

# ФИЗИКА ЭЛЕКТРОПРОВОДНОСТИ

А.П.Саврухин

E-mail: savrukhin@ya.ru.

## Аннотация

Утверждается, что при нормальных условиях в металлах не существует ток проводимости как направленное движение электрических зарядов. Металлы рассматриваются как легко поляризуемая среда, преобразующая энергию электрического поля в энергию магнитного поля и теплоту. Сверхпроводник это полный эквивалент постоянного магнита. Процесс переноса энергии определяется векторами Умова и Пойнтинга.

## Содержание

1. Введение. Существо проблемы и исходные предпосылки.
2. Понятия тока и электропроводности.
3. Параметры металлов и их группировка.
4. Статистический анализ параметров металлов.
5. Металлы в периодической системе элементов.
6. Таблицы данных.
7. Заключение.
8. Библиография.

### **1. Введение. Существо проблемы и исходные предпосылки**

Глубоко укоренившиеся в науке представление о токе проводимости в металлах, как о направленном движении электрических зарядов, в свете современных достижений в области микроэлектроники и высокотемпературной сверхпроводимости, нуждается в пересмотре. Гипотеза о существовании свободных электронов в металлах при нормальных условиях не имеет подтверждений.

В предыдущих работах автора [1-4] вводится понятие о вакууме, как среде – носителнице всех видов полей. Первичные частицы, порождаемые вакуумом, это протон и электрон; все прочие есть их комбинации. Как таковые, только они являются источниками полей: электрических, магнитных и сильных, участвуя во всех видах взаимодействий. Собственная виртуальная плотность энергии вакуума такова, что никакое искусственно созданное поле не достигает критических для него значений. Никакое поле нельзя создать, его можно только организовать, сформировать из его источников – элементарных частиц. Указанные работы содержат обзоры и подробный перечень литературы. Даём краткое изложение в части вопросов, рассматриваемых здесь.

Убедительных доказательств существования "электронного газа" известные опыты не принесли [5-8]. В работе [8] показано, что результаты Толмена и Стюарта [9] не только не доказывают наличие свободных электронов в металлах, но свидетельствуют об обратном. Добавим, что, поскольку теплоёмкость металлов, как и у диэлектрических кристаллов, подчиняется закону Дюлонга и Пти при температурах выше дебаевской (315 К у меди), свободные электроны в металлах не дают заметного вклада в теплоёмкость [10]; а с понижением температуры теплоёмкость линейно падает. В работе [11], например, утверждается, в согласии с зонной теорией, что при обмене энергией с кристаллической решёткой электрон может получить добавочную кинетическую энергию порядка  $kT=8.6 \cdot 10^{-5}$  эВ/К, достаточную для перевода электрона из валентной зоны в зону проводимости. На

самом деле даже при температуре 300 К это составит всего 1/300 от параметра ионизации. Нет и эталона тока, ибо существующий эталон в виде токовых весов настроен на измерение силы взаимодействия проводников, т.е. является измерением косвенным. Что касается тока смещения, то поворот диполей есть, конечно, обратимое перемещение зарядов, но не есть ток как перенос зарядов; ток же в электролитах есть встречный перенос имеющихся зарядов разного знака и, значит, ток. Однако, из законов Фарадея для электролитов никак не следует, что заряды притекают из токоподводов. Также и в плазме. На самом деле, ток  $I$  есть обозначение внутреннего потока  $4\pi\Phi$  вектора  $H$ , а измерение тока есть нахождение циркуляции  $\oint Hdl$ .

Например, в меди, с учётом зависимости теплоёмкости от температуры, плотность энергии при нагреве от 0 К до 300 К составят около  $6.14 \cdot 10^2$  Дж/см<sup>3</sup>. При энергии ионизации атома меди 7.72 эВ и плотности атомов  $8.5 \cdot 10^{22}$  1/см<sup>3</sup>, потребуется энергия с плотностью  $1.05 \cdot 10^5$  Дж/см<sup>3</sup>, т.е. в 170 раз большая (температура  $5.1 \cdot 10^4$  К). С другой стороны, энергии 7.72 эВ соответствует температура  $8.9 \cdot 10^4$  К, характерная для плазмы. В атоме валентный электрон образует поле с  $E=14.5$  В/м, что соответствует току в  $10^3$  А, а в нашем примере  $E=1.7 \cdot 10^{-2}$  В/м. Делаем заключение: при нормальных условиях, тем более при температурах сверхпроводимости, свободных электронов нет, как нет и тока переноса зарядов.

В самом деле, в литературе указывается, что скорость перемещения электронов при наличии тока составляет несколько мм/с, что объясняется столкновениями с атомами. Но, в таком случае, это движение хаотично, а это означает, что, при данном токе и разных температурах, магнитное поле будет различным, что противоречит практике.

Рассмотрим теперь другой вид реакции проводника, подключённого к клеммам источника ЭДС с разностью потенциалов  $\Delta\phi$ , а именно, поляризацию. По окончании переходного процесса в однородном проводнике образуется электрическое поле поляризации вакуума с напряжённостью  $E=\Delta\phi/l$ , где  $l$  – длина проводника. Если объём атома порядка  $10^{-30}$  м<sup>3</sup>, то у электрона с комптоновской длины волны  $2.4 \cdot 10^{-12}$  м объём будет около  $10^{-35}$  м<sup>3</sup>, поэтому процесс установления поля происходит практически в вакууме, а величина  $E$  не зависит от параметров металла. Электронная же поляризация заключается в смещении центра оболочек относительно ядра с образованием электрических диполей.

Известны следующие последствия:

1. образование поля  $E_p$ , направленного против поля  $E$ ;
2. возникновение упругих деформаций атомов;
3. появление магнитного поля (магнетизация);
4. изменение температуры проводника, как следствие хаотических возмущений.

Далее применим широко применяемый в физике принцип суперпозиции, согласно которому воздействие независимых друг от друга факторов на некую область можно суммировать, не предполагая при этом смешивание самих воздействий.

Предстоит ответить на следующие вопросы:

1. поскольку ни ток, ни сопротивление не являются физическими параметрами, что тогда им соответствует?;
2. как возникает магнитное поле?;
3. как поступает и распределяется энергия источника?

## 2. Понятие о токе и электропроводности

Приняты следующие обозначения:

$N$	атомный номер в периодической системе элементов
$n$	атомная масса, $10^{-3}$ кг/моль
моль	$6.02 \cdot 10^{23}$ , число Авогадро
$\chi$	магнитная восприимчивость объёмная, $10^{-6}$
$\sigma$	электропроводность, $10^8$ Ом $^{-1}$ ·м $^{-1}$
$\rho$	удельное электрическое сопротивление, $10^{-8}$ Ом·м,
$\epsilon$	относительная диэлектрическая проницаемость
$g$	плотность, $10^3$ кг/м $^3$
$\lambda$	теплопроводность, Вт/м·К
$T$	температура плавления, $10^3$ К
$t$	время, с
$\Delta H$	теплота плавления, $10^3$ Дж/моль
$V$	валентность
$C$	теплоёмкость удельная, Дж/кг·К
$C_m$	теплоёмкость мольная, Дж/моль·К. $C_m = C \cdot n$
$R$	атомный радиус, $10^{-10}$ м
$\rho_i$	потенциал ионизации атома, эВ.
$E \cdot H$	модуль вектора плотности потока электромагнитной энергии (вектора Пойнтинга)
$E \cdot H \cdot S$	поток электромагнитной энергии через поверхность с площадью $S$
$\Delta \phi$	разность потенциалов, В
$P$	мощность, Вт
$U$	напряжение, В
ММ	магнитные моменты
СП	сверхпроводник
corr	коэффициент корреляции
mean	среднее значение
stdev	среднеквадратичное отклонение
Var	исправленная дисперсия (среднее арифметическое квадратов отклонений)
ПСЭ	периодическая система элементов

Рассмотрим электрическую цепь, состоящую из идеального источника постоянной ЭДС с разностью потенциалов  $\Delta\phi$  (в этом случае напряжение  $U = \Delta\phi$ ) и однородного цилиндрического проводника длиной  $l$ , радиусом  $r$ , сопротивлением  $R$ , удельным сопротивлением  $\rho$ . Источник поставляет энергию, выдерживая величину  $\Delta\phi$  благодаря обратной связи по  $E$  и  $H$ , но не теплоту, которая есть результат преобразования энергии.

Поскольку  $H = I/2\pi r$ , заменим ток  $I = 2\pi r \cdot H$ . Тогда  $P = UI = E \cdot I = E \cdot H \cdot 2\pi r \cdot l$ .

Тогда активная мощность будет равна  $P = E \cdot H \cdot S$ , где  $S = 2\pi r \cdot l$  – площадь поверхности проводника, а  $E \cdot H = P/S$  – модуль мощности на единицу площади. Тогда  $\rho = \frac{E}{H} \cdot \frac{r}{2}$ ,

$R = \rho \cdot \frac{l}{\pi \cdot r^2}$ . Следовательно, несуществующие ток (амперметры измеряют не ток, а

магнитное поле) и сопротивление можно заменить действительно физическими параметрами.

Диполи устанавливаются под небольшим углом к оси проводника, и силовые линии магнитных полей электронов устанавливаются ортогонально оси. Формально, вектор

направлен по радиусу к оси проводника [11,12], но это имело бы место в случае электромагнитного излучения на определённой частоте, а также, если магнитное поле задано внешним источником. Однако: 1. исследуется стационарное состояние, электричество и магнетизм – два независимых явления, взаимосвязь между которыми появляется только в динамике [13]; 2. фактически существует только омический тепловой поток (действительная компонента вектора); 3. работа поляризации и намагничивания производится только на стадии переходного процесса [14]. Поэтому  $EH$  скорее есть модуль вектора Умова, связанного с конвективным переносом энергии в самом проводнике и направленного по радиусу вовне проводника.

На рис.1 изображен предварительно заряженный до разности потенциалов  $U$  и отключённый затем от источника конденсатор.

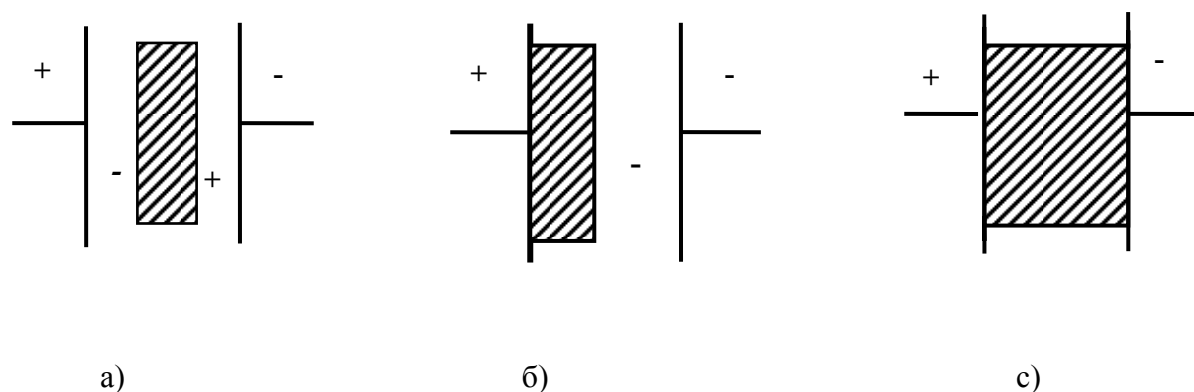


Рис. 1. Металл в электрическом поле

На рис. 1а показано состояние при введении между пластин конденсатора металлической пластины. Внесение обычного диэлектрика повышает ёмкость за счёт его поляризации. Так, сегнетоэлектрик цирконат титанат свинца имеет  $\epsilon > 1000$ . Точно так же поляризуется и металл, но его  $\epsilon$  на порядки выше, вследствие чего поле конденсатора в металле практически компенсируется полем диполей. Однако, суммарное поле не обращается в нуль, поскольку не может уничтожить полностью причину своего появления. Пластины как бы сближаются, ёмкость возрастает, а напряжение  $U$  падает. Подобное имеет место и в варианте рис. 1б. На рис.1с показано состояние полного контакта пластин с металлом, что эквивалентно бесконечной ёмкости конденсатора. В этом случае поле полностью обнулится, и запас энергии израсходуется на нагрев металла.

Магнитное поле возникает в отсутствие тока как результат поляризации материала проводника. Как известно, наибольший вклад в ММ вносят наиболее удалённые от ядер электроны, поскольку ММ ядер весьма мал, а ММ прочих электронов попарно скомпенсированы. Хотя у некоторых атомов ММ равны нулю (например, Cu, Au, Ag), но они возникают как эффект поляризации атомов. А именно, поле  $E$  всегда ориентирует ММ электронов вдоль оси, создавая однонаправленную согласную ориентацию магнитных моментов электронов так, что их магнитные поля суммируются, образуя поле  $H$ . По существу, в проводниках наблюдается внутренний магнитоэлектрический эффект: порождение магнитного поля  $H$  электрическим полем  $E$ .

Энергия магнитного поля электрона равна 1.9 кэВ, такая же, как и электрического поля. Энергия магнитного поля протона равна уже 3.5 МэВ, поэтому атом реагирует на воздействие как единая система, а не как система электронных оболочек. Магнитное поле по окончании переходного процесса, при подключении проводника к источнику с постоянной времени  $\tau = L/R$ , не изменяется во времени, и его поддержание не требует затрат энергии.

*Пример 1:* Пусть допустимая плотность тока для меди  $j=1\text{а/мм}^2$ , ток  $i=1\text{а}$ , длина проводника  $l=1\text{м}$ ,  $r=0.56\text{мм}$ ,  $R=\rho l/S=1.68\cdot 10^{-2}\text{Ом}$ , индуктивность  $L=\mu_0 l(\ln(2l/r)-0.73)/2\pi=1.48\cdot 10^{-6}\text{Гн}$ , энергия магнитного поля  $W=0.5Li^2=0.74\cdot 10^{-6}\text{Дж}$ , мощность  $P=1.68\cdot 10^{-2}\text{Вт}$ . Как видно, затраты на энергию  $W$  пренебрежимо малы.

*Пример 2:* Пусть на участке цепи источником задано напряжение  $U$ , а заданная величина электрического поля будет равна  $E=U/l$ . При этом появляются силы упругой деформации, возвращающие электроны в исходное состояние с наименьшей энергией. Кроме того, тепловое хаотическое движение заряженных частиц в скрещенных полях  $E$  и  $H$  также нарушает упорядоченное состояние диполей, создавая поле  $E_H$ , направленное одинаково с  $E$ . Имеем:  $U/l=E-E_H+E_H$ , из чего следует, что  $E_H=E_H$ , то есть поляризованное поле уравнивает поле, создаваемое тепловыми процессами. Можно утверждать, что проводник подобен машине, преобразующей энергию электрического поля в энергию магнитного поля. При постоянном токе её КПД ничтожно, но, если используется в качестве нагревателя, преобразователя энергии электрического поля в тепло, то КПД машины близок к 100%.

*Пример 3:* Пусть электрическая цепь состоит из источника ЭДС, проводника с сопротивлением  $R$  и сверхпроводника. Запитка СП производится следующим образом: при температуре несколько выше критической  $T>T_{кр}$  в обычном режиме устанавливается нужное контролируемое значение тока; затем снижают температуру  $T<T_{кр}$ , переводя СП скачкообразно в сверхпроводящее состояние, что есть ещё один фазовый переход, свёртывание, обездвижение атомов. В этом состоянии тепловые возмущения не превышают величины кванта энергии, достаточной для изменения состояния электрона для данного металла СП, поэтому  $E_H=0$ ,  $E=E_H$  и  $U/l=0$ . Равенство этих полей, однако, не означает их отсутствия. Тепловые процессы отсутствуют, величина  $H$  стабилизирована, что позволяет считать СП аналогом постоянного магнита, диполи замораживаются так же, как домены ферромагнетиков. У СП также имеется точка Кюри ( $T_{кр}$ ), а в закольцованном состоянии  $H$  сохраняется годами. Лучшие проводники, диамагнетики  $\text{Cu}$ ,  $\text{Au}$  и  $\text{Ag}$ , у которых сверхпроводящее состояние не достигается, не намагничиваются.

*Пример 4:* Рассмотрим цепь, состоящую из источника электрической энергии с разностью потенциалов  $U$ , нагрузки с сопротивлением  $R$  и соединяющей их линии передачи. Воздушная линия (кабель) представляет собой два тонкостенных коаксиально расположенных цилиндра с радиусами  $r_1$  и  $r_2$ , причём, с целью упрощения расчётов, примем  $r_2>r_1$  и  $r_2-r_1<r_1$ . Пока будем пренебрегать омическим сопротивлением линии. Активная мощность в нагрузке равна  $P_H=UI=U^2/R$ , а мощность, передаваемая линией  $P_L=E\cdot H\cdot S$ , где  $E=U/\ln(r_2/r_1)r$ ,  $H=I/2\pi r$ ,  $r$  - расстояние от оси линии,  $E$  - радиальная напряжённость электрического поля,  $H$  - напряжённость тангенциального магнитного поля,  $S=\pi(r_2^2-r_1^2)$  - площадь кольца поперечного сечения линии,  $I=U/R$  - прямой ток внешнего и обратный ток внутреннего цилиндра. После преобразований приближённо получим средние  $E_c=2Ur_1/(r_2^2-r_1^2)$ ,  $H=U/\pi R(r_1+r_2)$ . Тогда  $P_L=P_H 2r_1/(r_1+r_2)$ , что при принятых приближениях означает практическое равенство мощностей в линии и в нагрузке.

В самом деле, электрическое поле в коаксиальном кабеле имеет две компоненты: продольную и поперечную. Если кабель не СП, то вдоль кабеля имеется убывающая к концу разность потенциалов. Например, если кабель на конце закорочен, то  $E$  и  $P_L$  убывают до нуля. Работа совершается за счёт падения потенциала, а не за счёт потока. Этот убывающий вектор создаёт реактивную компоненту, задаваемую погонными индуктивностью  $L$  и ёмкостью  $C$  кабеля.

Тепловое равновесие проводника с окружающей средой есть двухстороннее излучение и слабо фиксируемое напряжение вакуума как неограниченного ничем общее пространство взаимодействия. Поле  $E$  образует пространство особенностей, выравнивание или компенсация которых это естественный процесс. Обратное тепловое излучение есть

ответная реакция. Однородный проводник в однородной среде выделяет тепло равномерно по всей длине, значит, поступление энергии в него также равномерно. Если не учитывать влияние обратного провода, то нельзя объяснить этот парадокс: не убывающий по мощности поток равномерно распределяет энергию. Дело в том, что энергия пространства не одинакова вдоль проводника, хотя выделение теплоты и равномерно. Генерация теплоты состоит в том, что направленный внутрь проводника вектор поставляет энергию полей  $E$  и  $H$ , это в его полях происходит разгон частиц и создание теплоты при столкновениях. Другой вектор направлен вне проводника, производя излучение наружу.

### 3. Параметры металлов и их группировка

Параметры металлов, используемые в расчётах, собраны в таблицах 1-3 (см. раздел 6). Данные различаются, поэтому использовалось более 20 источников, в том числе [15-20].

В табл. 1 собраны параметры всех 47 металлов, в таблице 2 – 33 парамагнетиков, в таблице 3 – 10 диамагнетиков (10 из 14, поскольку исключены Be, Sb, Bi как полуметаллы, также Hg как особенность).

Обозначения в таблицах 1 – 3 по столбцам: 0 – порядковые номера, 1 – атомный номер  $N$ , 2 – название элемента, 3 – атомная масса  $n$ ,  $10^{-3}$  кг/моль; 4 – магнитная восприимчивость  $\chi$ ,  $10^{-6}$ ; 5-удельное сопротивление  $\rho$ ,  $10^{-8}$  Ом·м; 6 – плотность  $g$ ,  $10^3$  кг/м<sup>3</sup>; 7 – теплопроводность  $\lambda$ , Вт/м·К; 8 – температура плавления  $T$ ,  $10^3$  К; 9 – теплота плавления  $\Delta H$ ,  $10^3$  Дж/моль; 10 – валентность  $V$ ; 11 - удельная теплоёмкость  $C$ , Дж/кг·К; 12 – атомный радиус  $R$ ,  $10^{-10}$  м. На всех графиках по горизонтали  $h$  – порядковые номера.

Ниже на графиках изображены параметры металлов, разбитые на группы по совпадающим по виду зависимостям, что означает наличие объединяющих их некоего общего свойства, от порядковых номеров, отдельно для всех 47 металлов, 33 парамагнетиков и 10 диамагнетиков.

Для 47 металлов показаны на рис. 2 параметры явно дугообразной формы в периодах ПСЭ; на рис. 3 – величины параметров образуют прямые линии по горизонтали (слабая зависимость от  $N$ ) и наклонные (линейная зависимость); на рис. 4 изображены отдельно зависимости для  $\lambda$  и  $\sigma$ , поскольку не выявлена их связь с прочими параметрами.

На рис. 5 для диамагнетиков обнаруживается большее число коррелирующих между собой параметров, причём зависимость от  $V$  здесь обратная, а от  $\lambda$  и  $\sigma$  - существенная. Поэтому для этих 4 групп следует искать особые свойства элементов ПСЭ.

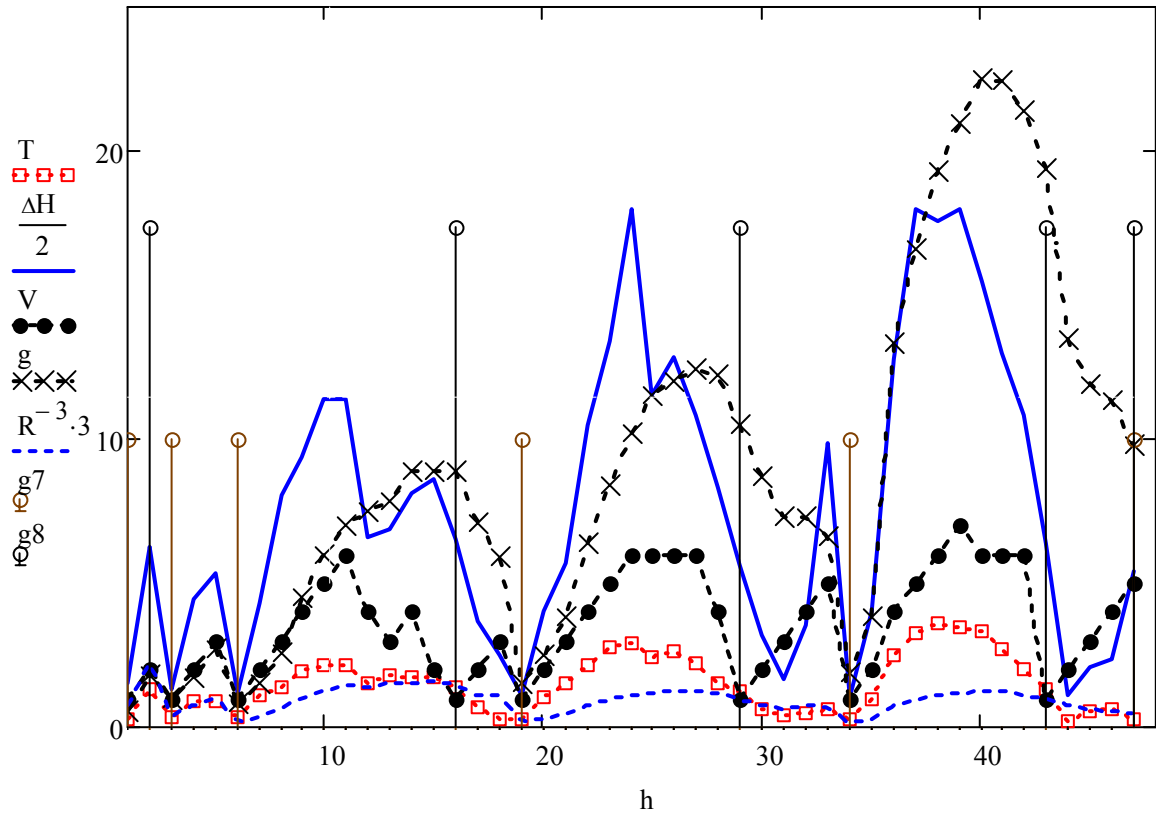


Рис. 2. Зависимости параметров металлов по периодам.  
 Низкие столбики  $g7$  – границы периодов, высокие  $g8$  – начала группы диамагнетиков.

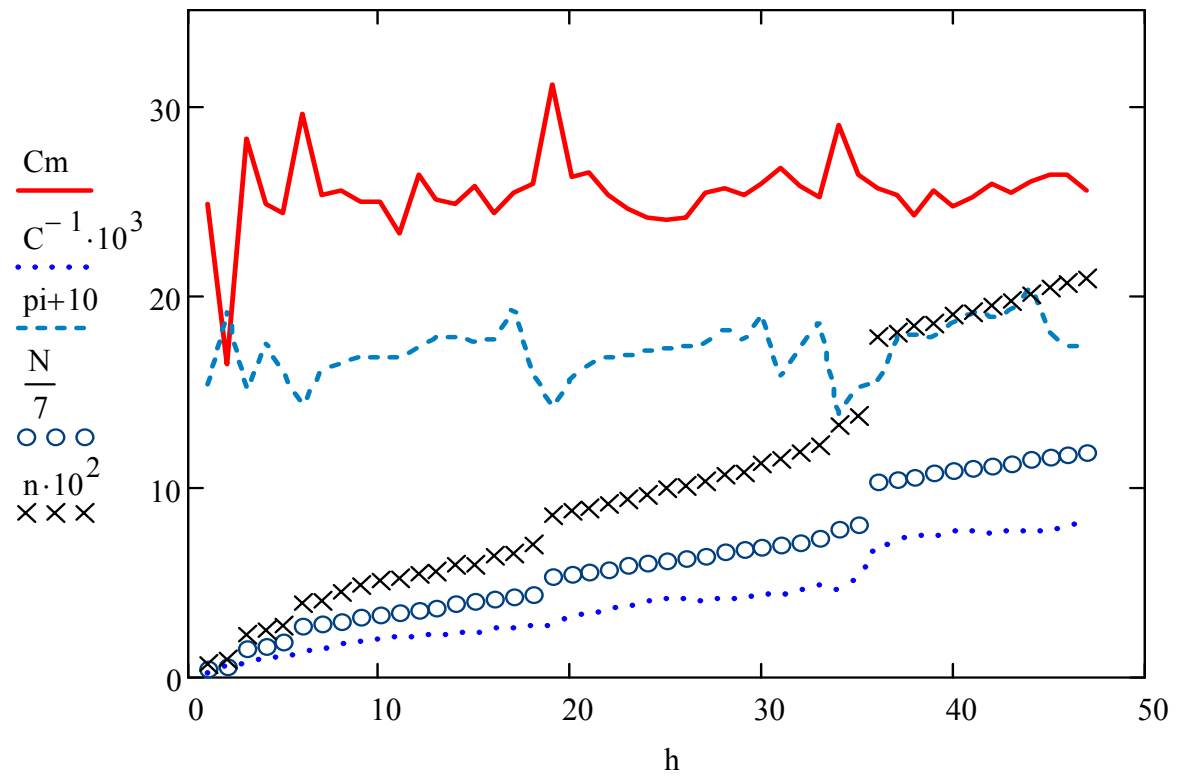


Рис. 3. Зависимости параметров металлов по атомным номерам.

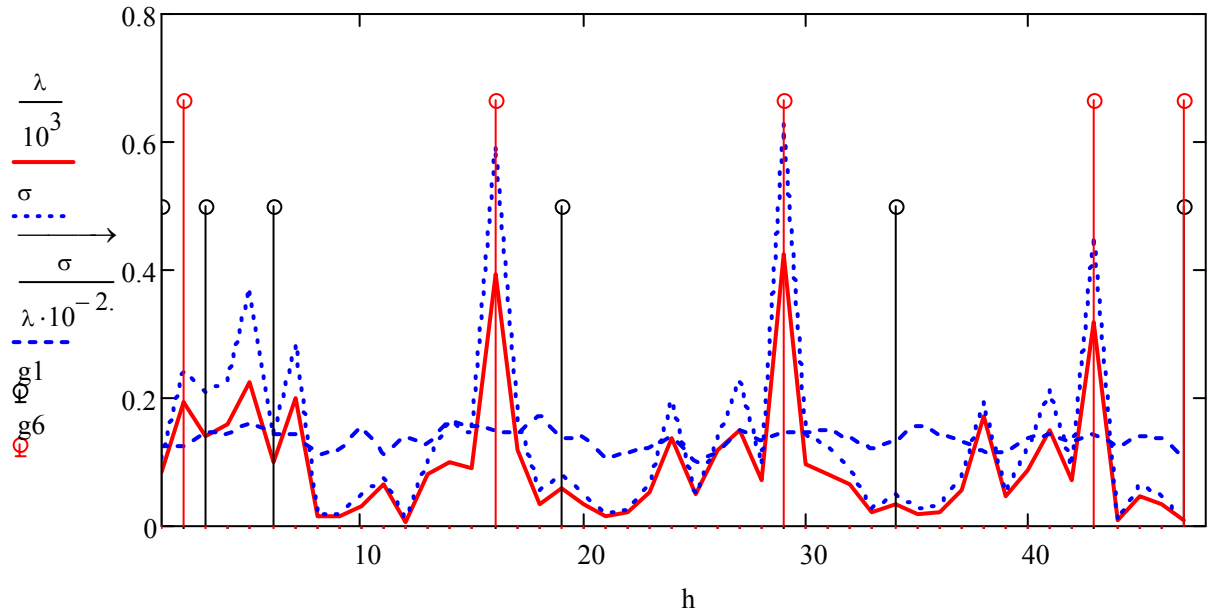


Рис. 4. Тепло- и электропроводности, и их отношение.  
 Низкие столбики  $g_1$  – границы периодов, высокие  $g_6$  – начала группы диамагнетиков.

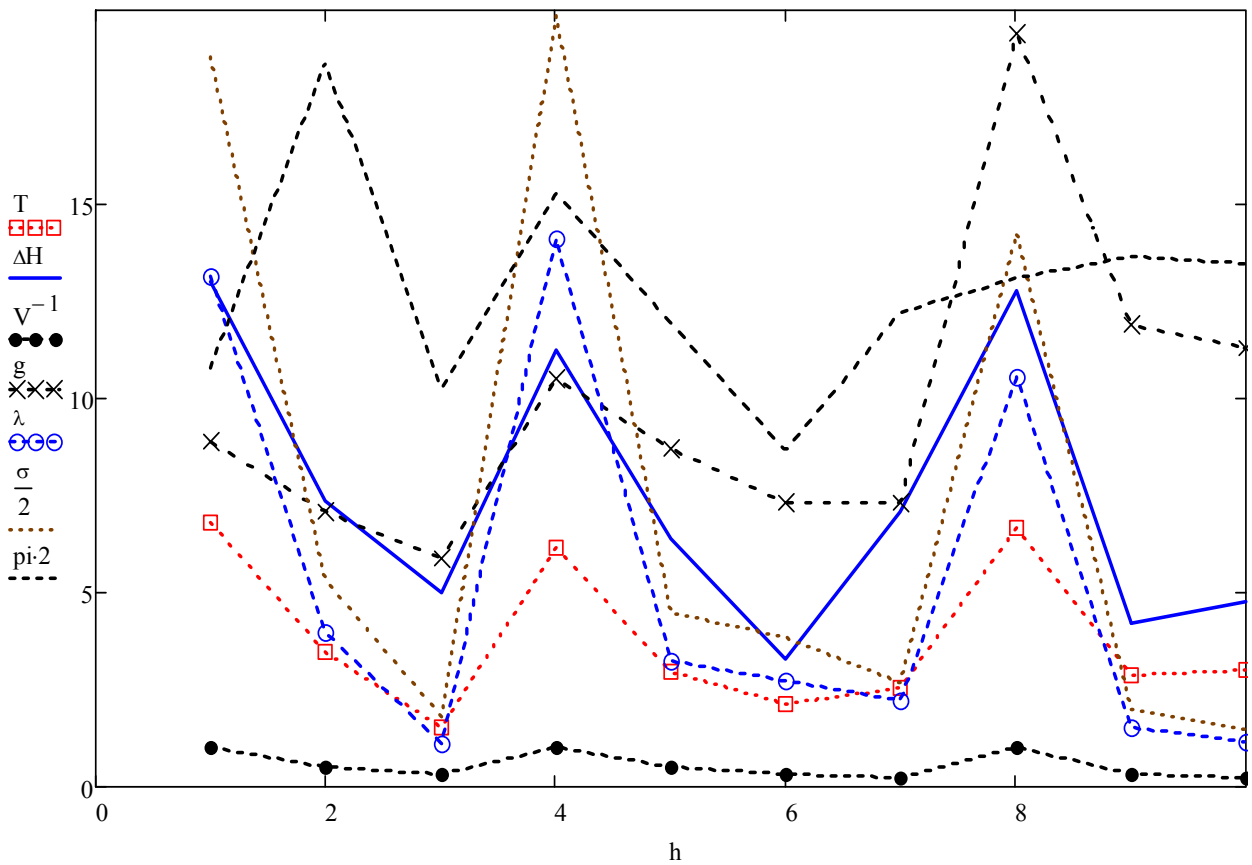


Рис. 5. Параметры диамагнетиков.  
 (По вертикали  $h=4$  последовательность кривых сверху вниз:  $\sigma$ ,  $pi$ ,  $\lambda$ ,  $\Delta H$ ,  $g$ ,  $T$ ,  $V^{-1}$ )

#### 4. Статистический анализ параметров металлов



Компьютерный поиск выявил множество взаимных корреляций параметров металлов. В табл. 4 приведен список наиболее значимых коэффициентов корреляции  $\text{corr} > 0.7$ . 8-22. Рассматриваются отношения пар параметров на предмет вычисления корреляции и статистических данных.

В табл. 5 приведены результаты статистического анализа для отобранных пар данных.

По столбцам: 0 – номера строк, 1 – сравниваемые параметры, 2 - среднеквадратичное отклонение  $\text{stdev}(x)$ , 3 - среднее значение  $\text{mean}(x)$ , 4 - исправленная дисперсия (среднее арифметическое квадратов отклонений)  $\text{Var}(x)$ ; 5 – наибольшее значение, %  $[\text{max}(x) - \text{mean}(x)] / 0.01 \cdot \text{mean}(x)$ ; 6 - наименьшее значение, %  $[\text{mean}(x) - \text{min}(x)] / 0.01 \cdot \text{min}(x)$ ; 7 – формула вычисления статистических значений; 8 – размерность для столбца 3; 9 –  $\text{Corr}$ ; 10 - группы элементов: м – все металлы (47), п – парамагнетики (33), д – диамагнетики (10).

Примечания: строки 11-13 - средние значения отношения объема ячейки к объему атома; строки 18-20 - отношение энергии, потребной для нагрева до температуры плавления, к теплоте плавления; строки 26-28 - отношение энергии, потребной для нагрева моля на один градус, к объему моля (плотность энергии).

#### *Описание отдельных корреляций*

1.  $N > n$ . Массы протона и нейтрона различаются на доли процента, масса электрона меньше массы протона в 1836 раз, поэтому можно принять, что  $n$ , деленное на атомную единицу массы, есть среднее число нуклонов в атомах. Также не будем учитывать дефект массы порядка 1.5%. Поэтому следует ожидать связи  $N$  и  $n$  (см. рис.3). Тогда  $\text{mean}(n/N)$  – отношение числа нуклонов к числу протонов в атомах.

#### *Связь электропроводности $\sigma$ и теплопроводности $\lambda$*

В литературе (правило Видемана-Франца) дается для металлов отношение  $\lambda / \sigma \cdot T = L$ , где  $L = \pi^2 / 3 (k/e)^2 = 2.45 \cdot 10^{-8}$  Вт·Ом/К<sup>2</sup> (число Лоренца) при  $T = 293$  К,  $e$  - заряд электрона,  $k = 1.380658 \cdot 10^{-23}$  Дж/К (постоянная Больцмана). Получено здесь  $L = 2.61592 \cdot 10^{-8}$  Вт·Ом/К<sup>2</sup>. (См. рис.7, 12, 15 и 18).

#### *Связь температуры плавления $T$ и теплоты плавления $H$*

Металлам свойственен согласованный рост  $\Delta H$  с ростом  $T$ , что зависит от прочности связей в кристаллической решётке. Прогрев до температуры плавления  $T$  лишь ослабляет связи, а в процессе плавления они разрушаются.

#### *Связь объема моля $n/g$ с радиусом атома $R$*

Размерность  $n/g$  это  $10^{-6} \cdot \text{м}^3 / \text{моль}$ , объем моля. Поскольку все моли содержат одинаковое число атомов (число Авогадро), наблюдается искомая связь между объемами атома и частиц моля. Вычисляется безразмерная величина  $n/g \cdot \pi \cdot R^3$  (см. рис. 9, 16, 19).

#### *Связь объема моля $n/g$ с потенциалом ионизации атома $ri$*

Потенциал ионизации атома  $ri$  обратно пропорционален объему моля  $n/g$  и атома, поскольку рост радиуса атома понижает энергию связи внешних электронов с ядром.

Примеры графиков корреляций параметров всех 47 металлов (рис.6-9); парамагнетики (рис.10, 11); диамагнетики (рис. 12-14); для периода 5: парамагнетики (рис. 15-17), все 14 элементов (рис. 18-20) .

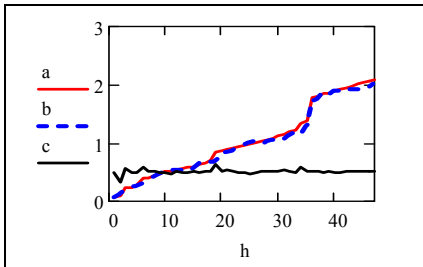


Рис. 6.  $a=n$ ,  $b=C^{-1}$ ,  $c=n \cdot C$

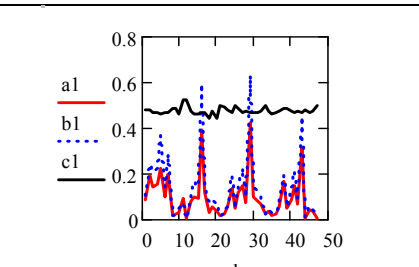


Рис. 7.  $a1=\lambda$ ,  $b1=\sigma$ ,  $c1=\lambda/\sigma$

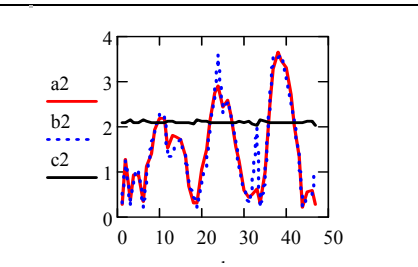


Рис. 8.  $a2=T$ ,  $b2=\Delta H$ ,  $c2=T/\Delta H$

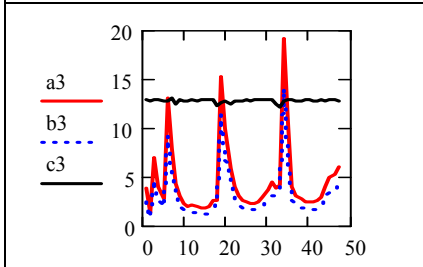


Рис. 9.  $a3=R^3$ ,  $b3=n/g$ ,  $c3=R \cdot g/n$ .

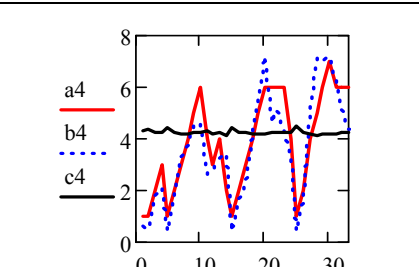


Рис.10.  $a4=V$ ,  $b4=\Delta H$ ,  $c4=V/\Delta H$

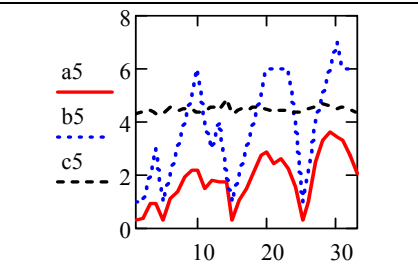


Рис.11.  $a5=T$ ,  $b5=V$ ,  $c5=T/V$

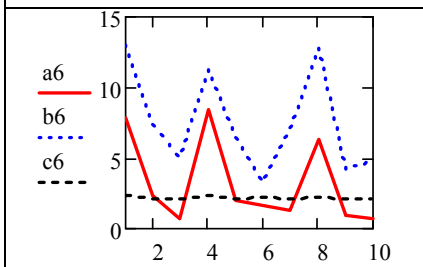


Рис.12.  $a6=\lambda$ ,  $b6=\Delta H$ ,  $c6=\lambda/\Delta H$

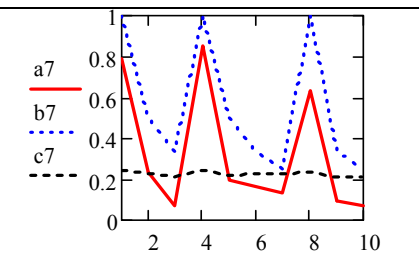


Рис.13.  $a7=\lambda$ ,  $b7=V^{-1}$ ,  $c7=\lambda/V$ .

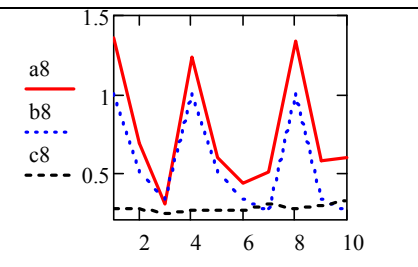


Рис.14.  $a8=T$ ,  $b8=V^{-1}$ ,  $c8=T \cdot V$ .

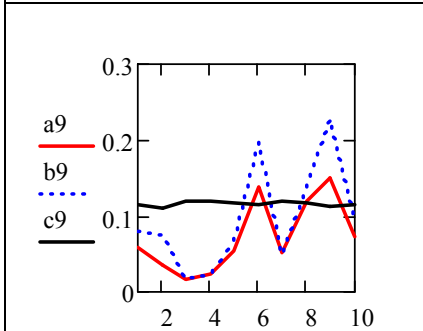


Рис.15.  $a9=\lambda$ ,  $b9=\sigma$ ,  $c9=\lambda/\sigma$ .

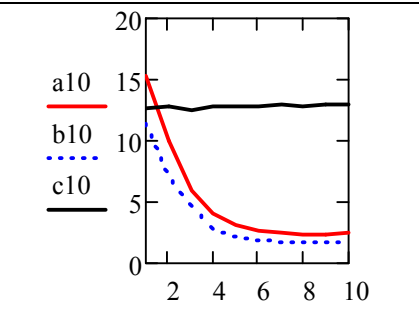


Рис.16.  $a10=R^3$ ,  $b10= n/g$ ,  
 $c10= R^3 \cdot g/n$ .

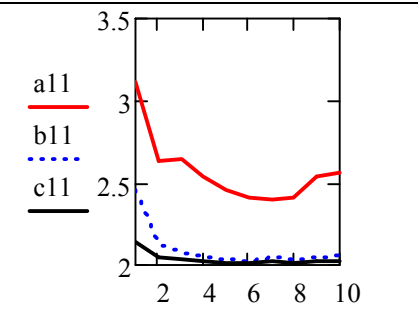
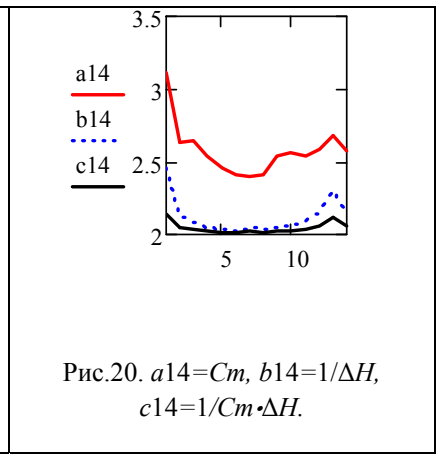
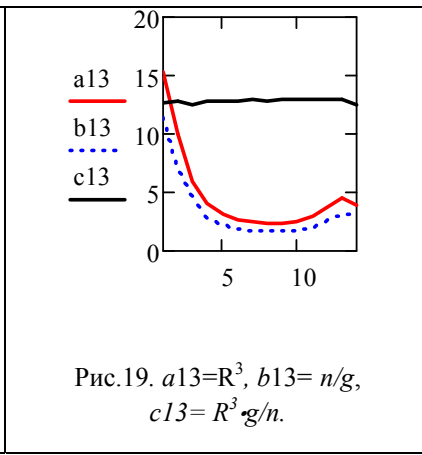
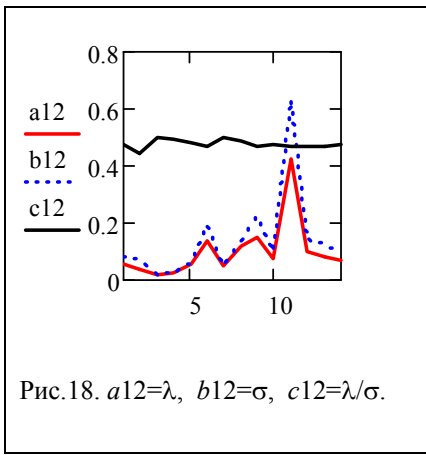
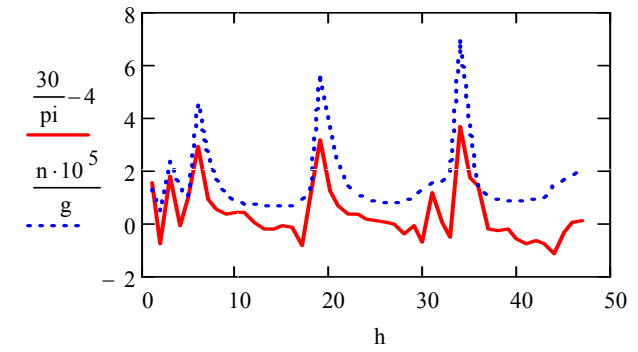
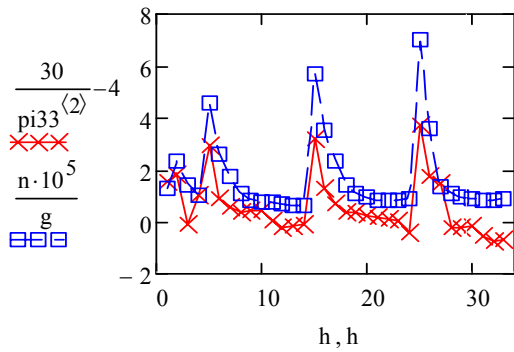


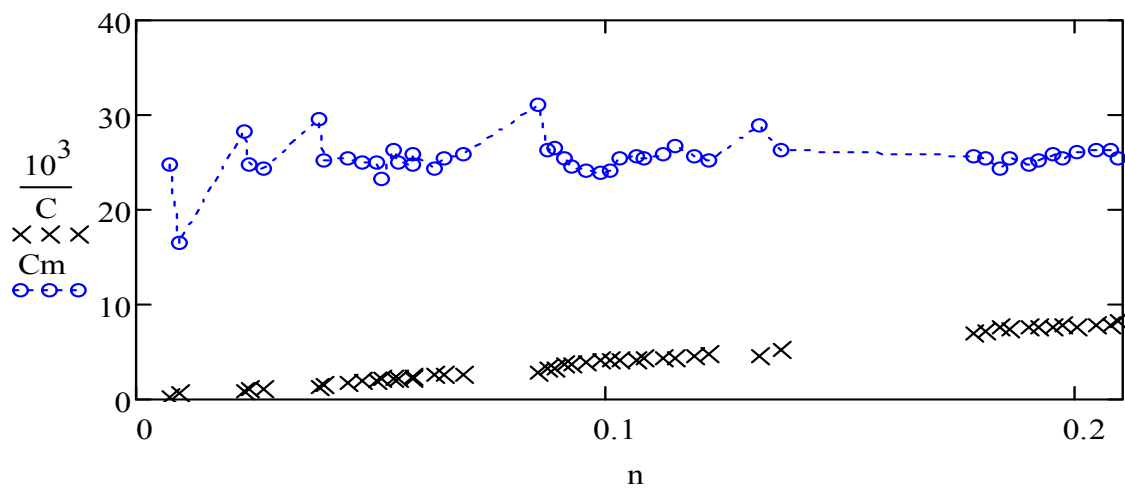
Рис.17.  $a11=Cm$ ,  $b11=1/\Delta H$ ,  
 $c11=1/Cm \cdot \Delta H$



Соответственно,  $\text{corr}(\pi^{-1}, R^3) = 0.826$  – достаточно высока для всех металлов, однако весьма мала 0.18 для диамагнетиков (см. рис. 21-22).



Связь атомной массы  $n$  с удельной теплоёмкостью  $C$ .



Обозначим  $C_m = C \cdot n$ , с размерностью Дж/моль·К как мольную (атомную) теплоёмкость. В нашем случае  $C_m = 25.476$  Дж/моль·К. Согласно правилу П. Дюлонга (P. L. Dulong) и А. Пти (A. Th. Petit),  $C_m$  при постоянном объёме для всех простых твёрдых тел равна примерно 25 Дж/моль·К, что близко к величине  $3 \cdot R_0$ , где ( $R_0 = 8.311$  Дж/моль·К – универсальная газовая постоянная). При делении  $C_m$  на число Авогадро, получим  $25.476 / 6.02 \cdot 10^{23} = 4.23 \cdot 10^{-23}$  Дж/К =  $2.64 \cdot 10^{-4}$  эВ/К: энергия на 1 атом на 1 градус слабо зависит от атомной массы. Потенциалы ионизации всех атомов выше 3.9 эВ (Rb), для чего потребуется температура 17773 К, поэтому металлы не ионизируются нагревом. С другой стороны, энергия в 1эВ соответствует температуре 11605 К.

*Связь мольной теплоёмкости  $C_m$  с температурой  
плавления  $T$  и теплотой плавления  $\Delta H$*

Размерность  $\Delta H$  и произведения  $C_m \cdot T$  это Дж/моль: количество энергии, достаточной для нагрева моля на величину температуры  $T$  плавления. Из расчётов следует, что среднее значение  $C_m \cdot T$  равно  $3.741 \cdot 10^4$ , а  $\Delta H$  это  $1.514 \cdot 10^4$  при  $\text{corr}(C_m \cdot T, \Delta H) = 0.951$ .

### 5. Металлы в периодической системе элементов

В табл. 6 приведена часть периодической системы элементов ПСЭ – металлы.

Таблица 6

Группа → Период ↓σ	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
2	3 <u>Li</u> 1/2	4 <u>Be</u> 2/2													
3	11 <u>Na</u> 1/8	12 <u>Mg</u> 2/8											13 <u>Al</u> 3/8		
4	19 <u>K</u> 1/8	20 <u>Ca</u> 2/8	21 <u>Sc</u> 2/9	22 <u>Ti</u> 2/10	23 <u>V</u> 2/11	24 <u>Cr</u> 1/13	25 <u>Mn</u> 2/13	26 <u>Fe</u> 2/14	27 <u>Co</u> 2/15	28 <u>Ni</u> 2/16	29 <u>Cu</u> 1/18	30 <u>Zn</u> 2/18	31 <u>Ga</u> 3/18		

5	<u>37</u> <u>Rb</u> 1/8	<u>38</u> <u>Sr</u> 2/8	<u>39</u> <u>Y</u> 2/9	<u>40</u> <u>Zr</u> 2/10	<u>41</u> <u>Nb</u> 1/12	<u>42</u> <u>Mo</u> 1/13	<u>43</u> <u>Tc</u> 2/13	<u>44</u> <u>Ru</u> 1/15	<u>45</u> <u>Rh</u> 1/16	<u>46</u> <u>Pd</u> 0/18	<u>47</u> <u>Ag</u> 1/18	<u>48</u> <u>Cd</u> 2/18	<u>49</u> <u>In</u> 3/18	<u>50</u> <u>Sn</u> 4/18	<u>51</u> <u>Sb</u> 5/18
6	<u>55</u> <u>Cs</u> 1/8	<u>56</u> <u>Ba</u> 2/8	*	<u>72</u> <u>Hf</u> 2/10	<u>73</u> <u>Ta</u> 2/11	<u>74</u> <u>W</u> 2/12	<u>75</u> <u>Re</u> 2/13	<u>76</u> <u>Os</u> 2/14	<u>77</u> <u>Ir</u> 2/15	<u>78</u> <u>Pt</u> 1/17	<u>79</u> <u>Au</u> 1/18	<u>80</u> <u>Hg</u> 2/18	<u>81</u> <u>Tl</u> 3/18	<u>82</u> <u>Pb</u> 4/18	<u>83</u> <u>Bi</u> 5/18

Группа 1 щелочные металлы.  
 Группа 2 щёлочноземельные металлы.  
 Группа 3-12 переходные металлы.  
 Группа 13-15 постпереходные металлы.  
 Sb, Bi, Be полуметаллы.

Диамagnetики выделены жирным шрифтом. Здесь дробью обозначено число электронов в наружной оболочке атома (об1) и предшествующей ей (об2). (см. рис. 2). Диамagnetики располагаются на вершинах и правых нисходящих сторонах дуг.

Период 4: от порядкового номера 6 (атомный номер  $N19$ ) до 18 ( $N31$ ) число электронов в об2 растёт от 8 до 18 и остаётся таким до конца периода. В об1 их число 1–3.

Период 5: от порядкового номера 19 ( $N37$ ) до 18 ( $N31$ ) число электронов в об2 растёт от 8 до 18 и остаётся таковым до конца периода. В об1 их число 1–5.

Период 6: от порядкового номера 33 ( $N51$ ) до 47 ( $N83$ ) число электронов в об2 растёт от 8 до 18 и остаётся таковым до конца периода. В об1 их число 1–5.

Итак, в первом полупериоде управляет параметрами металлов активная предпоследняя об2, а во втором – активна наружная об1, поскольку полностью заполненная об2 самоуравновешена, как и прочие. В переходных группах 8-10 последовательность заполнения нарушается, и, начиная с группы 11, параметры в области диамagnetиков снижаются. Здесь об2 укомплектована, а об1 достраивается.

Эта область наиболее интересна (см. рис. 4). Поскольку  $\lambda$  и  $\sigma$  зависят от атомной массы  $n$  слабо, в первом полупериоде управляет электро- и теплопроводностью активная об2, а во втором – активна об1, поскольку полностью заполненная об2 самоуравновешена. Чем более неуравновешенны оболочки, тем выше  $\lambda$  за счёт роста подвижности. Что касается  $\sigma$ , то, благодаря росту подвижности, требуется меньшая напряжённость электрического поля для поляризации и поворота оболочек.

Поляризация металлов имеет место также при наличии теплового потока. Это явление под названием «эффект Томсона» относят к классу термоэлектрических. Если в проводнике имеется градиент температуры и, соответственно, тепловой поток, то, на фоне хаотического возбуждения атомов, появляется и направленная компонента растяжения оболочек, по свойствам эквивалентная электронной поляризации. Когда проводник подключён к источнику ЭДС так, что электронная и тепловая складываются, то поле  $E$  как бы вытягивает тепловой поток и повышает теплопроводность.

Уместно ввести здесь такой параметр, как **реактивность**, быстрая ответная реакция, заключающаяся в полной компенсации задаваемого извне поля. По мере заполнения об1 её реактивность снижается (следовательно, требуется увеличивать поле  $E$ , чтобы поддерживать прежний уровень магнитного поля  $H$ ), а  $\sigma$  падает благодаря взаимодействию электронов оболочки. Например, в группе Au–Pb параметры диамagnetиков с чётным числом электронов ниже, чем с нечётным. Это значит, что ММ пары электронов могут быть направлены противоположно. В целом, здесь рост  $el$  снижает реактивность.

Зависимость  $\sigma$  и  $\lambda$  от числа  $el$  электронов в атомах

Таблица 7

$N$	29	30	31	47	48	49	50	51	79	80	81	82	83
назв	Cu	Zn	Ga	Ag	Cd	In	Sn	Sb	Au	Hg	Tl	Pb	Bi
$el$	1	2	3	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
$\sigma, \%$	100	23	20	100	23	20	13	4	100	2	14	11	2
$\lambda, \%$	100	30	8	100	23	20	16	6	100	3	15	11	2.5

В табл.7 по строкам: атомные номера  $N$ , названия элементов, числа  $el$  электронов в об1, величины  $\sigma$  и  $\lambda$  в процентах.

О зависимости от числа  $el$  электронов в об1.

Начала периодов (группы 1-2, об2 достроена) и Al: чем больше  $el$ , тем больше  $\lambda$  и  $\sigma$ :  $\text{corr}(el, \lambda)=0.907$ ,  $\text{corr}(el, \sigma)=0.92$ .

Концы периодов, диамагнетики (группы 11-15 без Sb, Hg, Bi; об2 достроена): зависимость обратная:  $el, \lambda^{-1}=0.829$ ,  $\text{corr}(el, \sigma^{-1})=0.895$  (существенные отклонения у Hg). Переходные металлы (группы 3-10): зависимость обратная и слабая:  $\text{corr}(el, \lambda^{-1})=0.352$ ,  $\text{corr}(el, \sigma^{-1})=0.358$  (существенные отклонения у W и Ir).

Особенности 14 диамагнетиков:

- отрицательная магнитная восприимчивость  $\chi < 0$ ;
- элементы Sb, Be, Bi это полуметаллы, а Hg стоит особняком;
- Cu, Ag, Au, Sb и Bi не достигают состояния сверхпроводимости;
- стоят в конце периодов, об2 заполнены и имеют максимальное число электронов в об1;
- достигают максимальных значений  $\lambda$  и  $\sigma$ ; если их  $\lambda$  принять за 1, то у парамагнетиков будет 0.507, у всех металлов 0.598; если их  $\sigma$  принять за 1, то у парамагнетиков будет 0.48, у всех металлов 0.577;
- только их  $\sigma$  и  $\lambda$  коррелируют с большим числом параметров;
- имеют особенности корреляции (например, коррелируют не по  $V$ , а по  $V^{-1}$ ).

Параметры всех 47 металлов

Таблица 1

0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	3	Li	6.94	1.37	9.35	0.54	84.9	0.291	3.01	1	3570	1.57
2	4	Be	9	-23.28	4.1	1.84	193	1.287	12.5	2	1827	1.11
3	11	Na	23	8.5	4.8	0.97	141	0.371	2.6	1	1230	1.92
4	12	Mg	24.3	12	4.4	1.74	159	0.923	8.95	2	1020	1.6
5	13	Al	27	22.2	2.7	2.7	226	0.933	10.7	3	904	1.41
6	19	K	39	5.74	6.9	0.85	101	0.336	2.33	1	757	2.36
7	20	Ca	40.1	21.39	3.5	1.55	200	1.115	8.66	2	631	2
8	21	Sc	45	262.7	55.5	2.54	15.8	1.4	16.1	3	567	1.64
9	22	Ti	47.9	180.7	55	4.5	15.5	1.941	18.7	4	520	1.46
10	23	V	51	383.7	20.5	6	31	2.183	22.8	5	489	1.34
11	24	Cr	52	317.7	13.1	7	67	2.18	22.8	6	448	1.27
12	25	Mn	54.93	903.9	91	7.47	7.81	1.519	13.2	4	479	1.3
13	26	Fe	55.85	0.001	9.7	7.87	80	1.811	13.8	3	449	1.26

14	27	Co	58.93	0.001	6	8.9	100	1.768	16.2	4	421	1.25
15	28	Ni	58.7	0.001	7	8.91	91	1.728	17.2	2	439	1.24
16	29	Cu	63.5	-9.8	1.68	8.9	395	1.357	13.01	1	384	1.28
17	30	Zn	65.4	-15.8	5.9	7.1	119	0.692	7.35	2	388	1.39
18	31	Ga	69.7	-17.7	17.4	5.9	33	0.303	5	3	371	1.39
19	37	Rb	85.47	3.98	12.5	1.5	58.1	0.312	2.2	1	364	2.48
20	38	Sr	87.62	3.47	20	2.5	35.4	1.05	8	2	300	2.15
21	39	Y	88.9	297.8	55	3.8	17	1.5	11.4	3	298	1.81
22	40	Zr	91.22	109	40.5	6.4	21.4	2.128	21	4	278	1.6
23	41	Nb	92.9	237	15.3	8.4	54	2.75	26.8	5	265	1.45
24	42	Mo	96	120.3	5.1	10.2	138	2.896	36	6	251	1.39
25	43	Tc	99	393.3	20	11.5	50.6	2.43	23	6	242	1.36
26	44	Ru	101	67	7.2	12	119	2.607	25.7	6	239	1.34
27	45	Rh	103	169.3	4.4	12.4	150	2.237	21.7	6	247	1.34
28	46	Pd	106.4	789.9	10.3	12.2	72	1.555	16.7	4	241	1.37
29	47	Ag	107.9	-23.8	1.59	10.5	424	1.235	11.27	1	235	1.44
30	48	Cd	112.4	-19.9	7	8.7	97	0.594	6.4	2	230	1.56
31	49	In	114.8	-10.2	8.1	7.3	81.6	0.429	3.27	3	233	1.66
32	50	Sn	118.6	-22.7	11	7.3	66	0.505	7.07	4	217	1.58
33	51	Sb	121.7	-73	35.6	6.6	23	0.6306	19.7	5	207	1.61
34	55	Cs	132.9	5.26	20.5	1.9	35.9	0.301	2.09	1	218	2.68
35	56	Ba	137.3	39.66	34.7	3.8	18.2	1	8	2	192	2.21
36	72	Hf	178.4	70.5	30	13.3	23	2.506	25.5	4	144	1.59
37	73	Ta	181	178.2	13	16.6	57.2	3.29	36	5	140	1.46
38	74	W	184	88.4	5.12	19.3	171	3.643	35.2	6	132	1.4
39	75	Re	186	95.9	18.3	21	47.9	3.459	36	7	137	1.37
40	76	Os	190.2	14	8.2	22.5	87.8	3.306	31	6	130	1.35
41	77	Ir	192	37.7	4.7	22.4	149	2.719	26	6	131	1.35
42	78	Pt	195	257.3	10.8	21.4	71	2.041	21.7	6	133	1.38
43	79	Au	197	-34.4	2.21	19.4	318	1.337	12.77	1	129	1.44
44	80	Hg	200.5	-28.4	96	13.5	8.3	0.234	2.29	2	130	1.6
45	81	Tl	204.3	-35.6	15.5	11.9	46	0.577	4.2	3	129	1.71
46	82	Pb	207.2	-17	21	11.3	35	0.600	4.77	4	127	1.75
47	83	Bi	209	-166	116	9.78	7.9	0.271	10.9	5	122	1.82

Параметры 33 парамагнетиков

Таблица 2

0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	3	Li	6.94	1.37	9.35	0.54	84.9	0.291	3.01	1	3570	1.57
2	11	Na	23	8.5	4.8	0.97	141	0.371	2.6	1	1230	1.92
3	12	Mg	24.3	12	4.4	1.74	159	0.923	8.95	2	1020	1.6
4	13	Al	27	22.2	2.7	2.7	226	0.933	10.7	3	904	1.41
5	19	K	39	5.74	6.9	0.85	101	0.336	2.33	1	757	2.36
6	20	Ca	40.1	21.39	3.5	1.55	200	1.115	8.66	2	631	2
7	21	Sc	45	262.7	55.5	2.54	15.8	1.4	16.1	3	567	1.64
8	22	Ti	47.9	180.7	55	4.5	15.5	1.941	18.7	4	520	1.46
9	23	V	51	383.7	20.5	6	31	2.183	22.8	5	489	1.34
10	24	Cr	52	317.7	13.1	7	67	2.18	22.8	6	448	1.27
11	25	Mn	54.93	903.9	91	7.47	7.81	1.519	13.2	4	479	1.3

12	26	Fe	55.85	0.001	9.7	7.87	80	1.811	13.8	3	449	1.26
13	27	Co	58.93	0.001	6	8.9	100	1.768	16.2	4	421	1.25
14	28	Ni	58.7	0.001	7	8.91	91	1.728	17.2	2	439	1.24
15	37	Rb	85.47	3.98	12.5	1.5	58.1	0.312	2.2	1	364	2.48
16	38	Sr	87.62	3.47	20	2.5	35.4	1.05	8	2	300	2.15
17	39	Y	88.9	297.8	55	3.8	17	1.5	11.4	3	298	1.81
18	40	Zr	91.22	109	40.5	6.4	21.4	2.128	21	4	278	1.6
19	41	Nb	92.9	237	15.3	8.4	54	2.75	26.8	5	265	1.45
20	42	Mo	96	120.3	5.1	10.2	138	2.896	36	6	251	1.39
21	43	Tc	99	393.3	20	11.5	50.6	2.43	23	6	242	1.36
22	44	Ru	101	67	7.2	12	119	2.607	25.7	6	239	1.34
23	45	Rh	103	169.3	4.4	12.4	150	2.237	21.7	6	247	1.34
24	46	Pd	106.4	789.9	10.3	12.2	72	1.555	16.7	4	241	1.37
25	55	Cs	132.9	5.26	20.5	1.9	35.9	0.301	2.09	1	218	2.68
26	56	Ba	137.3	39.66	34.7	3.8	18.2	1	8	2	192	2.21
27	72	Hf	178.4	70.5	30	13.3	23	2.506	25.5	4	144	1.59
28	73	Ta	181	178.2	13	16.6	57.2	3.29	36	5	140	1.46
29	74	W	184	88.4	5.12	19.3	171	3.643	35.2	6	132	1.4
30	75	Re	186	95.9	18.3	21	47.9	3.459	36	7	137	1.37
31	76	Os	190.2	14	8.2	22.5	87.8	3.306	31	6	130	1.35
32	77	Ir	192	37.7	4.7	22.4	149	2.719	26	6	131	1.35
33	78	Pt	195	257.3	10.8	21.4	71	2.041	21.7	6	133	1.38

Параметры 10 диамагнетиков

Таблица 3

0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	29	Cu	63.5	-9.8	1.68	8.9	395	1.357	13.01	1	384.4	1.28
2	30	Zn	65.4	-15.8	5.9	7.1	119	0.692	7.35	2	388	1.39
3	31	Ga	69.7	-17.7	17.4	5.9	33	0.303	5	3	371	1.39
4	47	Ag	108	-23.8	1.59	10.5	424	1.235	11.27	1	235	1.44
5	48	Cd	112.4	-19.9	7	8.7	97	0.594	6.4	2	230	1.56
6	49	In	114.8	-10.2	8.2	7.3	81.6	0.429	3.27	3	233	1.66
7	50	Sn	118.6	-22.7	11.7	7.3	66	0.505	7.07	4	217	1.58
8	79	Au	197	-34.4	2.21	19.4	316	1.337	12.77	1	129.1	1.44
9	81	Tl	204.3	-35.6	16	11.9	46	0.577	4.2	3	129	1.71
10	82	Pb	207.2	-17	21	11.3	35	0.6	4.77	4	127	1.75

Величины коэффициентов корреляции corr

Таблица 4



Результаты статистического анализа.

1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
$N, n$	0.999	0.999	0.999	0.996	$\lambda, V^{-1}$	0.972			
$N, g$		0,838	0.784		$\lambda, \sigma$	0.999	0.984	0.994	0.996
$N, C^{-1}$	0.999	0.995	0.996		$\lambda^{-1}, n/g$	0.679			
$N^{-1}, R^{-3}$	0.799				$\sigma, T$	0.941			
$N, \Delta H$		0.635			$\sigma, \Delta H$	0.913			
$n, C^{-1}$	0.999	0.996	0.997		$\sigma, V^{-1}$	0.969			
$n^{-1}, R^{-3}$	0,806				$\sigma^{-1}, n/g$	0.774			
$n, g$		0.838	0.78		$\sigma, Cm^{-1}$	0.759			
$n/g, V$	0.866				$T, \Delta H$	0.945	0.982	0.956	0.972
$n/g, V^{-1}$		0.765			$T, Cm^{-1}$	0.747			
$n/g, R^3$	0.955	0.998	0.996	0.998	$T, V$		0.906		0.812
$n/g, pi^{-1}$		0.894	0.821		$T^{-1}, R^3$		0.751		
$-\chi \cdot \sigma, T$	0.846				$T, V^{-1}$	0.956			
$-\chi \cdot \sigma, \Delta H$	0.813				$\Delta H, Cm \cdot T$	0.936	0.979	0.951	0.893
$-\chi \cdot \sigma, \lambda$	0.847				$\Delta H^{-1}, R^3$		0.827		
$\chi \cdot \rho, \lambda^{-1}$		0.834			$\Delta H, V$		0.904	0.82	0.83
$g, \Delta H$		0.814			$\Delta H, V^{-1}$	0.934			
$g, V$		0.818			$\Delta H, R^{-3}$		0.828		0.786
$g, T$		0.839			$V^{-1}, R^3$		0.774		
$g, C^{-1}$	0.757	0.87	0.811		$V, Cm$		0.764		
$\lambda, \Delta H$	0.92				$C, R^{-3}$	0.777			
$\lambda, Cm^{-1}$	0.753				$Cm, \pi \cdot R^3$	0.849	0.826	0.669	
$\lambda, T$	0.948								

Таблица 5

0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	$N, n$	28.478	435.89	828.6	14	9	$N \cdot n^{-1}$	моль/кг	0.999	м
2	$N, C^{-1}$	1.108	11.102	1.254	29	34	$N \cdot C$	$10^3$ Дж/кг·К	0.996	м
3		1.067	11.326	1.174	27	14			0.995	п
4		0.465	10.97	0.24	6	7			0.999	д
5	$\lambda, \sigma$	0.953	7.463	0.929	36	23	$\lambda/\sigma$	$10^{-6}$ Вт·Ом/К <sup>2</sup>	0.994	м
6		0.995	7.552	1.022	34	21			0.984	п
7		0.51	6.904	0.289	12	17			0.999	д
8	$\Delta H, T$	5.642	10.733	32.5	274	35	$\Delta H \cdot T^{-1}$	Дж/моль·К	0.956	м
9		1.431	9.408	2.112	32	26			0.982	п
10		2.77	10.302	8.527	60	29			0.945	д
11	$n/g, R^3$	0.131	1.873	0.017	25	9	$n/g \cdot \pi \cdot R^3$ $6.02 \cdot 10^{23}$		0.956	м
12		0.051	1.113	$2.6 \cdot 10^{-3}$	15	7			0.982	п
13		0.109	1.142	0.013	23	5			0.945	д
14	$n/g, pi^{-1}$	0.524	1.024	0.281	166	55	$n \cdot pi / g$	$10^{-4}$ эВ	0.821	м
15		0.577	1.003	0.343	171	50			0.894	п
16	$n, C^{-1}$	1.932	25.476	3.814	22	35	$Cm = C \cdot n$	Дж/ моль·К	0.997	м
17		1.63	25.66	2.739	21	6			0.996	п

Продолжение Табл.5

0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
18	$Cm \cdot T$	0.754	2.669	0.582	65	76	$Cm \cdot T / \Delta H$		0.951	м
19	$\Delta H$	0.636	2.819	0.417	56	31			0.979	п
20		0.641	2.662	0.456	36	41			0.936	д
21	$\Delta H, V$	2.606	4.471	6.939	191	76	$\Delta H / V$	кДж/ моль	0.82	м
22		1.374	4.411	1.946	95	52			0.904	п
23	$\Delta H, V^{-1}$	5.034	14.932	28.16	89	34	$\Delta H \cdot V$	кДж/ моль	0.934	д
24	$T, V$	0.121	0.467	0.015	85	38	$T / V$	$10^3$ К	0.906	п
25	$T, V^{-1}$	0.419	1.485	0.195	62	39	$T \cdot V$	$10^3$ К	0.956	д
26	$Cm, R^3$	2.071	7.71	4.766	51	36	$Cm / \pi \cdot R^3 \cdot 6.02 \cdot 10^{23}$	$10^6$ Дж/ моль $\cdot$ К $\cdot$ м <sup>3</sup>	0.849	д
27		3.389	7.779	11.847	74	81			0.826	п
28		3.12	7.711	9.943	75	80			0.669	м
29	$C^{-1}, g$	0.911	2.192	0.848	78	81	$Cg$	$10^6$ Дж/К $\cdot$ м <sup>3</sup>	0.811	м
30		0.986	2.235	1.003	75	81			0.87	п
31	$\lambda, \Delta H$	1.001	1.835	1.113	105	62	$\lambda / \Delta H$	$10^{-2}$ т $\cdot$ м / моль $\cdot$ К	0.92	д
32	$\lambda, T$	8.655	17.74	82.23	93	67	$\lambda / T$	$10^{-2}$ Вт $\cdot$ м / К $\cdot$ с	0.948	
33	$\lambda, V^{-1}$	102	246	$10^{-4}$	73	59	$\lambda \cdot V$	Вт $\cdot$ м / К	0.972	
34	$\sigma, \Delta H$	1.515	2.681	2.55	108	63	$\sigma / \Delta H$	$10^3$ моль / Ом $\cdot$ м $\cdot$ Дж	0.913	
35	$\sigma, T$	13.046	26.026	189.119	96	69	$\sigma / T$	$10^{-3}$ / Ом $\cdot$ м $\cdot$ К	0.941	
36	$\sigma, V^{-1}$	15.364	35.595	262.285	77	52	$\sigma \cdot V$	$10^{-6}$ / Ом $\cdot$ м	0.969	
37	$g, \Delta H$	0.214	0.463	0.047	113	66	$g / \Delta H$	кг $\cdot$ моль / Дж $\cdot$ м <sup>3</sup>	0.814	п
38	$g, T$	2.052	4.306	4.341	143	68	$g / T$	кг / м <sup>3</sup> $\cdot$ К	0.839	
39	$g, V$	1.041	2.005	1.117	122	73	$g / V$	кг / м <sup>3</sup>	0.818	

## 7. Заключение

1. При нормальных условиях в металлах нет свободных электронов, поэтому не может существовать ток проводимости как направленное движение электрических зарядов.

2. Металлы представляют собой легко поляризуемую среду, преобразующую энергию электрического поля в энергию магнитного поля и теплоту.

3. Постоянство отношений величины теплопроводности к величине электропроводности для всех металлов означает единство свойств атомов в этих функциях. Важнейшее из таких свойств это реактивность, способность отрабатывать равным образом внешнее тепловое и электрополеное воздействие. Однонаправленное электрическое поле создаёт согласную поляризацию атомов, результатом чего является появление магнитного поля. Тепловое же воздействие по своему свойству создаёт хаотичное разнонаправленное возбуждение атомов, не образующее магнитное поле. Главное различие в том, что, если нагревать один конец проводника и охлаждать другой конец, то плотность теплового потока будет убывающей. Если же задать электрическое поле, то магнитное поле и нагрев будут постоянными по всей длине проводника.

4. Сущность термоэлектрических явлений состоит в суммировании поляризаций, вызванных электрическим полем и тепловым потоком.

5. Магнитное поле образуется из суммы магнитных моментов электронов, согласно ориентированных в результате поляризации атомов под воздействием внешнего электрического поля.

6. Сверхпроводящее, как особое фазовое состояние, принципиально исключает существование тока проводимости. Добиться состояния намагниченности можно только в нормальном состоянии, а после этого снизить температуру ниже  $T_{кр}$ . Тогда атомы теряют активность, а полученное намагничивание сохраняется так же, как и в случае с ферромагнетиками.

## 8. Библиография

1. Саврухин А.П. Природа элементарных частиц и золотое сечение. Монография. М.: МГУЛ. 2004, 204 с.
2. Саврухин А.П. Электромагнитное поле как компонента поля заряда. Материалы VI Международной конф. «Проблемы современной электротехники-2000». Ж. «Техническая электродинамика». Ч. 7. Киев –2000. С. 3-6.
3. Саврухин А.П. Природа света и электричества. Электростатика. Сверхпроводимость. Излучение. М.: Изд. «Спутник+» –2014 – С.78. ISBN 978-5-9973-3013-2
4. Саврухин А.П. Природа магнитного поля. Электронный ресурс. <http://savrukhin.narod.ru/links.html>
5. Федюкин В.К. Не сверхпроводимость электрического тока, а сверхнамагничиваемость материалов – СПб.: СПбГИЭУ, 2008. –112 с.
6. Федюкин В.К. «Сверхпроводимость электричества» как понятие о сверхъестественном явлении, тогда как в действительности, оно есть метастабильное сверхдиамагничивание веществ. Санкт- Петербург- 2009, СПбГИЭУ, 2009
7. Vasiliev B.V. [Superconductivity as a consequence of an ordering of the electron gas zero-point oscillations](#) // [Physica C](#). — 2011. — Vol. 471. — С. 277—284.
8. Гришаев А.А. Металлы: нестационарные химические связи и два механизма переноса электричества. <http://newfiz.narod.ru/metals.htm>
9. R.C.Tolman, T.D.Stewart. *Phys.Rev.*, 8 (1916) 97
10. Р.В.Поль. Учение об электричестве. «Физматгиз», М., 1962.
11. Сивухин Д.В. Общий курс физики.Т.3, -М.: Физматлит; Изд. МИФИ, 2002.
12. Тамм И.Е. Основы теории электричества. М.: Наука. Гл. ред. физ.-мат. лит., 1989.
13. Эткин В. Описывает ли вектор Пойнтинга поток электромагнитной энергии? Электронный ресурс. <http://etkin.iriias.org/napravlen/09elektr/Opis%20li%20Pointing%20potok.pdf>
14. Корнева М, Кулигин В. Математическая ошибка, которая исказила физику. Электронный ресурс. <http://n-t.ru/tp/ns/mo.htm>
15. Электронный ресурс. <http://periodictable.com/Properties/A/MassMagneticSusceptibility.html>
16. Физический энциклопедический словарь. М.: Советская энциклопедия, 1983.
17. Таблицы физических величин. Справочник под ред. И.К.Кикоина. М.: Атомиздат.1976.
18. Электронный ресурс. [http://pdg.lbl.gov/2014/reviews/contents\\_sports.html](http://pdg.lbl.gov/2014/reviews/contents_sports.html) ; <http://pdg.lbl.gov/>
19. Вонсовский С.В. Магнетизм. М.: Наука, 1971.
20. Говорков В.А. Электрические и магнитные поля. М.: Энергия, 1968.