

Всероссийская олимпиада студентов «Я – профессионал»

Задания заключительного (очного) этапа
по направлению
«Инженерно-физические, ядерные и нано-технологии в медицине»

Категория участия: «Магистратура/специалитет»
(для поступающих в аспирантуру/ординатуру)

Максимальный балл за задания – 100 баллов

Задача №1. 15 баллов

Мощность экспозиционной дозы γ -излучения на расстоянии 1 м от точечного источника составляет $P = 2,3 \cdot 10^{-5}$ Кл/(кг·ч). Определить минимальное расстояние от источника, на котором можно ежедневно работать по 6 ч без защиты. Предельно допустимой эквивалентной (биологической) дозой при профессиональном облучении считается 5 бэр в течение года (1 бэр для γ -излучения соответствует поглощенной дозе 0,01 Гр). Считать, что в году 247 рабочих дней. Поглощение γ -излучения в воздухе не учитывать (Поглощенная доза 1 Гр в биоткани соответствует экспозиционной дозе $2.7 \cdot 10^{-2}$ Кл/кг для γ -излучения в воздухе*).

Решение:

$$\text{ПДД} = 5 \text{ бэр} = 0.05 \text{ Гр}$$

Экспозиционная доза в воздухе за год

$$Q = P \cdot 6 \text{ ч} \cdot 247 \text{ раб. дн.}$$

Поглощенная доза в биоткани на расстоянии 1 м от источника за год

$$E(1) = Q / 0.027 = (6 \cdot 247 \cdot P) / 0.027$$

$$E(r) = E(1) / r^2$$

Если $E(r) = \text{ПДД}$, то $\text{ПДД} = E(1) / r^2$

Следовательно

$$r = \sqrt{(E(1) / \text{ПДД})} = \sqrt{(6 \cdot 247 \cdot (P / 0.027) / \text{ПДД})}$$

$$r = \sqrt{((6 \cdot 247 \cdot 2.3 \cdot 10^{-5}) / (0.027 \cdot 0.05))} = 5 \text{ м}$$

Ответ: 5 м

*При экспозиционной дозе в 1 Р в биологической ткани поглощенная доза будет составлять $9,6 \cdot 10^{-3}$ Гр (N J Carron. An Introduction to the Passage of Energetic Particles through Matter : [англ.]. — Taylor & Francis Group, LLC, 2007. p.141)

Задача №2. 15 баллов

Actinium-225-DOTATATE (Ac-225-DOTATATE) - перспективный РФП (радиофармпрепарат) для лечения метастатических гастроэнтеропанкреатических нейроэндокринных опухолей.

Рассчитайте в мКи суммарный годовой объем производства прекурсора с Ac-225 (на дату окончания производства) при следующих условиях:

- за год лечение проходят 50 пациентов;
- курс лечения для 1 пациента - 3 дозы;
- доза на 1 пациента – 2,7 мКи/кг веса;
- средний вес пациента - 70 кг;
- время, необходимое для доставки прекурсора с Ac-225 (с даты производства) до производителя РФП – 1 сутки;
- на производство и фасовку готового РФП уходит 2-е суток;
- доставка до медицинских учреждений – до 4-х суток.

Таблица 1. Таблица распада Ac-225 ($T_{1/2}$ Ac-225 – 10 суток).

День	Коэффициент
0 (день производства)	1
1	0,93
2	0,87
3	0,81
4	0,76
5	0,71
6	0,66
7	0,62
8	0,57
9	0,54
10	0,5

Решение:

- Расчет дозы на одного человека – $2,7 \text{ мКи/кг} \cdot 70 \text{ кг} = 189 \text{ мКи}$.
- Расчет активности Ac-225 на 1 курс лечения для 1 пациента – $189 \cdot 3 = 567 \text{ мКи}$.
- Суммарная активность РФП Ac-225 (для 50 курсов лечения)– $567 \cdot 50 = 28\,350 \text{ мКи}$.
- С даты производства прекурсора до даты поставки РФП в медицинское учреждение проходит $1+2+4=7$ суток. Активность на дату производства прекурсора рассчитывается по пропорции $28\,350 \text{ мКи} \cdot 1/0,62 = 45\,725,8 \text{ мКи}$.
- $45\,725,8 \text{ мКи} = 45,7 \text{ мКи}$.

Ответ: 45,7 мКи.

Задача №3. 20 баллов

Углеродные нанотрубки могут достигать размеров менее 10 нм и способны легко проникать внутрь клеток биологических тканей для доставки туда биомолекул. Удельная поверхность открытых одностенных углеродных нанотрубок равна $750 \text{ м}^2/\text{г}$, а плотность материала составляет 1.33 г/см^3 . Оцените диаметр нанотрубки, допуская, что у всего ансамбля нанотрубок соотношение объема к поверхности одинаковое и что плотность образца равна плотности одной нанотрубки. Ответ запишите в нанометрах с точностью до целого.

Решение:

Возьмем 1 г материала, его объем равен $1/1.33 = 0.75 \text{ см}^3 = 7.5 \cdot 10^{-7} \text{ м}^3$, а площадь поверхности, по условию, составляет 750 м^2 . Отношение объема к поверхности:

$$V / S = 7.5 \cdot 10^{-7} \text{ м}^3 / 750 \text{ м}^2 = 10,03 \cdot 10^{-10} \text{ м}.$$

Открытые одностенные нанотрубки можно представить в виде цилиндра диаметром d и длиной l . Для цилиндра отношение объема к поверхности равно:

$$\frac{V}{S} = \frac{(\pi d^2 / 4) l}{\pi d l} = \frac{d}{4}$$

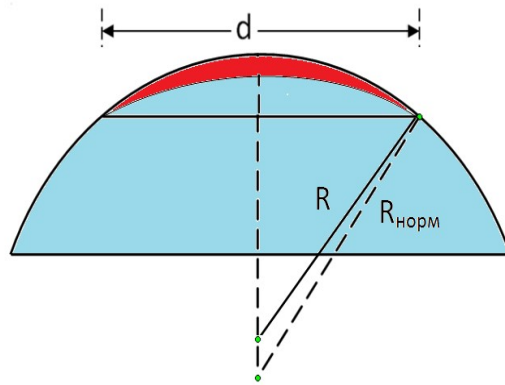
$$d = 4 \cdot 10,03 \cdot 10^{-10} = 4,01 \text{ нм}$$

Ответ: 4 нм.

Задача №4. 20 баллов

Лазерная коррекция зрения

При лазерной коррекции зрения с помощью ультрафиолетового эксимерного лазера удаляется часть роговицы глаза, которая служит линзой для формирования изображения на сетчатке глаза. При этом изменяется форма роговицы, и как следствие, ее фокусирующие свойства. Если ткань удаляется в центральной зоне, роговица становится более плоской, что исправляет близорукость. Если же испарить периферическую часть роговицы, то ее радиус кривизны увеличится, что позволяет корректировать дальнозоркость. На рисунке красным цветом схематически изображен слой роговицы, удаляемый при коррекции близорукости. Радиус кривизны в норме $R_{\text{норм}} = 7,8 \text{ мм}$. Удаление вещества роговицы происходит маленькими порциями с помощью тонкого лазерного луча диаметром 1 мм. За один импульс удаляется слой, в котором плотность поглощенной энергии превышает пороговое значение 40 мДж/см^2 . Рассчитайте сколько потребуется импульсов ArF-лазера для коррекции близорукости если Радиус кривизны роговицы $R = 6 \text{ мм}$ и диаметр оптической зоны $d = 6 \text{ мм}$. Плотность энергии в импульсе 160 мДж/см^2 . В случае использования эксимерного ArF-лазера ($\lambda = 193 \text{ нм}$) коэффициент поглощения роговицы равен 39000 см^{-1} .



Решение:

x - толщина слоя удаляемого за один импульс

$$I_0 \cdot e^{-\mu x} = I_{\text{порог}}$$

$$x = \ln(I_0 / I_{\text{порог}}) / \mu = \ln(160 / 40) / 39000 = 0,356 \text{ мкм}$$

объем слоя, удаляемого за один импульс

$$v_1 = \pi r^2 \cdot x = \pi \cdot 0,5^2 \cdot 0,356 \cdot 10^{-3} \text{ мм}^3 = 0,28 \cdot 10^{-3} \text{ мм}^3$$

Объем удаляемого слоя равен разности объемов лежащих над диском с диаметром d внутри сферы с радиусом R и сферы с радиусом $R_{\text{норм}}$.

Эти объемы можно посчитать по формуле

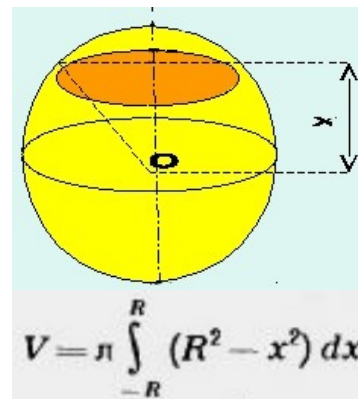
$$V(R) = \pi \int_{R - \sqrt{R^2 - d^2/4}}^R (R^2 - z^2) dz = \pi \left[R^2 z - \frac{z^3}{3} \right]_{R - \sqrt{R^2 - d^2/4}}^R = \frac{\pi}{3} \left[2R^3 - \left(2R^2 + \frac{d^2}{4} \right) \sqrt{R^2 - \frac{d^2}{4}} \right]$$

Тогда полный объем удаляемого слоя

$$\Delta V = V(R) - V(R_{\text{норм}}) = V(6) - V(7,8) = 3,04 \text{ мм}^3$$

$$\text{Число лазерных импульсов } N = \Delta V / v_1 = 10875$$

Ответ. $N = 10875$

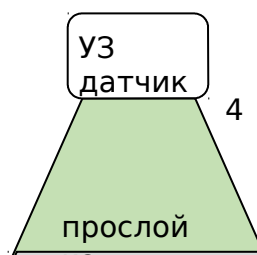


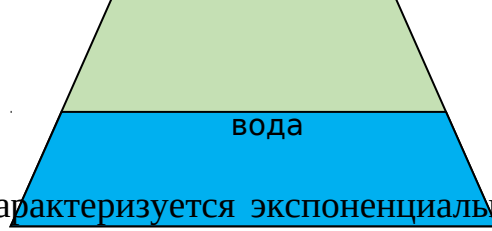
Задача №5. 30 баллов

Задача по УЗИ.

Внутри однородной мягкой ткани ($\rho_1 = 1,1 \text{ г/см}^3$, $c_1 = 1540 \text{ м/с}$) находится прослойка ткани ($\rho_2 = 0,8 \text{ г/см}^3$, $c_2 = 800 \text{ м/с}$), толщиной 4 см. Глубже находится слой воды. УЗ датчик с частотой 2 МГц и динамическим диапазоном 80 дБ может почувствовать границу с водой до глубины 15 см.

На какой максимальной глубине может обнаружить такую же границу УЗ датчик с частотой 5 МГц и динамическим диапазоном 100 дБ? Считать, что коэффициенты затухания пропорциональны частоте УЗ волны и коэффициент затухания в прослойке в 2 раза больше, чем в остальной ткани.





Решение:

Затухание УЗ луча характеризуется экспоненциальным уменьшением интенсивности луча как функции от пройденного через ткань расстояния x :

$I = I_0 \cdot 10^{\frac{-\mu'}{10} \cdot x} = I_0 \cdot e^{-\mu' \cdot x}$, где μ - коэффициент ослабления интенсивности в [дБ/см], а μ' - в [см⁻¹].

$$\mu' [\text{см}^{-1}] = \ln(10) / 10 \cdot \mu [\text{дБ см}^{-1}]$$

$$D = 10 \cdot \lg \frac{I_0}{I_{\min}}$$

Динамический диапазон D : $D_1 = 80$ дБ, $D_2 = 100$ дБ.

Акустический импеданс $Z_1 = \rho_1 \cdot c_1$, $Z_2 = \rho_2 \cdot c_2$

При прохождении одной границы прослойки интенсивность сигнала падает в t раз

$$t = \frac{4 Z_1 Z_2}{(Z_1 + Z_2)^2} = \frac{4 \rho_1 \cdot c_1 \rho_2 \cdot c_2}{(\rho_1 \cdot c_1 + \rho_2 \cdot c_2)^2} \approx 0,8.$$

Для обнаружения границы с водой нужно, чтобы величина эхо-сигнала была больше минимально воспринимаемого датчиком сигнала.

$I_0 \cdot e^{-\mu'(d_1+d_2)} \cdot t^2$ – интенсивность сигнала, пришедшего на отражающую границу

$r \cdot I_0 \cdot e^{-\mu' \cdot 2(d_1+d_2)} \cdot t^4$ – интенсивность отраженного сигнала, достигшего датчика, где r –

коэффициент отражения от дальней границы. $r = \frac{(Z_1 - Z_{\text{water}})^2}{(Z_1 + Z_{\text{water}})^2} = 0.006$

Для обнаружимости границы нужно, чтобы $r \cdot I_0 \cdot e^{-\mu' \cdot 2(d_1+d_2)} \cdot t^4 > I_{\min} = I_0 \cdot 10^{-D/10}$.

$$r \cdot e^{-\mu' \cdot 2(d_{\min}+d_2)} \cdot t^4 = 10^{-D/10} = e^{-\ln(10) \cdot D/10}$$

$$\ln(r) + 4\ln(t) - \mu' \cdot 2(d_{\min}+d_2) = -\ln(10) \cdot D/10.$$

$$\mu' = \frac{\frac{\ln(10)}{10} \cdot D_1 + \ln(r) + 4 \cdot \ln(t)}{2 \cdot (d_{\min} + d_2)}$$

$$d_{\min} = \frac{\frac{\ln(10)}{10} \cdot D_2 + \ln(r) + 4 \cdot \ln(t)}{2 \cdot \mu'} - d_2$$

Т.о. по первому датчику определяем μ' . И, зная μ' , для второго датчика определяем d_{\min} :

$$\mu'_1 = \frac{0.23 \cdot 80 + \ln(0.006) + 4 \cdot \ln(0.8)}{2 \cdot (15 + 4)} = 0,326 \text{ с м}^{-1}$$

Т.к. μ' пропорционально частоте датчика, $\mu'_2 = \frac{\mu'_1 \cdot f_2}{f_1}$

Зная μ'_2 , определяем d_{\min} для второго датчика

$$d_{\min} = \frac{0.23 \cdot 100 + \ln(0.006) + 4 \cdot \ln(0.8)}{2 \cdot 0.326 \cdot 5} - 4 = 6,4 \text{ см}$$

**Спецификация для заключительного (очного) этапа
Олимпиады «Я – профессионал» по направлению
«Инженерно-физические, ядерные и нано-технологии в медицине»
Категория «Магистратура/специалитет»
(для поступающих в аспирантуру/ординатуру)**

Элемент спецификации	Комментарий к заполнению
Название направления	Инженерно-физические, ядерные и нано-технологии в медицине
Указание уровня подготовки, для которого разработано задание	Категория «Магистратура/специалитет»
Описание целевой аудитории	Данный комплект заданий подготовлен в рамках олимпиады «Я – профессионал» и предназначен для оценки знаний и навыков студентов бакалавриата, обучающихся в первую очередь по направлениям: «Медицинская биофизика», «Биомедицинская фотоника» «Промышленная экология и биотехнологии», «Биотехнические системы и технологии», «Физика», «Химия», «Наноматериалы», «Биоинженерия и биоинформатика», «Нанохимия», «Материаловедение и технологии материалов», а также студентов других направлений подготовки, интересующихся исследованиями и разработками в области биофизики и нанотехнологий, биомедицинской фотоники
Максимальное количество баллов за задание	100 баллов
Время на выполнение	180 минут
Список ресурсов для самостоятельной подготовки	Массовые открытые онлайн курсы: Универсариум Coursera Литература: 1. Федорова В.Н., Фаустов Е.В. Медицинская и биологическая физика. Курс лекций с задачами: учебное пособие. 2010. - 592 с. http://www.studmedlib.ru/ru/book/ISBN9785970414231.html 2. Климанов В.А. Физика ядерной медицины : учеб. пособие для студ. вузов. -М. : НИЯУ МИФИ Ч. 1. -2012.-308 с. 3. Беляев В.Н., Климанов В.А. Физика ядерной медицины : учеб. пособие для студ. вузов. -М. : НИЯУ МИФИ Ч. 2. - 2012.-248 с. 4. Терновой С.К., Абдураимов А.Б., Федотенков И.С. Компьютерная томография: учебное пособие. 2008. - 176 с. : ил. (Серия "Карманные атласы по лучевой диагностике") http://www.studmedlib.ru/ru/book/ISBN9785970408902.html 5. Ильясова Н.Ю., Куприянов А.В., Храмов А.Г. Информационные технологии анализа изображений в задачах медицинской диагностики. -М.: Радио и связь, 2012.-424 с. 6. Васильев А.Ю., Ольхова Е.Б. Лучевая диагностика [Электронный ресурс] - Москва: ГЭОТАР-Медиа, 2008. – ЭБС "Электронная библиотека технического ВУЗа. (Консультант студента)"

	<p>7. Абрамов А.А., Афанасов М.И., Попков В.А. Получение радионуклидов. Короткоживущие изотопы и их использование в медицине и технике. М.: Изд. МГУ, 2010, 46 с.</p> <p>8. Сапожников Ю.А., Алиев Р.А., Калмыков С.Н. Радиоактивность окружающей среды. М.: Бином. 2006. 286 с.</p> <p>9. Кудряшов Ю.Б. Радиационная биофизика (ионизирующие излучения). М.: ФИЗМАТЛИТ, 2004, 448 с.</p> <p>10. Лещенко В.Г., Ильич Г.К. Медицинская и биологическая физика. Москва «ИНФРА-М», 2012.</p> <p>11. Герман И. Физика организма человека. Изд.дом ИНТЕЛЛЕКТ, Долгопрудный, 2011.</p> <p>12. Климанов В.А. Радионуклидная диагностика физические принципы и технологии. Изд.дом ИНТЕЛЛЕКТ, Долгопрудный, 2014.</p> <p>13. Тучин В.В., Оптическая биомедицинская диагностика. Т. 1 и Т. 2, М. : ФИЗМАТЛИТ, 2006.</p> <p>14. Еремин В.В., Каргов С.И. и др., Основы физической химии. Теория и задачи., М.: 2005.</p> <p>15. Глинка Н.Л. Общая химия., Л.: 1985.</p> <p>16. Еремин В.В., Борщевский А.Я., Сборник задач по общей и физической химии., Интеллект: 2019.</p> <p>17. Лекции по коллоидной химии для студентов IV курса Химического факультета МГУ http://www.chem.msu.ru/rus/teaching/colloid-rolidugin-lectures/</p> <p>18. Основы биохимии Ленинджера в 3-х томах., Лаборатория знаний: 2019.</p> <p>19. С.А. Вознесенский Физика и биофизика. Stanuprofi.ru</p> <p>20. Суздалев И.П. Нанотехнология: физико-химия нанокластеров, наноструктур и наноматериалов., 2-е изд., испр. – Либроком: 2009.</p> <p>21. Биология. Под редакцией Н.В.Чебышева. Москва, МИА. 2016.</p>
<p>Формат состязаний.</p> <p>Требования к содержанию и оформлению заданий.</p>	<p>Очный этап проводится в один день и состоит из задач теоретического характера. Все задачи разрабатываются совместно с работодателями.</p> <p>Обеспечивается проживание участников заключительного этапа в общежитиях НИЯУ МИФИ.</p> <p>Продолжительность очного тура один день.</p> <p>В день заключительного этапа проводится индивидуальный конкурс. Задание очного заключительного тура состоит из пяти задач, разделенных на 3 блока различной трудности.</p>
<p>Дополнительная информация/инструкции для участников, которые не вошли в Регламент по направлению</p>	<p>нет</p>
<p>Краткое описание структуры задания и его основные характеристики. Система оценивания заданий.</p>	<p>Задания очного заключительного тура состоит из 5 заданий, разделённых на 3 блока заданий различной трудности:</p> <p>Первый блок состоит из 2 заданий средней трудности. Каждое задание требует написания развернутой схемы решения и получения численного ответа. Задания оцениваются по 15 баллов.</p>

	<p>Второй блок состоит из 2 заданий высокой трудности. Каждое задание требует написания развернутой схемы решения и получения численного ответа. Задания оцениваются по 20 баллов.</p> <p>Третий блок состоит из одного задания повышенной трудности, выполнение которого требует: умения читать и разбираться в протекающих физических процессах, описанных в условии; умения использовать расчетные справочные рекомендации, с учетом анализа границ их применимости; умения использовать базы данных (таблицы) для получения данных о физических величинах. Задание оценивается в 30 баллов.</p> <p>Критерии оценки для каждой задачи определяются ее содержанием и, как правило, 20-40% от максимального балла дается за правильную формулировку исходных соотношений и формул для ее решения, 50-80% за частично правильные результаты расчета, 100% за полностью правильные результаты решения.</p> <p>Максимальное количество баллов за теоретические задания – 100 баллов.</p>
Информация об элементах практикоориентированности в заданиях (участие работодателей в составлении заданий)	<p>Теоретические практико-ориентированные задания составлены с участием или согласованы с представителями следующих предприятий и организаций работодателей, представляющих партнеров: ГК «Росатом», Институт общей физики им. А.М. Прохорова РАН, ЗАО «БИОСПЕК», Научно-технический центр «Амплитуда», Институт биоорганической химии им. академиков М.М. Шемякина и Ю.А. Овчинникова РАН.</p> <p>Теоретические практико-ориентированные задания оценивают знания и умения по медицинской биофизики, нанотехнологий, ядерной медицине, физике биологических процессов; умения использовать расчетные справочные рекомендации, с учетом анализа границ их применимости; умения использовать базы данных (таблицы) для получения данных о физических величинах.</p>
Критерии оценивания	<p>Критерии оценки для каждой задачи теоретического тура определяются ее содержанием и, как правило, 20-40% от максимального балла дается за правильную формулировку исходных соотношений и формул для ее решения, 50-80% за частично правильные результаты расчета, 100% за полностью правильные результаты решения.</p>
Наличие подробного примера решений демоверсии заданий	<p>Да, в отдельном файле и видеопрезентации по направлению олимпиады.</p>