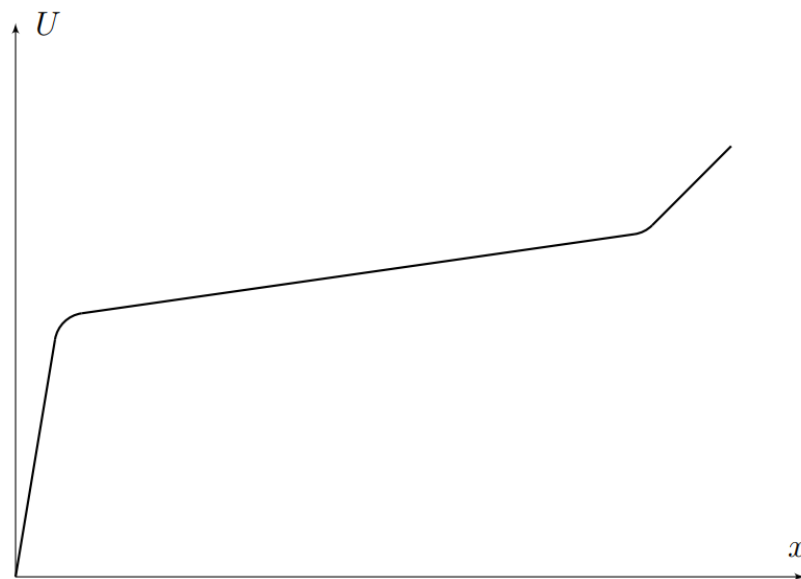




Электрический разряд поражал воображение человечества с древних времен, наиболее впечатляющими были молнии. Многие разновидности электрических разрядов изучаются на микро- или макроуровне. В этой задаче мы рассмотрим электрический дуговой разряд. Электрическая дуга представляет собой автономный (самоподдерживающийся) разряд в газе, характеризующийся:

1. очень высокой плотностью тока;
2. низким падением напряжения на дуге;
3. зависимостью площади сечения дуги от тока;
4. нелинейностью вольт-амперной характеристики дуги

Разряд представляет из себя квазинейтральный плазменный "шнур" радиуса R , в котором движутся заряженные частицы, полученные при ионизации газа (преимущественно электроны). Большие давления, связанные с создаваемым токами в шнуре магнитным полем, ограничивают его радиус. Также в шнуре достигаются высокие температуры порядка 10000 К. На графике показана примерная зависимость потенциала от координаты вдоль шнура. Сложные краевые эффекты приводят к околоэлектродным падениям напряжения, набирающихся на очень малых расстояниях



Часть А

Сначала мы рассмотрим простейшую модель, позволяющую объяснить нелинейность ВАХ дуги. Пусть плотность тока j постоянна по сечению шнура; температура T и концентрация n электронов на оси шнура не зависят от приложенного напряжения. Краевые эффекты учтем вычитанием из полного подаваемого напряжения некоторой постоянной величины U_0 . Длина шнура d .

A1 1.00 Запишите условия механического равновесия для плазменного шнура и найдите зависимость давления от радиальной координаты $p(r)$.

A2 0.50 Считая, что на границе шнура давление пренебрежимо мало, получите зависимость радиуса шнура от напряжения, пользуясь соотношением $j = \lambda E$, где E – напряженность поля, λ – проводимость среды (считайте её постоянной). Соотношение выше – это закон Ома, записанный в дифференциальной форме

В 1902 году Гертой Айртон было предложено следующее уравнение для вольт-амперной характеристики дуги: $U = a + b/I$, где U – разность потенциалов между электродами, I – сила тока, a и b – положительные коэффициенты, являющиеся функциями длины дуги.

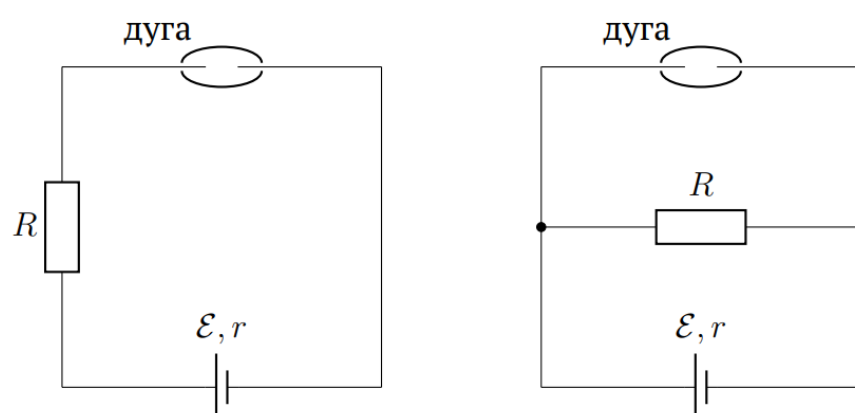
A3 0.50 Покажите, что из результатов пунктов A1 и A2 следует схожий вид зависимости. Найдите значения a и b через заданные параметры дуги и физические постоянные.

Часть В

Теперь рассмотрим поведение дугового разряда как элемента электрической цепи. Дуга возникает между двумя электродами, когда они сближаются и газ в пространстве между ними ионизируется. Если электроды соединить, дуга пропадет. Если электроды снова развести, дуга появится вновь. Дуга исчезнет, когда расстояние между электродами превысит некоторое критическое значение. Однако следует отметить, что если просто непрерывно увеличивать напряжение между контактами (между которыми расстояние меньше критического), то дуговой разряд может возникнуть, но, вообще говоря, он может быть нестабилен и исчезнуть при малых флуктуациях тока в цепи.

В этой части задачи длина дугового промежутка поддерживается постоянной. Далее считайте, что дуговой промежуток подключен к генератору с ЭДС $\mathcal{E}$ и внутренним сопротивлением r .

Стабилизация режима разряда может быть выполнена с помощью резистора сопротивлением R . Его можно подключить как последовательно, так и параллельно с дуговым промежутком.



B1 1.00 Постройте вольтамперные характеристики для всей цепи (кроме источника) для каждого из случаев. Укажите на графике точки, в которых может возникнуть разряд.

В случае параллельного подключения в силу неоднозначности ВАХ анализировать устойчивость разряда сложно. Поэтому далее будем рассматривать последовательное подключение.

- B22.00

С помощью схем, графиков, формул проанализируйте возможности получения устойчивого разряда. Укажите все точки, где получается устойчивый и неустойчивый разряд.
- B30.50

Найдите значения тока в разряде (т.н. рабочие точки) через $\mathcal{E}$, R , r , a , b .
- B41.50

Найдите условие устойчивости тока разряда. Ответ выразите через R , r и b .
- B50.50

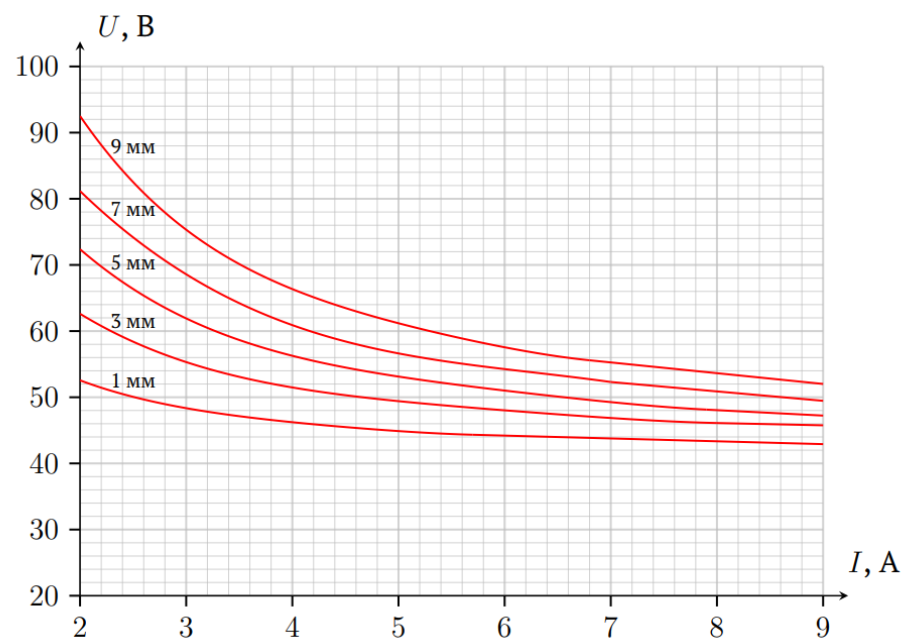
Найдите максимальное значение сопротивления R , для которого можно получить стационарный разряд для заданного источника $(\mathcal{E}, r)$.
- B61.00

Нарисуйте на одном графике зависимость выделяемой мощности от силы тока $P = f(I)$ для каждого элемента цепи и для всей цепи в целом. Отметьте на графике точки, в которых возможно горение дуги.

Часть С

Теперь изучим зависимость ВАХ от длины дугового промежутка. Следует заметить, что модель, используемая в части А, не учитывает множество факторов и на эксперименте мы можем иметь отклонения от предсказываемых зависимостей; поэтому обратимся к экспериментальным данным.

На графиках представлена зависимость напряжения U на дуге от тока I при различных значениях длины дуги d .



- C11.00

Определите вид зависимости коэффициентов a и b от длины дуги и численные значения характерных параметров.
- C20.50

С дугой, исследуемой в пункте С1, проводится следующий эксперимент. После получения устойчивого разряда длина дугового промежутка начинает увеличиваться, при этом ЭДС в цепи изменяется так, чтобы поддерживать ток через дугу постоянным и равным $I = 5$ А. Полное омическое сопротивление цепи (без дуги) равно $R = 2$ Ом. Определите:
1. при какой длине дуги разряд станет нестационарным;
2. какова при этом будет ЭДС источника.