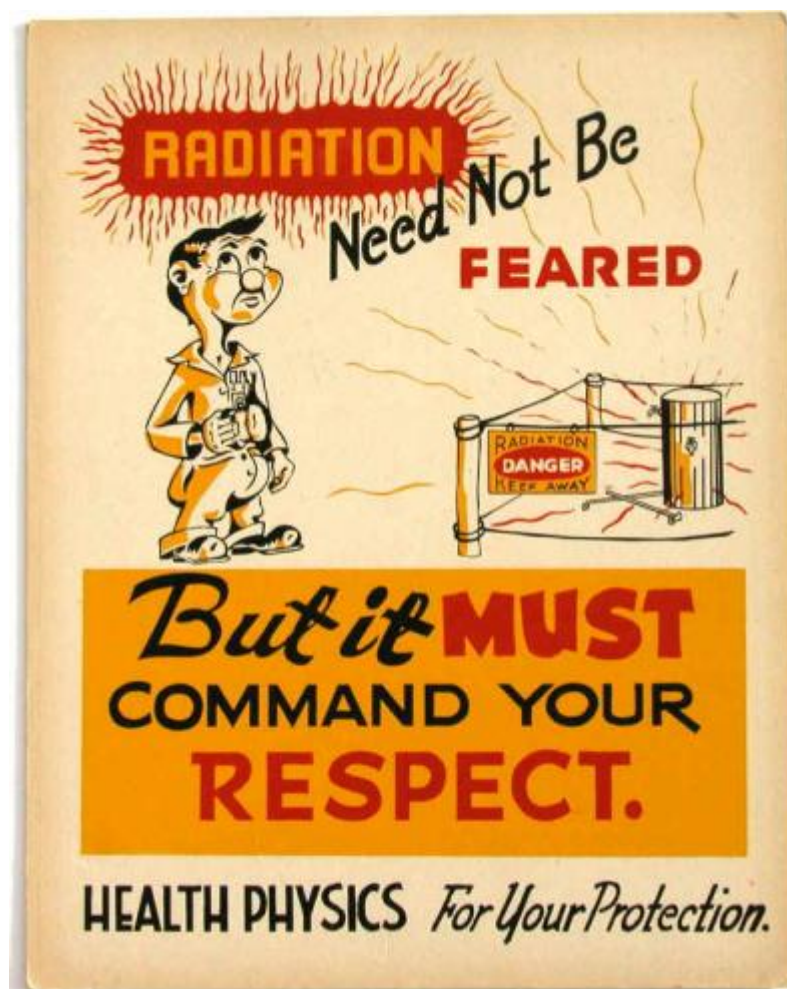


Рентгенозащитные экраны и наночастицы



"Радиации не нужно бояться, но ее нужно уважать"

Специалисты, работающие с рентгеновским излучением, нуждаются в надежных экранах, защищающих от его вредного воздействия. Традиционно рентгенозащитные экраны изготавливали из металлического свинца либо путем нанесения его соединений на поверхность пластика, стекла и других материалов (помимо свинца применяли также и другие тяжелые металлы). С развитием нанотехнологий появился новый способ: наночастицы рентгенопоглощающего вещества распределяются в объеме пластика, который затем используется для изготовления защитных экранов, фартуков и прочих защитных предметов любой формы. Большое преимущество такой технологии - прозрачность рентгенопоглощающего пластика для видимого света, если размер наночастиц меньше длины волны видимого света.

1. Почему для изготовления экранов, защищающих от рентгеновского излучения, используют тяжелые металлы или их соединения?

2. Материалы с распределенными в объеме наночастицами оксида свинца безопаснее материалов с нанесением из оксида свинца на поверхность. Назовите две возможные причины этого.

3. Предложите способ получения наночастиц оксида свинца PbO из металлического свинца. Напишите уравнения реакций и укажите условия их проведения.

4. Рассчитайте, во сколько раз пластиковый экран толщиной 1 см, содержащий 0.1% оксида свинца по массе в виде сферических наночастиц диаметром 100 нм, ослабит проходящее сквозь него рентгеновское излучение. Считайте, что квант рентгеновского излучения, попавший на наночастицу, гарантированно поглощается ею. Плотность оксида свинца равна 9.53 г/см^3 . Плотность пластика 0.90 г/см^3 . Считайте, что наночастицы случайным образом распределены в объеме пластика.

Подсказка: чтобы получить ответ, нужно ответить на следующие вопросы

а) какова вероятность того, что одна конкретная наночастица не поглотит квант рентгеновского излучения, падающий на случайную точку экрана?

б) какова вероятность того, что ни одна наночастица не поглотит квант рентгеновского излучения, падающий на случайную точку экрана?

в) сколько наночастиц содержится в одном кубическом метре материала, из которого изготовлен экран?

Вам пригодится определение числа e , основания натуральных логарифмов:

$$(1+x)^{1/x} = e \approx 2.718 \text{ при } x \rightarrow 0$$

Ответы

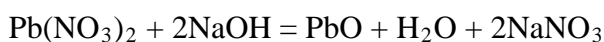
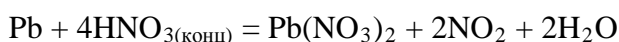
1. Степень поглощения рентгеновских лучей веществом зависит от заряда ядра атомов, входящих в его состав: чем заряд больше, тем сильнее вещество поглощает излучение. Поэтому для изготовления защитных экранов, фартуков и проч. используют материалы содержащие свинец, висмут и другие тяжелые металлы.

(2 балла за вопрос)

2. Защитное покрытие может стираться или трескаться при деформациях. При этом а) ослабляется защита от излучения б) частицы соединений тяжелых металлов, по большей части ядовитых, попадают в окружающую среду. Материалы с распределенными в объеме частицами практически лишены этих недостатков.

(2 балла за вопрос)

3. Метод получения может быть основан на осаждении оксида свинца из очень горячего водного раствора (около 200°C, под давлением) соли свинца под действием щелочи:



(2 балла за вопрос)

4. Пусть площадь поперечного сечения наночастицы равна S_0 , а площадь поперечного сечения экрана равна S . Вероятность того, что данный фотон не будет поглощен данной частицей, равна

$$p_0 = 1 - \frac{S_0}{S} \quad (0.5 \text{ балла})$$

Поскольку частицы в объеме распределены случайно и независимо друг от друга, вероятность того, что фотон, падающий на экран, не будет поглощен частицами, находящимися в объеме экрана, равна

$$p = \left(1 - \frac{S_0}{S}\right)^N, \quad (0.5 \text{ балла})$$

где N - количество частиц в объеме экрана. Пользуясь определением основания натуральных логарифмов e , получаем:

$$p = \left(1 - \frac{S_0}{S}\right)^N = e^{-\frac{S_0 N}{S}} \quad (1 \text{ балл})$$

Количество частиц в объеме экрана равно

$$N = cSd,$$

где c - концентрация частиц в объеме, d - толщина экрана. Тогда вероятность равна

$$p = e^{-S_0cd}$$

Площадь поперечного сечения наночастицы равна

$$S_0 = \pi r^2 = 3.14 \cdot (100 \cdot 10^{-9} / 2)^2 = 7.85 \cdot 10^{-15} \text{ м}^2$$

Рассчитаем теперь концентрацию частиц. Кубический метр материала имеет массу 900 кг, следовательно, содержит 0.9 кг оксида свинца (его массовая доля, по условию, равна 0.1%). Масса одной наночастицы равна

$$m = V_0 \rho = \frac{4\pi}{3} r^3 \rho = \frac{4 \cdot 3.14}{3} \cdot (100 \cdot 10^{-9} / 2)^3 \cdot 9530 = 4.99 \cdot 10^{-18} \text{ кг},$$

где V_0 - объем наночастицы, ρ - ее плотность. В кубическом метре материала содержится $0.9 / (4.99 \cdot 10^{-18}) = 1.80 \cdot 10^{17}$ наночастиц. То есть, концентрация частиц в объеме материала равна

$$c = 1.80 \cdot 10^{17} \text{ м}^{-3}$$

Вероятность прохождения фотона сквозь экран равна

$$p = e^{-S_0cd} = 2.718^{-7.85 \cdot 10^{-15} \times 1.80 \cdot 10^{17} \times 0.01} = 7.30 \cdot 10^{-7}$$

То есть, рентгеновское излучение будет ослаблено экраном в $1 / (7.30 \cdot 10^{-7}) = 1.37 \cdot 10^6$ раз.

(2 балла за правильное число)

(4 балла за вопрос)

Максимальная оценка за задачу - 10 баллов