

# **РАДИОЭКОЛОГИЯ**

## **Лекция № 6**

# **Радиоактивность окружающей среды**

## **Часть 1**

# **ЕСТЕСТВЕННАЯ ИЛИ ПРИРОДНАЯ РАДИОАКТИВНОСТЬ**

**Лащёнова Татьяна Николаевна**

**Д-р биол.наук, канд.хим. наук,**

**Профессор экологического факультета РУДН**



# ПРОИСХОЖДЕНИЕ ЕСТЕСТВЕННЫХ РАДИОНУКЛИДОВ

Космическое излучение вызывает рождение космогенных радионуклидов:

C-14

H-3

Be-7

Na-22

Земные  
(первичные радионуклиды):

Уран-238

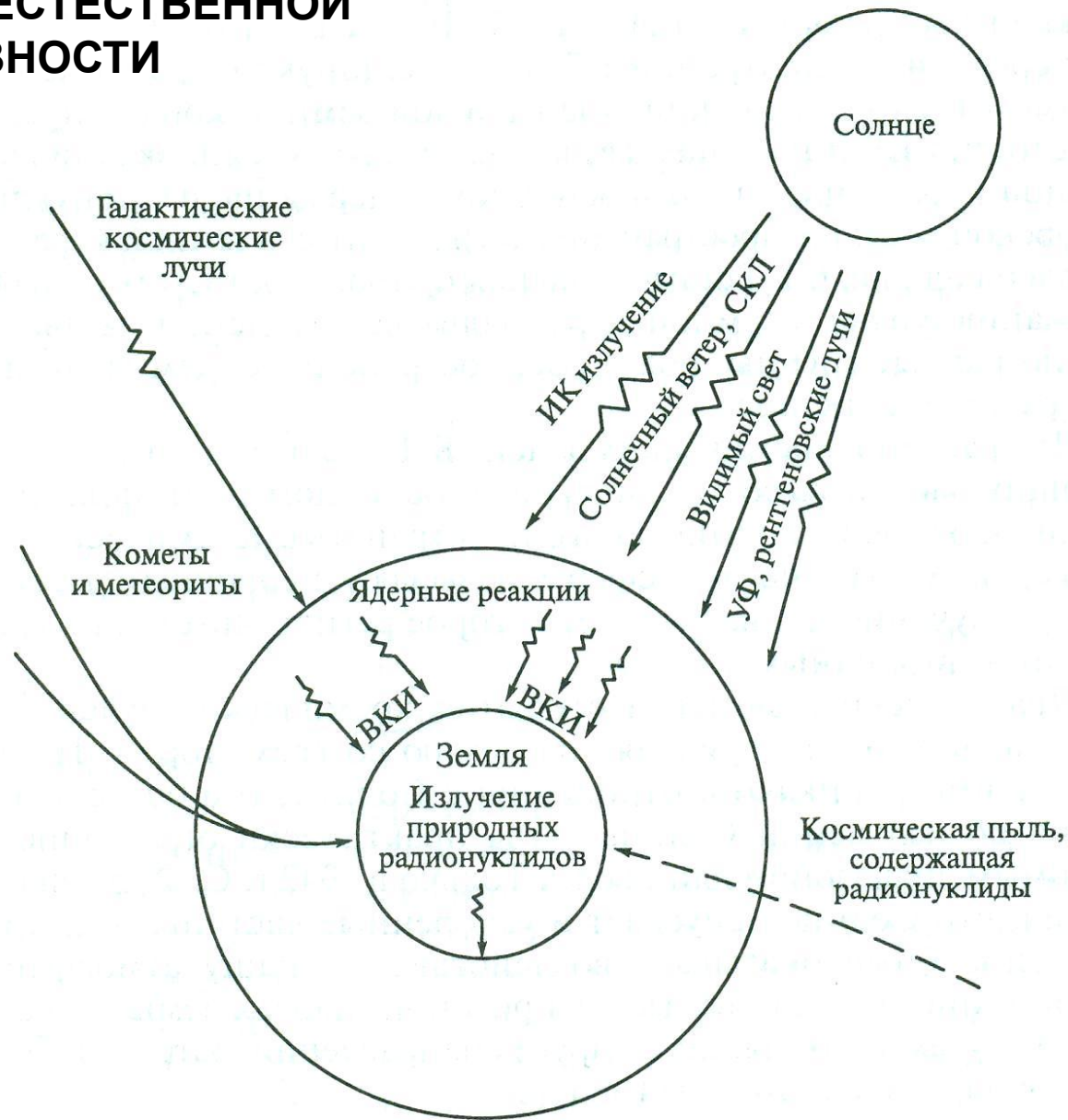
Торий-232

Уран-235

Калий-40

Радий-226

# ИСТОЧНИКИ ЕСТЕСТВЕННОЙ РАДИОАКТИВНОСТИ



# Космическое излучение

Согласно данным NASA, космические лучи состоят на 98% из:

**барионов (протонов и альфа-частиц — ядер гелия).**

При столкновении с ядрами атомов газов атмосферы - они порождают множество осколков, заряженных и нейтральных частиц, обладающих энергией.

Эти частицы в свою очередь сталкиваются с ядрами атомов. **Часть частиц оказываются нестабильными и быстро распадаются - и вызывают «космический ливень».**

Это вызывает образование следующего потока частиц.

Впервые наблюдал Дмитрий Скобельцын в конце 1920-х годов.

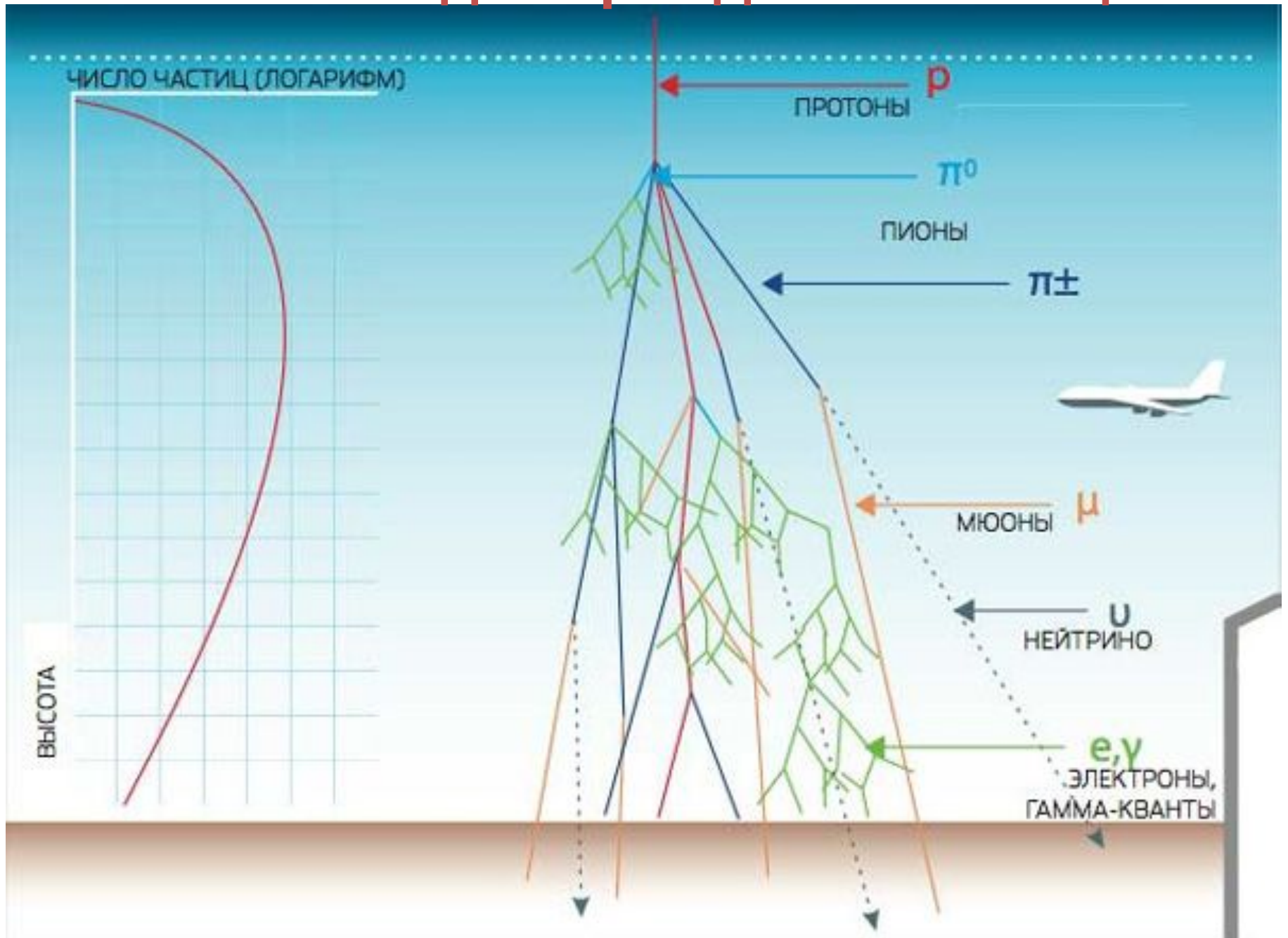
# Атмосферное происхождение элементарных частиц.

## Каскадное рождение частиц

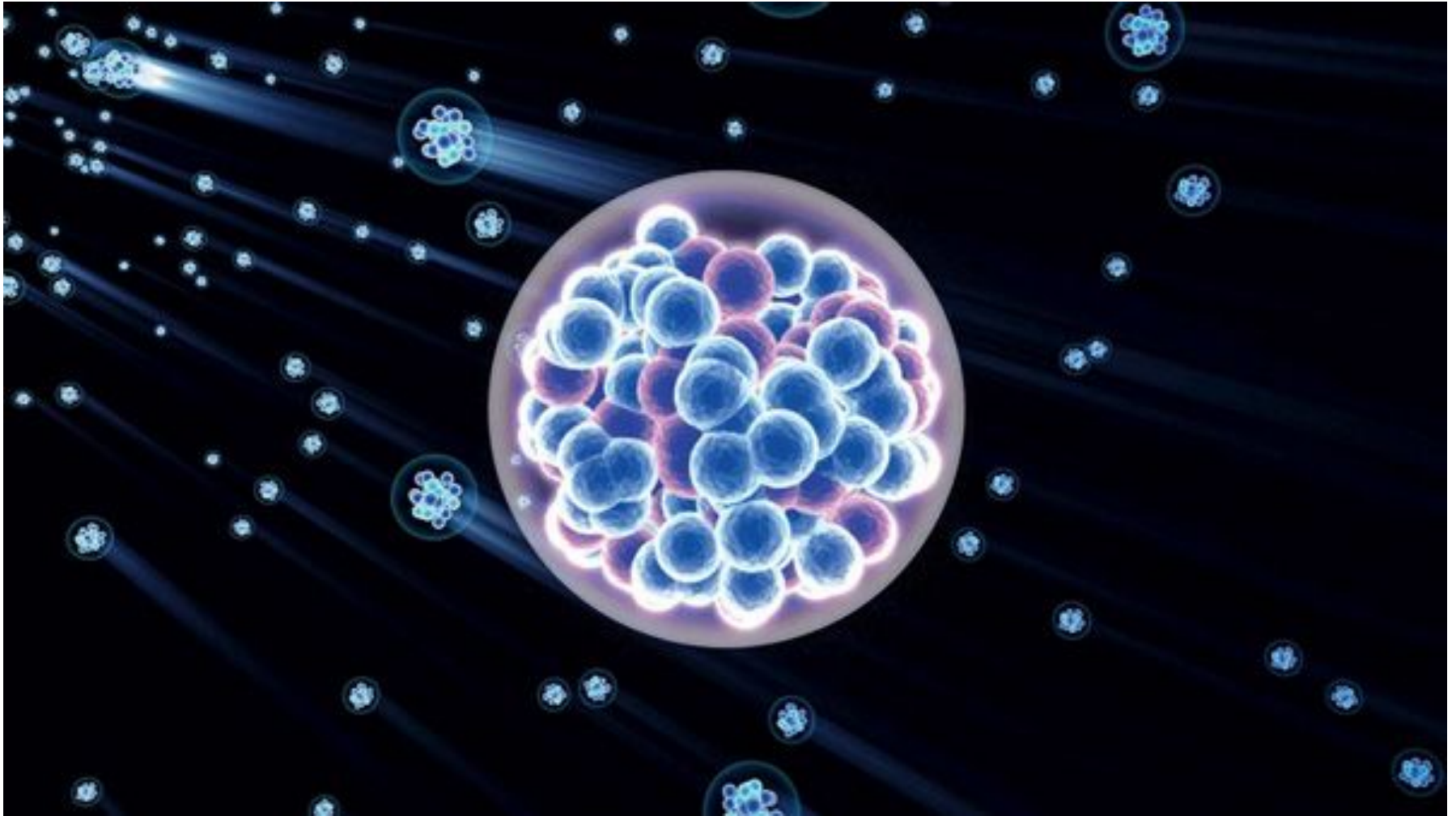
1. При столкновении космических частиц с атомами газов атмосферы запускаются ветвящиеся цепочки ядерных реакций образуются вторичные продукты.

2. Протоны с энергией в десятки и сотни ТэВ отдают энергию при столкновении с другими частицами, энергия рассеивается, вызывает ионизацию и рождается следующее поколение частиц.

# Каскадное рождение частиц



## Каскадное рождение частиц



Установленный в 2011 году на МКС детектор AMS (Alpha Magnetic Spectrometer) для изучения космических лучей за 14 месяцев работы зарегистрировал 18 млрд частиц. Это больше, чем число частиц, обнаруженных всеми наземными детекторами за сто лет.

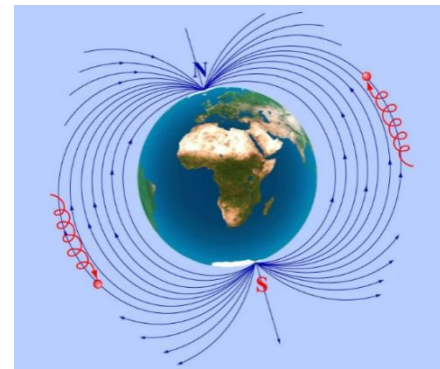


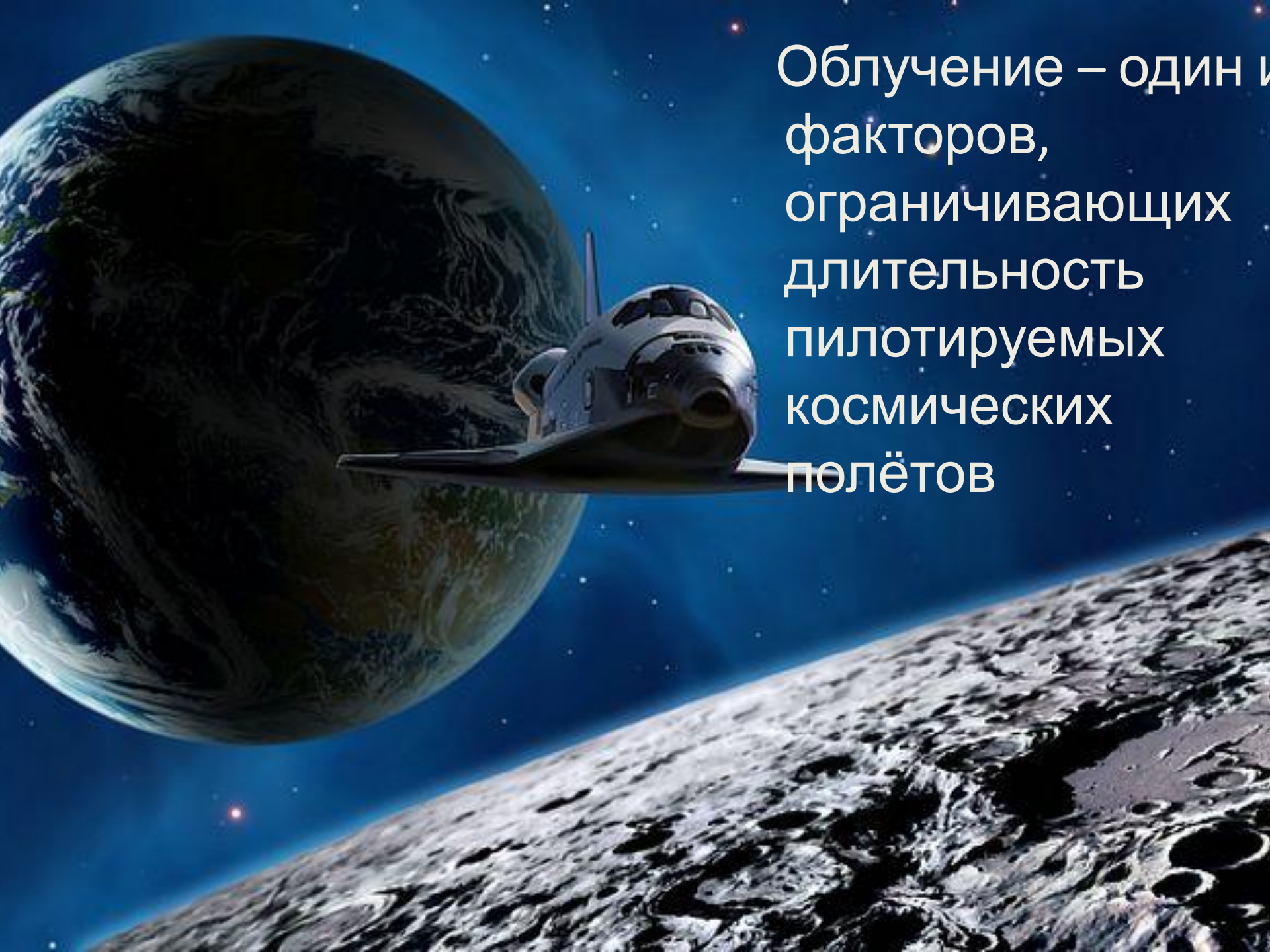
# ИНТЕНСИВНОСТЬ КОСМИЧЕСКОГО ИЗЛУЧЕНИЕ ЗАВИСИТ ОТ:

*Солнечной активности* (солнечные вспышки), соответственно больше частиц и их энергия.

*Географического положения* (наиболее интенсивно на Северном и Южном полюсах, наименее - на экваторе).

*Высоты над уровнем моря* (наиболее существенно влияние). Чем выше, тем больше частиц



A space shuttle is shown in orbit, flying over the Earth. The Earth is a large, blue and white sphere on the left side of the frame. The Moon is visible in the lower right corner, showing its cratered surface. The background is a dark blue space filled with stars.

Облучение – один из  
факторов,  
ограничивающих  
длительность  
пилотируемых  
космических  
полётов

**Космическое излучение на высоте 10000-12000м до 200-250 мкР/час**



**Космическое излучение на уровне земли до 10 мкР/час**



**Естественный радиационный фон 5-20 мкР/час**

# Механизм образования

## космогенных радионуклидов

Космическое излучение вызывает рождение космогенных радионуклидов (КРН). КРН образуются под действием протонов и нейтронов в атмосфере на химические элементы воздуха: кислород и азот.



Радиоактивные изотопы стабильных макроэлементов (H, C, P, S) легко включаются в биологический цикл

# Природный УГЛЕРОД-14



в верхних слоях тропосферы и  
стратосфере

$\beta$ -излучатель



Период полураспада 5730 лет

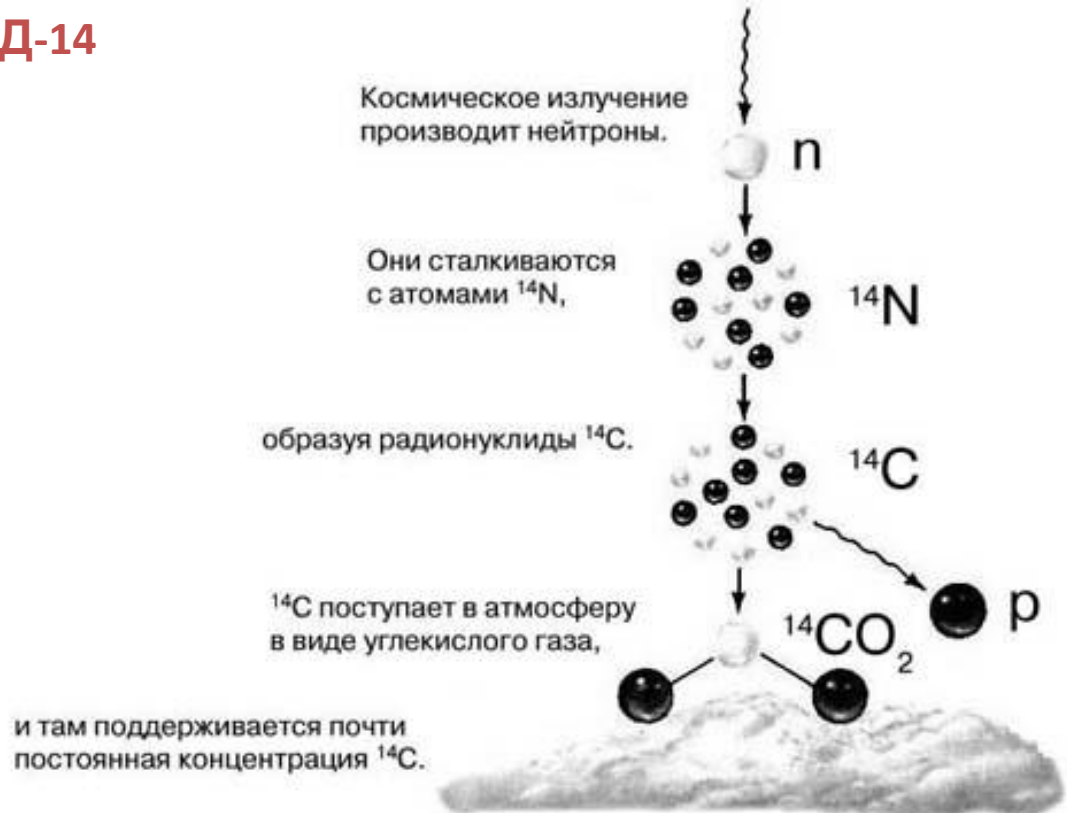
Доля в смеси природных изотопов 1,8  
 $\cdot 10^{-10}$  ‰

- Взрослый человек потребляет с пищей 95 кг углерода в год при средней активности на единицу массы  $^{14}\text{C}$  230 Бк/кг.
- Суммарный вклад космогенных радионуклидов в индивидуальную эффективную дозу составляет около 15 мкЗв/год.

### Среднее годовое поступление космогенных радионуклидов в организм человека

Радионуклид	Поступление, Бк/год	Годовая эффективная доза, мкЗв
$^3\text{H}$	250	0.004
$^7\text{Be}$	50	0.002
$^{14}\text{C}$	20 000	12
$^{22}\text{Na}$	50	0.15

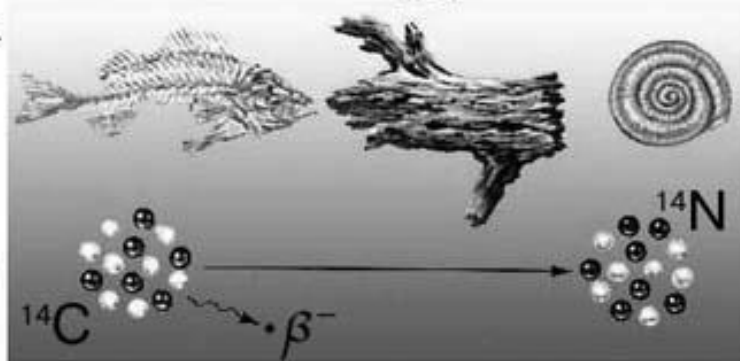
# КРУГОВОРОТ УГЛЕРОД-14 В ПРОРОДЕ



$^{14}\text{C}$  проникает в океан и на сушу, накапливается в тканях растений и животных и, вступая в химические реакции, образует карбонатные соединения (раковины и минералы).

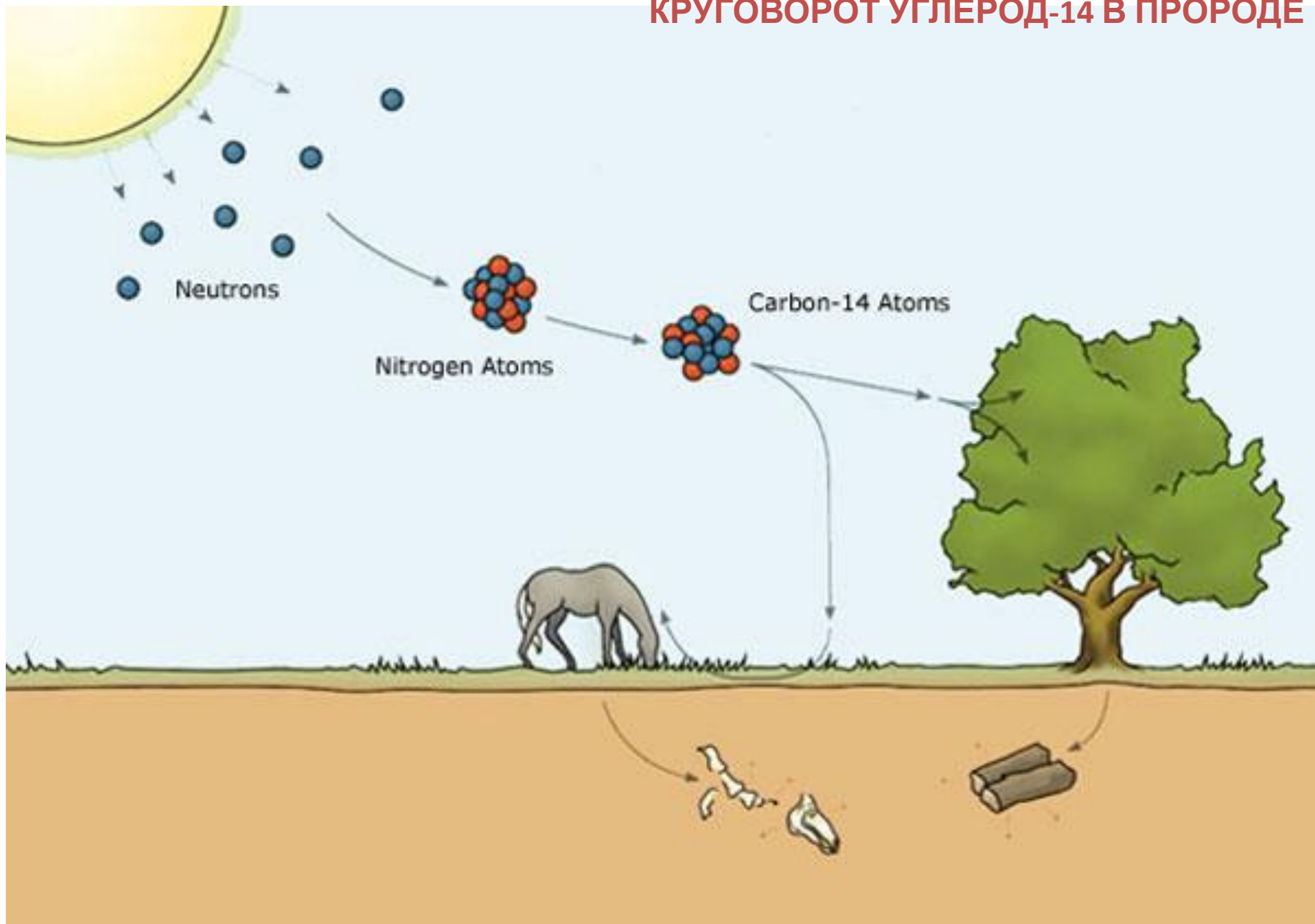


Умершие организмы не накапливают  $^{14}\text{C}$ . Содержащийся в них  $^{14}\text{C}$  подвергается радиоактивному распаду и вновь превращается в  $^{14}\text{N}$ .



Измерение концентрации  $^{14}\text{C}$  в образце и сравнение с его исходным содержанием позволяет вычислить возраст.

# КРУГОВОРОТ УГЛЕРОД-14 В ПРОРОДЕ





**КРУГОВОРОТ УГЛЕРОД-14 В ПРОРОДЕ**

**photosynthesis**

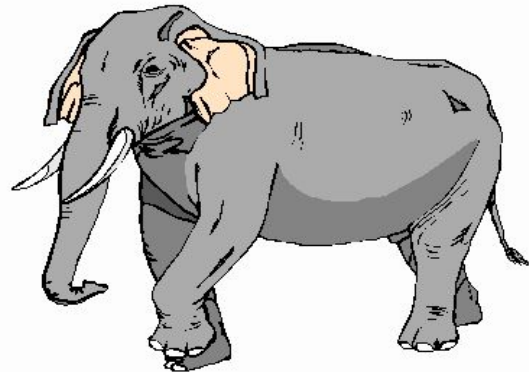
**C-14**

**C-12**

**breathing**



**eating**



**The Carbon Cycle**

# РАДИОУГЛЕРОДНОЕ ДАТИРОВАНИЕ

*Радиоуглеродное датирование* - метод датирования органических материалов путем измерения содержания радиоактивного изотопа углерода  $^{14}\text{C}$ .

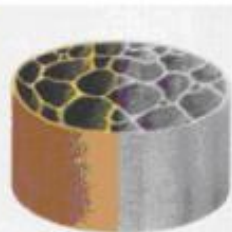
Метод радиоуглеродного датирования был предложен *У. Либби (1950)*.

Самые давние артефакты были датированы *70 000 лет*.

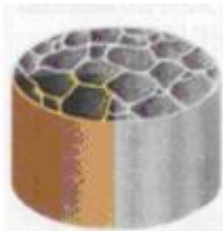
# Разложение радиоактивного углерода



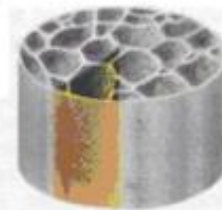
0 лет –  
смерть  
растения



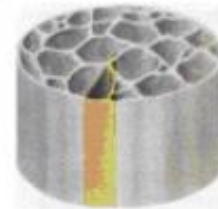
5570 лет –  
остаток  
50%



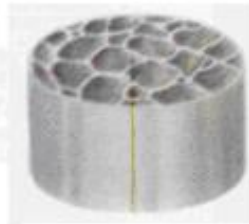
11140 лет –  
остаток  
25%



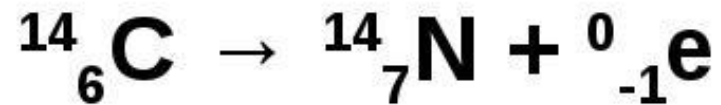
16710 лет –  
остаток  
12,5%



22280 лет –  
остаток  
6,25%



55700 лет –  
остаток  
0,1%



$$t = [\ln (N_0/N_f) / \ln 2] \cdot T$$

# ТРИТИЙ

- **Тритий**, являясь изотопом водорода, химически ведет себя также как водород, и поэтому способен замещать его во всех соединениях с кислородом, серой, азотом, легко проникая в протоплазму любой клетки
- Тритиевая единица — концентрация в один атом  $\text{H}^3$  на  $10^{18}$  атомов водорода — соответствует радиоактивности около  $3,2 \cdot 10^3$  мккюри/мл ( $1,2 \cdot 10^{11}$  Бк/л)

# ПРИРОДНЫЙ и ТЕХНОГЕННЫЙ ТРИТИЙ

«Избыточный  $^{14}\text{C}$ »  
1960 г.

13,5 распадов/мин  
на 1 г С

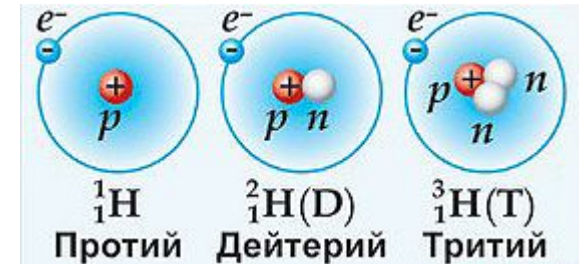


«Мёртвый С»  
1850 г

В результате термоядерных испытаний начиная с 1952 г. содержание  $\text{H}^3$  в атмосферных осадках и поверхностных водах сильно увеличилось.

# ТРИТИЙ

- Радиоактивный изотоп водорода
- В смеси изотопов водорода обнаруживаются молекулы



- Чистый бета-излучатель  ${}^3_1\text{H} \rightarrow {}^3_2\text{He} + \bar{e}$
- Период полураспада 12,3 года
- Средняя энергия бета-излучения 5,8 кэВ

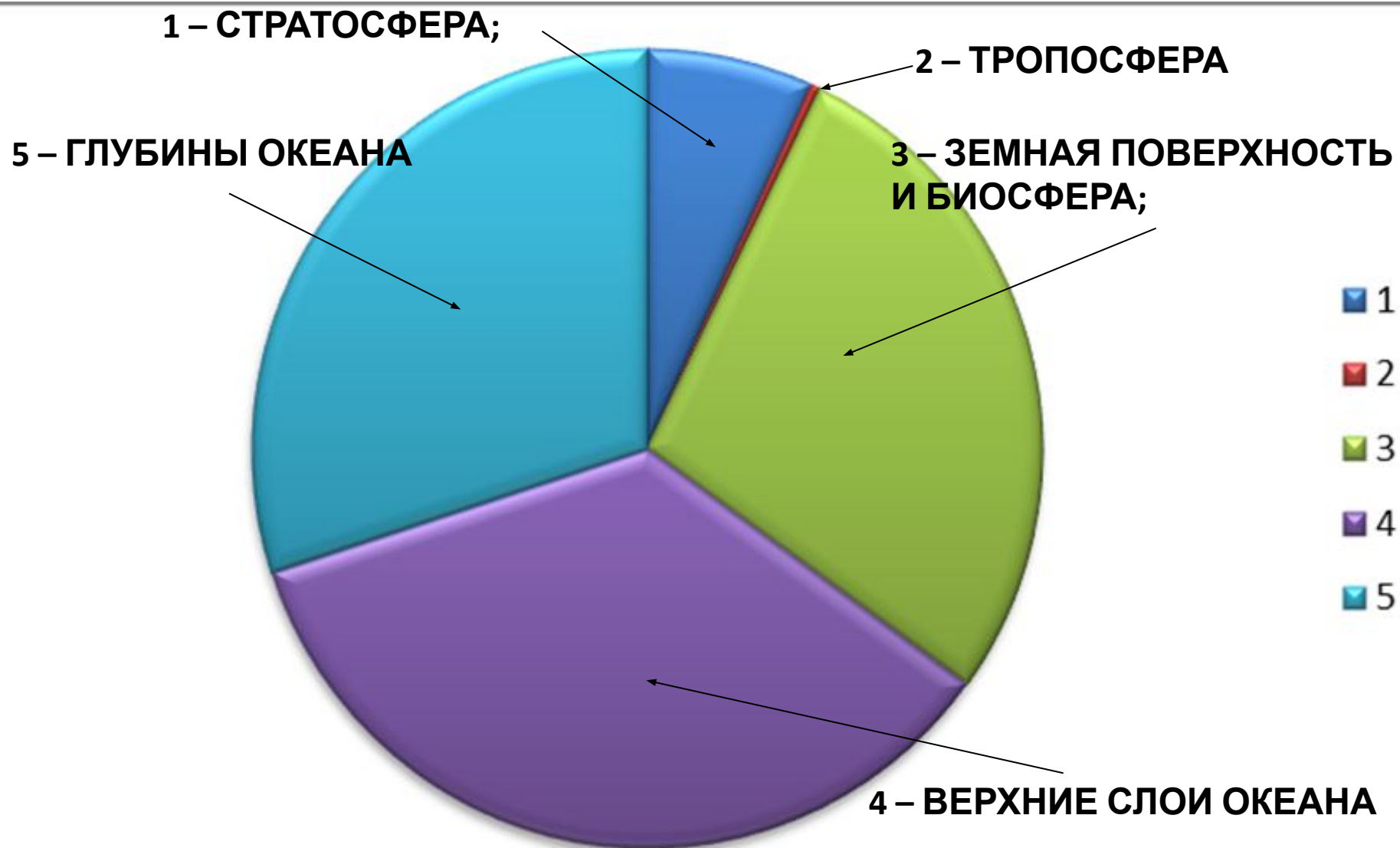
# ПРИРОДНЫЙ ТРИТИЙ

Природный тритий образуется в *атмосфере, литосфере и гидросфере.*

Основным источником природного трития является *атмосфера*, где он образуется в результате взаимодействия протонов и нейтронов космического излучения с водородом, кислородом и аргоном.

Тритий может образовываться на солнце во время солнечных вспышек и на других звездах.

# СОДЕРЖАНИЕ ТРИТИЯ В ОБЪЕКТАХ ПРИРОДНОЙ СРЕДЫ



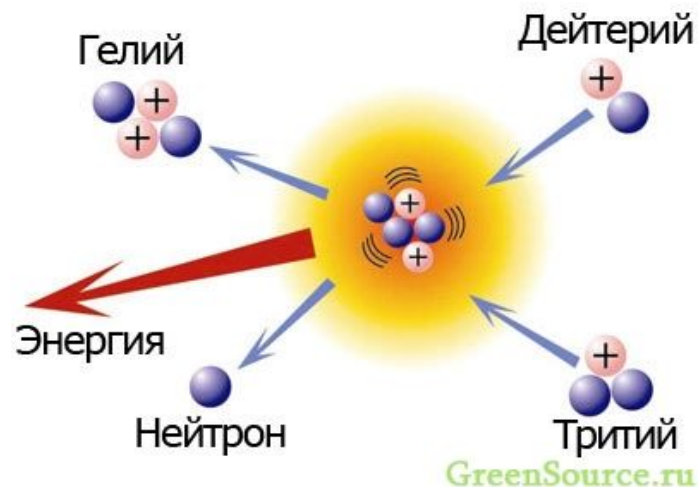


# ТЕХНОГЕННЫЙ ТРИТИЙ

- Наземные термоядерные взрывы.
- Пик 1954–1958 и 1961–1962 гг.

80% в северном полушарии  
20% в южном полушарии

- Ядерные реакторы
- Заводы по регенерации ядерного топлива



Техногенный тритий может содержаться в:  
тритиевой воде НТО, тритиевом водороде НТ  
и тритиевом метане  $\text{CH}_3\text{T}$

# ПРИМЕНЕНИЕ ТРИТИЯ

- Для получения меченых образцов
- Для изготовления тритиевых мишеней
- Как индикаторы водорода
- Для идентификации продуктов радиолиза
- В клинической практике
- В гидрогеологии для изучения распределения грунтовых вод

Облучение лития –  
промышленный  
способ получения  
трития

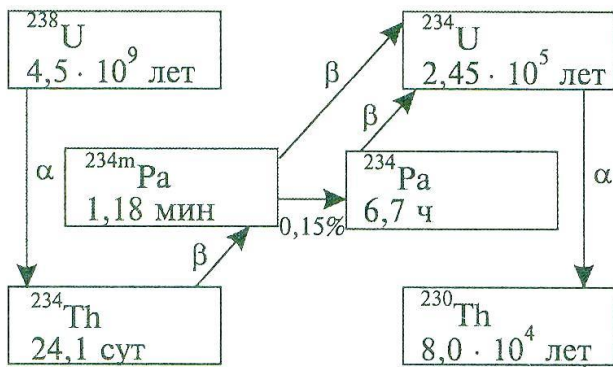


# БИОЛОГИЧЕСКОЕ ДЕЙСТВИЕ

- Опасность облучения газообразным тритием в 1000 раз меньше, чем опасность облучения **третийсодержащей водой**.
- Низкая растворимость трития в тканях и крови по сравнению с воздухом приводит к тому, что легкие начинают играть роль очень эффективных фильтров.
- Поэтому сами **лёгкие и дыхательные пути** следует рассматривать как критические органы, получающие максимальную дозу облучения.

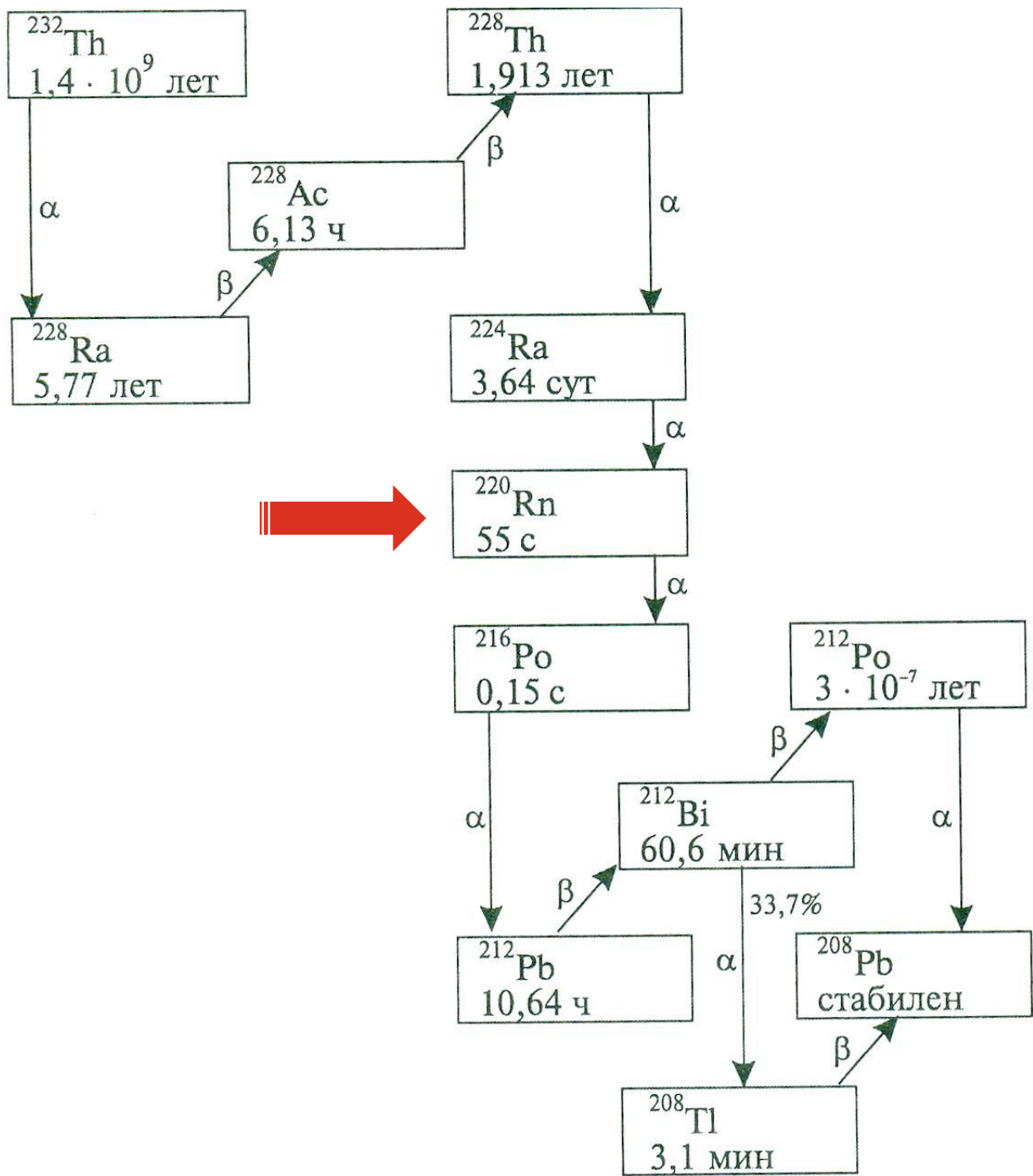
# ПРИРОДНЫЕ РАДИОНУКЛИДЫ

Радионуклид	$T_{1/2}$ , лет	Доля в природной смеси изотопов
$^{238}\text{U}$	$4,5 \cdot 10^9$	99,27
$^{235}\text{U}$	$7 \cdot 10^8$	0,72
$^{232}\text{Th}$	$1,4 \cdot 10^{10}$	100
$^{40}\text{K}$	$1,3 \cdot 10^9$	0,0117
$^{87}\text{Rb}$	$4,9 \cdot 10^{10}$	27,8
$^{150}\text{Nd}$	$5 \cdot 10^{10}$	5,6
$^{147}\text{Sm}$	$1,6 \cdot 10^{11}$	15,07
$^{176}\text{Lu}$	$3,6 \cdot 10^{10}$	2,6
$^{138}\text{La}$	$1 \cdot 10^{11}$	0,089



**В трех радиоактивных семействах: урана ( $^{238}\text{U}$ ), тория ( $^{232}\text{Th}$ ) и актиния ( $^{235}\text{Ac}$ ) в процессах радиоактивного распада постоянно образуется 40 радиоактивных ИЗОТОПОВ**



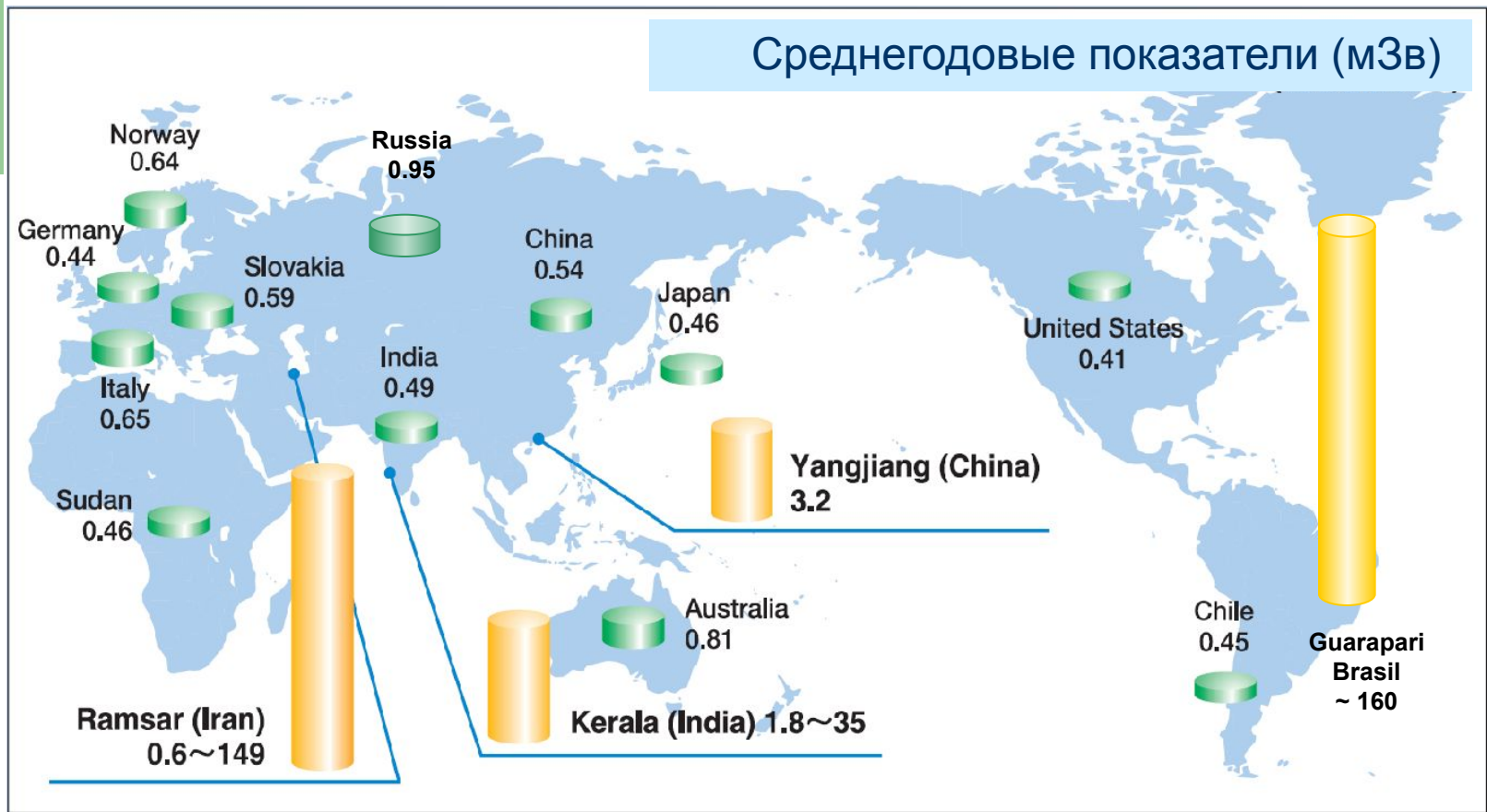


# Радиоактивный ряд тория-232

**Торий-232**  
**100%**

**$\alpha$ -излучатель**

# РАДИАЦИОННЫЙ ФОН В МИРЕ







# ФЕНОМЕН ОКЛО



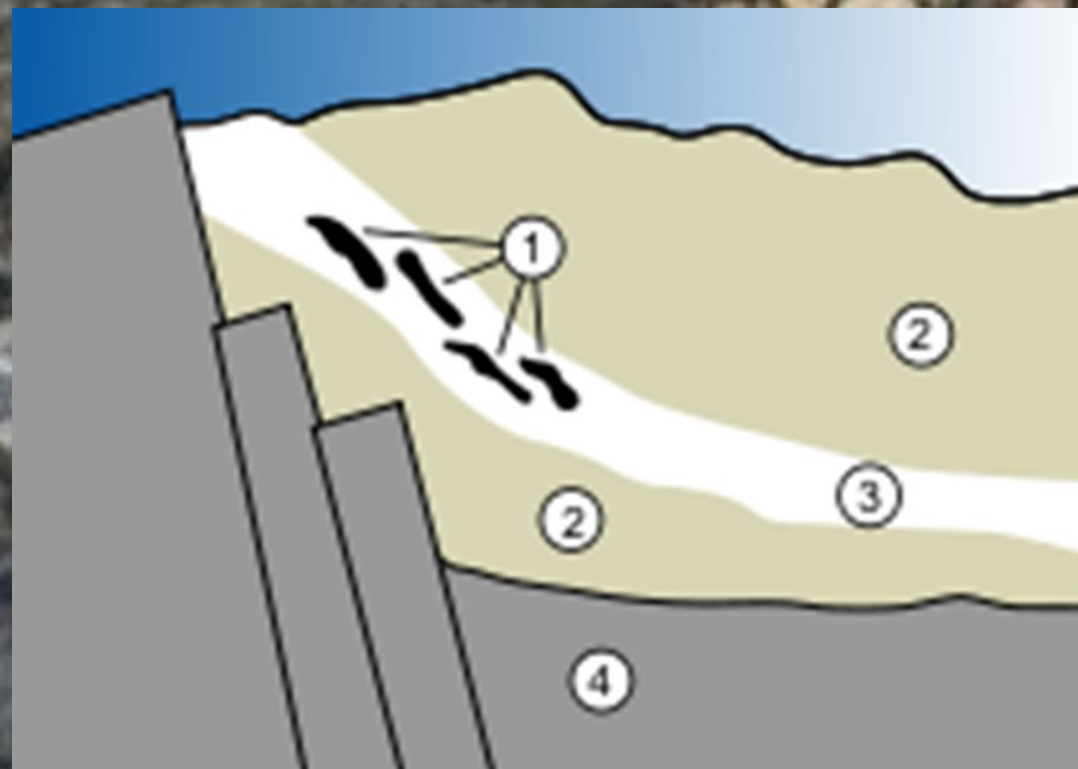
В мае 1972 года французские ученые в одной из лабораторий Комиссариата по атомной энергетике проводили обычный анализ образцов урановой руды. Тогда еще никто из них не знал, что незначительное отклонение в содержании одного из изотопов, обнаруженное в ходе этого исследования, приведет к открытию едва ли не самого фантастического феномена за всю историю реакторной физики — природного ядерного реактора.

Урановое месторождение Окло — единственное известное место, где существовал природный ядерный реактор. Комбинация физических условий в этом месторождении (в частности, наличие воды как замедлителя нейтронов) была уникальной.

Сегодня естественных реакторов не существует, так как относительная плотность способного распадаться урана уменьшилась ниже предела, необходимого для поддержания ядерной реакции. Поскольку уран-235 имеет период полураспада лишь 0,7 млрд лет (значительно короче, чем уран-238), его современная распространенность составляет всего 0,72%, а этого недостаточно для работы реактора с грунтовыми водами в роли замедлителя нейтронов.

2 млрд. лет назад  
25 кВт/ч  
5000 МВт энергии  
6 т урана

1. Зоны деления  
(линзы урана)
2. Песчаник
3. Слой урановой руды
4. Гранит



Спасибо за внимание!