

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ  
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ «НОВОСИБИРСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ  
ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ».

Физический факультет  
Кафедра общей физики  
Першин Даниил Денисович

КУРСОВАЯ РАБОТА

**Изучение эффектов, связанных с контактной разностью потенциалов**

Электромагнитный практикум, 2 курс, группа №19304

**Научный руководитель:**

Младший научный сотрудник,  
Яцких Алексей Анатольевич

Оценка научного руководителя

\_\_\_\_\_  
«\_\_\_\_\_» \_\_\_\_\_ 20\_\_ г.

**Преподаватель практикума**

Туманов Сергей Витальевич

Оценка преподавателя практикума

\_\_\_\_\_  
«\_\_\_\_\_» \_\_\_\_\_ 20\_\_ г.

**Куратор практикума:**

к.т.н. В.Т. Астрелин

Итоговая оценка

\_\_\_\_\_  
«\_\_\_\_\_» \_\_\_\_\_ 20\_\_ г.

Новосибирск 2020

### Аннотация.

В ходе выполненной работы было изучено явление контактной разности потенциалов в зависимости от температуры. Изучение данного эффекта проводилось на примере контакта сталь-вольфрам. Исследования проведены в диапазоне температур 450-800 градусов Кельвина. Была получена зависимость контактной разности потенциалов от температуры, согласно экспериментальным данным. Для нагрева использовался горячий поток воздуха. Получено, что на некоторых интервалах исследуемого диапазона температур ЭДС линейно зависит от температуры. Наблюдается нелинейное поведение графика на большом диапазоне температур.

## Оглавление

1. Введение.....	4-5
2. Теория.....	5-7
3. Эксперимент.....	7-12
4. Выводы.....	12
5. Список литературы.....	6

## Введение

**Контактная разность потенциалов** - разница между потенциалами, которая возникает при соединении отличных друг от друга твердых проводников, температура которых одинакова. Этот эффект обнаружил ученый-физик из Италии А. Вольта (1745-1827). Данное явление находит свое применение в изучении физики твердого тела, а также является принципом работы термоэлектронных приборов (термоэлектрические явления, такие как эффект Зеебека, эффект Пельтье и эффект Томпсона, являются следствием контактной разности потенциалов). Однако этот эффект часто встречается при проведении не только различных научных исследований, но и в повседневной жизни. Например, из-за контактной разности потенциалов при соприкосновении одежды с кожей человека появляются поверхностные заряды.

Также А. Вольтом было получено 2 закона. Первый: контактная разность потенциалов зависит от температуры проводников, находящихся в контакте, а также от их химического состава, но больше ни от чего не зависит. Второй: контактная разность потенциалов последовательно соединенных различных проводников, не имеет зависимости от химического состава промежуточных проводников. Существует много различных методов измерения контактной разности потенциалов. Они различны не только методом воздействия на исследуемые металлы, но и условием, при которых проводятся измерения.

Контактная разность потенциалов влияет на работу и характеристики электровакуумных приборов. Также, контактная разность потенциалов, которая возникает при контакте двух полупроводников, имеющих различные типы проводимости, обеспечивает нелинейность ВАХ в полупроводниковых приборах. Пример прибора, в случае которого контактная разность оказывает влияние на вольт-амперную характеристику - вакуумный диод. Контактная разность потенциалов подразделяется на внутреннюю и внешнюю. При измерении внутренней разности потенциалов рассматривают потенциалы

проводников, на поверхности которых в любой точке потенциал одинаков. Внутренняя контактная разность потенциалов лежит в основе принципа функционирования транзисторов, диодов при p-n переходе. Когда же речь идет о внешней контактной разности потенциалов, рассматривают потенциалы вблизи поверхности проводников. Внешняя контактная разность потенциалов возникает не только при соприкосновении металлов, но и в следствии обмена металлов электронами. Это явление называется термоэлектронной эмиссией. В отличии от внутренней, внешнюю разность потенциалов можно измерить.

В данной работе исследовать явление контактной разности потенциалов на примере сплетенных проволок алюминия и вольфрама.

### Теория

Для объяснения явления контактной разности потенциалов обратимся к зонной теории - основе современного представления о теории твердых тел. Она описывает движение электронов в веществах, а также является важным фундаментом при изучении металлов, диэлектриков, а также полупроводников.

Рассмотрим соединение двух металлов (обязательно различных, имеющих различные работы выхода). Работа выхода первого металла -  $A_1$ , второго -  $A_2$ . Пусть для определенности  $A_1 < A_2$ . Тогда в первом металле уровень Ферми (наивысший энергетический уровень, занятый электронами) будет выше, чем во втором.

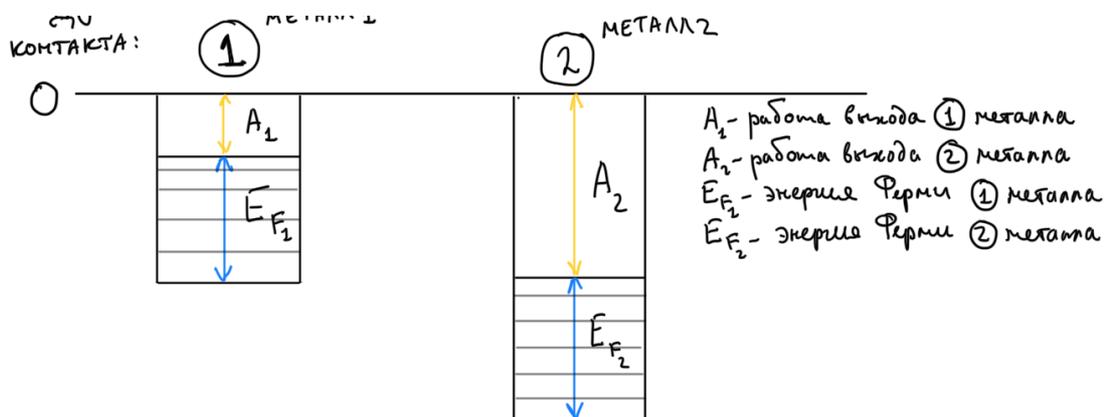


Рис. 1. Энергии металлов до взаимодействия

При контакте металлов электроны с высоких энергетических уровней первого металла будут перемещаться на низкие уровни второго металла.

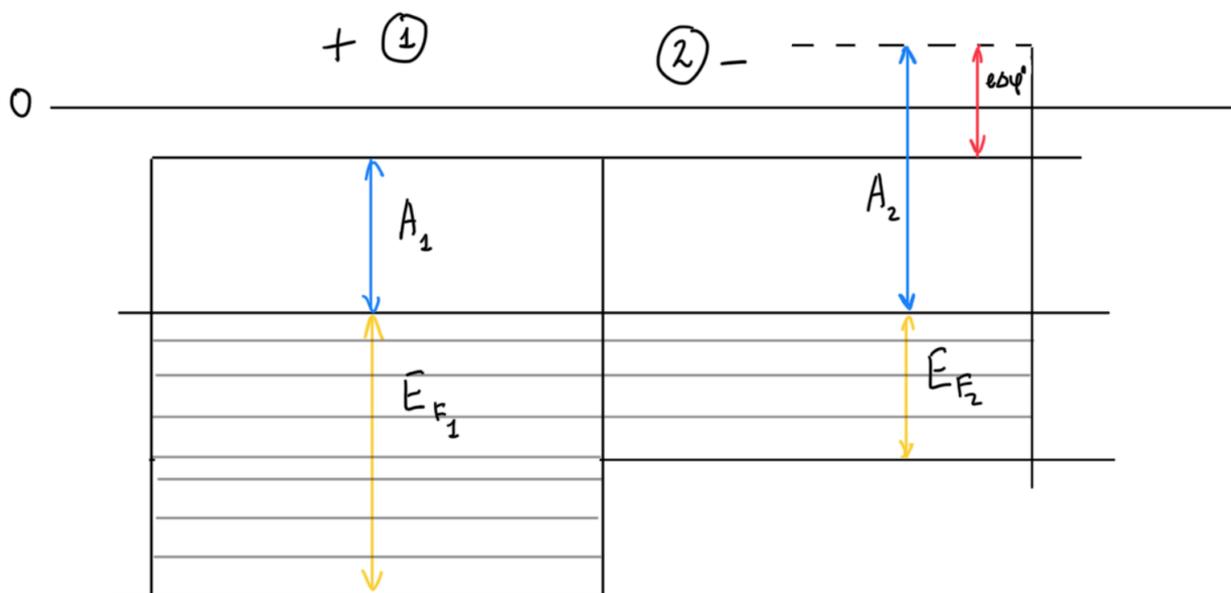


Рис 2. Энергии металлов после взаимодействия

В результате данного процесса первый металл приобретет положительный заряд, а второй - отрицательный. При этом в первом металле энергетические уровни «смещаются» вниз, а во втором - вверх. Это приводит к тому, что уровни Ферми начинают совпадать, но при этом работы выхода  $A_1$  и  $A_2$  не изменяются. Значит, потенциальная энергия электронов в условных точках вблизи поверхности металла, обозначенных на рисунке цифрами 1 и 2, будет различаться. Тогда можно вычислить разность потенциалов между этими точками:

$$\Delta \varphi = \frac{A_2 - A_1}{e}$$

Такая разность потенциалов называется внешней контактной разностью потенциалов.

Между внутренними точками металлов также можно обнаружить разность потенциалов. Она возникает за счет того, что энергии Ферми двух металлов различные.

$$\Delta \varphi = \frac{E(F_1) - E(F_2)}{e}$$

Эту величину называют внутренней контактной разностью потенциалов. Она зависит от температуры контактов металлов, так как энергия Ферми есть функция, имеющая зависимость от температуры. Заметим, что внутренняя контактная разность потенциалов объясняет эффекты Зеебека, Томсона и Пельтье.

После установления равенства энергий Ферми двух металлов заряды, которые расположены на свободных поверхностях, создают поле. При этом заряды, находящиеся в месте контакта, образуют потенциальный барьер.

Согласно распределению Больцмана плотность распределения электронного газа:  $n_2 = n_1 e^{\frac{-\Delta A}{kT}}$ , где  $\Delta A = e(\varphi_1 - \varphi_2)$ ,  $\varphi_1$  и  $\varphi_2$  – потенциалы металлов после наступления равновесного состояния. Тогда 
$$\Delta A = e(\varphi_1 - \varphi_2)_n = kT \ln \frac{n_1}{n_2}; \quad (\varphi_1 - \varphi_2)_n = \frac{kT}{e} \ln \frac{n_1}{n_2}$$

( $k$  – постоянная Больцмана,  $T$  – абсолютная температура металлов).

Эти эффекты необходимо учитывать при изучении режимов полупроводниковых и электровакуумных приборов. Как отмечалось во введении, это оказывает влияние на ВАХ термоэмиссионного диода.

## Эксперимент

Перейдем к описанию эксперимента. Для создания повышенной температуры использовался термофен от паяльной станции LUCKY 702. Чтобы проверить показания температуры, которую создавал фен, использовался терморезистор, имеющей сопротивление 1,4 Ом при комнатной температуре. Для измерения ЭДС и сопротивления терморезистора в работе использовался мультиметр Agilent 34401A.

Для начала в штативе был закреплен терморезистор. После проведения измерений зависимости сопротивления терморезистора от температуры, нагнетаемой феном, на место терморезистора была помещена сплетенная

проводка вольфрам-алюминий. Двигая фен по 3-м осям, было найдено амплитудное значение сопротивления терморезистора, показываемое мультиметром.

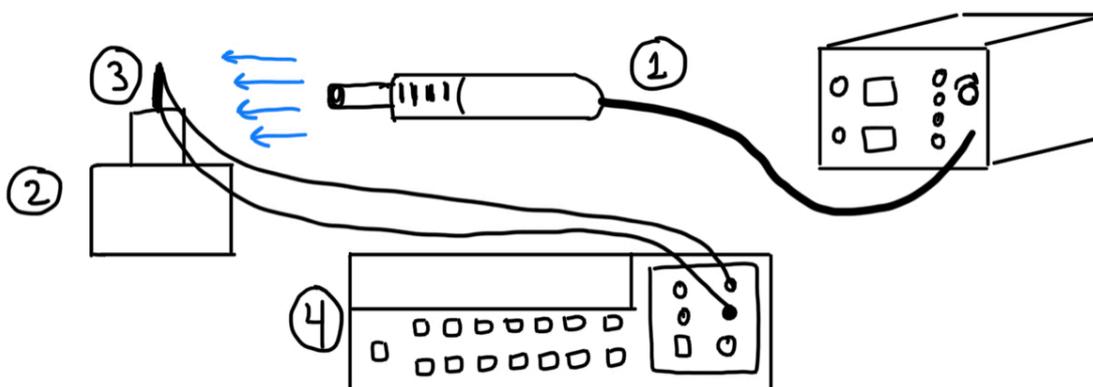


Рис. 3. 1 - паяльная станция с термофеном LUCKY 702; 2 - подставка, на которой закреплен терморезистор/проволока; 3 - терморезистор/проволока; 4 - мультиметр Agilent 34401A.

В этой работе паяльная станция использовалась не по назначению, а исключительно с целью создания повышенной температуры.

График зависимости температуры, показываемой феном, от сопротивления:

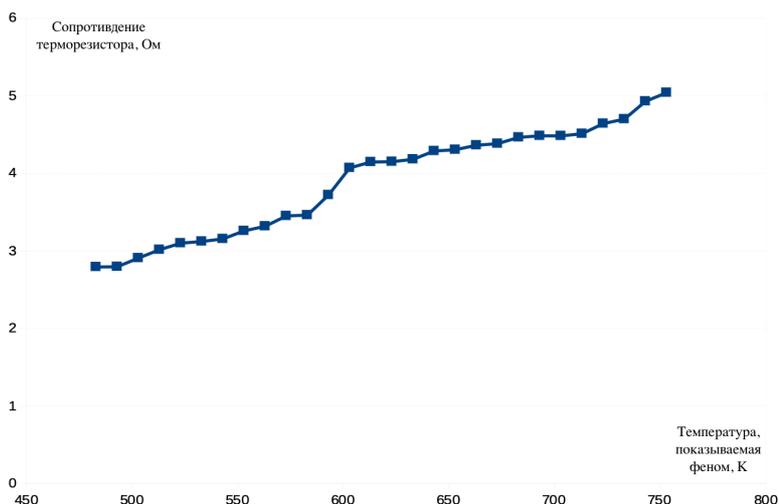


Рис 4. График зависимости сопротивления терморезистора от температуры

Нетрудно получить столбец значений для удельного сопротивления, используя формулу его связи с сопротивлением терморезистора:

$$\rho = \frac{Rs}{l}$$

где  $S = 78 \cdot 10^{-12}$ ,  $l = 1,5$  мм

При измерениях удельной плотности было измерено и учтено сопротивление проводов. Оно составило порядка 0,6 Ом. Все показания мультиметра были откорректированы на величину этого сопротивления.

Чтобы вычислить значения температур, примем за модель линейную зависимость удельного сопротивления от температуры:

$$\rho = aT + b$$

Необходимо отметить, что такая модель имеет недостатки, потому что на широком диапазоне температур  $a$  меняется, соответственно зависимость будет нелинейной. Но в нашем эксперименте максимальная температурная погрешность, выражаемая формулой

$$\frac{T - T^{line}}{T} 100\%$$

составила всего несколько процентов, что в контексте модели эксперимента вполне удовлетворительно, поэтому использовалась эта модель.

Аппроксимация удельного сопротивления линейной функцией:

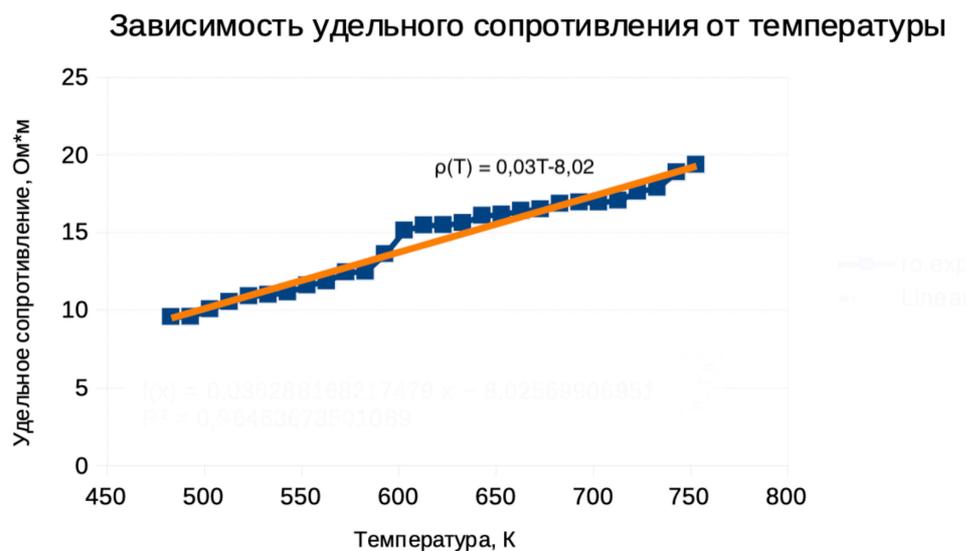


Рис. 5. Линейная аппроксимация зависимости температуры от удельного сопротивления

Отсюда видно, что  $b = -8,02$ ,  $a = 0,03$ . Тогда

$$T = \frac{\rho - b}{a}$$

Ниже приведены измерения температуры по формуле, приведенной выше, в сравнении с температурой, которую показывал термо-фен, а также погрешность измерения температуры.

Температура, которую показывает фен, К	Температура, посчитанная по формуле, К	Погрешность измерения температуры по формуле, %
753	760,769290123457	-1,03177823684684
743	747,322530864197	-0,581767276473413
733	719,45987654321	1,84722011688817
723	712,554783950617	1,4447048477708
713	696,685185185185	2,28819282115216
703	693,293209876543	1,38076673164393
693	693,414351851852	-0,059791032013237
683	690,991512345679	-1,17006037272019
673	681,179012345679	-1,21530644066551
663	678,635030864197	-2,35822486639477
653	671,729938271605	-2,86829070009263
643	669,670524691358	-4,14782654608989
633	656,708333333333	-3,74539231174301
623	652,952932098765	-4,80785426946473
613	652,468364197531	-6,43855859666078
603	643,261574074074	-6,67687795589949
593	600,983024691358	-1,34620989736218
583	569,486111111111	2,31799123308558
573	568,274691358025	0,824661194062025
563	552,041666666667	1,94641799881587
553	544,894290123457	1,46577032125557

Температура, которую показывает фен, К	Температура, посчитанная по формуле, К	Погрешность измерения температуры по формуле, %
543	532,295524691358	1,97135825205196
533	528,297839506173	0,882206471637383
523	525,632716049383	-0,503387389939305
513	515,456790123457	-0,478906456814171
503	502,373456790123	0,124561274329358
493	488,805555555556	0,850800090151006
483	488,44212962963	-1,12673491296678

Таблица 1. Температура, посчитанная по модели линейной аппроксимации в сравнении с температурой, показываемой феном.

Измерив значения температуры, провели измерения ЭДС. График зависимости ЭДС от температуры:

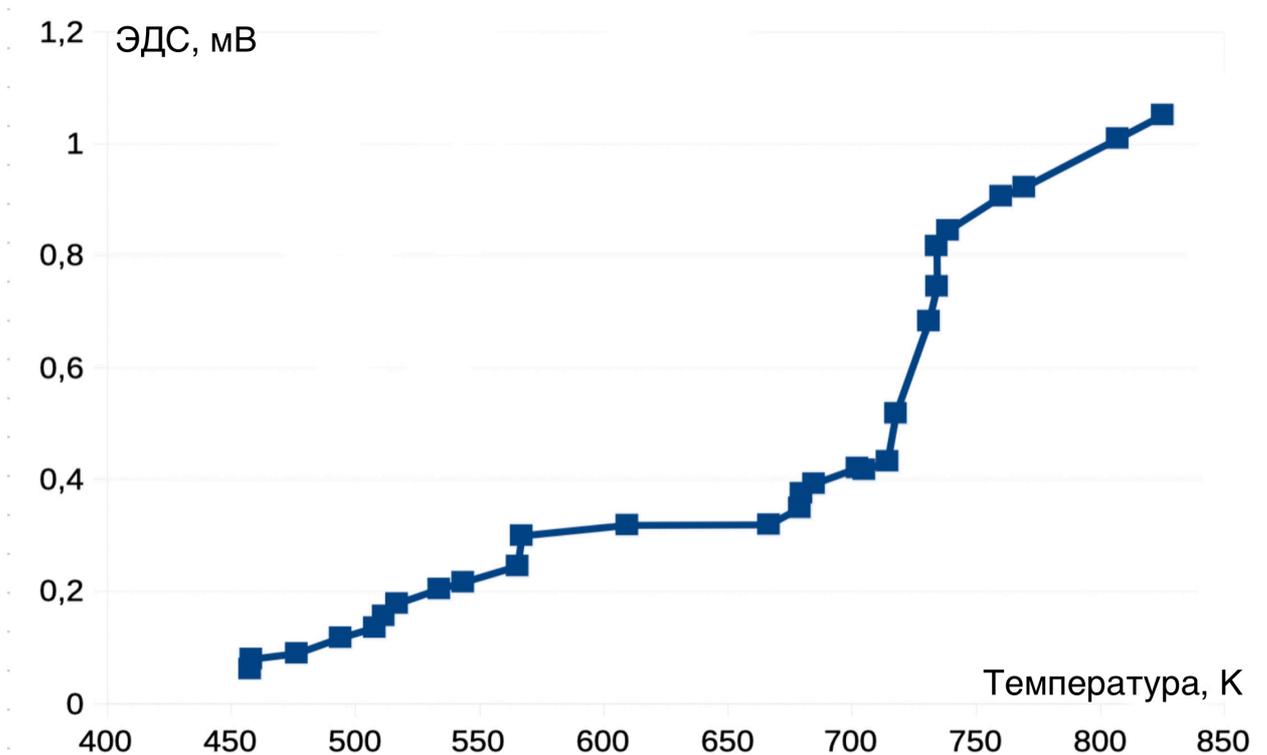


Рис. 6. График зависимости ЭДС от температуры

Как видно из графика, на определённых диапазонах наблюдается линейная зависимость, но при диапазоне температур 575-750 К требуются дальнейшие исследования.

## Выводы:

Исследовалось явление контактной разности потенциалов. Получен график зависимости сопротивления терморезистора от температуры. Температурные показания фена оказались близки к модели линейной аппроксимации температуры в зависимости от удельного сопротивления. Контактная разность потенциалов увеличивается при увеличении температуры. Поведение графика на небольших интервалах линейно, но на большом промежутке поведение ЭДС нелинейно. Чтобы изучить его, требуются дальнейшие исследования.

## **6. Список литературы**

1. *Д.В.Сивухин*. Общий курс физики. Т.III Электричество. М.: ФИЗМАТЛИТ; Изд-во МФТИ, 2004. - 656 с.
2. *Р.Г.Геворкян*. Курс физики. Москва. Высшая школа. 1979. 656 с.
3. Мультиметр Agilent 34401A. Инструкция для пользователя // Agilent Technologies Inc. отпечатано в Малайзии, 2003. 236 стр.
4. *Б.А.Князев, В.С.Черкасский*. Начала обработки экспериментальных данных. Электронный учебник и программа обработки данных для начинающих: Учебное пособие. Новосиб. ун-т. Новосибирск, 1996. 93 с.
5. Таблицы физических величин. Справочник. Под ред. акад. И. К. Кикоина. М., Атомиздат, 1976. 1008 с.
6. *В. Э. Пелецкий, Э. А. Бельская*. Электрическое сопротивление тугоплавких металлов. Справочник. 50 с.