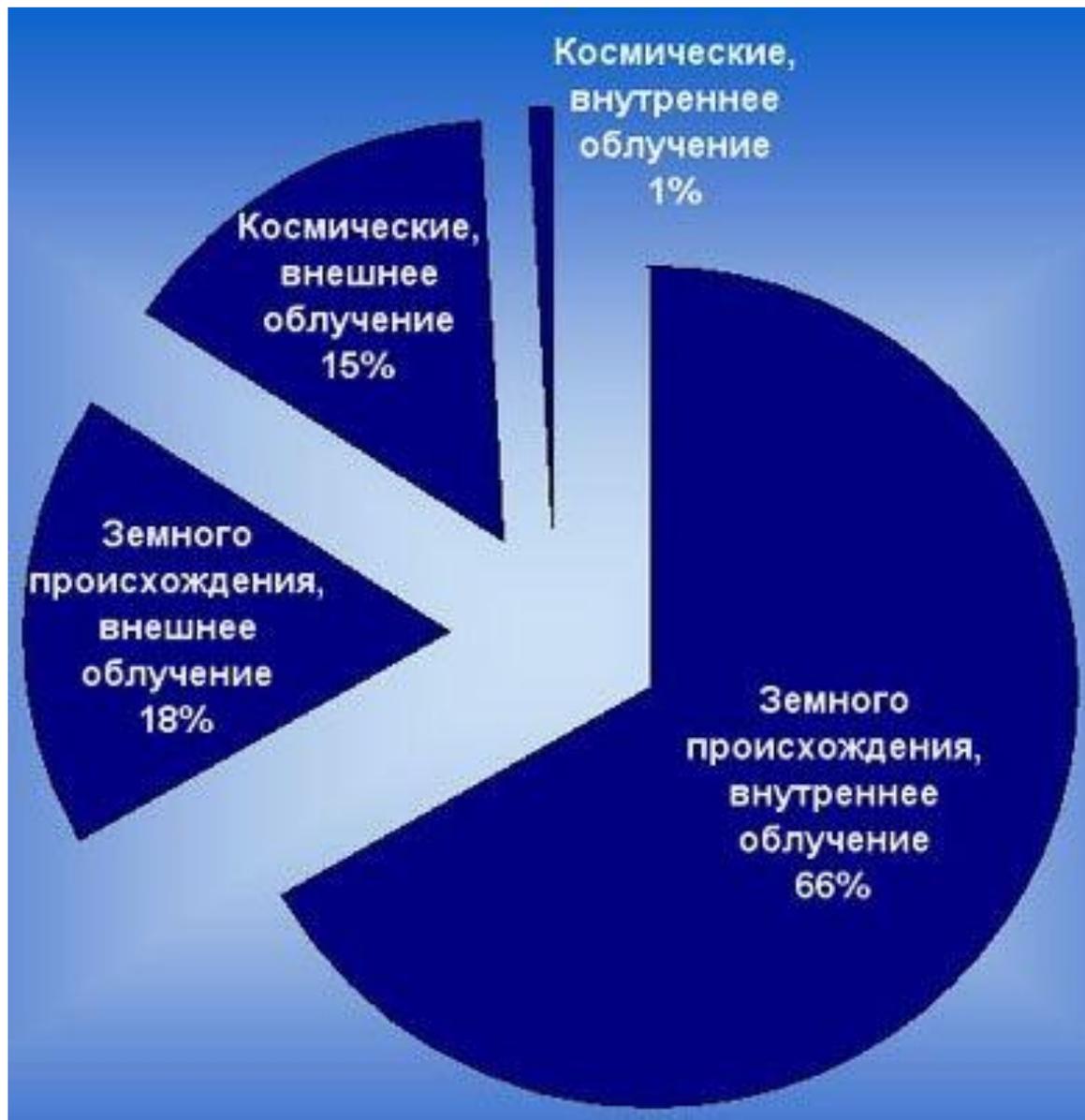


6. Источники радиации



6.1 Естественные источники радиации

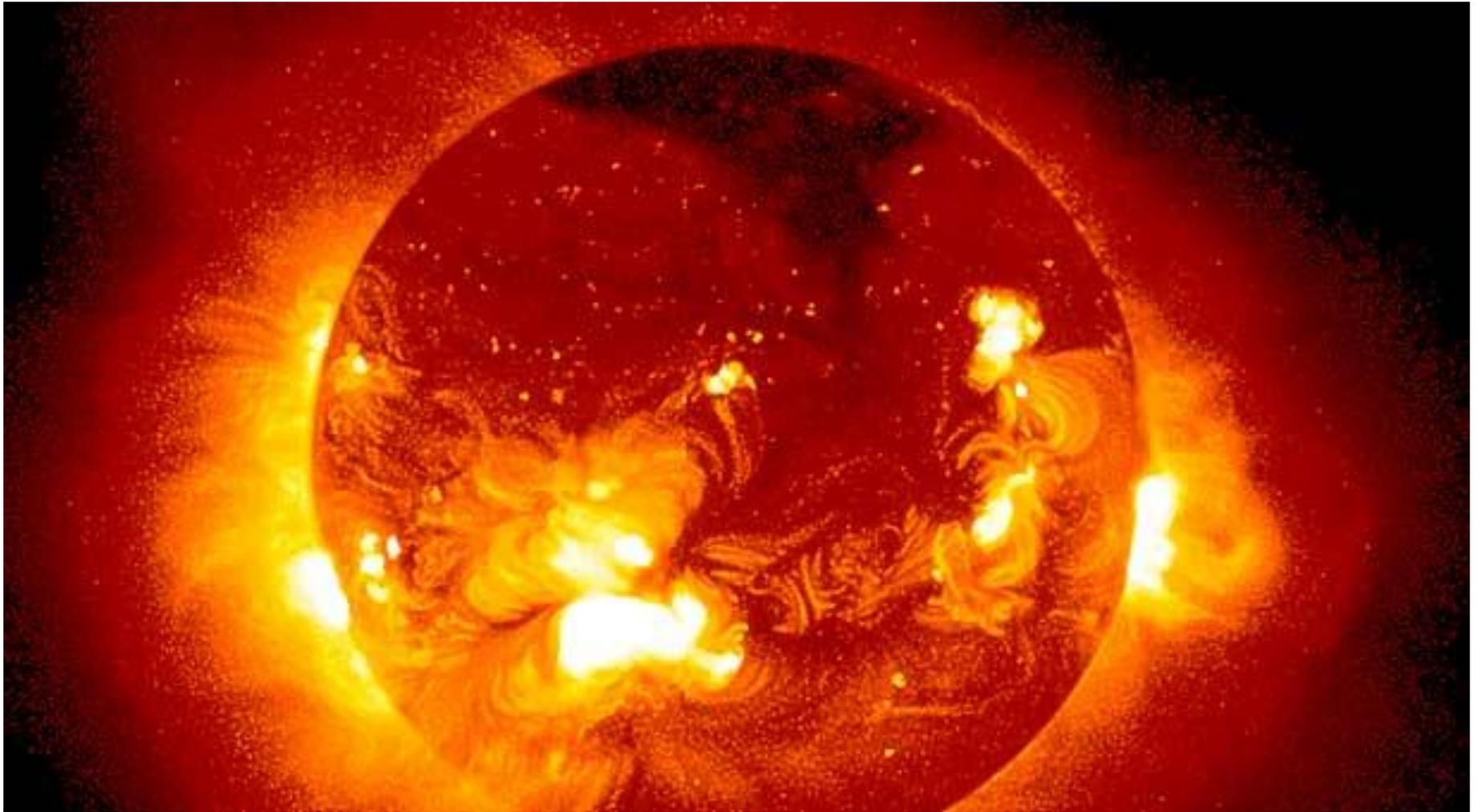
- **К естественным источникам радиации относят *космическое излучение* и *естественные радиоактивные вещества*, присутствующие в окружающей среде (недрах, атмосфере и воде, растениях и всех живых организмах и т.д.).**



Вклад естественных источников в облучение человека.

Космическое излучение

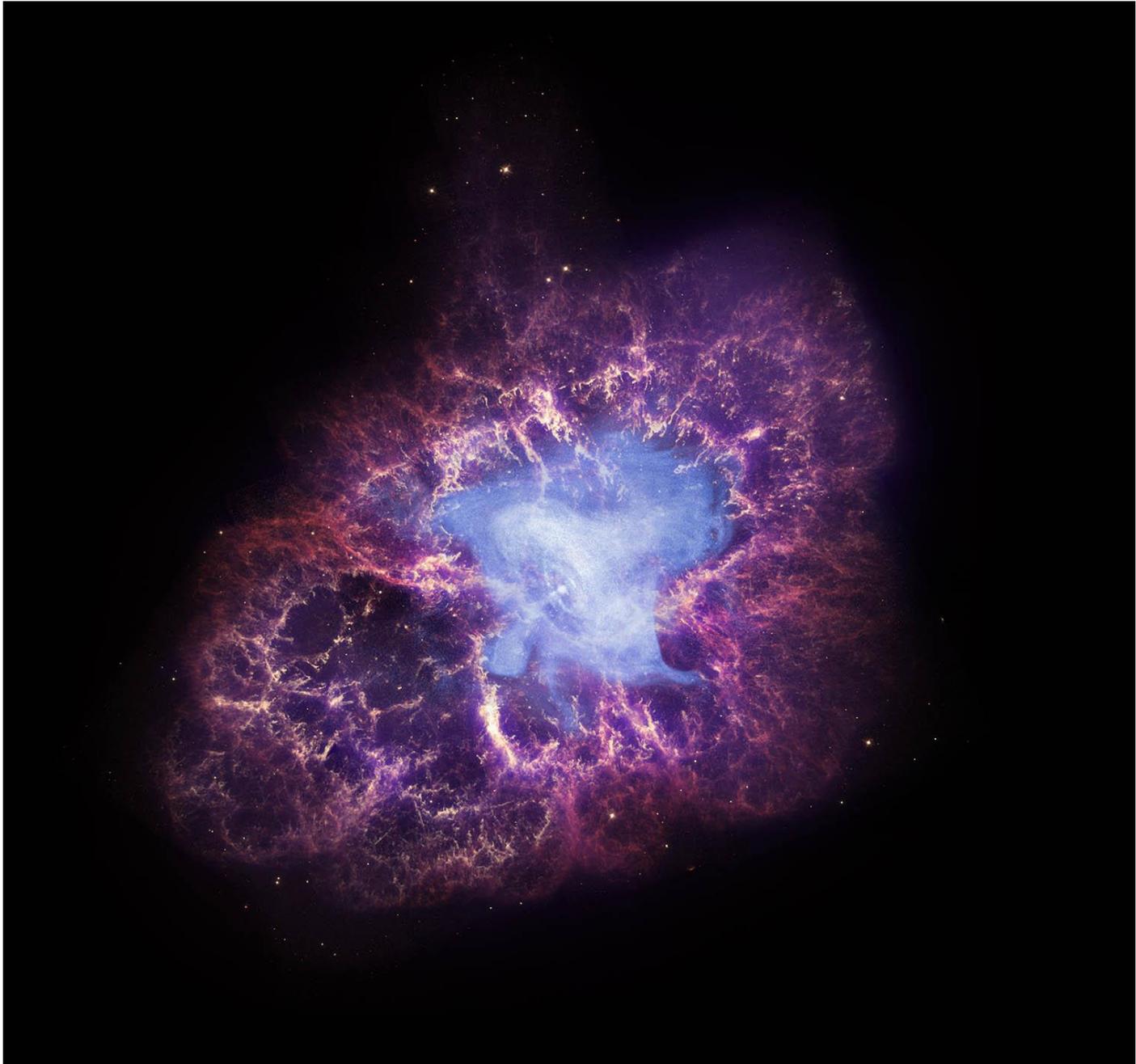
Первичное космическое излучение представляет собой поток частиц высоких энергий, приходящих на Землю из межзвездного пространства. Источники – Солнце, внутри- и внегалактические (вспышки сверхновых).

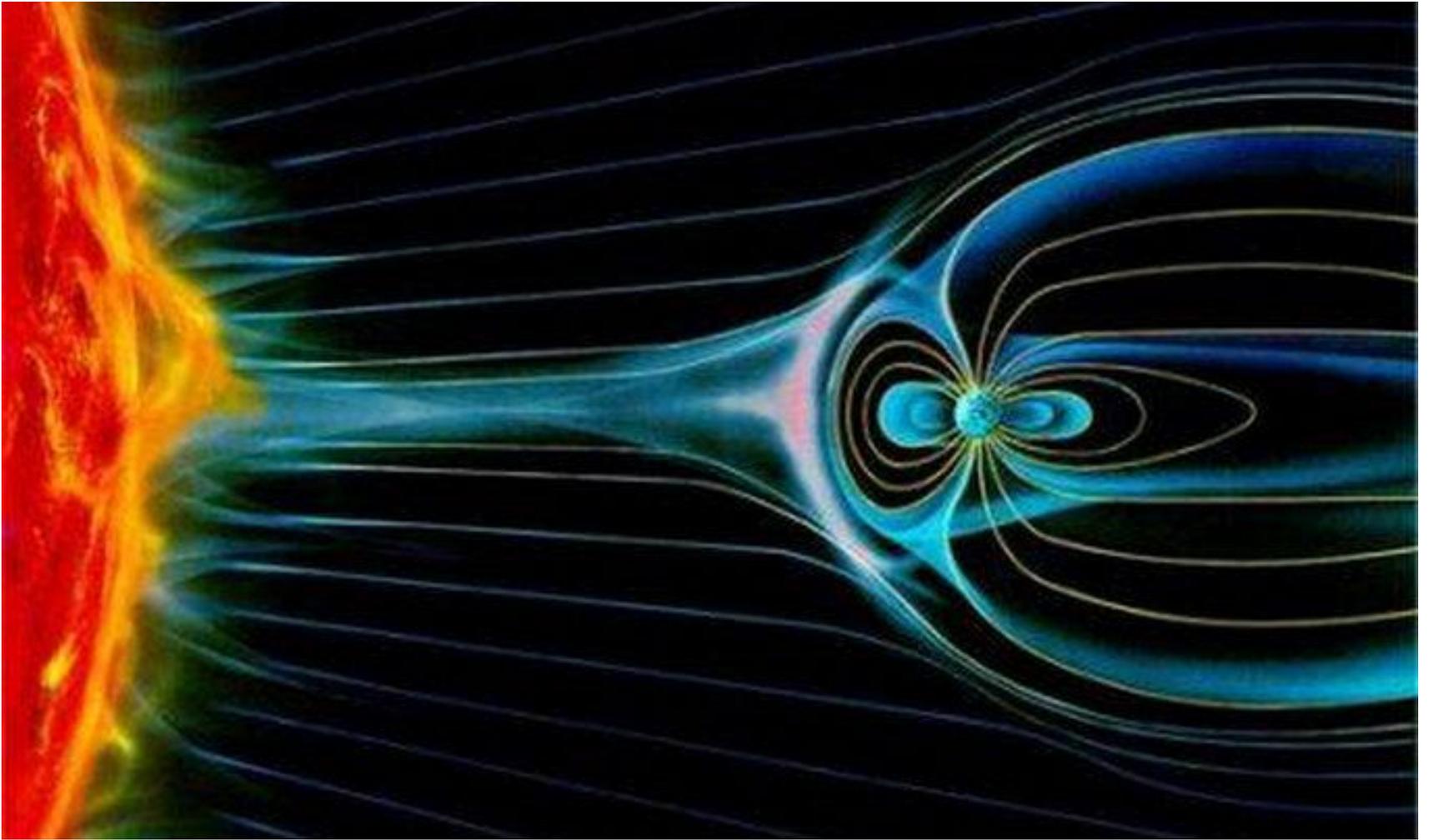




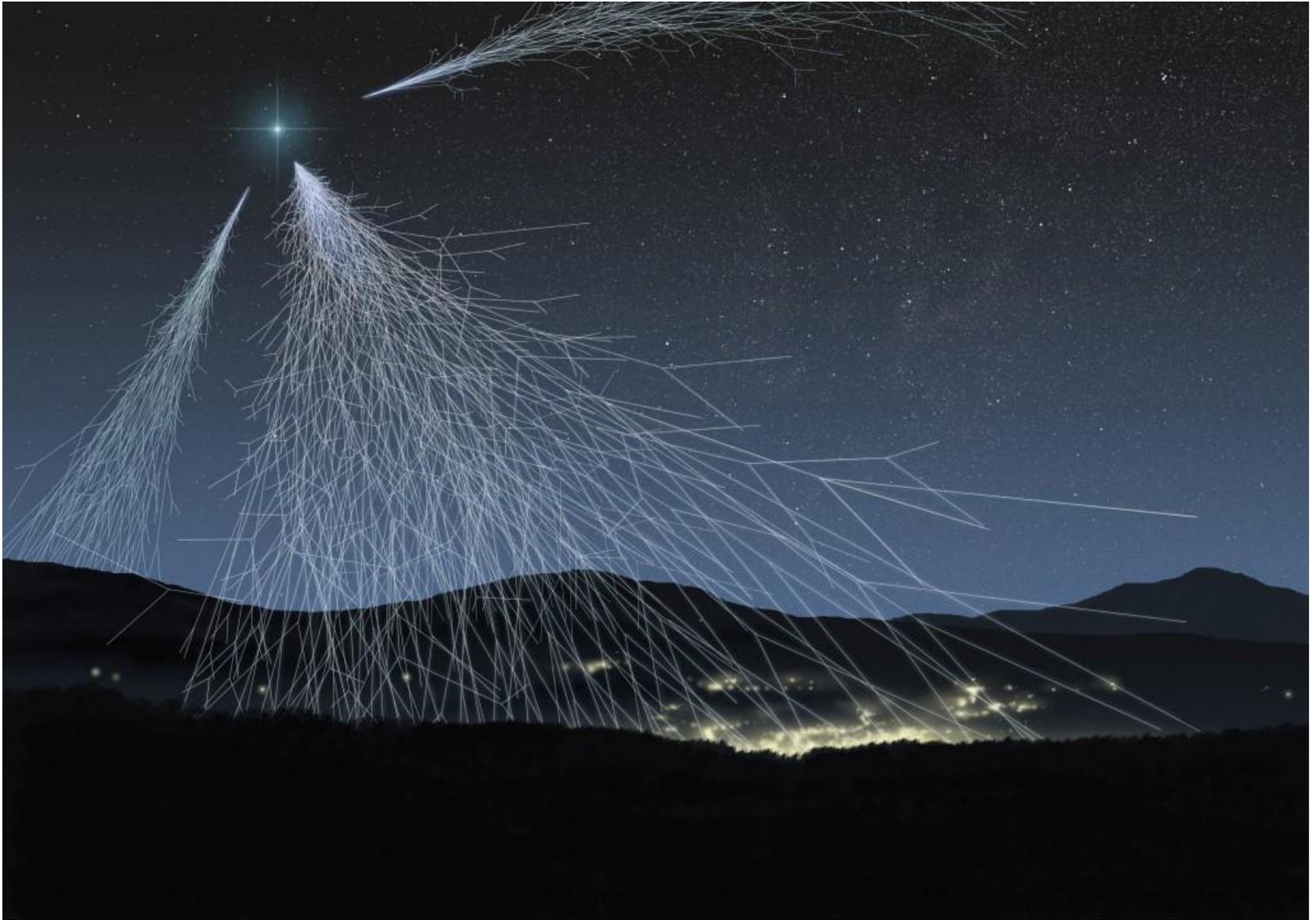
- Средняя энергия космических частиц 10^{10} эВ, встречаются и частицы с энергией вплоть до 10^{19} эВ. Современные ускорители заряженных частиц позволяют разогнать частицы до энергий порядка 10^{12} эВ.

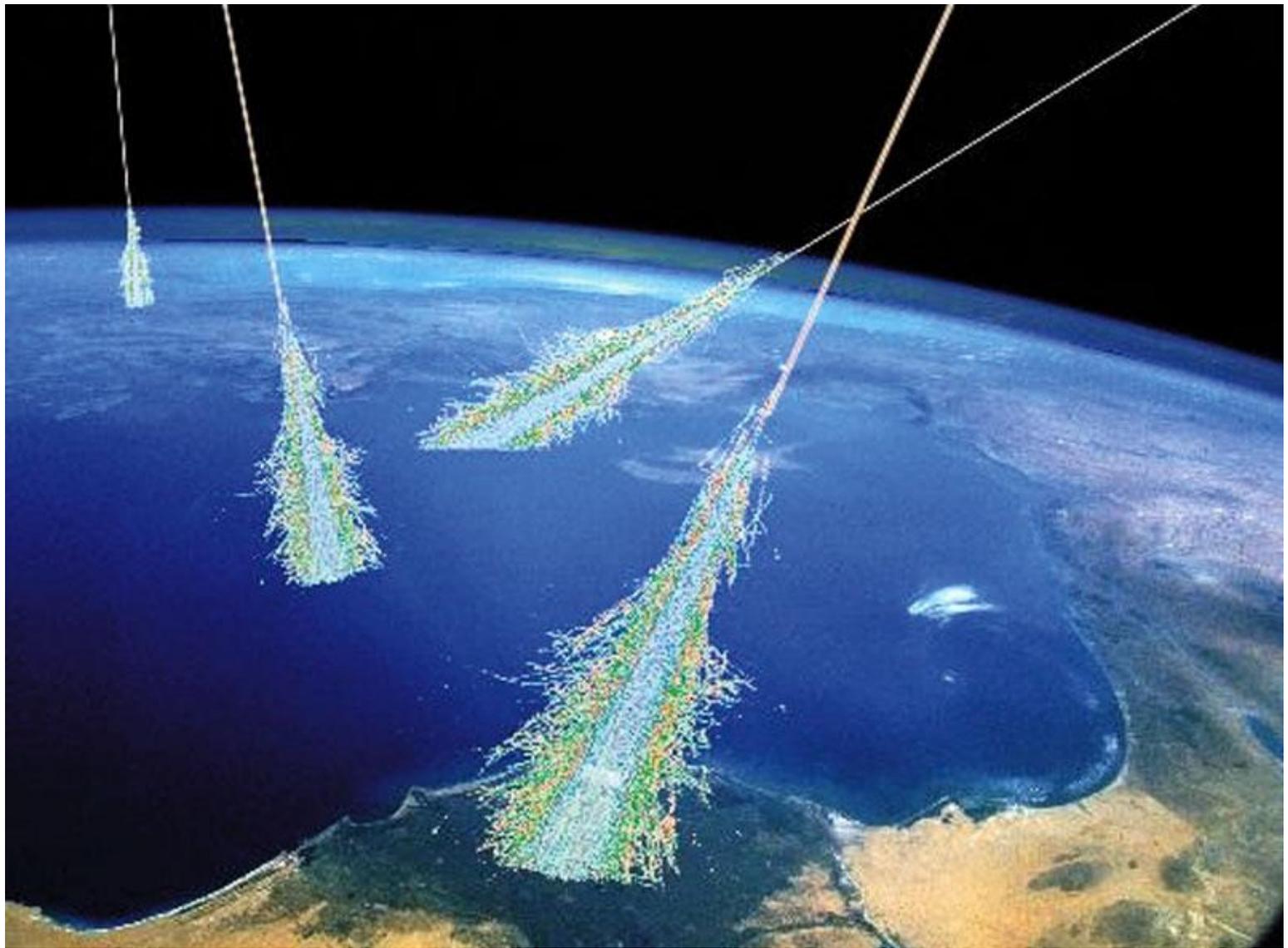
- **Первичное космическое излучение состоит из протонов (90 %), и α -частиц (7%).**

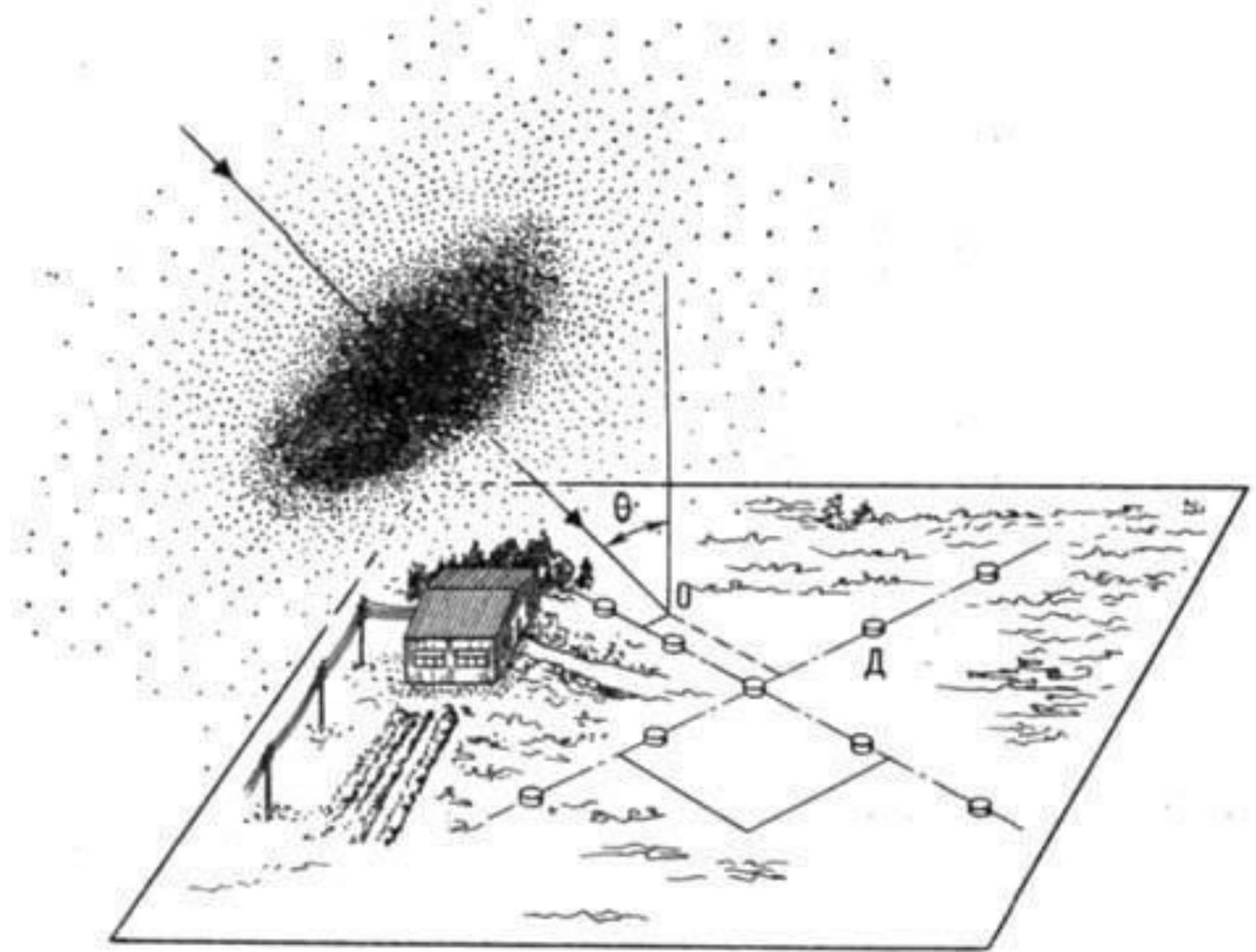




**Вторичное космическое
излучение образуется при
взаимодействии первичного
космического излучения с
нуклидами, входящими в
состав воздуха. Процесс этого
взаимодействия
лавинообразный.**

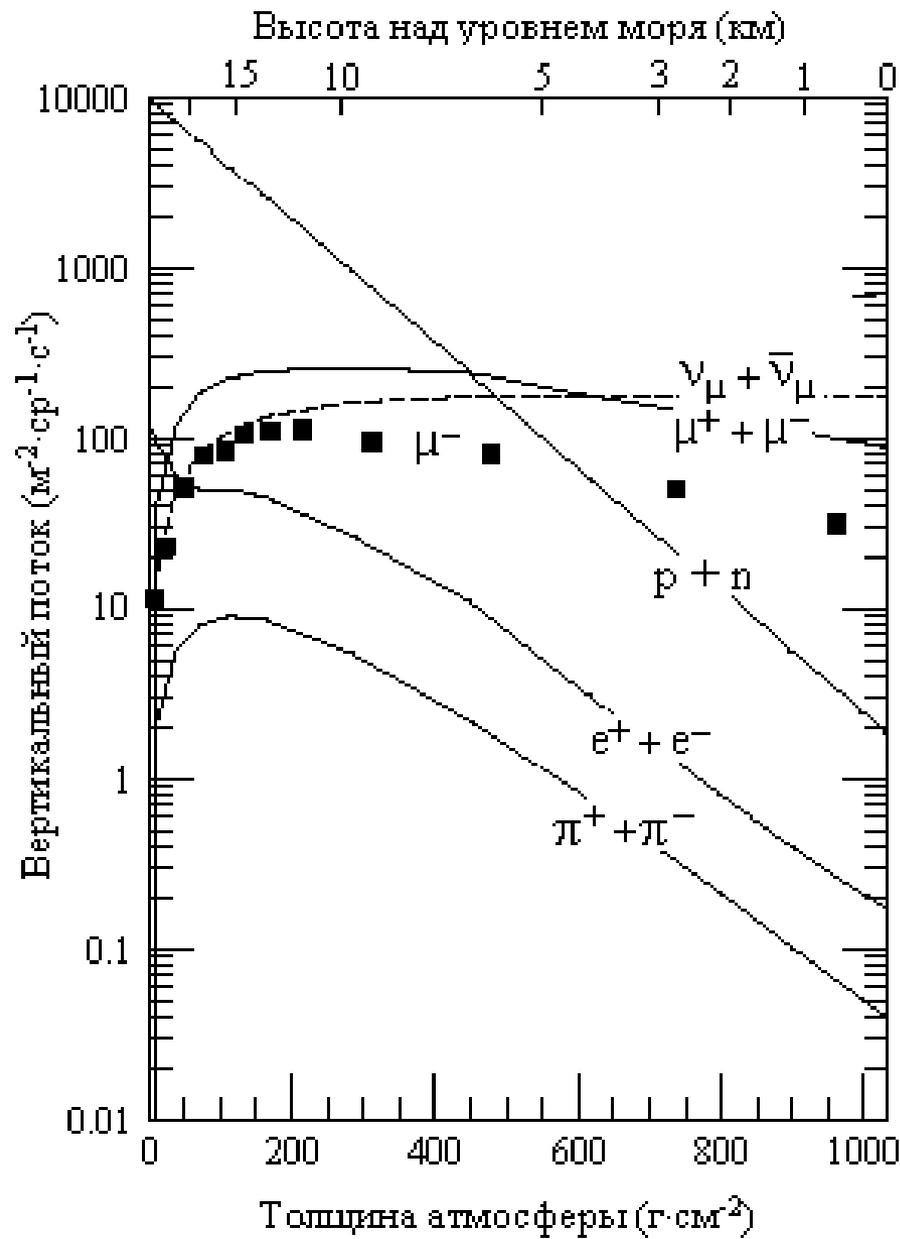






**Вторичное космическое
излучение состоит в основном
из фотонов, электронов,
позитронов и μ - мезонов
(энергия частиц до 600 МэВ).**

- **Максимальная интенсивность вторичного космического излучения наблюдается на высоте 20 – 25 км.**
- **Минимум – на уровне моря.**
- **На высоте 45 км преобладает первичное космическое излучение.**



- **Суммарная эквивалентная доза, создаваемая всеми компонентами космического излучения на уровне моря, примерно равна 0,35 мЗв/год.**

Высота	Мощность погл. дозы, <i>мкГр/ч</i>	Мощность экв. дозы, <i>мкЗв/ч</i>	Среднего довая доза, <i>мЗв</i>
Средние широты (уровень моря)	0,032	0,035	0,3
1,5 – 2 км	0.07	–	–
4 км	0,14	0,2	1,75
8848 м (Эверест)	0,84	1,0	8,0
10 – 12 км (реактивный самолет)	3,01	5	–
Сверхзвуковой самолет (20 км)	8,72	13.0	–
То же в момент вспышки на Солнце	4000 – 40000	–	–

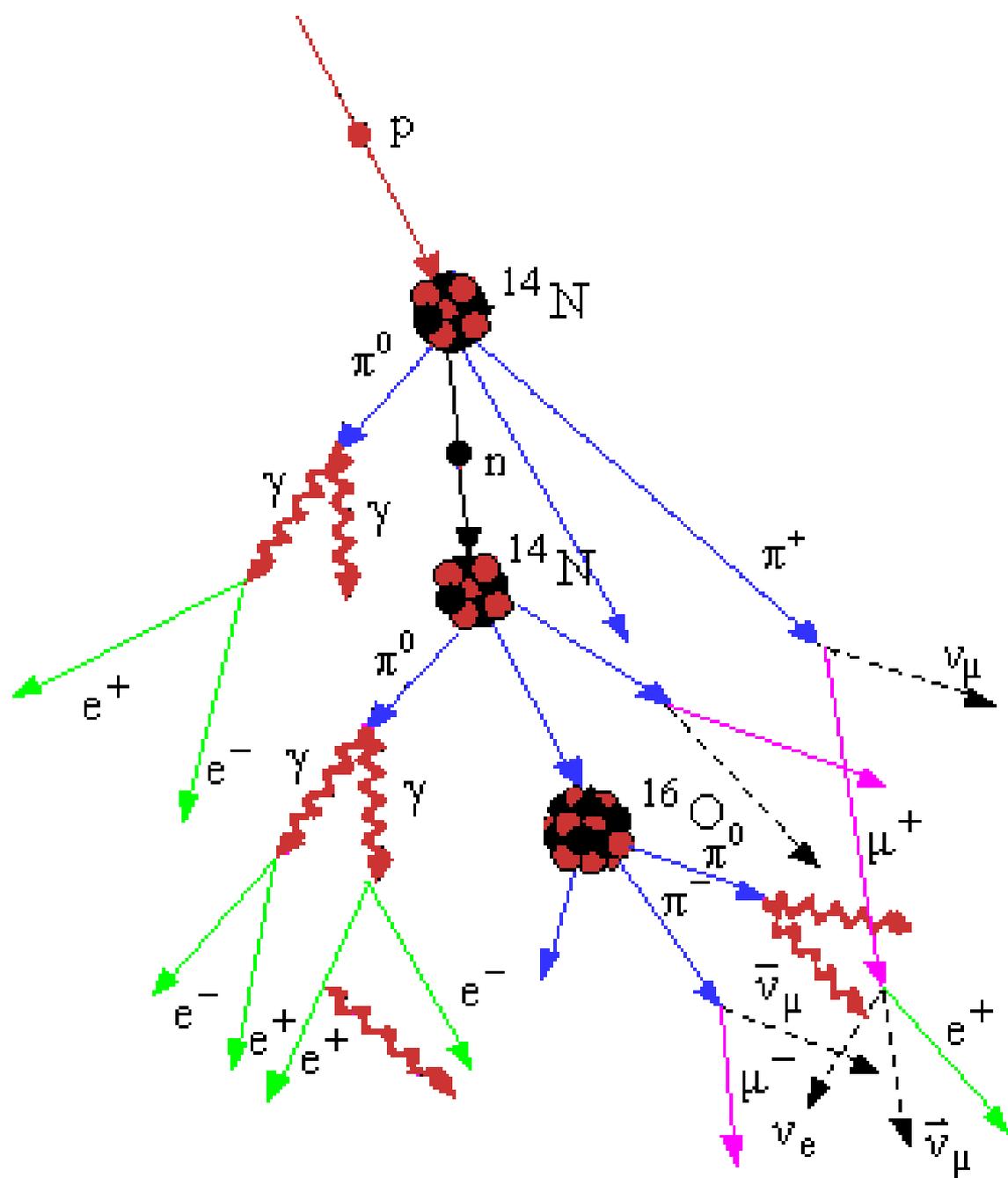
Природная радиоактивность

1. Радиоактивные изотопы, входящие в состав четырех радиоактивных семейств, с родоначальниками ^{232}Th , ^{238}U , ^{235}U , (или ^{239}Pu), ^{237}Np .



- **2. Радиоактивные элементы, относящиеся к средней части таблицы Менделеева. Их одиннадцать: ^{40}K , ^{48}Ca , ^{87}Rb , ^{96}Zr , ^{115}In , ^{138}La , ^{142}Ce , ^{144}Nd , ^{149}Nd , ^{147}Sm , ^{176}Lu .**
- Эти нуклиды образовались в результате первичных процессов формирования нашей планеты. Они сохранились до наших дней благодаря большим периодам полураспада.

3. Космогенные радионуклиды – радиоактивные изотопы, непрерывно возникающие на Земле в результате ядерных реакций под воздействием космического излучения.
Это: ^3H , ^4He , ^{14}C , ^{22}Na , ^{35}P , ^{35}S , ^{36}Cl , ^{39}Cl , ^{85}Kr и др.



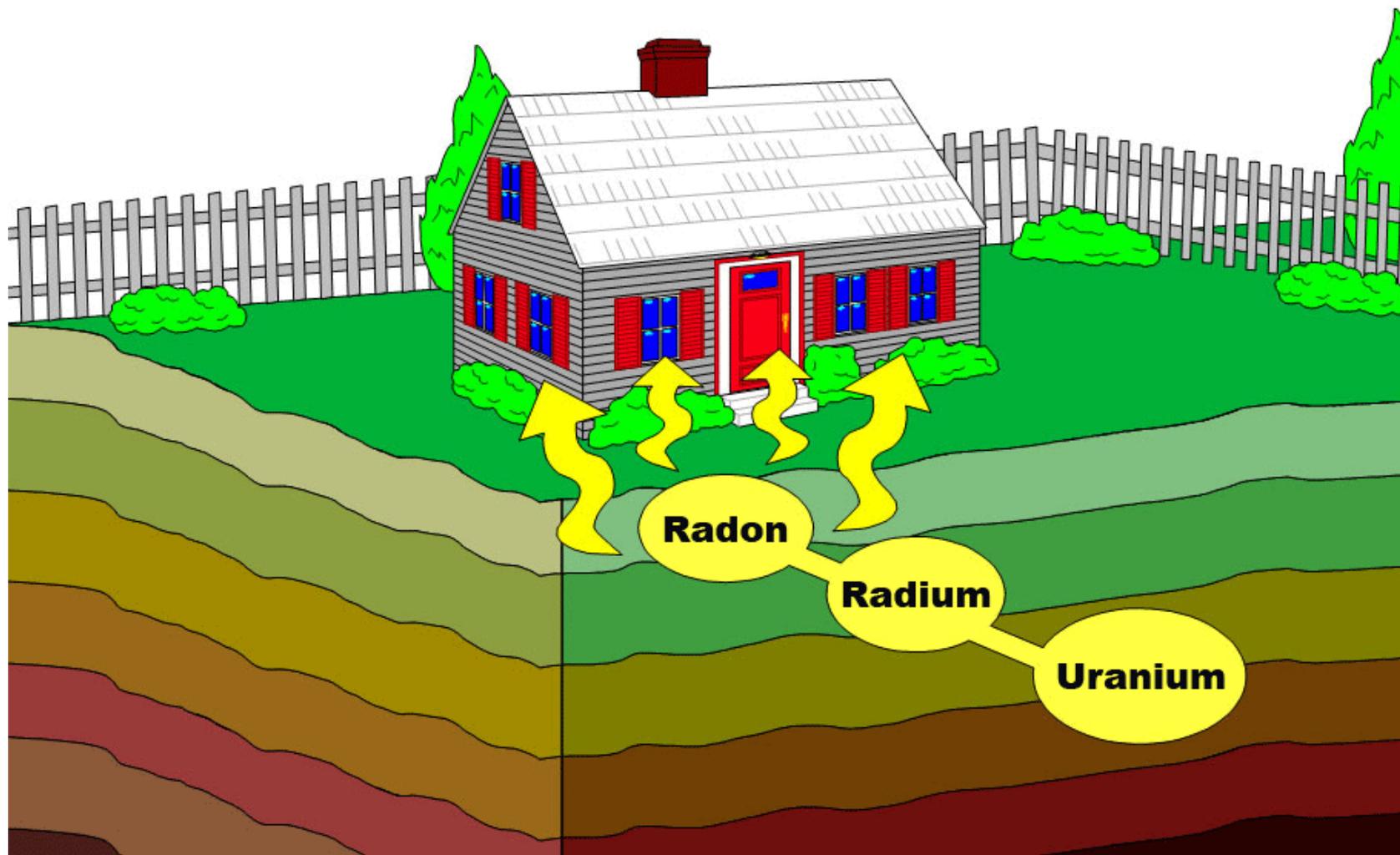
- **Наиболее важные из космогенных радионуклидов, вносящих заметный вклад в естественный радиоактивный фон, это ${}^3_1\text{H}$ (тритий) и ${}^{14}_6\text{C}$ (углерод-14).**

Земные источники Радон-222.

В семействе урана – радия
наибольшую активность имеет
продукт распада радия радон
 ${}_{86}\text{Rn}^{222}$.

Период полураспада $T = 3.82$ сут.

- При распаде радона в воздухе появляются электрически заряженные коротко- и долгоживущие альфа- и бета-активные аэрозоли полония, висмута и свинца.
- Процесс их нейтрализации в воздухе на 90 % происходит на пылинках размером менее 5 мкм.



Бета-активность воздуха обусловлена преимущественно генетически связанными изотопами свинца-214 и висмута-214, альфа-активность – изотопами радона и полония.

DANGER



RADON GAS

JANUARY IS

NATIONAL

RADON

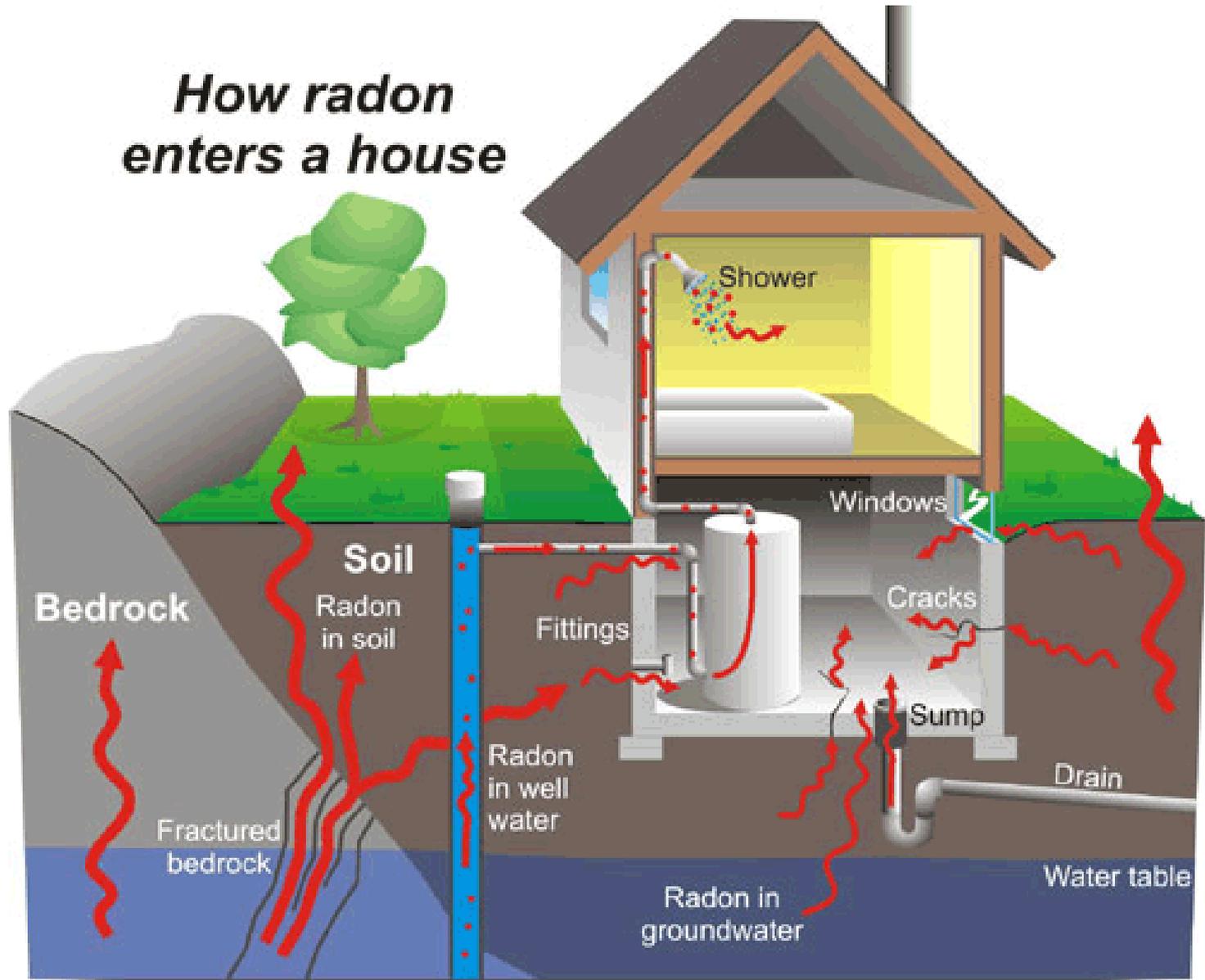
ACTION MONTH



Learn how you can Test, Fix, Save a Life

Радон вместе со своими дочерними продуктами радиоактивного распада ответствен, примерно, за 3/4 годовой индивидуальной эффективной эквивалентной дозы, получаемой населением от земных источников радиации, и примерно половину этой дозы от всех источников радиации естественного происхождения.

How radon enters a house





Санаторий «Радон» в Хмельнике



Тип помещения и условия вентиляции	Концентрация радона, 10^{-12} , Ки/л
Хорошо проветриваемые помещения с воздушным кондиционированием	0,06 – 0,35
Квартиры в кирпичных домах с воздушным кондиционированием	0,01 – 0,19
Квартиры в деревянных домах	0,03 – 1,7
Кирпичные дома: – нижние этажи – верхние этажи	1,5 – 2,9 0,7 – 1,0
Каменные дома	2,3 – 5,8
Дома из шлаковых панелей	4,0 – 8,0
Подвальные помещения с плохой вентиляцией	3,6 – 7,8

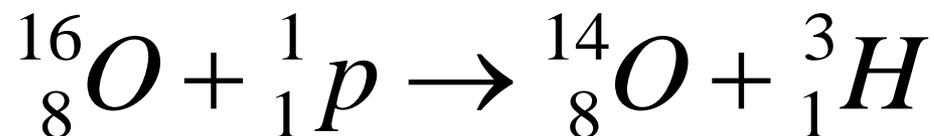
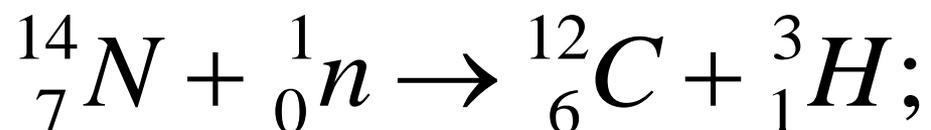
Природные источники облучения



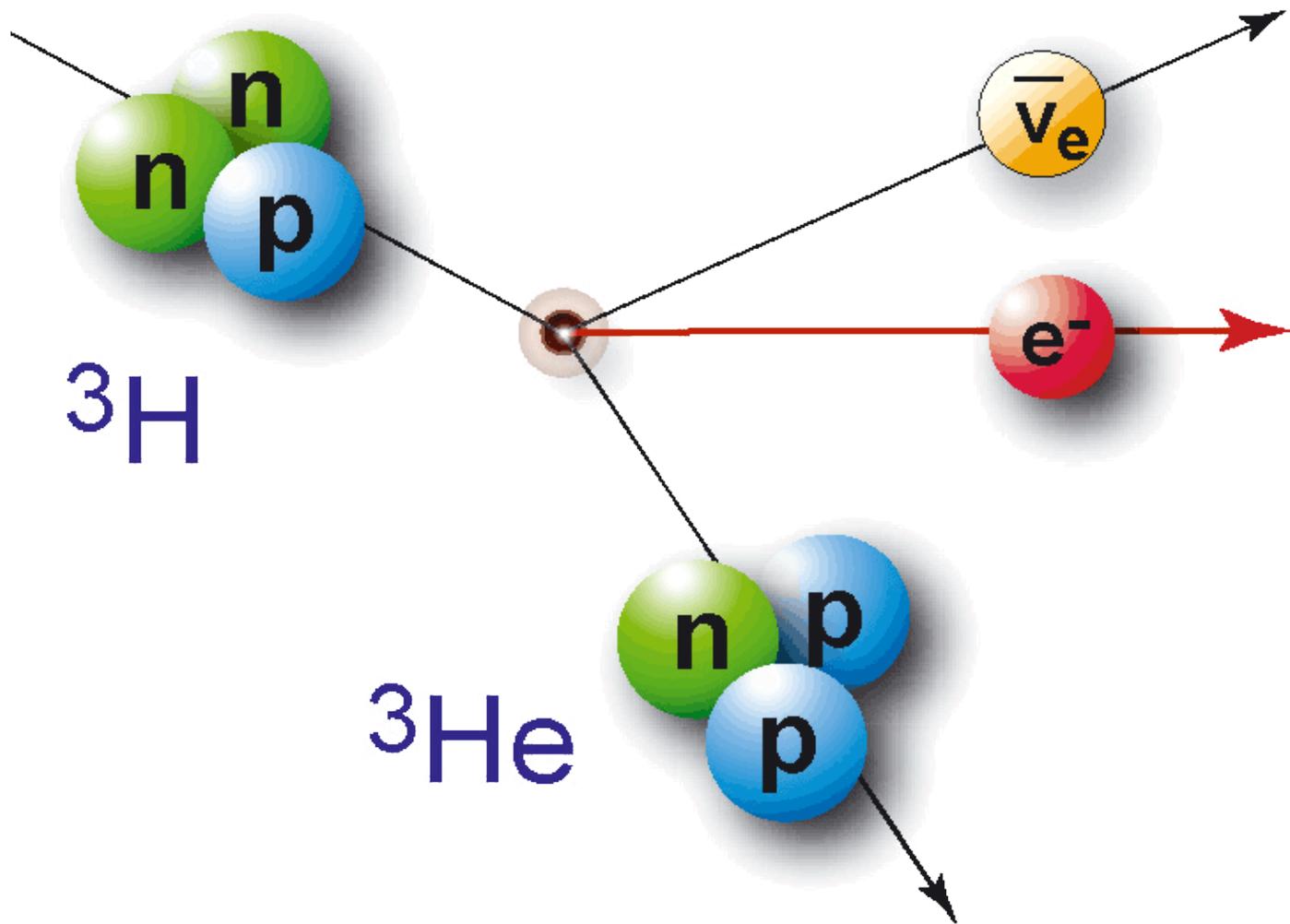
Строительный материал	Страна	Активность, <i>Бк/кг</i>		
		$^{40}_{19}K$	$^{222}_{88}Rn$	$^{232}_{90}Th$
Кирпич	ФРГ	330	280	230
Бетон, содержащий глинистые сланцы	Швеция	850	1500	70
Фосфогипс из фосфоритов	ФРГ	110	600	5
Фосфогипс	Великобритания	70	800	20
Фосфогипс	США	—	1500	7
Шлак силиката кальция	Канада	—	2150	—
Шлак силиката кальция	США	—	1400	—
Шлак из доменной печи	Россия	240	70	20
Гранит	Россия	1250	1000	2000

Тритий ${}^3\text{H}$.

Другим газообразным радиоактивным изотопом является изотоп водорода тритий ($T = 12.3$ года). **Образуется в верхних слоях атмосферы под воздействием нейтронов и протонов в результате реакций:**



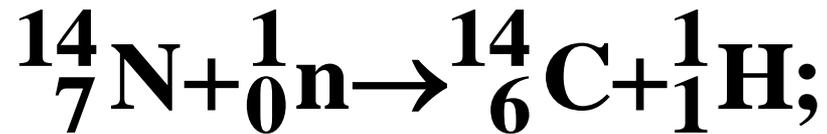
Тритий – чистый бета-излучатель. В процессе распада образуется гелий-3.



Углерод ^{14}C

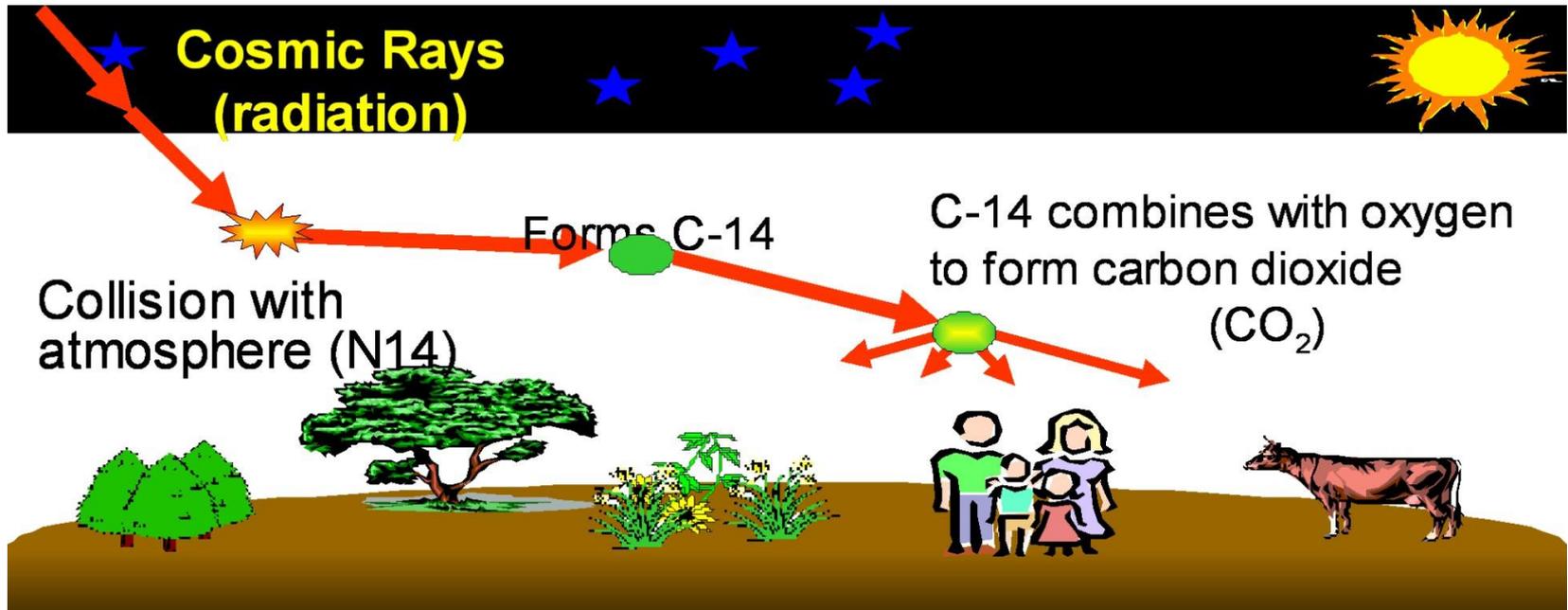
Наибольший интерес из радиоактивных изотопов углерода представляет долгоживущий изотоп углерод-14.

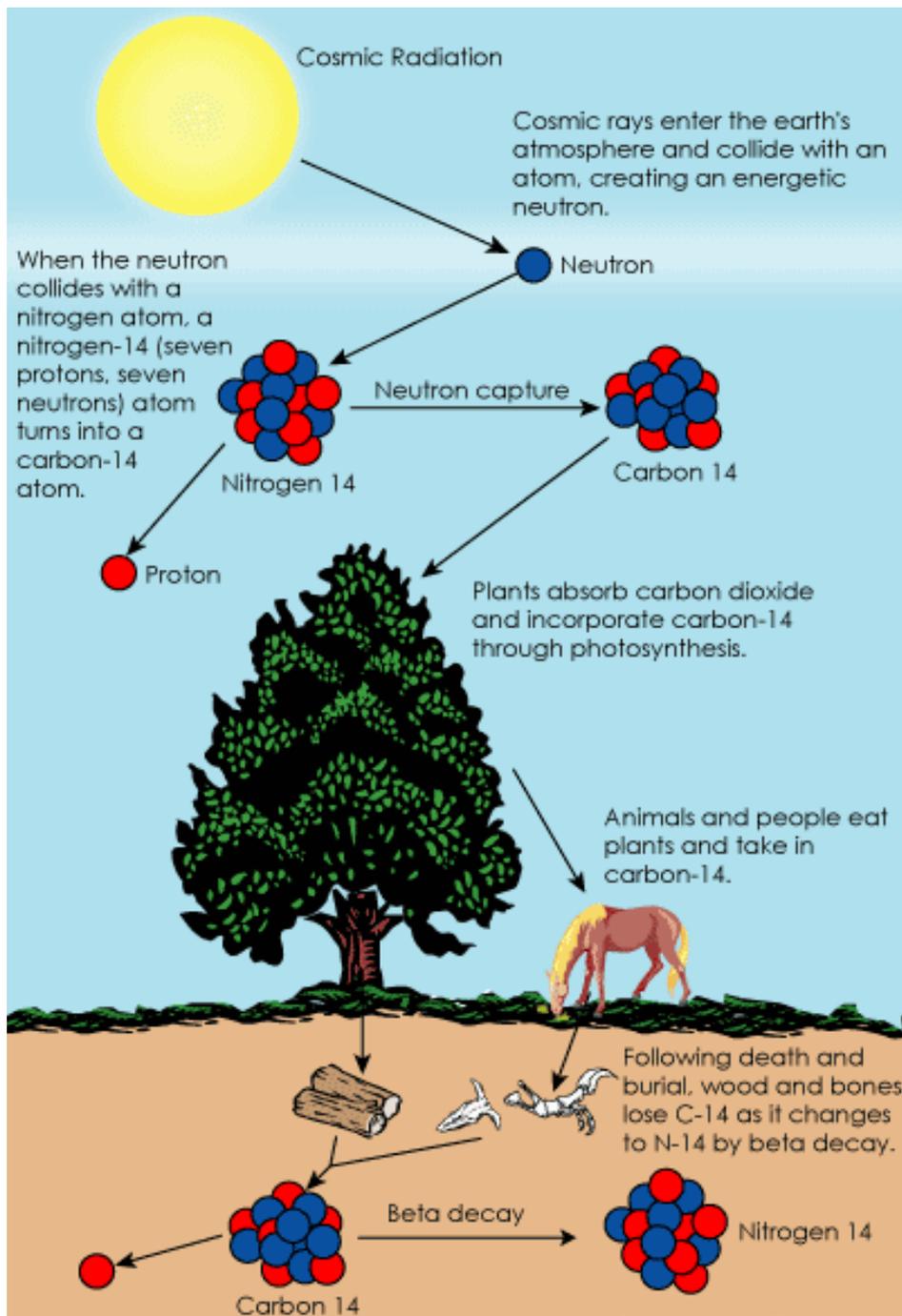
Период полураспада составляет около 5700 лет. Как и тритий, этот изотоп – космогенный.



Ежегодно образуется около 10 кг углерода-14, общее содержание его на Земле составляет 80 т.

How Carbon-14 Is Produced







Радиоуглеродное датирование

Калий ^{40}K .

Для биологических объектов калий является макроэлементом. Он абсорбируется растениями из почвы, попадает при питании в организмы животных.

Калий необходим для работы функционально активных органов и тканей: сердца, скелетной мускулатуры, нервной ткани.

Изотоп калий-40 составляет долю лишь в 0,01 % от всех изотопов калия, период его полураспада $T = 1,3 \cdot 10^9$ лет.







Калий-40 является бета и гамма – излучателем. Природная активность его высока, $8.9 \cdot 10^{-9}$ Ки/кг. Удельная активность растительных и животных продуктов на 2-3 порядка меньше.

Радиоактивность воды и горных пород

Название реки	Твердый сток, 10^6 т	Ориентировочная активность твердого стока, Ки
Волга	18	54
Дон	7	21
Дунай	84	246
Янцзы	253.2	760
Миссисипи	380	1140
Инд	446.2	1340

В отдельных районах земного шара отмечаются зоны с повышенным содержанием радиоактивных элементов в горных породах и почвах. Такие зоны обнаружены в районах Памира и Тибета, на территориях Бразилии, Индии и Франции.

Так, в Индии в штате Керала, на территории которого проживает около 100000 человек, в породе отмечается высокое (до 1 %) содержание тория и его дочерних продуктов. В районах Франции, Памира и Тибета отмечается высокое содержание урана и радия в породах вулканического характера.



Район наблюдения	Численность населения, чел.	Погл. доза, мГр
Штаты Керала и Мадрас (Индия)	100000	1,3 – 28
Штаты Рио-де-Жанейро и Эспириту-Санту (Бразилия)	30000	до 100
Штаты Минас-Энейрас и Гояс (Бразилия)	–	до 120
Остров Ниуэ (Тихий океан)	4500	до 10
Районы Франции	7000000	1,8 – 3,5

Радиоактивность растительного и природного мира

Продукт	Содержание калия, %	Удельная активность, $\times 10^{-9}$ Ки/кг
Пшеница	0.5	4.0
Рожь	0.6	4.8
Горох	0.9	7.4
Крупа гречневая	0.13	1.1
Картофель	0.45	3.5
Морковь	0.29	2.3
Лук	0.15	1.2
Огурцы	0.34	2.1
Лимон	0.17	1.14
Клюква	0.15	1.2
Говядина	0.37	2.3
Свинина	0.1	0.9
Рыба	0.26	2.1
Икра	0.42	3.4
Молоко коровье	0.14	1.2
Масло	0.014	0.1

Радиоактивность человека

Содержание естественных радиоактивных изотопов
в теле человека

<u>Радиоактивный</u> изотоп	Содержание радиоактивного изотопа, кг	Радиоактивность, Ки
^{40}K	$8.3 \cdot 10^{-6}$	$6 \cdot 10^{-7}$
^{14}C	$2 \cdot 10^{-6}$	$8.9 \cdot 10^{-8}$
^3H	$8 \cdot 10^{-6}$	$7.6 \cdot 10^{-11}$
^{238}U	$5 \cdot 10^{-9}$	$1.1 \cdot 10^{-11}$
^{238}U	$7 \cdot 10^{-9}$	$7.9 \cdot 10^{-12}$
^{238}U	$7 \cdot 10^{-7}$	$2.4 \cdot 10^{-10}$

Суммарное содержание калия в организме взрослого человека (массой 70 кг) составляет 0.19 % (130 г).

Орган или ткань	Содержание калия, %	Удельная радиоактивность, $\times 10^{-9}$ Ки/кг
Мышцы	0.300	2.9
Головной мозг	0.330	2.4
Печень	0.215	1.7
Легкие	0.150	1.2
Жировая ткань	0.060	0.5
Костная ткань	0.061	0.5

Общее содержание углерода в теле взрослого человека примерно равно 12,6 кг. Учитывая равномерное распределение углерода в тканях, можно считать, что удельная радиоактивность их по углероду-14 составляет $1.4 \cdot 10^{-9}$ Ки/кг.

В легкие человека, выкуривающего одну пачку сигарет в сутки, этого углерода-14 поступает в сто раз больше, чем у некурящих людей .



**Годовая эквивалентная доза от естественных источников радиации для различных органов человека
мЗв**

Облучение	Гонады	Красный костный мозг	Эндост. клетки костной ткани	Легкие
Внешнее	0.63	0.63	0.63	0.63
Внутреннее	0.35	0.49	1.58	6.87
Сумма	0.98	1.12	2.21	7.5

- Удельная активность трития составляет для мягких тканей $1.5 \cdot 10^{-11}$ Ки/кг, а для костей – $0.92 \cdot 10^{-11}$ Ки/кг.
- Других радионуклидов в организме человека заметно меньше. Можно отметить радий (накапливается в костях) и полоний, роль которого невелика.

6.2. Искусственные источники радиации

Тепловые электростанции

Область производства	Доза, чел-Зв
Сжигание угля: на электростанциях	2000
в жилых домах	10000
Сжигание: нефти на электростанциях	100
природного газа на электростанциях	3
Использование: фосфатных удобрений	7000
фосфогипса в жилых домах	600000



Угольная электростанция

- **Использование калийных и фосфатных удобрений в сельском хозяйстве, а также строительных материалов содержащих радионуклиды (гранит, фосфогипс, шлакобетон) также повышает дозовую нагрузку населения.**







СУЛЬФАТ КАЛИЯ

КАЛИЙ (K_2O) - 50%

удобрения
для садов и огородов

**БУЙСКИЕ
УДОБРЕНИЯ**



promplace.ru

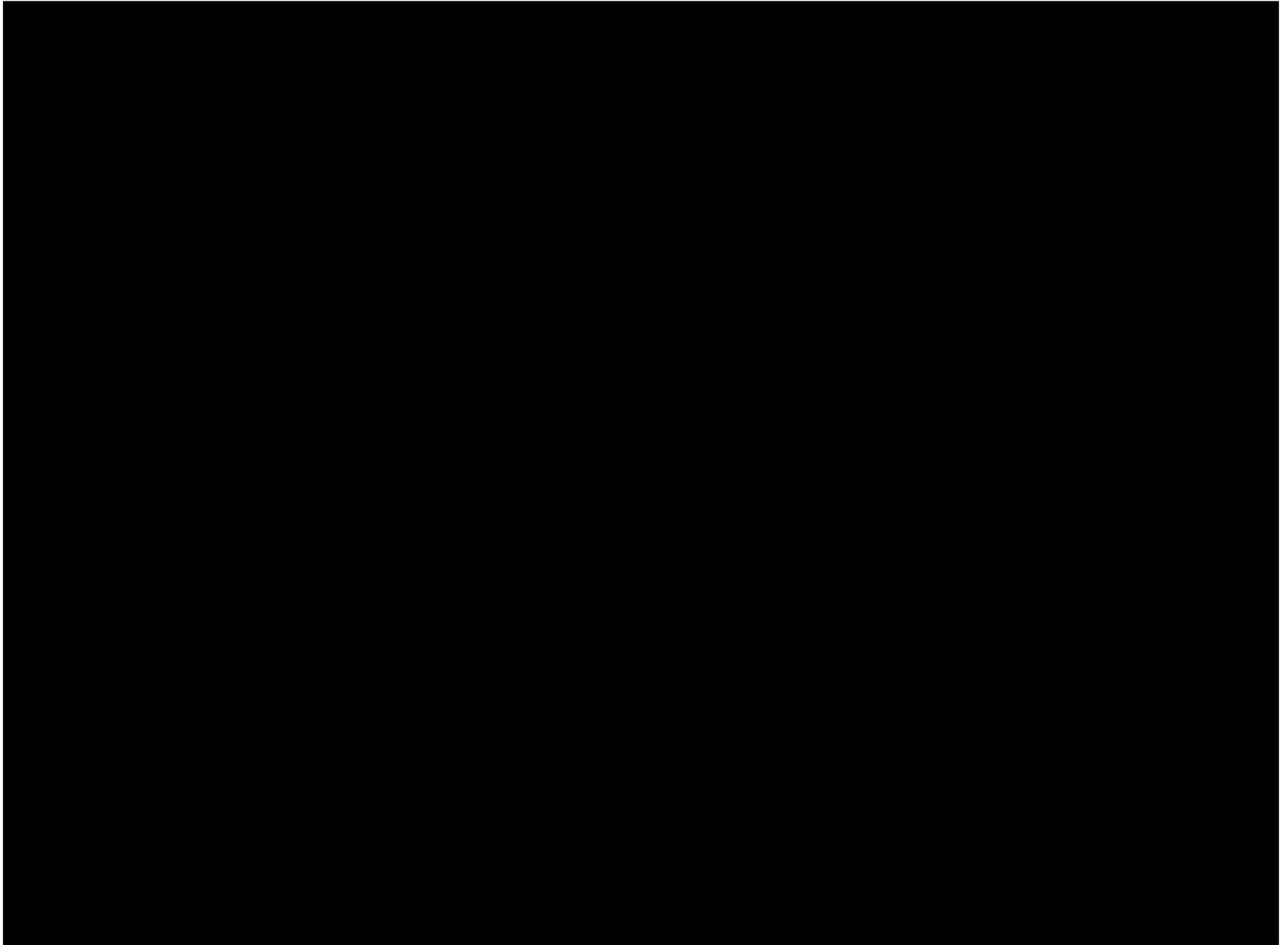
Испытания ядерного оружия

С 1945 по 1980 годы в атмосфере было произведено 450 атомных и термоядерных взрывов.

При этом 90 % мощности всех взрывов было реализовано в 1952 – 1962 годах.





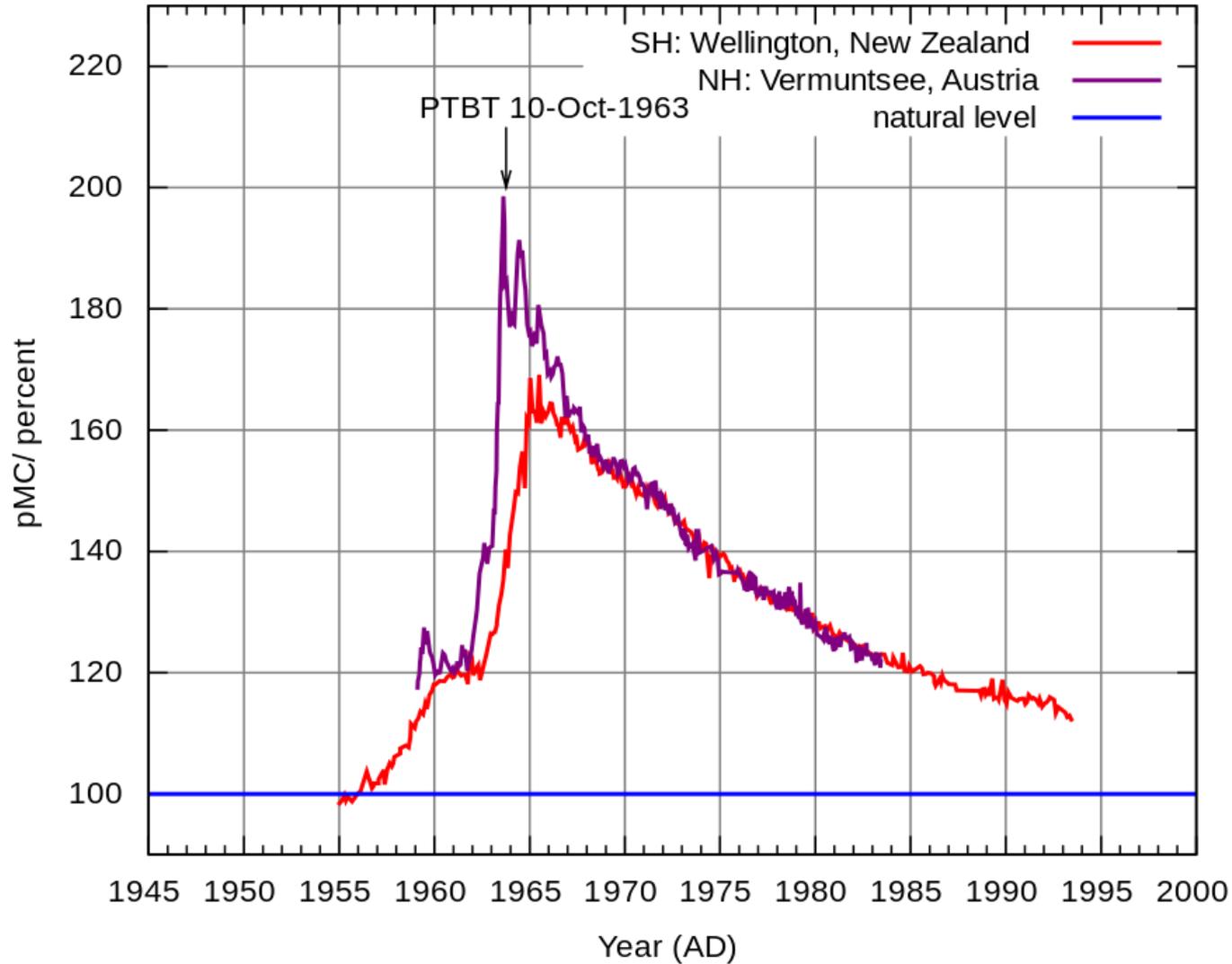




За время испытаний ядерного оружия в биосферу поступило следующее количество долгоживущих продуктов:

^3H – $2.4 \cdot 10^{20}$ Бк, ^{14}C – $2.2 \cdot 10^{27}$ Бк,
 ^{90}Sr – $6 \cdot 10^{17}$ Бк, ^{95}Zr – $1.4 \cdot 10^{20}$ Бк,
 ^{106}Ru – $1.2 \cdot 10^{19}$ Бк, ^{137}Cs – $9.1 \cdot 10^{17}$ Бк,
 ^{144}Ce – $3 \cdot 10^{19}$ Бк, ^{239}Pu – $6.5 \cdot 10^{15}$ Бк

Содержание углерода-14 в воздухе



- **Договор о запрещении испытаний ядерного оружия в атмосфере, космическом пространстве и под водой (также известен как *Московский договор*) был подписан 5 августа 1963 года в Москве.**

Облучение в медицине

В медицине радиация применяется для *диагностики и лечения* заболеваний.

Диагностика проводится при помощи *рентгеновского излучения* (рентгенография, компьютерная томография, флюорография и т.д.)







Средние дозовые нагрузки при рентгеновских исследованиях

Рентгенография зуба	0,03 мЗв
Рентгенография легких	0,02 – 0,08 мЗв
Рентгенография кишечника	0,3 мЗв
Рентгенография сердца и легких	0,2 мЗв
Рентгенография желудка	1,1 мЗв
Рентгенография толстой кишки	4,8 мЗв
Рентгенография органов деторождения	3,3 мЗв
Рентгеноурология	5,6 мЗв
Рентгенография брюшной полости	1,4 мЗв



Памятник рентгенологам и радиологам.
Гамбург, 1936 г.



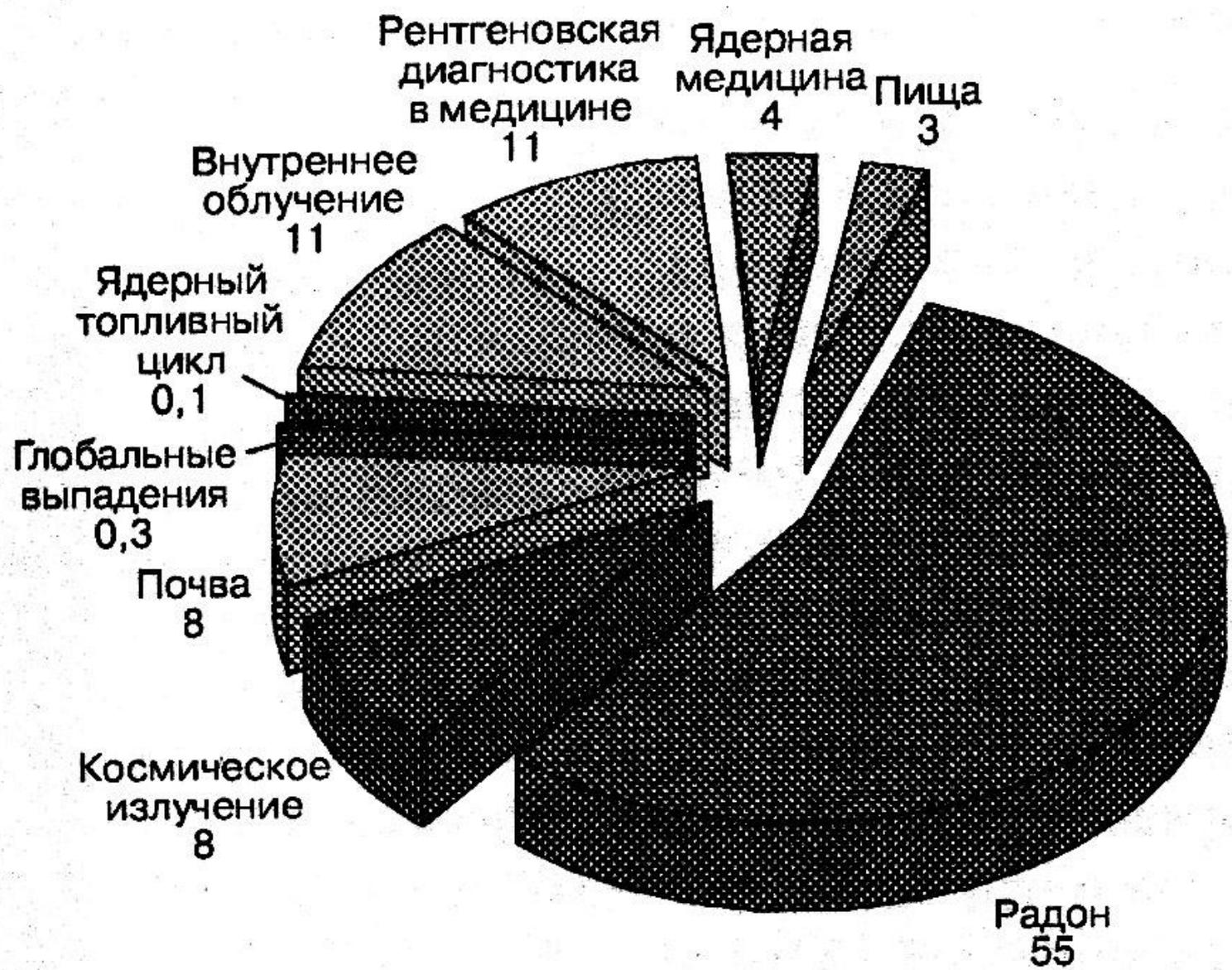
www.rusotdla.ru



- Также в медицине ядерное излучение применяется для *лечения раковых опухолей (онкологических заболеваний) – лучевая терапия (радиотерапия)*.
- Раковые клетки более чувствительны к радиации, чем здоровые.



- **Суммарные локальные дозы для каждого облучаемого человека довольно велики (20 – 60 Гр), однако их получает небольшое число людей.**







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

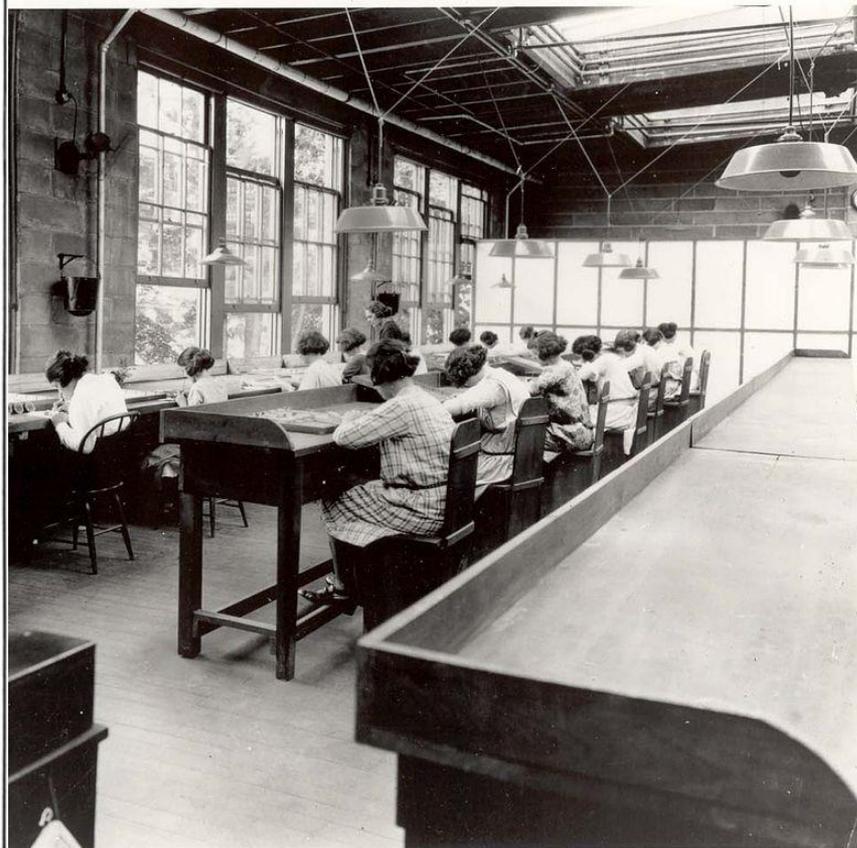
Radium Luminous Material

Shines in the Dark

To Manufacturers

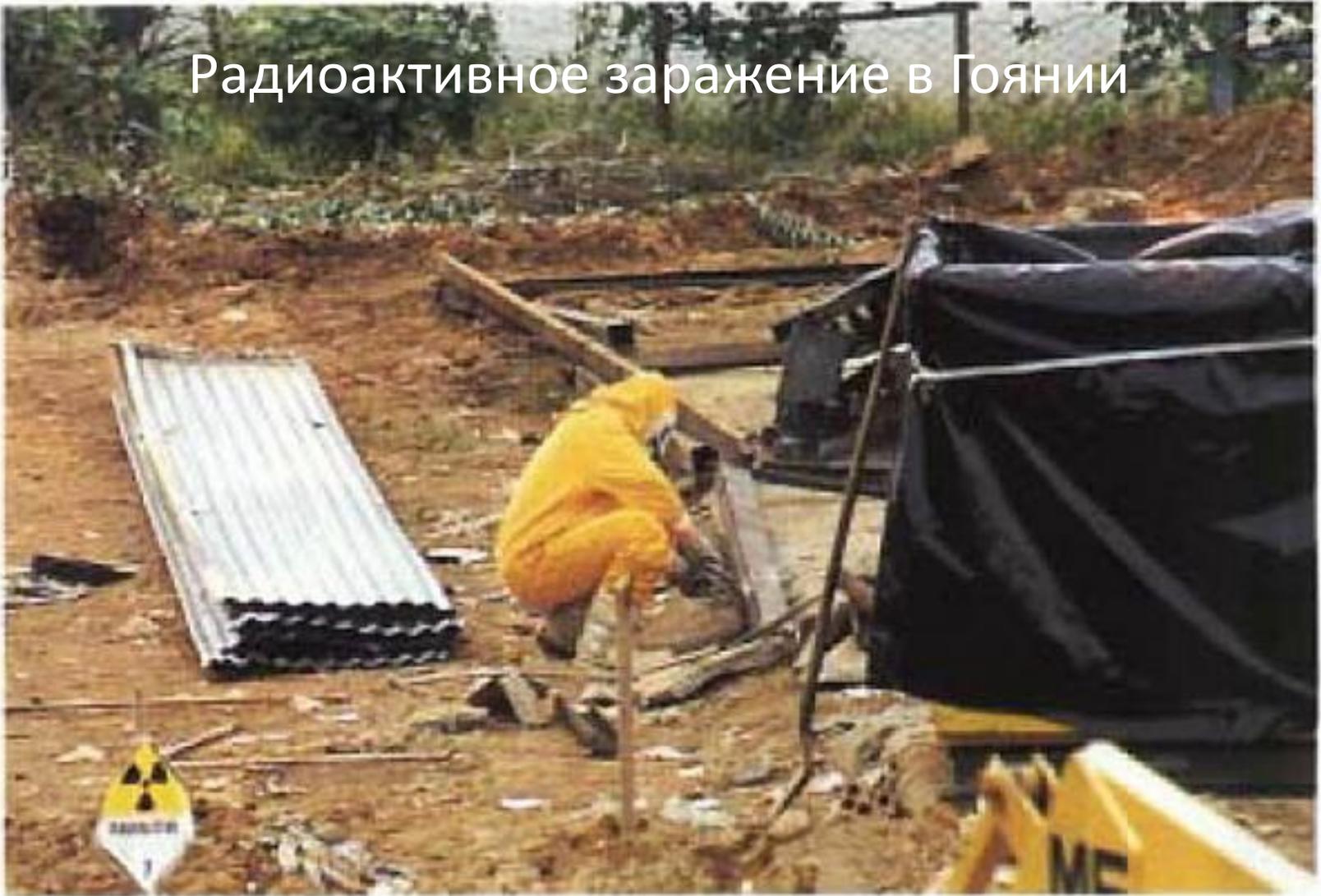
The number of manufactured articles to which Undark will add increased usefulness is manifold. From a sales standpoint, it has many obvious advantages. We gladly answer inquiries from manufacturers and, when it seems advisable, will carry on experimental work for them. Undark may be applied either at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

Радиоактивное заражение в Гоянии



Среднегодовые эффективные эквивалентные
дозы облучения
от естественных и искусственных
источников радиации

Источники радиации	Доза облучения, мЗв
Естественные	2
Искусственные источники в медицине	0,4
Радиоактивные осадки	0,02
Атомная энергетика	0,001
Всего	2,4

Радиация на производстве

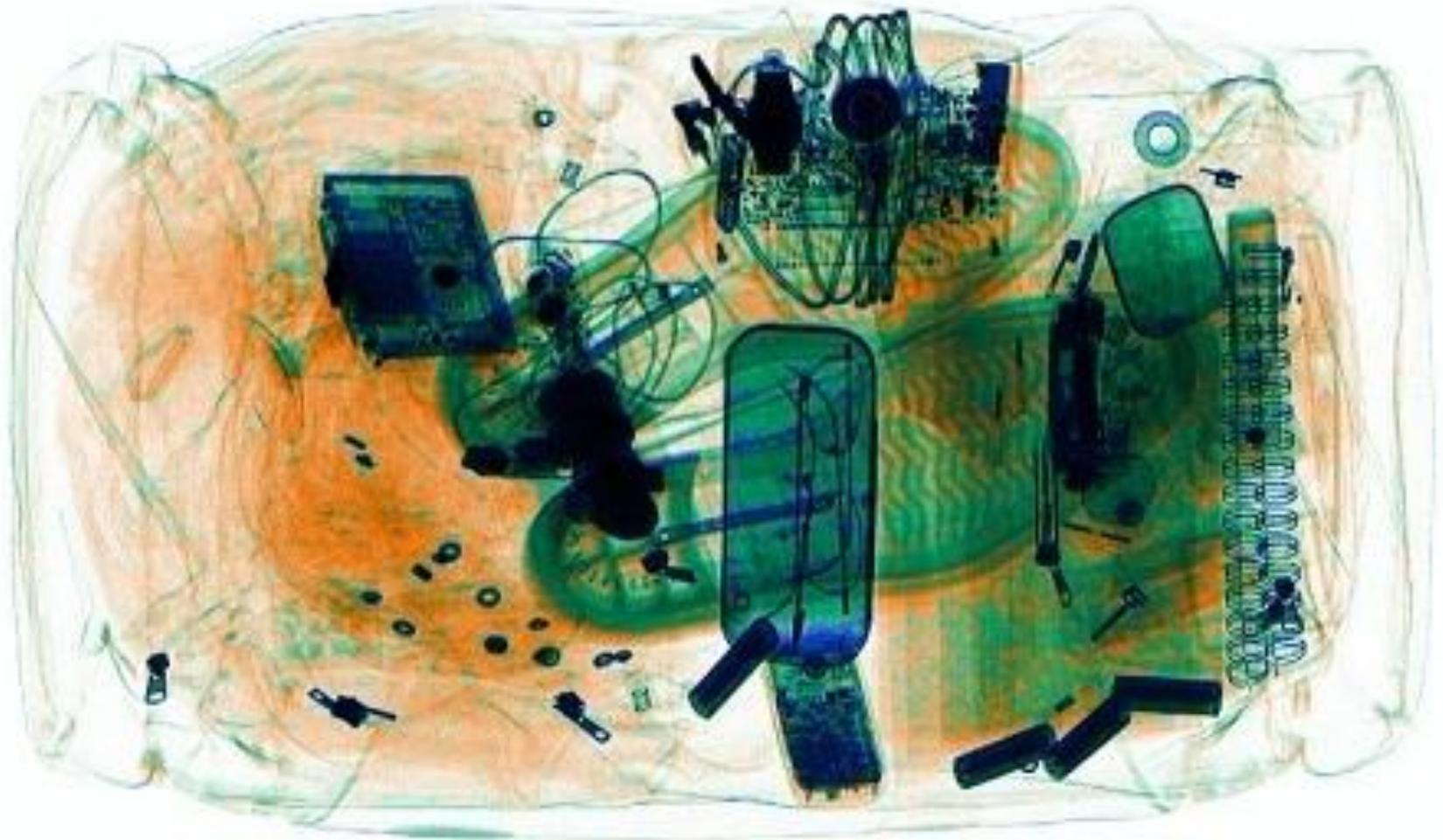


- Рентгеновская и гамма-дефектоскопия





- Рентген в аэропорту

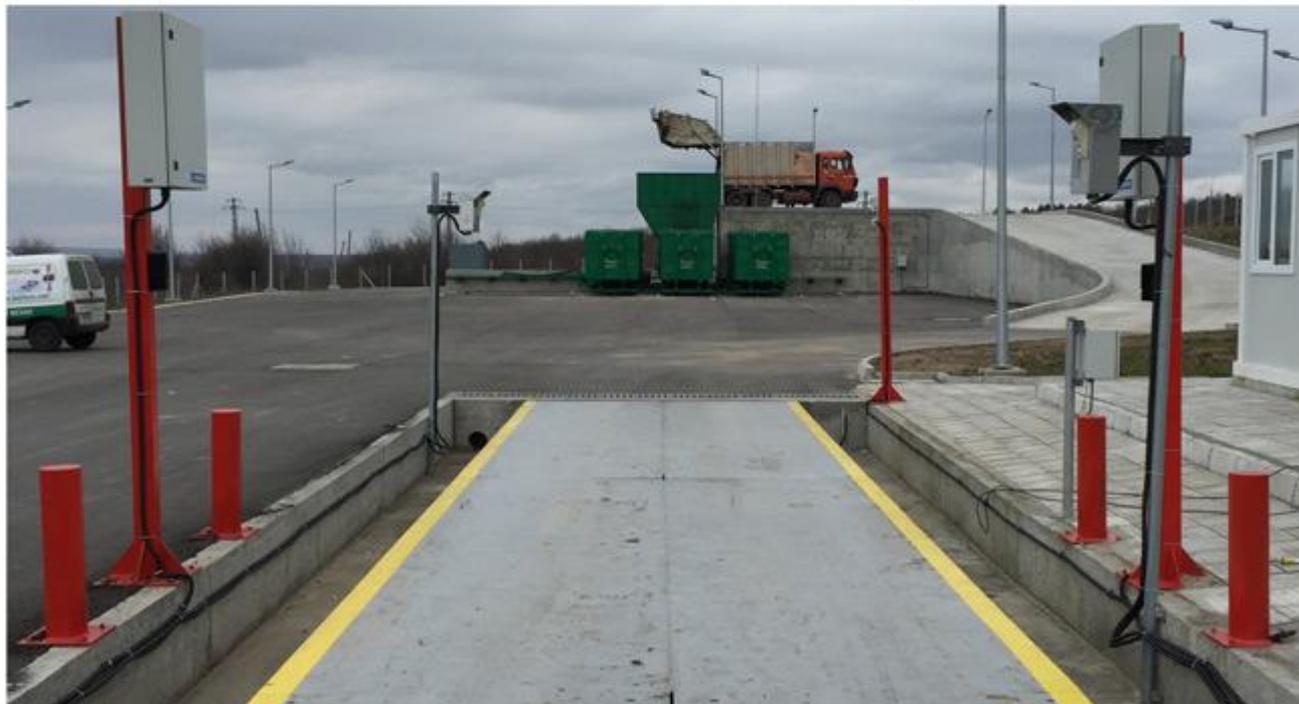




Контроль
металлолома







**Дозы, получаемые населением бывшего СССР
от различных источников в течение года
неаварийного облучения**

Источники излучения	Доза, мЗв
1. Естественный природный фон в среднем (колебания фона)	2.0 (0.7 – 13)
2. Медицинская рентгенодиагностика в среднем (колебания)	1.5 (0.03 – 6)
3. Строительные материалы (кирпич, гранит, бетон и др.) в среднем (колебания)	1.0 (0.5 – 1.5)
4. Дополнительные источники облучения	0.11 – 0.16
в том числе:	
- телевидение (4 часа в день)	0.01
- ТЭС (1 МВт) на угле в радиусе 20 км	0.006 – 0.06
- АЭС (все действующие, 12 ГВт)	0.00017
- полеты на высоте 12 км	0.005
- глобальные осадки от испытаний ядерного оружия	0.025
(в т.ч. к концу 2000 года)	0.08 – 0.088
прочие	0.005-0.006