



Многопрофильная инженерная олимпиада «Звезда» «Ядерная энергетика и технологии»

9-10 классы

Заключительный этап

2018-2019

Задания, ответы и критерии оценивания

1. (25 баллов) Радиоактивные отходы АЭС для предотвращения их попадания в окружающую среду заливают жидким стеклом («остекловывают»), которое химически инертно, не подвержено коррозии, растворению в агрессивных средах и т.п. Обычно отходы остекловывают в виде цилиндров радиусом $R=0,15$ м. Тепловыделение в цилиндрах за счет остаточного распада продуктов деления на погонный метр длины составляет $q_l = 1$ кВт/м и происходит равномерно по объему, теплопроводность стекла $\lambda = 3$ Вт/(м·К). Определить перепад температуры между центром и поверхностью цилиндра. **Указание.** Количество тепла q , переносимого в единицу времени через единицу площади тонкого слоя толщиной Δx , одна поверхность которого поддерживается при температуре T_1 , вторая – при температуре T_2 ($T_2 > T_1$), определяется соотношением: $q = \lambda(T_2 - T_1)/\Delta x$ (λ - коэффициент теплопроводности) и происходит в направлении понижения температуры (закон Фурье).

Решение:

Рассмотрим цилиндрический слой радиуса r толщиной Δr . Пусть внутренняя поверхность слоя имеет температуру T_1 , внешняя - T_2 . Тогда с одной стороны, поток тепла через эту поверхность должен равняться количеству теплоты, которое выделяется внутри цилиндра, ограниченного этой поверхностью

$$q2\pi r l = q_v \pi r^2 l \quad q = \frac{q_v r}{2}$$

(q - плотность потока тепла, $q_v = q_l / \pi R^2$ - тепловыделение единицы объема цилиндра), с другой – определяться законом Фурье

$$\lambda(T_1 - T_2) = \frac{q_v r \Delta r}{2}$$

Такое равенство справедливо для каждого тонкого слоя, на которые можно мысленно разбить цилиндр. Складывая эти соотношения для всех слоев, получим

$$\lambda(T_u - T_n) = \frac{q_v}{2} \sum r \Delta r$$

где T_u и T_n - температуры в центре и на поверхности цилиндра. Аналогичная сумма возникает при вычислении работы силы трения и вычисляется графически (как площадь под линейным графиком). Она равна

$$\sum r \Delta r = \frac{R^2}{2}$$

Отсюда

$$T_u - T_n = \frac{q_l}{4\pi\lambda} = 26,5^\circ$$

Критерии оценки:

1. Если школьник правильно сформулировал идею и больше ничего не сделал - 25 % от полной оценки.
2. Если школьник смог правильно написать закон Фурье для цилиндра, понял, что нужно вычислять сумму, но дальше ничего не сделал - 50 % от полной оценки.
3. Если в принципе все делается правильно, но есть недочеты – 75 % от полной оценки.
4. Если все верно – максимальная оценка.

2. (25 баллов) Энергоемкостью топлива называется количество энергии, которое выделяется при сжигании 1 кг этого топлива. Сравните энергоемкость каменного угля и ядерного топлива ^{235}U . При сгорании угля выделяется энергия $q_C = 3,0 \cdot 10^7$ Дж/кг, при делении одного ядра ^{235}U выделяется энергия $E_U = 2 \cdot 10^8$ эВ. $1 \text{ эВ} = 1,6 \cdot 10^{-19}$ Дж, число Авогадро $N_A = 6 \cdot 10^{23}$ 1/моль. («эВ – электрон-вольт» - единица измерения энергии, используемая в ядерной физике и определяемая как энергия электрона, прошедшего разность потенциалов 1 вольт; заряд электрона $e = -1,6 \cdot 10^{-19}$ Кл).

Решение:

Масса $m = 1$ кг урана содержит

$$N = \frac{m}{\mu_{235}} N_A = 2,6 \cdot 10^{24}$$

атомов (и ядер) урана ^{235}U , где $\mu_{235} = 235$ г/моль – молярная масса урана, $N_A = 6 \cdot 10^{23}$ - число Авогадро. Отсюда находим энергию, выделившуюся при распаде всех ядер одного килограмма урана

$$q_U = E_U N = 8,3 \cdot 10^{13} \text{ Дж.}$$

Поскольку при сгорании 1 кг угля выделяется энергия

$$q_C = 3,0 \cdot 10^7 \text{ Дж}$$

то отношение энергоемкости урана к энергоемкости угля составляет

$$\frac{q_U}{q_C} = 2,8 \cdot 10^6$$

Это означает, что для получения той же энергии, что и на АЭС, нужно сжигать почти в три миллиона раз большую массу угля, чем расходуется урана.

Критерии оценки:

1. Если участник понимает, что нужно делать (найти количество ядер урана и умножить на энергосодержание реакции), но не знает, как это сделать, - 25 % от полной оценки.
2. Если понимает, что и как нужно делать, но допущены ошибки - 50 % от полной оценки.
3. Если в принципе все делается правильно, но есть недочеты – 75 % от полной оценки.
4. Если все верно – максимальная оценка.

3. (50 баллов) Счётчик Гейгера — газоразрядный прибор для автоматического подсчёта числа попавших в него ионизирующих частиц.

Цилиндрический счётчик Гейгера — Мюллера состоит из баллона внутри которого имеются электроды — катод и анод. Баллон заполняется газом, в большинстве случаев используют благородные газы — аргон и неон. Для облегчения возникновения электрического разряда в газовом баллоне создается пониженное давление. Между катодом и анодом создается напряжение от сотен до тысяч вольт в зависимости от геометрических размеров материала электродов и газовой среды внутри счётчика. Напряжение подается через нагрузочный резистор, на котором формируются электрические импульсы при регистрации радиоактивных частиц.

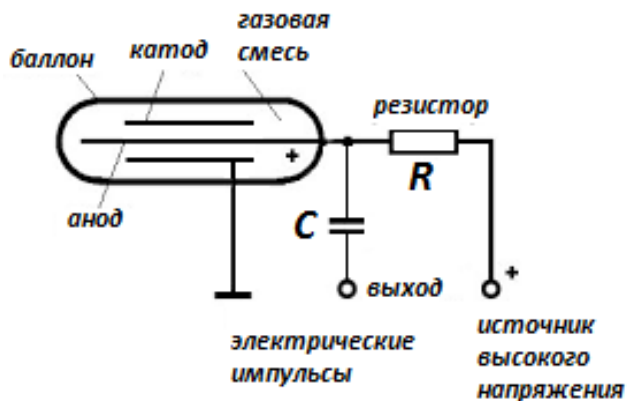


Рис. Устройство счетчика Гейгера

Работа счётчика основана на ударной ионизации. Гамма-кванты, испускаемые радиоактивным изотопом, попадая на стенки счётчика, выбивают из него электроны. Электроны, двигаясь в газе и сталкиваясь с атомами газа, выбивают из атомов электроны и создают положительные ионы и свободные электроны. Электрическое поле между катодом и анодом ускоряет электроны до энергий, при которых начинается ударная ионизация. Возникает лавина ионов, приводящая к размножению первичных носителей. При достаточно большой напряжённости поля энергии этих ионов становится достаточной, чтобы породить вторичные лавины, способные поддерживать самостоятельный разряд, в результате чего ток через счётчик резко возрастает.

В счётчике Гейгера последовательно с газовым промежутком и источником тока включают резистор с которого на регистрирующее устройство снимается в момент попадания частицы импульс напряжения. Какое значение номинала (высокое, низкое или принципиально какое) должно быть у этого резистора?

Решение:

Пока ток через газовый промежуток не идёт, разность потенциалов между анодом и катодом счётчика не зависит от номинала резистора и равна э.д.с. батареи. При попадании в счётчик регистрируемой частицы за счёт ударной ионизации возникает лавина ионов, через резистор проходит импульс тока. При **большом** номинале резистора имеет место большое падение напряжения на нём. Разность потенциалов между анодом и катодом, равная разности э.д.с. и падения напряжения на резисторе, уменьшается, разряд гаснет. После этого прибор готов к регистрации новой частицы.

КРИТЕРИИ ОЦЕНКИ ПРОЕКТОВ ШКОЛЬНИКОВ

Задание включает две части: расчетно-качественную и проектную.

Общая максимальная сумма – 100 баллов.

1. Расчетно-качественная часть.

1.1. Расчетно-качественная часть включает две задачи, которые далее могут быть связаны со второй частью – проектной и, таким образом, войти в эту вторую часть.

1.2. Максимальная оценка расчетно-качественной части – 50 баллов.

1.3. Если задача полностью решена с получением правильных ответов, то оценивается 25 баллами.

1.3. Если задача в основном решена, то есть: все основные зависимости, связанные с сутью задачи получены, но часть несущественных для данной задачи зависимостей не получена и правильного результата нет, то задача оценивается 20 баллами.

1.4. Если имеются расчетная схема, начальные (канонические) уравнения для решения задачи, рассуждения направленные на решение задачи, но они не преобразованы для получения итоговых зависимостей и задача не имеет окончательного результата, то задача оценивается 10 баллами.

2. Проектная часть.

2.1. Проектная часть должна включать одно наилучшее конструкторско-технологическое предложение по решению поставленной задачи, если решения расчетной части применимы в данной второй части, то их нужно применить, если нет, то дать свои решения.

2.2 Максимальная оценка проектной части 50 баллов.

2.3. Оценивание проектной части строится на экспертной оценке члена жюри с учетом следующих положений.

2.3.1. Оценка проектной части производится по следующим пяти критериям:

– Полнота исследования проблемы: обзор и анализ ближайших прототипов. Максимальная оценка 10 баллов, т.е. максимум можно получить 10 баллов.

– Оригинальность идеи, положенной в основу предлагаемого решения. Максимум 15 баллов.

– Логика изложения: описание того, как получена идея; описание решений по ее воплощению; конструкторско-технологическая и, возможно, экономическая проработка. Максимум 15 баллов.

– Возможность практического осуществления предложенных решений. Максимум 10 баллов.

Требования к оформлению проектов при решении задач олимпиады.

Решение оформляется в виде пояснительной записки на листах формата А4, в которой должны быть следующие обязательные элементы и разделы (выделено жирным шрифтом; если участник не может написать содержание раздела, то заголовок раздела нужно привести, но под заголовком указать: «Реализация раздела не представляется возможной»):

Титульный лист с идентификацией участника.

Решение двух задач. Каждая задача должна начинаться с заголовка «Задача № ____».

Решение проектной задачи должно включать следующие разделы.

Введение (указывается область задачи, ее актуальность и общие схемы известных решений).

1. Анализ текущего состояния дел в области поставленной задачи. Должны быть перечислены наиболее близкие известные решения, дан перечень их достоинств и недостатков.

2. Цели и задачи исследования. На основе проведенного анализа уточняется: с какой целью проводится выполнение проекта; далее перечисляются частные задачи, которые необходимо решить для достижения указанной цели.

3. Поиск и формулирование идеи, которая будет положена в основу решения поставленной в условии задачи. Показать путь, который необходимо было пройти, чтобы прийти к оригинальной идее. Рекомендуется использовать методику ТРИЗ.

4. Развитие идеи в конкретных конструкторско-технологических решениях. Дать проработку воплощения идеи в конкретных устройствах или процессах, дать необходимые расчетные схемы, эскизы, другие иллюстрации с их названиями.

5. Технические, экономические, экологические расчеты. Привести необходимые расчетные схемы и расчеты показывающие работоспособность конструкции или ее частей, реализуемость процессов. По возможности, показать, почему предлагаемое решение окажется экономически выгодным, при необходимости, дать экологическую оценку решения. Допускается использование расчетов, аналогичных приведенным выше в расчетной части задания.

Выводы.

Дать общую оценку полученного решения, достижения поставленной цели, новизну, практическую полезность решения. Учащиеся должны оформить записку проекта черной авторучкой (ярко для возможности последующего сканирования). Почерк должен быть разборчивым или текст следует написать чертежным шрифтом. Нумерация страниц внизу посередине обязательна.