

Р. Ленц

**Исследование о влиянии
температуры на
теплопроводность металлов**

**Москва
«Книга по Требованию»**

УДК 53
ББК 22.3
Р11

Р11 **Р. Ленц**
Исследование о влиянии температуры на теплопроводность металлов / Р.
Ленц – М.: Книга по Требованию, 2021. – 70 с.

ISBN 978-5-458-57755-7

ISBN 978-5-458-57755-7

© Издание на русском языке, оформление
«YOYO Media», 2021

© Издание на русском языке, оцифровка,
«Книга по Требованию», 2021

Эта книга является репринтом оригинала, который мы создали специально для Вас, используя запатентованные технологии производства репринтных книг и печати по требованию.

Сначала мы отсканировали каждую страницу оригинала этой редкой книги на профессиональном оборудовании. Затем с помощью специально разработанных программ мы произвели очистку изображения от пятен, клякс, перегибов и попытались отбелить и выровнять каждую страницу книги. К сожалению, некоторые страницы нельзя вернуть в изначальное состояние, и если их было трудно читать в оригинале, то даже при цифровой реставрации их невозможно улучшить.

Разумеется, автоматизированная программная обработка репринтных книг – не самое лучшее решение для восстановления текста в его первозданном виде, однако, наша цель – вернуть читателю точную копию книги, которой может быть несколько веков.

Поэтому мы предупреждаем о возможных погрешностях восстановленного репринтного издания. В издании могут отсутствовать одна или несколько страниц текста, могут встретиться невыводимые пятна и кляксы, надписи на полях или подчеркивания в тексте, нечитаемые фрагменты текста или загибы страниц. Покупать или не покупать подобные издания – решать Вам, мы же делаем все возможное, чтобы редкие и ценные книги, еще недавно утраченные и несправедливо забытые, вновь стали доступными для всех читателей.



Серия Книжный Ренессанс

www.samizday.ru/reprint

слѣдуютъ закону Біота. Однакожь въ сообщеніи ⁵⁾, сдѣланномъ Парижской Академіѣ въ 1852 году, Депрэ говоритъ, что закону Біота, относительно распредѣленія температуръ, слѣдуютъ и весьма дурные проводники тепла, какъ напр. мраморъ, дерево и даже вода, когда она нагрѣвается сверху.

При этихъ изслѣдованіяхъ Депрэ придерживался, съ незначительными только измѣненіями, способу, употребленному Біотомъ. Температуры Депрэ измѣрялъ посредствомъ термометровъ, впущенныхъ въ углубленія, сдѣланныя въ испытуемыхъ стержняхъ и наполненныхъ ртутью. Стержни при этихъ опытахъ нагрѣвались посредствомъ Аргантовой лампы.

Способъ наблюденія, который употребляли Біотъ и Депрэ представляетъ однакожь существенные недостатки, такъ какъ при этомъ не удовлетворено тѣмъ предположеніямъ, на основаніи которыхъ Біотъ и Фурье вывели законъ распредѣленія температуръ. Извѣстно, что оба эти ученые для вывода основной формулы, выражающей этотъ законъ, дѣлають, между прочими, слѣдующія предположенія:

- 1) что нагрѣтый конецъ стержня сохраняетъ постоянную температуру во время всего опыта,
- 2) что во всѣхъ точкахъ одного и того же поперечнаго сѣченія стержень имѣетъ одинаковую температуру и
- 3) что стержень однородный.

Для сообщенія стержню во всѣхъ точкахъ постоянныхъ температуръ требуется значительное время, отъ двухъ до трехъ часовъ, смотря по размѣрамъ стержней, и едва-ли можно допустить, что въ теченіе такого времени лампа Арганта будетъ нагрѣвать стержень равномерно, что однакожь требуется по первому изъ упомянутыхъ предположеній. Далѣе, если температуры стержней измѣряются посредствомъ вставленныхъ термометровъ, то оказывается необходимымъ давать стержнямъ значительную толщину, какъ это дѣйствительно имѣло мѣсто при опытахъ Депрэ, при кото-

⁵⁾ Comptes rendus, XLV. 1852. pag. 540.

рыхъ стержни имѣли квадратное сѣченіе въ 21 миллиметръ толщины; но при такихъ размѣрахъ нельзя допустить, чтобы всѣ точки одного и того же сѣченія имѣли одинаковую температуру, особенно если стержень сдѣланъ изъ худаго проводника теплоты и если разсматриваются температуры точекъ, лежащихъ не далеко отъ нагрѣваемаго конца, и имѣющихъ, слѣдовательно, высокую температуру. Наконецъ, для удобнаго сообщенія термометра съ испытуемымъ стержнемъ необходимо въ послѣднемъ дѣлать углубленія и наполнять ихъ ртутью или другою жидкостью, въ которую впускается резервуаръ термометра; но въ такомъ случаѣ стержень уже нельзя разсматривать какъ однородный, особенно если площади сѣченія выемки составляютъ значительную часть поперечнаго сѣченія стержня, а въ приборѣ Дебрэ углубленія занимали $\frac{1}{5}$ площади сѣченія стержня. Вслѣдствіе этихъ углубленій, при изслѣдованіи, можетъ произойти еще погрѣшность отъ того, что рождаются сомнѣніе въ томъ, отъ которой точки углубленія слѣдуетъ считать разстояніе до нагрѣваемаго конца; эта погрѣшность можетъ быть чувствительна вблизи теплаго конца, такъ какъ здѣсь температуры, съ увеличеніемъ разстоянія, убываютъ весьма быстро.

Такъ какъ способъ наблюденій Біота и Дебрэ имѣетъ весьма существенные недостатки, то желательно найти другое средство для опредѣленія температуры стержня. Лангбергъ предложилъ такое средство и доказалъ все превосходство этого способа. Въ мемуарѣ, напечатанномъ въ 1845 году, Лангбергъ ⁶⁾ предложилъ употреблять термоэлектрическій элементъ для измѣренія температуры поверхности твердаго тѣла, и примѣнилъ этотъ способъ къ изслѣдованію распредѣленія теплоты въ стержнѣ. Для этой цѣли онъ устроилъ элементъ изъ висмута и сурьмы. Полоски этого элемента имѣли 1,7 миллиметра толщины, 1,0 миллим. ширины и 36,3 миллиметра длины. На концахъ полоски были заостренные и припаяны одна къ другой, причемъ онѣ представляли

⁶⁾ Langberg. Poggendorfs Annalen. LXVI, 1845, pag. 1.

конечную плоскость въ 1,2 квадратнаго миллиметра. Этотъ элементъ Лангбергъ соединялъ съ чувствительнымъ гальваноскопомъ, поправленнымъ по извѣстному способу Меллони. Термо-электрическій элементъ прикладывался къ различнымъ точкамъ испытываемаго стержня, причемъ стрѣлка отклонялась и послѣ нѣкоторыхъ качаній устанавливалась въ отклоненномъ положеніи. Отклоненія стрѣлки Лангбергъ считалъ пропорціональными разностямъ температуръ двухъ концовъ элемента. Качанія стрѣлки продолжались двѣ минуты и столько времени ждалъ Лангбергъ при каждомъ опытѣ до опредѣленія угла отклоненія. Послѣ отчета по гальваноскопу элементъ отнимался отъ стержня, въ теченіи четырехъ слѣдующихъ за тѣмъ минутъ онъ охлаждался и тогда только Лангбергъ приступалъ къ опредѣленію температуры второй точки. Такимъ образомъ Лангбергъ изслѣдовалъ распредѣленіе температуры въ слѣдующихъ стержняхъ: въ мѣдномъ толщиною 5,87 милл., въ оловянномъ толщиною 9,28 мм., въ свинцовомъ толщиною 9,41 мм. и наконецъ въ стальномъ толщиною въ 5,98 мм. Длина всѣхъ стержней превышала одинъ метръ, поэтому ихъ можно разсматривать, относительно передачи теплоты, какъ безконечно длинныя. Но въ такомъ случаѣ, въ силу закона Біота, температуры должны убывать въ геометрической прогрессіи, если разстоянія отъ нагрѣваемаго конца стержня возрастаютъ въ прогрессіи арифметической. Такое распредѣленіе температуры Лангбергъ нашелъ однакожъ только въ стержнѣ изъ красной мѣди, во всѣхъ же другихъ температуры были распредѣлены по другому закону, въ чемъ Лангбергъ убѣдился слѣдующимъ образомъ:

Формула Біота для безконечно длиннаго стержня принимаетъ видъ :

$$t = a \cdot 10^{-\frac{q}{m} x}$$

или $\log. t = \log. a - \frac{q}{m} \cdot x,$

гдѣ x означаетъ разстояніе точки, которой температура t , считаемое отъ произвольно выбранной начальной точки, a температуру началь-

ной точки, для которой $x = 0$, m модуль натуральных логарифмовъ, наконецъ q величину, зависящую отъ размѣровъ стержня, отъ коэффициентовъ внутренней и внѣшней теплопроводности, и считаемую за постоянную для одного и того же стержня. По способу наименьшихъ квадратовъ Лангбергъ опредѣлялъ изъ своихъ опытовъ величины $\log. a$ и q/m , и вычислялъ потомъ, посредствомъ этихъ постоянныхъ, величину t для различныхъ x . Сравнивая такимъ образомъ вычисленныя температуры съ результатами опыта, Лангбергъ нашелъ, что онѣ для красной мѣди были почти тождественны; для всѣхъ же другихъ металловъ разности между результатами вычисления и опыта значительно превышали вѣроятныя погрѣшности наблюдений и притомъ эти отступленія были тѣмъ больше, чѣмъ хуже стержень проводилъ теплоту. Правильный ходъ этихъ разностей показывалъ, что законъ Біота невѣренъ для металловъ, изслѣдованныхъ Лангбергомъ, за исключеніемъ красной мѣди. Неточность закона Біота Лангбергъ приписываетъ тому обстоятельству, что, по его мнѣнію, коэффициенты, какъ внутренней такъ и внѣшней теплопроводности, не слѣдуетъ разсматривать какъ величины постоянныя, не зависящія отъ температуры, эти коэффициенты напротивъ суть функции t . Если имъ дать видъ:

$$\alpha + \beta t,$$

то получается формула, которую вывелъ Пуассонъ⁷⁾, для распределенія температуры въ стержнѣ. Эта формула имѣетъ видъ:

$$t = \left[1 - \frac{\alpha}{2}(\gamma - 2n) \right] a \cdot 10^{\frac{q}{m}} + \frac{\alpha^2}{3}(\gamma - 2n) 10^{\frac{2q}{m}x}$$

Здѣсь α , t , q , m и x имѣютъ прежнія значенія, величина же γ есть второй коэффициентъ для внѣшней, а величина n второй коэффициентъ для внутренней теплопроводности. Лангбергъ вычислилъ изъ своихъ наблюдений по способу наименьшихъ квадратовъ

⁷⁾ Poisson, Théorie mécanique de la chaleur, § 125, pag. 254. Paris 1835.

три постоянныя величины $\frac{q}{m}$, $\gamma - 2n$ и a , вставилъ ихъ затѣмъ въ уравненіе Пуассона и опредѣлилъ температуры t , соответствующія различнымъ разстояніямъ x . Теперь результаты вычисленія и наблюденія согласовались весьма хорошо для всѣхъ металловъ и разности не превышали $0,08^\circ \text{C}$. Кромѣ того, весьма удовлетворительное согласіе, которое показывали опыты при многократномъ ихъ повтореніи, доказывало превосходство этого способа для измѣренія температуры поверхности твердаго тѣла.

Способъ наблюденій Лангберга безъ сомнѣнія лучше способа Біота, потому что можно при этомъ употреблять болѣе тонкіе стержни и притомъ однородность ихъ не прерывается углубленіями; но не смотря на все преимущество этого способа, противъ наблюденій Лангберга можно сдѣлать нѣкоторые существенныя возраженія. Во первыхъ согласіе между результатами вычисленія и непосредственнаго наблюденія далеко не такъ удовлетворительно какъ полагалъ Лангбергъ и особенно при высшихъ температурахъ результаты нѣсколько сомнительны, какъ это показалъ уже г. Крѣнихъ⁸⁾, во-вторыхъ наблюденія Лангберга подвержены сильнымъ случайнымъ и постояннымъ погрѣшностямъ.

Видъ, который Лангбергъ далъ термоэлементу, можетъ быть причиною существенныхъ неточностей; при такой формѣ оказывается необходимымъ прикладывать элементъ къ стержню по направленію нормали, если же приложить его къ стержню въ косомъ направленіи, то на элементѣ измѣняется точка прикосновенія, и при одинаковой температурѣ стрѣлка мультипликатора можетъ давать весьма различныя отклоненія. При началѣ моихъ опытовъ я устроилъ элементъ такого вида и меньшихъ размѣровъ, но замѣнилъ его послѣ другимъ, потому что получалъ отклоненія, которыхъ разности доходилъ до 2°C , смотря потому прикладывался ли этотъ элементъ къ стержню по направленію нормали или косвенно. Погрѣшность отъ этого обстоятельства можетъ произойти весьма легко и при тщательномъ устройствѣ прибора, потому что весьма трудно получать стержни совсѣмъ

⁸⁾ Berliner Bericht für das Jahr 1852, pag. 355.

прямые; если же они погнуты хотя весьма немного, то непременно произойдет косвенное приложѣніе элемента. Кажется, что стержни Лангберга дѣйствительно были немного погнуты или что онъ, по крайней мѣрѣ, опасался подобнаго гнутія ихъ при установкѣ; въ противномъ случаѣ, онъ вѣроятно не рѣшился бы сжимать стержни въ трехъ мѣстахъ между стеклянными пластинками, такъ какъ чрезъ употребленіе этихъ пластинокъ вводится въ наблюденія новая причина погрѣшностей. Кромѣ того и время, въ теченіе котораго термоэлементъ при опытахъ Лангберга находился въ прикосновеніи со стержнемъ, слишкомъ продолжительно, и въ слѣдствіе этого обстоятельства также происходитъ существенная погрѣшность въ наблюденіяхъ. Какъ было выше замѣчено, Лангбергъ для этого употреблялъ двѣ минуты, но въ такой промежутокъ времени не малая часть теплоты передается изъ стержня въ элементъ, особенно при такой значительной толщинѣ послѣдняго, какую имѣлъ элементъ Лангберга. Отъ этого происходитъ неточность въ двухъ отношеніяхъ: во первыхъ, измѣняется распредѣленіе теплоты въ стержнѣ; во вторыхъ, элементъ нагрѣвается и нагрѣваніе можетъ передаваться и второму концу его. Когда элементъ отнять отъ стержня онъ долженъ охлаждаться, на что потребно не 4 минуты, какъ принималъ Лангбергъ, а значительно большее время, въ чемъ я убѣдился прямыми опытами. Лангбергъ предполагалъ далѣе, что сила тока, возбужденнаго въ термоэлементѣ при нагрѣваніи одного конца его, пропорціональна избытку температуры этаго конца надъ температурою другаго, холоднаго; но уже Реньо ⁹⁾ показалъ, что это предположеніе не вѣрно, а въ послѣдствіи изслѣдованія Видемана и Франца ¹⁰⁾ и другихъ наблюдателей подтвердили этотъ результатъ.

Наконецъ при опытахъ Лангберга коэффициентъ внѣшней теплопроводности для различныхъ стержней различенъ; а потому и

⁹⁾ Regnault, Relation des expériences etc. Paris, 1847. T. I, pag. 256.

¹⁰⁾ Poggendorfs Annalen, LXXXIX. 1853, pag. 526.

коэффициенты внутренней теплопроводности, найденные Лангбергомъ для различныхъ металловъ, несравнимы между собою. На это обстоятельство Лангбергъ очевидно не обратилъ вниманія потому, что онъ преимущественно имѣлъ въ виду изслѣдовать точность закона Біота и предложеннаго имъ способа для измѣренія температуры твердыхъ тѣлъ.

Не смотря на всѣ приведенные недостатки въ опытахъ Лангберга, нельзя не признать большаго значенія этой работѣ, посредствомъ которой въ первый разъ доказано прямыми опытами превосходство термоэлектрическаго элемента въ подобныхъ изслѣваніяхъ. На сколько результаты, полученные Лангбергомъ касаются неточности закона Біота съ ними, кажется, можно согласиться, но численныя значенія коэффициентовъ, найденныя Лангбергомъ, нельзя принять безъусловно и во всякомъ случаѣ онѣ не представляютъ такой степени точности, чтобы изъ нихъ можно бы было вывести зависимость коэффициента теплопроводности отъ температуры.

Новый и еще большій интересъ приобрѣлъ вопросъ о теплопроводности тѣлъ вслѣдствіи превосходныхъ работъ Видемана и Франца¹¹⁾, опубликованныхъ въ 1853 году. Цѣль этихъ наблюдателей состояла въ опредѣленіи относительной теплопроводности различныхъ металловъ. Для рѣшенія вопроса они придерживались способа Лангберга, причемъ употребили всѣ старанія для устраненія упомянутыхъ недостатковъ въ опытахъ послѣдняго. Эти наблюдатели дали термоэлектрическому элементу другой видъ и уменьшили его размѣры; ихъ элементъ былъ сдѣланъ изъ двухъ проволокъ 0,4 миллиметра толщины, одна была желѣзная, другая нейзильберная; концы этихъ проволокъ были отрѣзаны наискось и затѣмъ проволоки были спаяны одна съ другою по этимъ косымъ плоскостямъ; такимъ образомъ дѣйствующая плоскость элемента была весьма мала. Этотъ элементъ помѣщался между двумя пластинками изъ слоновой кости, которыя, обхватывая стер-

¹¹⁾ Pogg. Ann. LXXXIX. 1853 p. 497.

жень, приводили элементъ всегда на самую средину его. Время прикосновенія продолжалось отъ 4 до 6 секундъ; зависимость между отклоненіемъ стрѣлки и температурою элемента была опредѣлена посредствомъ особаго ряда наблюденій. Видеманъ и Францъ вывели изъ своихъ опытовъ преимущественно слѣдующіе два результата: они, во-первыхъ, показали, что проводимость для электричества и теплоты, находятся для всѣхъ тѣлъ въ тѣсной связи и пропорціональны одна другой, или, какъ это выражаютъ сами наблюдатели: «Проводимость металловъ для электричества и для теплоты весьма близки одна къ другой и вѣроятно обѣ проводимости суть равныя функціи одной и той же величины». Во вторыхъ, Видеманъ и Францъ подтвердили замѣчаніе Лангберга, что температура вліяетъ на теплопроводность худыхъ проводниковъ.

Чтобы показать на сколько вѣренъ законъ, найденный Видеманомъ и Францомъ, я помѣщаю здѣсь таблицу результатовъ этихъ наблюдателей.

Тѣла.	Электрическая проводимость по:			Средн. вы- водъ.	Теплопро- водность.
	Рису.	Бекерелю.	Э. Ленцу.		
Серебро	100	100	100	100	100
Красная мѣдь	66,7	91,3	73,3	77,2	73,6
Золото	59,0	64,9	58,5	60,8	53,2
Желтая мѣдь	18,4	»	21,5	20,0	32,6
Олово	10,0	14,0	22,6	15,3	14,3
Желѣзо	12,0	12,35	13,0	12,4	11,9
Сталь	»	»	»	»	11,6
Свинецъ	»	8,27	10,7	8,7	8,5
Платина	10,5	7,93	10,3	9,6	8,4
Нейзильберъ	5,9	»	»	5,9	6,3
Висмутъ	»	»	1,9	1,9	1,8

Электрическая проводимость металловъ опредѣлена не Видеманомъ; для сравненія ея съ теплопроводностью онъ воспользовался наблюденіями Риса, Э. Бекереля и Э. Ленца; это обстоятель-

ство при обсужденіи результатовъ не слѣдуетъ выпускать изъ виду, потому что разности въ электрической проводимости одного и того же металла по опытамъ трехъ приведенныхъ наблюдателей больше, чѣмъ разности между проводимостью для электричества и теплоты; это видно изъ сравненія чиселъ послѣднихъ двухъ столбцовъ, въ которыхъ помѣщены средніе выводы электрической проводимости и результаты изслѣдованій Видемана и Франца. Сличеніе чиселъ этихъ столбцовъ показываетъ, что разности доходятъ до 15%, напр. для желтой мѣди; для золота и платины разности 14%, для всѣхъ другихъ металловъ разности значительно меньше. Безъ всякаго сомнѣнія эти разности могутъ быть слѣдствіемъ того, что металлы, изслѣдованные различными наблюдателями, не были тождественны, что и доказывается несогласіемъ между числами, выражающими электрическую проводимость по наблюденіямъ Риса, Бекереля и Ленца. Въ 1855 году г. Видеманъ ¹²⁾ публиковалъ работу, въ которой измѣрена между прочимъ теплопроводность цинка и найдена 19,0, если теплопроводность серебра принята за 100; по изслѣдованіямъ же Бекереля проводимость цинка для электричества = 24, такъ что разность здѣсь доходитъ до 20% и она будетъ еще больше, если принять для электрической проводимости цинка число, найденное Матисеномъ.

Для вопроса о пропорціональности между двумя проводимостями теплопроводной и электрической другія изслѣдованія Видемана ¹³⁾, опубликованныя въ 1859 году, представляютъ болѣе интересъ въ томъ отношеніи, что при этихъ изслѣдованіяхъ Видеманъ измѣрялъ не только теплопроводность, но и электрическую проводимость тѣлъ. Опыты были сдѣланы надъ красною мѣдью, цинкомъ, оловомъ, висмутомъ и нѣкоторыми сплавами этихъ тѣлъ. Изъ слѣдующей таблицы видна степень согласія въ проводимости для теплоты и электричества:

¹²⁾ Poggendorfs Annalen XIV. 1855. pg. 337.

¹³⁾ Poggendorfs Annalen CVIII. 1859. pg. 393.

Названіе тѣлѣ.	Проводимостъ тѣлѣ: для теплот. для электр.	
Красная мѣдь	73,6	79,3
8 частей мѣди 1 часть цинка	27,3	25,5
6,5 » » 1 » »	29,9	30,9
4,7 » » 1 » »	31,1	29,2
2,4 » » 1 » »	25,8	25,4
Цинкъ	28,1	27,3
Олово	15,2	17,0
3 части олова 1 часть висмута . . .	10,1	9,0
1 » » 1 » » . . .	5,6	4,4
1 » » 3 » » . . .	2,3	2,0
Металлъ Розе.	4,0	3,2

Хотя и въ этихъ наблюденіяхъ встрѣчаются довольно большія разности между двумя проводимостями, но нельзя не замѣтить, что вообще въ этомъ ряду проводимости сходятся ближе, чѣмъ въ первой таблицѣ. При обсужденіи этихъ чиселъ, не слѣдуетъ однакожъ упускать изъ виду, что электрическая проводимость опредѣлена Видеманомъ для того же металла, для котораго опредѣлена и теплопроводность, но что при всемъ томъ эти образчики нельзя считать тождественными потому, что для опредѣленія электрической проводимости испытанные стержни вытягивались въ болѣе тонкія проволоки, причемъ они по всей вѣроятности и прокаливались. Но опыты Кэльверта и Джонсона ¹⁴⁾ доказываютъ, что при различной обработкѣ металла его теплопроводность измѣняется въ довольно большихъ предѣлахъ. Такъ напр. эти наблюдатели наши для прокатной мѣди коэффициентъ теплопроводности = 84,5, между тѣмъ какъ для литой мѣди, но этимъ же наблюдателямъ, онъ только 81,1. Впрочемъ и впередъ можно ожидать, что при каждомъ измѣненіи въ молекулярномъ расположеніи частицъ тѣла будетъ измѣняться не только электрическая проводимость но и теплопроводность его.

¹⁴⁾ Comptes rendus de l'Académie des sciences XLVII. 1858. pag. 1069.