемент 108 - Хассий (Hassium, Hs),

элемент 109 - Мейтнерий (Meitnerium, Mt)

элемент 110 – Дармштадтий (Ds),

элемент 111 – Рентгений (Rg),

элемент 112 – Коперниций (Cn),

элемент 114 – Флеровий (Fl),

элемент 116 – Ливерморий (Lv).

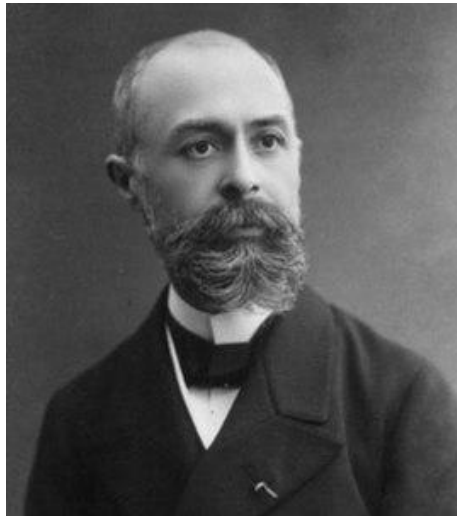
# АКТИВНОСТЬ

Мера радиоактивности – **активность** – равна числу спонтанных распадов в единицу времени.

Внесистемная единица – Кюри (Ки).  $1 \text{ Ки} = 3,7 \cdot 10^{10}$  распадов в секунду ( $\text{с}^{-1}$ ).

Историческое название – грамм-эквивалент радия (активность 1 г  $^{226}\text{Ra}$ ).

$$A = \frac{\ln 2 \cdot 2,67 \cdot 10^{21} \text{ ат} \cdot \text{г}^{-1}}{1600 \cdot 3,16 \cdot 10^7 \text{ с}} = 3,67 \cdot 10^{10} \frac{\text{расп}}{\text{с} \cdot \text{г}}$$



В системе СИ вводится единица активности  
Беккерель (Бк) = 1 распаду в секунду ( $\text{с}^{-1}$ ).

Антуан Анри Беккерель  
(фр. Antoine Henri Becquerel; 1852 — 1908)  
Нобелевская премия 1903 г.

# САНИТАРНЫЕ ПРАВИЛА СП 2.6.1.758-99 "ИОНИЗИРУЮЩЕЕ ИЗЛУЧЕНИЕ, РАДИАЦИОННАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ. НОРМЫ РАДИАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ (НРБ-99)"

"Радиационная безопасность населения - состояние защищенности настоящего и будущего поколений людей от вредного для их здоровья воздействия ионизирующего излучения".

"Граждане Российской Федерации, иностранные граждане и лица без гражданства, проживающие на территории Российской Федерации, имеют право на радиационную безопасность. Это право обеспечивается за счет проведения комплекса мероприятий по предотвращению радиационного воздействия на организм человека ионизирующего излучения выше установленных норм, правил и нормативов".

# Основы дозиметрии

**Поглощенная доза (D)** – это средняя энергия ионизирующего излучения, поглощенная единичной массой вещества.

$$D = \frac{d\bar{E}}{dm}$$

В системе СИ поглощенная доза выражается в греях (**Гр**): **1 Гр**  $\equiv$  1 Дж кг<sup>-1</sup>.

**Экспозиционная доза** облучения была введена, как мера удельной ионизации воздуха фотонным излучением. Историческая единица экспозиционной дозы носит название **рентгена (Р)**. 1 Р эл.-маг. излучения создает в одном см<sup>3</sup> сухого воздуха при стандартных условиях одну электростатическую единицу заряда каждого знака.

$$1 \text{ Р} \approx 0,11 \text{ эрг см}^{-3} = 87,3 \text{ эрг г}^{-1} \Rightarrow \mathbf{1 \text{ Р} \sim 1 \text{ рад}}$$

# Основы дозиметрии

**Поглощенная доза в органе или ткани ( $D_T$ )** – это средняя поглощенная доза для органа или ткани массой

$$D_T = \frac{1}{m_T} \int_{m_T} D \cdot dm$$

$m_T$   
**Эквивалентная доза ( $H_T$ )** – это доза, поглощенная в органе или ткани, умноженная на соответствующий взвешенный коэффициент для отдельных видов излучения ( $W_R$ ):

$$H_T = W_R \cdot D_T$$

В СИ эквивалентная доза измеряется в **зивертах (Зв)**. Она численно получится в Зв, если поглощенная доза была выражена в **Гр**.

**Эффективная доза (Q)** – величина, используемая как показатель меры риска при облучении.  $W_T$  – это взвешивающие коэффициенты для тканей и органов.

$$Q = \sum_T W_T \cdot H_T$$

# Влияние поглощенной дозы ионизирующего излучения

на здоровье человека (детерминированный эффект)

Эффективная доза, Зв	Действие на человека
0,2–0,5	Возможны изменения состава крови
0,5–1	Изменения состава крови. Возможны нарушения иммунитета.
1–2	Лучевая болезнь. Повреждения органов. Возможная потеря трудоспособности.
2–4	Лучевое поражение. Нетрудоспособность.
4–6	Тяжелое лучевое поражение. Возможная смерть.
6–10	Смертность 50 %
более 10	Смертность 100 %

# Основные пределы доз по НРБ-99

Нормируемые величины	Пределы доз	
	Персонал	Население
Эффективная доза	<u>20 мЗв в год</u> в среднем за любые последовательные 5 лет, но не более 50 мЗв в год	<u>1 мЗв в год</u> в среднем за любые последовательные 5 лет, но не более 5 мЗв в год



# Радиоактивность: классификация по источникам

Природная  
активность

Искусственная  
активность

Первичная  
активность

Космогенная  
активность

Три радиоактивных семейства:

ряд урана  $(4k + 2)$   $^{238}\text{U} \rightarrow ^{206}\text{Pb}$

ряд актиноурана  $(4k + 3)$   $^{235}\text{U} \rightarrow ^{207}\text{Pb}$

ряд тория  $(4k)$   $^{232}\text{Th} \rightarrow ^{208}\text{Pb}$

Пример цепочки распада тория:

$^{232}\text{Th} \rightarrow ^{228}\text{Ra} \rightarrow ^{228}\text{Ac} \rightarrow ^{228}\text{Th} \rightarrow ^{224}\text{Ra} \rightarrow ^{220}\text{Rn} \rightarrow ^{216}\text{Po} \rightarrow ^{212}\text{Pb} \rightarrow ^{212}\text{Bi} \rightarrow ^{212}\text{Po} \rightarrow ^{208}\text{Pb}$ .

# Первичная радиоактивность

Нуклид	Период полураспада	Уровень природной радиоактивности
$^{235}\text{U}$	$7.04 \cdot 10^8$ лет	0,72% всего природного урана
$^{238}\text{U}$	$4.47 \cdot 10^9$ лет	99,2745% всего природного урана; $(0,5 - 4,7) \cdot 10^{-6}$ в составе обычных пород
$^{232}\text{Th}$	$1,41 \cdot 10^{10}$ лет	$(1,6 - 20) \cdot 10^{-6}$ в составе обычных пород
$^{226}\text{Ra}$	$1,60 \cdot 10^3$ лет	0,42 пКи г <sup>-1</sup> (16 Бк кг <sup>-1</sup> ) в известняке и 1,3 пКи г <sup>-1</sup> (48 Бк кг <sup>-1</sup> ) в магматических породах
$^{222}\text{Rn}$	3,82 дней	средняя концентрация в воздухе меняется от 0,016 пКи л <sup>-1</sup> (0,6 Бк м <sup>-3</sup> ) до 0,75 пКи л <sup>-1</sup> (28 Бк м <sup>-3</sup> )
$^{40}\text{K}$	$1,28 \cdot 10^9$ лет	почва – $(1 - 30)$ пКи г <sup>-1</sup> , т.е. $(0,037 - 1.1)$ Бк г <sup>-1</sup>

# Радон в атмосфере

Радон ( ${}_{86}\text{Rn}$ ) имеет три радиоактивных изотопа:  ${}^{222}\text{Rn}$  (радон),  $T_{1/2} = 3,8$  дня;

${}^{219}\text{An}$  (актинон),  $T_{1/2} = 4$  с;

${}^{220}\text{Tn}$  (торон),  $T_{1/2} = 52$  с.

Источниками атмосферного радона являются материнские радиоактивные ядра в подповерхностных породах.

Простая  
модель:

$$\frac{\partial C(z,t)}{\partial t} = D\Delta C(z,t) + Q - \lambda C(z,t)$$

В стационарном  
случае

$$\frac{d^2 C(z)}{dz^2} = \frac{\lambda}{D} C(z) - \frac{Q}{D} \quad \text{с граничным условием: } C(z=0) = C_0$$

Решени  
е

$$C(z) = \frac{Q}{\lambda} \left[ 1 - \exp\left(-z\sqrt{\frac{\lambda}{D}}\right) \right] + C_0 \exp\left(-z\sqrt{\frac{\lambda}{D}}\right)$$

# Радон в атмосфере

При  $Q/\lambda \gg C_0$   $C(z) = \frac{Q}{\lambda} \left[ 1 - \exp\left(-z\sqrt{\frac{\lambda}{D}}\right) \right]$

Источник

Элемент	Концентрация, Бк·см <sup>-3</sup>
<sup>238</sup> U	$3,7 \cdot 10^{-2}$
<sup>235</sup> U	$1,9 \cdot 10^{-3}$
<sup>232</sup> Th	$3,7 \cdot 10^{-2}$

В действующих НРБ-99 предельно допустимая концентрация радона для жилых помещений составляет 200 Бк·м<sup>-3</sup>.

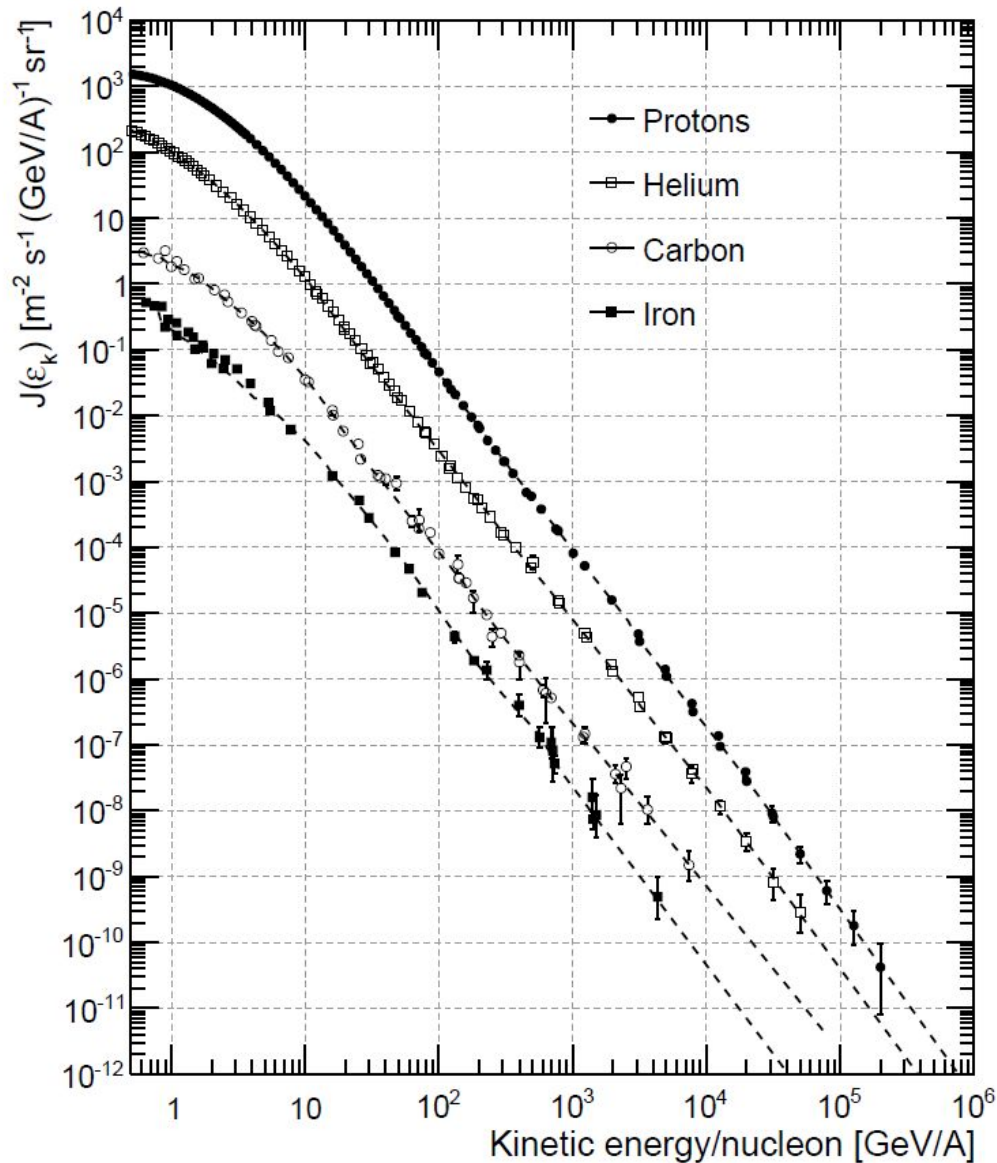
Эксхалляция  
равна

$$E = \left\{ D \frac{dC(z)}{dz} \right\}_{z=0} = Q \sqrt{\frac{D}{\lambda}}$$

Значение коэффициента диффузии для оценок можно принять  $D = 0,005 \text{ см}^2 \cdot \text{с}^{-1}$

Содержание в почве, Бк·см <sup>-3</sup>	$1,1 \cdot 10^{-2}$
Эксхалляция, Бк см <sup>-2</sup> ·с <sup>-1</sup>	$3,3 \cdot 10^{-6}$
Содержание в приземном воздухе, Бк·м <sup>-3</sup>	~10

# Космические лучи: энергетический спектр и

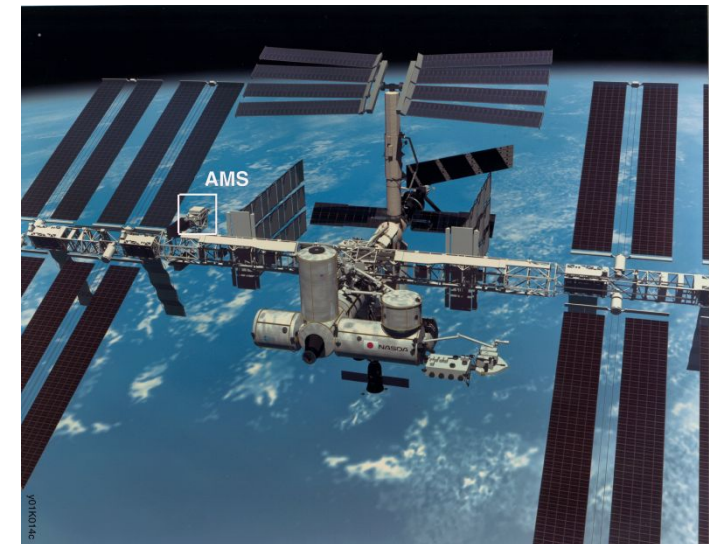


го

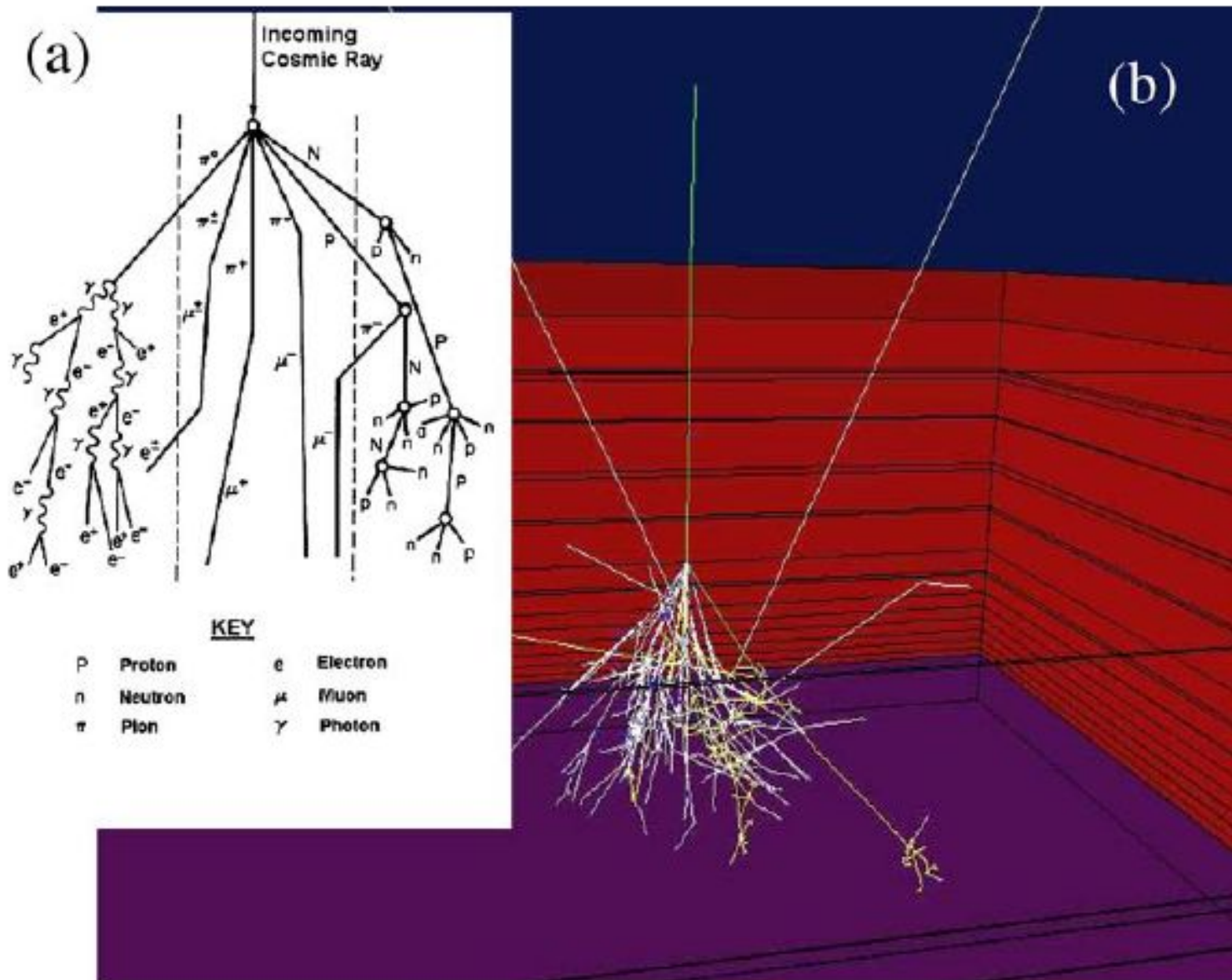


Виктор Гесс после исторического полета до высоты 5300 м 7 августа 1912 г. Нобелевская премия 1936 г. за открытие космических лучей

Эксперимент AMS-02 на борту Международной Космической Станции



# Космические лучи в атмосфере: каскад вторичных частиц



Эффективная доза от космических лучей на поверхности Земли составляет примерно 300 мкЗв в год.

На высотах гражданской авиации эффективная доза облучения составляет 5 мкЗв в час.

# Космогенная радиоактивность

Нуклид	Период полураспада, лет	Скорость образования, ат. м <sup>-2</sup> с <sup>-1</sup>	Концентрация, Бк м <sup>-3</sup>
<sup>3</sup> H	12,33	2500	1,4
<sup>14</sup> C	5730	22000	56 (0,22 Бк · г <sup>-1</sup> в органическом веществе)
<sup>22</sup> Na	2,6	0,86	0,0021
<sup>32</sup> P	0,039	8,1	0,27



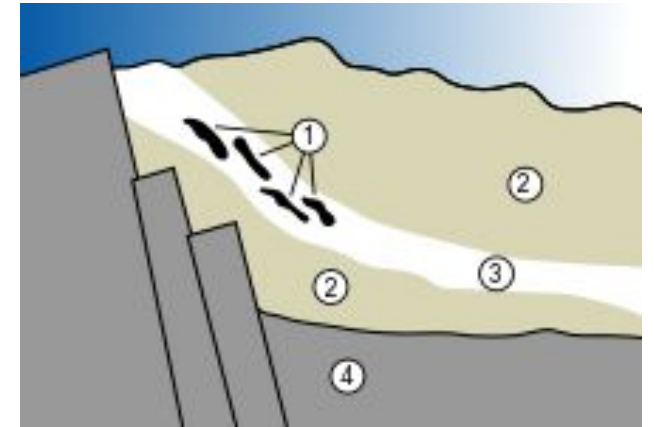
# Оценка среднегодовой эффективной дозы для граждан США и России

Источник	Эквивалент среднегодовой эффективной дозы, мЗв	
	США	Россия
Дыхание (радон и продукты деления)	2,0	1,4
Другие внутренние источники	0,39	0,19
Радиоактивность литосферы	0,28	0,23
Космические лучи	0,27	0,37
Космогенная радиоактивность	0,01	0,01
Суммарная активность от природных источников	3,0	2,2



# Природный ядерный реактор в Окло (Габон)

Окло — единственный известный на Земле естественный ядерный реактор. Цепная реакция началась здесь около 2 млрд. лет назад и продолжалась в течение нескольких сотен тысяч лет. Средняя тепловая мощность реактора составляла около 100 кВт. Природные цепные реакции в настоящее время невозможны из-за низкого процента урана-235 в урановых месторождениях. Более миллиарда лет назад при более высокой концентрации урана-235 (например, концентрация составляла 3,7% два миллиарда лет назад) это явление было возможно.



- Геологический разрез естественного ядерного реактора Окло
1. Зоны деления
  2. Песчаник
  3. Слой урановой руды
  4. Гранит