

**МОСКОВСКАЯ ПРЕДПРОФЕССИОНАЛЬНАЯ ОЛИМПИАДА ШКОЛЬНИКОВ  
ЗАКЛЮЧИТЕЛЬНЫЙ ЭТАП  
ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ СЕКТОР  
МЕЖДИСЦИПЛИНАРНЫЕ ЗАДАЧИ**

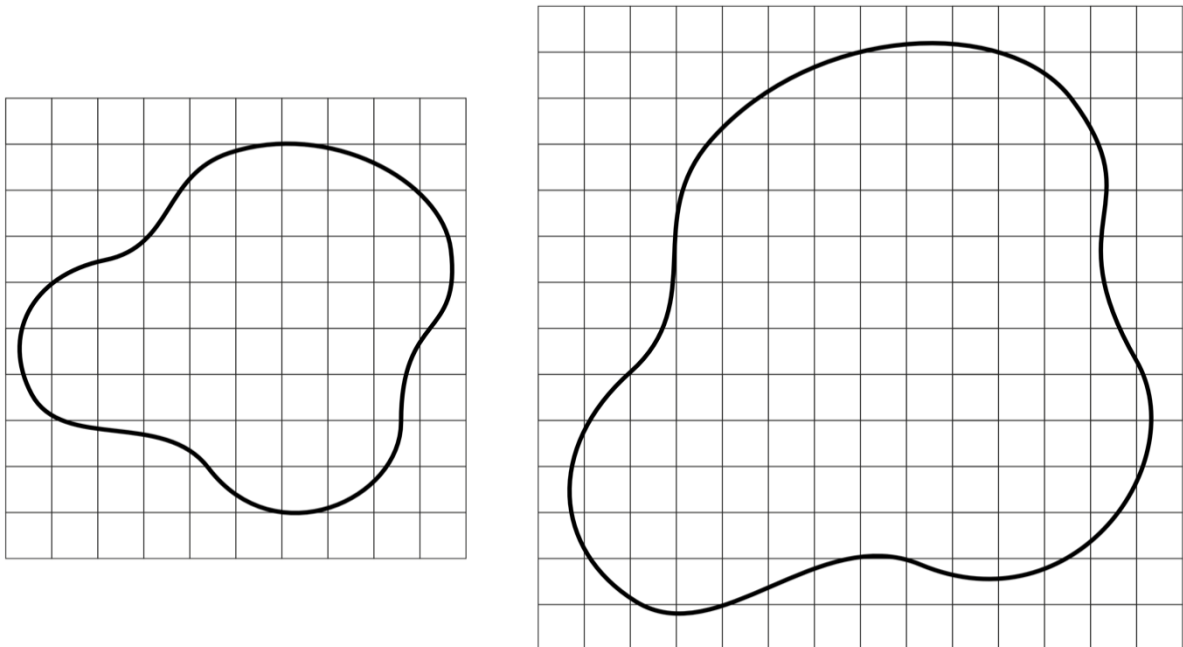
---

**10 класс**

**Вариант 1**

**Задача 1**

В результате разрыва трубопровода в 10:00 в море произошёл разлив нефти, который привёл к образованию тонкого пятна на поверхности воды. С помощью спутника была получена серия фотографий для оценки размеров нефтяного пятна. Слева на рисунке показано изображение пятна, полученное в 12:00, а справа – в 16:00. Размер одной клетки на рисунке составляет 10 x 10 м.



**Рисунок 1 – Серия фотографий нефтяного пятна**

Известно, что на спокойной водной поверхности (в отсутствии волн, ветра) нефтяное пятно принимает круглую форму и имеет одинаковую по всей поверхности толщину. Радиус такого нефтяного пятна можно оценить по формуле:

$$R = \left( \frac{\Delta\rho g V^2}{4\pi^2 \sigma} \right)^{\frac{1}{4}},$$

где  $\Delta\rho = \rho_{\text{в}} - \rho_{\text{н}}$  – разность плотностей воды и нефти,  $g$  – ускорение свободного падения,  $V$  – объем нефти,  $\sigma$  – коэффициент поверхностного натяжения на границе «вода-нефть». Используя данную формулу, можно оценить толщину нефтяной плёнки  $h$  на воде. Плотность морской воды  $\rho_{\text{в}} = 1025 \text{ кг/м}^3$ , плотность нефти  $\rho_{\text{н}} = 900 \text{ кг/м}^3$ , коэффициент

**МОСКОВСКАЯ ПРЕДПРОФЕССИОНАЛЬНАЯ ОЛИМПИАДА ШКОЛЬНИКОВ**  
**ЗАКЛЮЧИТЕЛЬНЫЙ ЭТАП**  
**ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ СЕКТОР**  
**МЕЖДИСЦИПЛИНАРНЫЕ ЗАДАЧИ**

---

поверхностного натяжения на границе  $\sigma = 0,1$  Н/м, ускорение свободного падения  $g = 10$  м/с<sup>2</sup>.

Принимая во внимание результаты моделирования катастрофы, которые показали, что зависимость скорости вытекания нефти от времени с начала аварии  $\mu(t) = a + bt$ , где  $a$  и  $b$  неизвестные коэффициенты, определите:

- 1) толщину нефтяной плёнки  $h$  на воде, ответ выразите в м и округлите до сотых;
- 2) объем вытекшей нефти в моменты времени 12:00 и 16:00, ответ выразите в м<sup>3</sup>;
- 3) значение коэффициентов  $a$  и  $b$ , при расчётах объем выражайте в м<sup>3</sup>, а время в ч, ответ округлите до сотых и укажите размерность;
- 4) сколько килограммов нефти вытекало из трубопровода за секунду в 12:00, ответ округлите до целых;
- 5) нарисуйте блок-схему программы, которая определяет значения площади нефтяного пятна в течение 8 часов с начала аварии с шагом в один час.

Входные данные:

$S_1$  – площадь пятна во время первого наблюдения;

$S_2$  – площадь пятна во время второго наблюдения;

$t_1$  – время первого наблюдения считая от начала аварии;

$t_2$  – время второго наблюдения считая от начала аварии;

Выходные данные:

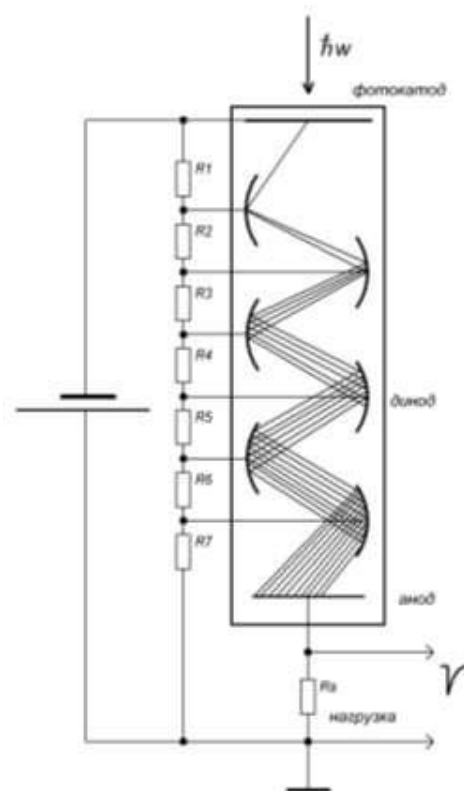
$S_i$  – массив из 8 элементов,  $i$ -й элемент которого равен площади нефтяного пятна через  $i$  часов после начала аварии.

**МОСКОВСКАЯ ПРЕДПРОФЕССИОНАЛЬНАЯ ОЛИМПИАДА ШКОЛЬНИКОВ**  
**ЗАКЛЮЧИТЕЛЬНЫЙ ЭТАП**  
**ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ СЕКТОР**  
**МЕЖДИСЦИПЛИНАРНЫЕ ЗАДАЧИ**

---

**Задача 2**

Известно, что свет обладает двойственной природой. С одной стороны, он может рассматриваться как электромагнитная волна, скорость распространения в вакууме которой постоянна, с другой стороны, как поток фотонов – частиц, обладающих определённой энергией, импульсом и нулевой массой покоя. Причём при больших интенсивностях свет проявляет в большей мере волновые свойства, а при малых – корпускулярные. При этом интенсивность света, являющаяся энергетической характеристикой волны, связана линейно с потоком фотонов, соответствующему этой волне. Для изучения квантовой (корпускулярной) природы света в работе применяется специальный фоточувствительный прибор – фотоэлектронный умножитель (ФЭУ), способный регистрировать отдельные фотоны. Фотоэлектронный умножитель представляет собой электровакуумный прибор, в котором поток электронов, эмитируемых фотокатодом под действием оптического излучения, усиливается в умножительной системе (рисунок 2.) Фотокатод умножителя облучается светом через стеклянное или кварцевое окно, и испускает при этом электроны, которые в свою очередь умножаются с помощью специальных электродов, называемых динодами. Сам фотокатод выполнен из материалов, обладающих наименьшей работой выхода, что необходимо для достижения максимальной эффективности, и в основе его работы лежит известное физическое явление, называемое внешним фотоэффектом. Работа динодов основана на эффекте вторичной электронной эмиссии – явлении, когда первичный фотоэлектрон, попадая на динод под действием ускоряющего электрического поля, выбивает из него несколько вторичных электронов. Сколько в среднем появляется вторичных электронов, зависит и от энергии первичного электрона, и от материала динода. Эта величина называется коэффициентом вторичной эмиссии  $\delta$  и обычно для современных ФЭУ лежит в пределах от 3 до 10, количество динодов ФЭУ бывает от 9 до 13. Чтобы вылетевший из фотокатода



**Рисунок 2 – Фотоэлектронный умножитель**

**МОСКОВСКАЯ ПРЕДПРОФЕССИОНАЛЬНАЯ ОЛИМПИАДА ШКОЛЬНИКОВ**  
**ЗАКЛЮЧИТЕЛЬНЫЙ ЭТАП**  
**ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ СЕКТОР**  
**МЕЖДИСЦИПЛИНАРНЫЕ ЗАДАЧИ**

---

фотоэлектрон пришел на 1-й диод, имея достаточную энергию для выбивания из него вторичных электронов, необходимо чтобы разность потенциалов между фотокатодом и 1-м диодом составляла несколько сотен вольт. Аналогично, чтобы появившиеся с 1-го диода примерно  $\delta$  штук вторичных электронов достигли следующего 2-го диода, выбивая из него вторичные электроны, разность потенциалов между 1-м и 2-м диодом должна составлять те же несколько сотен вольт, и т.д. для остальных диодов. Для задания рабочих потенциалов фотокатода и диодов используются высоковольтные источники питания (1000 ÷ 2500 В) и резистивные делители напряжения. В конце системы диодов расположен анод, к выводу которого присоединен резистор в качестве анодной нагрузки. Таким образом, при рождении первичного фотоэлектрона на диодах формируется лавина вторичных электронов и происходит процесс умножения, при этом в цепи анодной нагрузки возникает короткий импульс тока, синхронный с поглощением фотона фотокатодом, который приводит к появлению на ней импульса напряжения. Эти импульсы напряжения обрабатываются системами регистрации. Свойства ФЭУ определяется многими параметрами, например, такими как:

- 1) Полоса спектральной чувствительности (до 300÷850 нм), которая определяется материалом входного окна, работой выхода материала фотокатода.
- 2) Квантовый выход фотокатода, т.е. вероятность испускания фотоэлектрона при попадании фотона на фоточувствительный слой. В лучшем случае этот параметр не превышает 30%.
- 3) Коэффициент умножения, равный количеству вторичных электронов, вылетевших с последнего диода после поглощения фотона. У разных ФЭУ значение лежит в пределах  $10^3 \div 10^8$ .
- 4) Темновой ток и, соответственно, количество шумовых импульсов, которые определяются уровнем термоэлектронной эмиссии из фотокатода. Этот параметр лежит в пределах  $10^{-8} \div 10^{-10}$  А и  $10^4 \div 10^2$  имп./сек.

Фотоэлектронные умножители применяются во многих областях науки и техники - таких как медицина, биология, ядерная физика, физика элементарных частиц и т.д., в качестве малошумящих, быстродействующих фотоприемников сверхмалых интенсивностей света в инфракрасном, видимом и ультрафиолетовом диапазонах. Надо отметить, что несмотря на

**МОСКОВСКАЯ ПРЕДПРОФЕССИОНАЛЬНАЯ ОЛИМПИАДА ШКОЛЬНИКОВ**  
**ЗАКЛЮЧИТЕЛЬНЫЙ ЭТАП**  
**ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ СЕКТОР**  
**МЕЖДИСЦИПЛИНАРНЫЕ ЗАДАЧИ**

---

появление первых ФЭУ в первой половине 20-го века, до сегодняшнего дня во многих применениях им не найдены альтернативы.

Для тестирования и калибровки ФЭУ, а также определения их характеристик, можно применять экспериментальные стенды, в которых регулируемый поток фотонов от светодиода или лампы пропускается через светофильтр. Поглощение светофильтра подобрано так, что при номинальной интенсивности свечения светодиода, через него "прорываются" лишь единичные фотоны. Инженер-исследователь для измерения характеристик предоставленного ФЭУ снимал зависимости частоты импульсов  $N$  и фототока  $I_p$  от тока светодиода  $J_d$  с шагом 1 мА. Измерения частоты он прodelывал 3 раза для большей точности результата (табл. 1). Также он измерял зависимость фототока  $I_p$  от напряжения питания ФЭУ  $V$  (табл. 2). Из-за болезни он не успел закончить свою работу, поэтому вам предлагается завершить испытание ФЭУ и определить его характеристики:

- 1) По предоставленной таблице измерений определить среднее значение и погрешности частоты импульсов любым известным вам методом.
- 2) Построить графики зависимостей  $N = f(J_d)$  и  $N = f(I_p)$  на листе миллиметровой бумаги (каждый график на отдельном листе).
- 3) Написать вывод о характере наблюдаемых зависимостей, а также предложить теоретическую формулу, которая их описывает (с указанием физического смысла коэффициентов формулы).
- 4) С помощью графика  $N = f(I_p)$  определите коэффициент умножения ФЭУ по формуле  $K = \delta I_p \Delta t / (\delta N Q_e)$ , где  $Q_e$  – заряд электрона, а  $\Delta t$  – интервал счета, равный 1 секунде.
- 5) Постройте график зависимости фототока  $I_p$  от напряжения питания ФЭУ  $V$  и сделайте вывод о характере полученной зависимости.

**МОСКОВСКАЯ ПРЕДПРОФЕССИОНАЛЬНАЯ ОЛИМПИАДА ШКОЛЬНИКОВ**  
**ЗАКЛЮЧИТЕЛЬНЫЙ ЭТАП**  
**ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ СЕКТОР**  
**МЕЖДИСЦИПЛИНАРНЫЕ ЗАДАЧИ**

---

**Таблица 1.**

$J_d, \text{мА}$	$I_p, \text{нА}$	$N_1, \text{с}^{-1}$	$N_2, \text{с}^{-1}$	$N_3, \text{с}^{-1}$
10	16,3	23,3	23,5	23,6
9	15	21,4	21,3	21,1
8	13,2	19	18,9	19,4
7	11,8	16,7	16,6	16,8
6	10,2	14,3	14,5	14,4
5	8,9	12,2	11,9	12,1
4	7	9,5	9,7	9,6
3	5,2	6,9	7,2	7
2	3,7	4,5	4,6	4,7
1	2	2,2	2,3	2,1

**Таблица 2.**

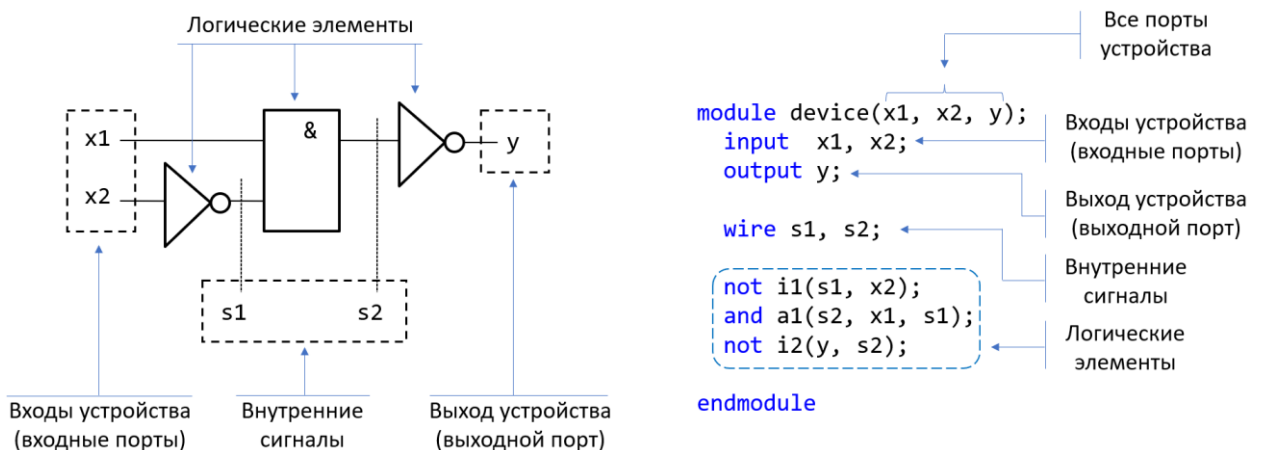
$V, \text{кВ}$	$I_p, \text{нА}$
2	16,5
1,78	4,4
1,56	1,1
1,36	0,1
1,18	0,0001
1	0,0001
0,8	0,0001
0,6	0,0001
0,4	0,0001

**МОСКОВСКАЯ ПРЕДПРОФЕССИОНАЛЬНАЯ ОЛИМПИАДА ШКОЛЬНИКОВ**  
**ЗАКЛЮЧИТЕЛЬНЫЙ ЭТАП**  
**ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ СЕКТОР**  
**МЕЖДИСЦИПЛИНАРНЫЕ ЗАДАЧИ**

---

### Задача 3

При проектировании цифровых схем для описания их функционирования используются специальные языки, называемые языками описания аппаратуры (англ. Hardware Description Language, HDL). Одним из них является Verilog HDL. На рисунке 3 приводится пример схемы и соответствующий ей код на Verilog HDL.



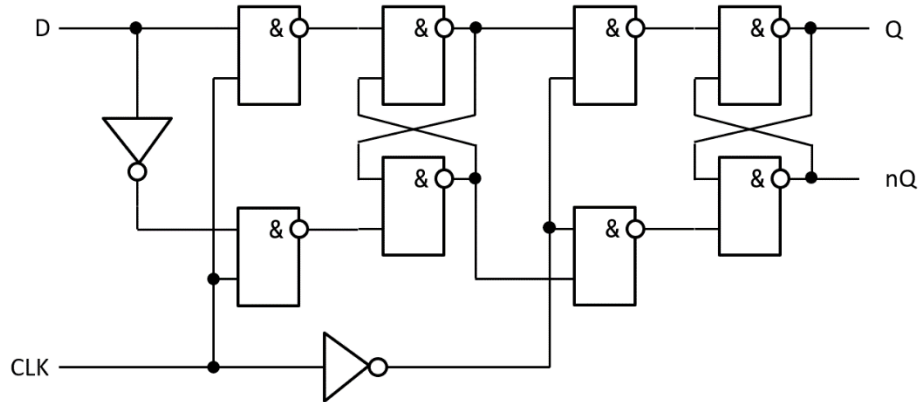
**Рисунок 3 - Комбинационная схема и её описание на языке Verilog**

Описание начинается с ключевого слова `module` и заканчивается ключевым словом `endmodule`. Около имени модуля (произвольное, задаётся разработчиком) указывается перечень всех портов схемы: входных и выходных. На следующей строке специфицируется, какой порт в каком направлении работает, какой из них входной, а какой – выходной. Затем указывается перечень всех сигналов, которые необходимо дополнительно ввести, чтобы показать, как связаны между собой логические элементы. Последним указывается сам перечень выполняемых логических функций; язык Verilog поддерживает следующий набор встроенных логических функций: `not`, `and`, `or`, `nand`, `nor`, `xor`, `xnor`. Следует обратить внимание, что при описании выполняемых функций выход ставится вначале, это правило языка.

**МОСКОВСКАЯ ПРЕДПРОФЕССИОНАЛЬНАЯ ОЛИМПИАДА ШКОЛЬНИКОВ**  
**ЗАКЛЮЧИТЕЛЬНЫЙ ЭТАП**  
**ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ СЕКТОР**  
**МЕЖДИСЦИПЛИНАРНЫЕ ЗАДАЧИ**

---

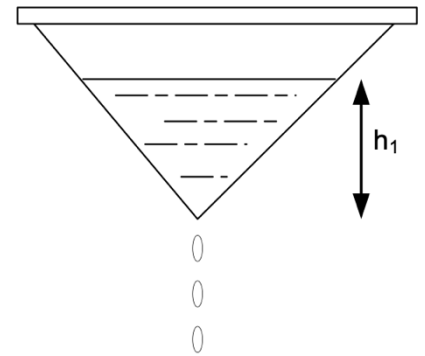
Разобравшись с синтаксисом языка, ваша задача привести описание схемы, приведённой на рисунке 4.



**Рисунок 4 - Схема динамического D-триггера**

**Задача 4**

Имеется вертикальная воронка с высотой  $h = 1$  м. В воронку в начальный момент налили ртуть до некоторого уровня  $h_1$  и сразу же закрыли ее плоской герметичной крышкой. Давление воздуха над ртутью в этот момент было равно атмосферному  $P_a = 10^5$  Па. В нижней точке воронки имеется очень тонкое отверстие, через которое ртуть капает наружу, причем скорость вытекания ртути пропорциональна разности давления



**Рисунок 5 – Воронка**

ртути около отверстия и атмосферного давления. При высоте ртути в сосуде равной  $h_2 = 0,5h$  она перестала вытекать. Считать, что температура остается постоянной. Плотность ртути считать равной  $\rho = 13\,600$  кг/м<sup>3</sup>. Давление паров ртути не учитывайте. Ускорение



**МОСКОВСКАЯ ПРЕДПРОФЕССИОНАЛЬНАЯ ОЛИМПИАДА ШКОЛЬНИКОВ**  
**ЗАКЛЮЧИТЕЛЬНЫЙ ЭТАП**  
**ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ СЕКТОР**  
**МЕЖДИСЦИПЛИНАРНЫЕ ЗАДАЧИ**

---

### Задача 5

Расчётные задачи, несмотря на свою кажущуюся простоту, оказываются достаточно трудоёмкими при необходимости пересчёта разработанной модели под произвольные параметры. В подобных случаях широко используется численное моделирование, например, с помощью популярного языка Python. Рассмотрим батарею аккумуляторов с ЭДС  $E = 12$  В, сила тока  $I$  короткого замыкания в цепи которой равна 5 А. Одной из задач, связанной с источниками питания является определение наибольшей мощности, которую можно получить в соединённой с источником внешней цепи и построения графиков зависимости мощности в цепи от сопротивления внешней нагрузки.

- 1) Определите выражение для расчёта максимальной полезной мощности батареи в такой системе.
- 2) Нарисуйте алгоритм решения данной задачи в виде блок-схемы программы
- 3) Напишите код программы на языке Python, позволяющий решить данную задачу для любых входных параметров ЭДС и тока короткого замыкания, а также величины сопротивления внешней нагрузки и построить график зависимости мощности в цепи от сопротивления внешней нагрузки.

*Методические указания:*

*Для построения графиков рекомендуется использовать библиотеку `matplotlib.pyplot`.*

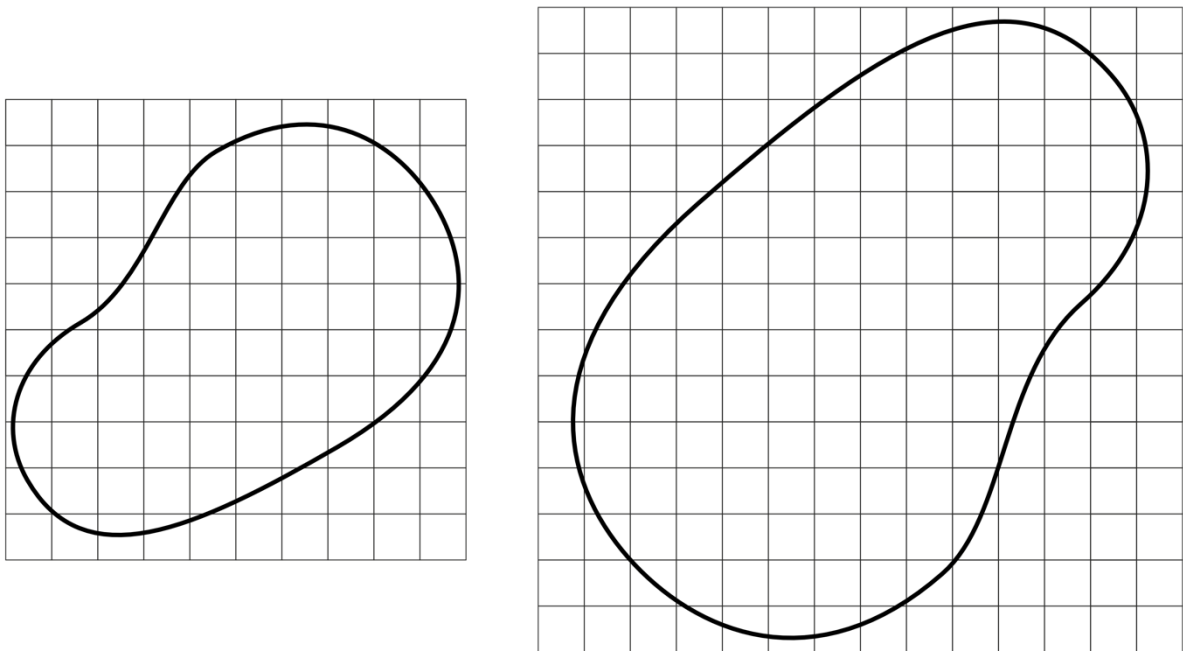
**МОСКОВСКАЯ ПРЕДПРОФЕССИОНАЛЬНАЯ ОЛИМПИАДА ШКОЛЬНИКОВ**  
**ЗАКЛЮЧИТЕЛЬНЫЙ ЭТАП**  
**ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ СЕКТОР**  
**МЕЖДИСЦИПЛИНАРНЫЕ ЗАДАЧИ**

---

**Вариант 2**

**Задача 1**

В результате разрыва трубопровода в 11:00 в море произошёл разлив нефти, который привёл к образованию тонкого пятна на поверхности воды. С помощью спутника была получена серия фотографий для оценки размеров нефтяного пятна. Слева на рисунке показано изображение пятна, полученное в 15:00, а справа – в 19:00. Размер одной клетки на рисунке составляет 10 x 10 м.



**Рисунок 1 – Серия фотографий нефтяного пятна**

Известно, что на спокойной водной поверхности (в отсутствии волн, ветра) нефтяное пятно принимает круглую форму и имеет одинаковую по всей поверхности толщину. Радиус такого нефтяного пятна можно оценить по формуле:

$$R = \left( \frac{\Delta\rho g V^2}{4\pi^2 \sigma} \right)^{\frac{1}{4}},$$

где  $\Delta\rho = \rho_{\text{в}} - \rho_{\text{н}}$  – разность плотностей воды и нефти,  $g$  – ускорение свободного падения,  $V$  – объем нефти,  $\sigma$  – коэффициент поверхностного натяжения на границе «вода-нефть». Используя данную формулу, можно оценить толщину нефтяной плёнки  $h$  на воде. Плотность морской воды  $\rho_{\text{в}} = 1025 \text{ кг/м}^3$ , плотность нефти  $\rho_{\text{н}} = 900 \text{ кг/м}^3$ , коэффициент

**МОСКОВСКАЯ ПРЕДПРОФЕССИОНАЛЬНАЯ ОЛИМПИАДА ШКОЛЬНИКОВ**  
**ЗАКЛЮЧИТЕЛЬНЫЙ ЭТАП**  
**ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ СЕКТОР**  
**МЕЖДИСЦИПЛИНАРНЫЕ ЗАДАЧИ**

---

поверхностного натяжения на границе  $\sigma = 0,1$  Н/м, ускорение свободного падения  $g = 10$  м/с<sup>2</sup>.

Принимая во внимание результаты моделирования катастрофы, которые показали, что зависимость скорости вытекания нефти от времени с начала аварии  $\mu(t) = a + bt$ , где  $a$  и  $b$  неизвестные коэффициенты, определите:

- 1) толщину нефтяной плёнки  $h$  на воде, ответ выразите в м и округлите до сотых;
- 2) объем вытекшей нефти в моменты времени 15:00 и 19:00, ответ выразите в м<sup>3</sup>;
- 3) значение коэффициентов  $a$  и  $b$ , при расчётах объем выражайте в м<sup>3</sup>, а время в ч, ответ округлите до сотых и укажите размерность;
- 4) сколько килограммов нефти вытекало из трубопровода за секунду в 15:00, ответ округлите до целых;
- 5) нарисуйте блок-схему программы, которая определяет значения площади нефтяного пятна в течение 7 часов с начала аварии с шагом в один час.

Входные данные:

$S_1$  – площадь пятна во время первого наблюдения;

$S_2$  – площадь пятна во время второго наблюдения;

$t_1$  – время первого наблюдения считая от начала аварии;

$t_2$  – время второго наблюдения считая от начала аварии;

Выходные данные:

$S_i$  – массив из 7 элементов,  $i$ -й элемент которого равен площади нефтяного пятна через  $i$  часов после начала аварии.

МОСКОВСКАЯ ПРЕДПРОФЕССИОНАЛЬНАЯ ОЛИМПИАДА ШКОЛЬНИКОВ  
ЗАКЛЮЧИТЕЛЬНЫЙ ЭТАП  
ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ  
МЕЖДИСЦИПЛИНАРНЫЕ

### Задача 2

Известно, что свет обладает двойственной природой. С одной стороны, он может рассматриваться как электромагнитная волна, скорость распространения в вакууме которой постоянна, с другой стороны, как поток фотонов – частиц, обладающих определённой энергией, импульсом и нулевой массой покоя. Причём при больших интенсивностях свет проявляет в большей мере волновые свойства, а при малых – корпускулярные. При этом интенсивность света, являющаяся энергетической характеристикой волны, связана линейно с потоком фотонов, соответствующему этой волне. Для изучения квантовой (корпускулярной) природы света в работе применяется специальный фоточувствительный прибор – фотоэлектронный умножитель (ФЭУ), способный регистрировать отдельные фотоны. Фотоэлектронный умножитель представляет собой электровакуумный прибор, в котором поток электронов, эмитируемых фотокатодом под действием оптического излучения, усиливается в умножительной системе (рисунок 2.) Фотокатод умножителя облучается светом через стеклянное или кварцевое окно, и испускает при этом электроны, которые в свою очередь умножаются с помощью специальных электродов, называемых динодами. Сам фотокатод выполнен из материалов, обладающих наименьшей работой выхода, что необходимо для достижения максимальной эффективности, и в основе его работы лежит известное физическое явление, называемое внешним фотоэффектом. Работа динодов основана на эффекте вторичной электронной эмиссии – явлении, когда первичный фотоэлектрон, попадая на динод под действием ускоряющего электрического поля, выбивает из него несколько вторичных электронов. Сколько в среднем появляется вторичных электронов, зависит и от энергии первичного электрона, и от материала динода. Эта величина называется коэффициентом вторичной эмиссии  $\delta$  и обычно для современных ФЭУ лежит в пределах от 3 до 10, количество динодов ФЭУ бывает от 9 до 13. Чтобы вылетевший из фотокатода фотоэлектрон пришел на 1-ый динод, имея достаточную энергию для

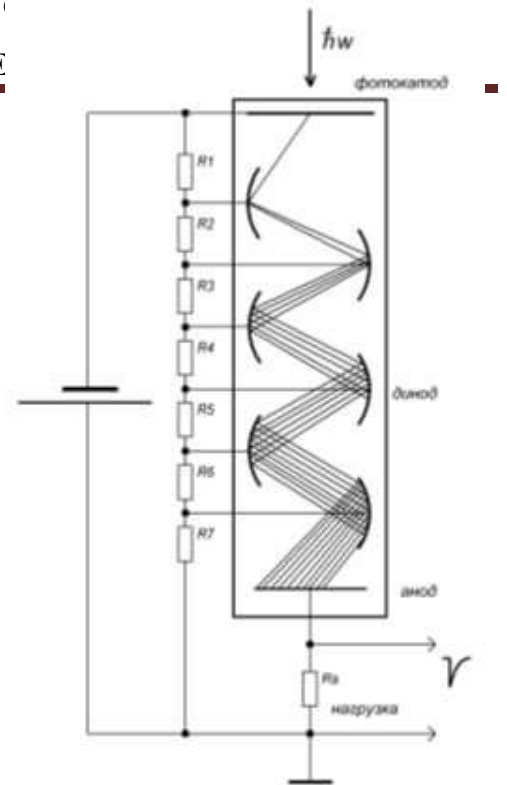


Рисунок 2 – Фотоэлектронный умножитель

**МОСКОВСКАЯ ПРЕДПРОФЕССИОНАЛЬНАЯ ОЛИМПИАДА ШКОЛЬНИКОВ**  
**ЗАКЛЮЧИТЕЛЬНЫЙ ЭТАП**  
**ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ СЕКТОР**  
**МЕЖДИСЦИПЛИНАРНЫЕ ЗАДАЧИ**

---

выбивания из него вторичных электронов, необходимо чтобы разность потенциалов между фотокатодом и 1-ым динодом составляла несколько сотен вольт. Аналогично, чтобы появившиеся с 1-ого динода примерно  $\delta$  штук вторичных электронов достигли следующего 2-ого динода, выбивая из него вторичные электроны, разность потенциалов между 1-ым и 2-ым динодом должна составлять те же несколько сотен вольт, и т.д. для остальных динодов. Для задания рабочих потенциалов фотокатода и динодов используются высоковольтные источники питания ( $1000 \div 2500$  В) и резистивные делители напряжения. В конце системы динодов расположен анод, к выводу которого присоединен резистор в качестве анодной нагрузки. Таким образом, при рождении первичного фотоэлектрона на динодах формируется лавина вторичных электронов и происходит процесс умножения, при этом в цепи анодной нагрузки возникает короткий импульс тока, синхронный с поглощением фотона фотокатодом, который приводит к появлению на ней импульса напряжения. Эти импульсы напряжения обрабатываются системами регистрации. Свойства ФЭУ определяется многими параметрами, например, такими как:

- 1) Полоса спектральной чувствительности (до  $300 \div 850$  нм), которая определяется материалом входного окна, работой выхода материала фотокатода.
- 2) Квантовый выход фотокатода, т.е. вероятность испускания фотоэлектрона при попадании фотона на фоточувствительный слой. В лучшем случае этот параметр не превышает 30%.
- 3) Коэффициент умножения, равный количеству вторичных электронов, вылетевших с последнего динода после поглощения фотона. У разных ФЭУ значение лежит в пределах  $10^3 \div 10^8$ .
- 4) Темновой ток и, соответственно, количество шумовых импульсов, которые определяются уровнем термоэлектронной эмиссии из фотокатода. Эти параметры лежат в пределах  $10^{-8} \div 10^{-10}$  А и  $10^4 \div 10^2$  имп./сек.

Фотоэлектронные умножители применяются во многих областях науки и техники - таких как медицина, биология, ядерная физика, физика элементарных частиц и т.д., в качестве малошумящих, быстродействующих фотоприемников сверхмалых интенсивностей света в инфракрасном, видимом и ультрафиолетовом диапазонах. Надо отметить, что несмотря на

**МОСКОВСКАЯ ПРЕДПРОФЕССИОНАЛЬНАЯ ОЛИМПИАДА ШКОЛЬНИКОВ**  
**ЗАКЛЮЧИТЕЛЬНЫЙ ЭТАП**  
**ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ СЕКТОР**  
**МЕЖДИСЦИПЛИНАРНЫЕ ЗАДАЧИ**

---

появление первых ФЭУ в первой половине 20-го века, до сегодняшнего дня во многих применениях им не найдены альтернативы.

Для тестирования и калибровки ФЭУ, а также определения их характеристик, можно применять экспериментальные стенды, в которых регулируемый поток фотонов от светодиода или лампы пропускается через светофильтр. Поглощение светофильтра подобрано так, что при номинальной интенсивности свечения светодиода, через него "прорываются" лишь единичные фотоны. Инженер-исследователь для измерения характеристик предоставленного ФЭУ снимал зависимости частоты импульсов  $N$  и фототока  $I_p$  от тока светодиода  $J_d$  с шагом 1 мА. Измерения частоты он прodelывал 3 раза для большей точности результата (табл. 1). Также он измерял зависимость фототока  $I_p$  от напряжения питания ФЭУ  $V$  (табл. 2). Из-за болезни он не успел закончить свою работу, поэтому вам предлагается завершить испытание ФЭУ и определить его характеристики:

- 6) По предоставленной таблице измерений определить среднее значение и погрешности частоты импульсов любым известным вам методом.
- 7) Построить графики зависимостей  $N = f(J_d)$  и  $N = f(I_p)$  на листе миллиметровой бумаги (каждый график на отдельном листе).
- 8) Написать вывод о характере наблюдаемых зависимостей, а также предложить теоретическую формулу, которая их описывает (с указанием физического смысла коэффициентов формулы).
- 9) С помощью графика  $N = f(I_p)$  определите коэффициент умножения ФЭУ по формуле  $K = \delta I_p \Delta t / (\delta N Q_e)$ , где  $Q_e$  – заряд электрона, а  $\Delta t$  – интервал счета, равный 1 секунде.
- 10) Постройте график зависимости фототока  $I_p$  от напряжения питания ФЭУ  $V$  и сделайте вывод о характере полученной зависимости.

**МОСКОВСКАЯ ПРЕДПРОФЕССИОНАЛЬНАЯ ОЛИМПИАДА ШКОЛЬНИКОВ**  
**ЗАКЛЮЧИТЕЛЬНЫЙ ЭТАП**  
**ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ СЕКТОР**  
**МЕЖДИСЦИПЛИНАРНЫЕ ЗАДАЧИ**

---

**Таблица 1.**

$J_d$ , мА	$I_p$ , нА	$N_1$ , с <sup>-1</sup>	$N_2$ , с <sup>-1</sup>	$N_3$ , с <sup>-1</sup>
10	15,8	22689	22598	22981
9	14,5	20789	20155	20556
8	13	18606	18581	18710
7	11,5	16193	16071	16313
6	9,9	13850	14154	14052
5	8,5	11668	11757	11631
4	6,9	9194	9433	9251
3	5,2	6266	6922	6785
2	3,5	4400	4566	4463
1	2	2275	2219	2242

**Таблица 2.**

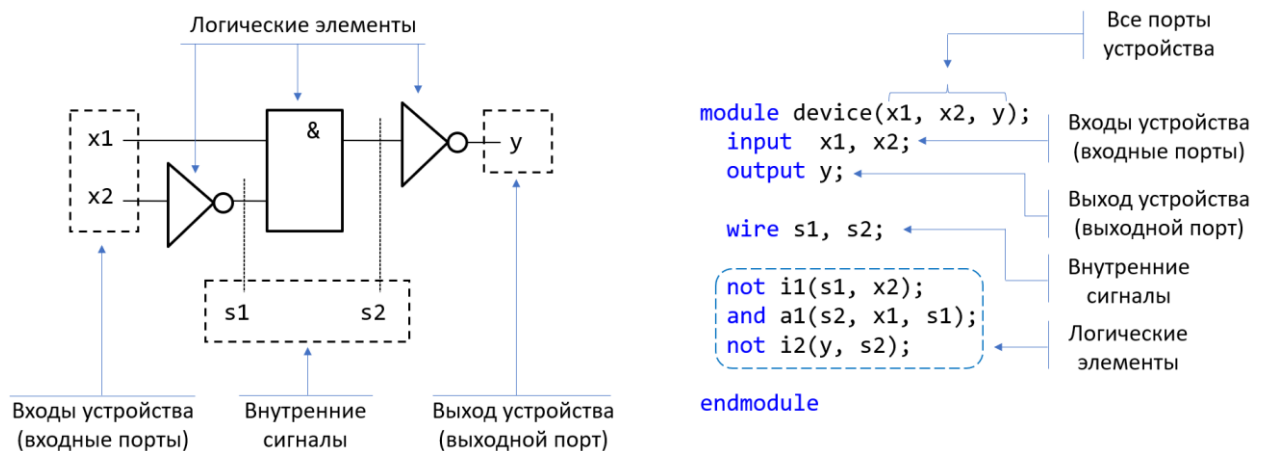
$V$ , кВ	$I_p$ , нА
2	16,2
1,95	11,9
1,91	9,8
1,85	7,3
1,8	5,1
1,7	2,8
1,59	1,4
1,49	0,6
1,4	0,2
1,3	0

**МОСКОВСКАЯ ПРЕДПРОФЕССИОНАЛЬНАЯ ОЛИМПИАДА ШКОЛЬНИКОВ**  
**ЗАКЛЮЧИТЕЛЬНЫЙ ЭТАП**  
**ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ СЕКТОР**  
**МЕЖДИСЦИПЛИНАРНЫЕ ЗАДАЧИ**

---

### Задача 3

При проектировании цифровых схем для описания их функционирования используются специальные языки, называемые языками описания аппаратуры (англ. Hardware Description Language, HDL). Одним из них является Verilog HDL. На рисунке 3 приводится пример схемы и соответствующий ей код на Verilog HDL.



**Рисунок 3 - Комбинационная схема и её описание на языке Verilog**

Описание начинается с ключевого слова `module` и заканчивается ключевым словом `endmodule`. Около имени модуля (произвольное, задаётся разработчиком) указывается перечень всех портов схемы: входных и выходных. На следующей строке специфицируется, какой порт в каком направлении работает, какой из них входной, а какой – выходной. Затем указывается перечень всех сигналов, которые необходимо дополнительно ввести, чтобы показать, как связаны между собой логические элементы. Последним указывается сам перечень выполняемых логических функций; язык Verilog поддерживает следующий набор встроенных логических функций: `not`, `and`, `or`, `nand`, `nor`, `xor`, `xnor`. Следует обратить внимание, что при описании выполняемых функций выход ставится вначале, это правило языка.

Разобравшись с синтаксисом языка, ваша задача привести описание схемы, приведённой на рисунке 4.



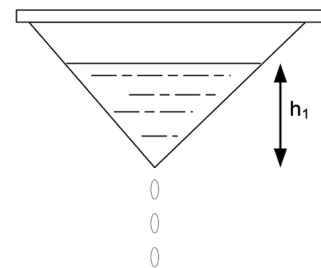
**МОСКОВСКАЯ ПРЕДПРОФЕССИОНАЛЬНАЯ ОЛИМПИАДА ШКОЛЬНИКОВ**  
**ЗАКЛЮЧИТЕЛЬНЫЙ ЭТАП**  
**ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ СЕКТОР**  
**МЕЖДИСЦИПЛИНАРНЫЕ ЗАДАЧИ**

---

**Задача 4**

Имеется вертикальная воронка с высотой  $h = 1$  м. В воронку в начальный момент налили ртуть до некоторого уровня  $h_1$  и сразу же закрыли ее плоской герметичной крышкой. Давление воздуха над ртутью в этот момент было равно атмосферному  $P_a = 10^5$  Па. В нижней точке воронки имеется очень тонкое отверстие, через которое ртуть капает наружу, причем скорость вытекания ртути пропорциональна разности давления ртути около отверстия и атмосферного давления. При высоте ртути в сосуде равной  $h_2 = 0,4h$  она перестала вытекать. Считать, что температура остается постоянной. Плотность ртути считать равной  $\rho = 13\ 600$  кг/м<sup>3</sup>. Давление паров ртути не учитывайте. Ускорение свободного падения принять равным  $10$  м/с<sup>2</sup>. Найдите высоту  $h_1$ , ответ округлите до сотых.

**Рисунок 5 – Воронка**



**Задача 5**

Расчётные задачи, несмотря на свою кажущуюся простоту, оказываются достаточно трудоёмкими при необходимости пересчёта разработанной модели под произвольные параметры. В подобных случаях широко используется численное моделирование, например, с помощью популярного языка Python. Рассмотрим батарею аккумуляторов с ЭДС  $E = 10$  В, сила тока  $I$  короткого замыкания в цепи которой равна 2 А. Одной из задач, связанной с источниками питания является определение наибольшей мощности, которую можно получить в соединённой с источником внешней цепи и построения графиков зависимости мощности в цепи от сопротивления внешней нагрузки.

- 1) Определите выражение для расчёта максимальной полезной мощности батареи в такой системе.
- 2) Нарисуйте алгоритм решения данной задачи в виде блок-схемы программы
- 3) Напишите код программы на языке Python, позволяющий решить данную задачу для любых входных параметров ЭДС и тока короткого замыкания, а также величины сопротивления внешней нагрузки и построить график зависимости мощности в цепи от сопротивления внешней нагрузки.

*Методические указания:*

*Для построения графиков рекомендуется использовать библиотеку matplotlib.pyplot.*