

А.Ф. Иоффе

**Упругие и электрические
свойства кварца**

Москва
«Книга по Требованию»

УДК 53
ББК 22.3
А11

A11 **А.Ф. Иоффе**
Упругие и электрические свойства кварца / А.Ф. Иоффе – М.: Книга по Требованию, 2024. – 132 с.

ISBN 978-5-458-57808-0

ISBN 978-5-458-57808-0

© Издание на русском языке, оформление
«YOYO Media», 2024
© Издание на русском языке, оцифровка,
«Книга по Требованию», 2024

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.

Упругое послѣдѣйствіе.

Задача изслѣдованія.

Упругая деформація, вызванная въ тѣлѣ внѣшними силами, состоить изъ двухъ частей: первая — динамическая, распространяется со скоростью звука во всемъ тѣлѣ; за неї слѣдуетъ во времени упругое послѣдѣйствіе — дальнѣйшее нарастаніе деформаціи, ассимптотически приближающее ее къ статическому предѣлу. Оба вида деформаціи исчезаютъ при устраненіи деформирующихъ силъ и этимъ отличаются отъ явлений остаточной деформаціи. Можно было бы опредѣлить упругое послѣдѣйствіе, какъ необратимую часть упругой деформаціи, вызывающую разсѣяніе энергіи. Helmholtz¹⁾ приводить упругое послѣдѣйствіе при нагрузкѣ и разгрузкѣ, какъ типичный примѣръ необратимаго замкнутаго цикла. При циклической деформаціи упругое послѣдѣйствіе приводить къ тѣмъ же результатамъ, какъ и магнитный гистерезисъ, что и привело къ понятію объ упругомъ гистерезисѣ. Необходимо однако отмѣтить, что между указанными двумя явленіями существуетъ принципіальное различіе: упругое послѣдѣйствіе ведеть къ необратимости только при конечной скорости деформаціи; при безконечно же медленномъ нарастаніи и исчезновеніи деформаціи упругое послѣдѣйствіе не вызываетъ разсѣянія энергіи; магнитный же гистерезисъ вызываетъ разсѣяніе энергіи, независящее отъ скорости намагничиванія, и только при чрезвычайно большой быстротѣ намагничиванія потери уменьшаются (при периодѣ

¹⁾ H. v. Helmholtz. Vorlesungen über Theorie der Wärme. Leipzig 1903. p. p. 248—249.

измѣненія магнитнаго поля $< 10^{-11}$ сек. гистерезисъ исчезаетъ вмѣстѣ съ намагничиваніемъ). Упругимъ гистерезисомъ слѣдуетъ поэтому называть не упругое послѣдействіе, а остаточную деформацію, представляющую болѣе глубокую аналогію съ магнитнымъ гистерезисомъ. Указанный Helm-holtz'емъ циклъ необратимъ настолько, насколько необратимъ и циклъ Carnot, въ которомъ теплота подводится и отводится съ конечной скоростью при конечной разности температуръ, тогда какъ циклъ намагничиванія и циклъ пластической деформаціи необратимъ независимо отъ скорости процессовъ.

Упругое послѣдействіе было впервые наблюдено на шелковыхъ нитяхъ W. Weber'омъ въ 1835 году¹⁾. Основныя черты явленія были особенно тщательно изучены съ качественной и количественной стороны F. Kohlrausch'емъ²⁾ на стеклянныхъ и серебряныхъ нитяхъ. Дальнѣйшія опытныя изслѣдованія³⁾ были посвящены приврѣкѣ формулъ, опредѣляющихъ теченіе послѣдействія во времени, сравненію послѣдействія при различныхъ видахъ деформаціи, изслѣдованію новыхъ материаловъ: металловъ и резины. Формулы, хорошо выражаютія ходъ послѣдействія, предложены были

¹⁾ W. Weber Pogg. Ann. 34 р. 247—257. 1835; 54 р. 1—18. 1841.

²⁾ F. Kohlrausch. Pogg. Ann. 119 р. 337—368. 1863; 128 р. 1—20. 1866; 158 р. 337. 1876; 160 р. 225. 1877.

³⁾ H. Streintz. Pogg. Ann. 153 р. 387. 1874.

F. Neescon. Pogg. Ann. 153 р. 498. 1874.

F. Braun. Pogg. Ann. 159 р. 357. 1876.

Rehkuh. Wied. Ann. 35 р. 476. 1888.

L. Austin. Diss. Strassburg. Wied. Ann. 50 р. 659—677. 1893.

J. G. Butcher. Proc. Lond. Matz. Soc. VIII р. 103—135. 1878.

Н. А. Гевехусъ. Упругое послѣдействіе и другія сходныя съ нимъ физическія явленія. Диссертатія. Петроградъ, 1882.

Н. Бахметьевъ и П. Ваксовъ. Ж. Р. Ф.-Х. О. 18. стр. 217. 1896.

Percy Phillips. Phil. Mag. 9 р. 513. 1905.

H. Jordan. Diss. Göttingen. 1908.

H. Tobusch. A. d. Phys. 26 р. 439. 1908.

W. Kautz. Diss. Göttingen. 1908.

P. Ludwik. Phys. Z. 10 р. 411. 1909.

G. Grohe. Ann. d. Phys. 31 р. 971. 1910.

еще W. Weber'омъ и F. Kohlrausch'емъ; L. Boltzmann¹⁾ далъ въ 1876 году общее выражение, къ которому можно свести позднѣйшія формулы E. Riecke²⁾ и E. Wiechert'a³⁾.

Предложенъ былъ цѣлый рядъ различныхъ теорій для физического объясненія упругаго послѣдѣйствія.

Одна группа изслѣдователей, къ которой принадлежали: W. Weber, R. Kohlrausch, F. Kohlrausch, G. Wiedemann, объясняла послѣдѣйствие вращеніемъ молекулъ тѣла, встрѣчающихъ тѣ или иные сопротивленія. Эта гипотеза была подробно развита E. Warburg'омъ⁴⁾ и получила математическое развитіе въ работѣ G. J. Michaѣlis'a⁵⁾.

О. Е. Meyer предложилъ двѣ теоріи: въ первой⁶⁾, несомнѣнность которой онъ позже призналъ, онъ пытался свести упругое послѣдѣйствие къ внутреннему тренію между отдѣльными слоями деформируемаго тѣла. Позже⁷⁾, онъ развилъ представление, основанное на замедленіи деформаціи беспорядочнымъ тепловымъ движеніемъ молекулъ, что представляетъ собою только болѣе конкретную теорію внутренняго тренія.

Аналогичные взгляды высказаны были также W. Thomson'омъ⁸⁾. Наконецъ сюда же можно отнести и крайне искусственную гипотезу F. Neesen'a⁹⁾ о нарушеніи при деформаціи установившагося строго циклическаго движенія каждой молекулы, которая каждый разъ на томъ же мѣстѣ и въ томъ же направленіи сталкивается съ соседней молекулой. Математическая теорія внутренняго тренія разработана W. Voigt'омъ, а теорія Neesen'a при посредствѣ нѣсколькихъ добавочныхъ гипотезъ позволяетъ прийти къ эмпирически установленнымъ формуламъ Weber'a и Kohlrausch'a

¹⁾ L. Boltzmann. Pogg. Ann. Erg.-Band 7 p. 624. 1876.

²⁾ E. Riecke. Wied. Ann. 20 p. 484. 1883.

³⁾ E. Wiechert. Wied. Ann. 50 p.p. 335, 546. 1893.

⁴⁾ E. Warburg. Wied. Ann. 4 p. 232. 1878.

⁵⁾ G. J. Michaѣlis. Wied. Ann. 17 p. 726. 1882; 42 p. 674. 1891.

⁶⁾ O. E. Meyer. Pogg. Ann. 151 p. 108. 1874.

⁷⁾ O. E. Meyer. Pogg. Ann. 154 p. 354. 1875; Wied. Ann. 4 p. 249. 1878.

⁸⁾ W. Thomson. Phil. Mag. 30 p. 63. 1865.

⁹⁾ T. Neesen. Pogg. Ann. 157 p. 579. 1876.

Существенно отличное объяснение послѣдѣйствія далъ Th. Nissen¹). Онъ предполагаетъ, что деформація нарушаетъ равновѣсіе между атомнаго и виѣшняго эфира; медленно устанавливающееся новое равновѣсіе проявляется въ упругомъ послѣдѣйствіи. Къ его взглядамъ присоединился отчасти Н. А. Гезехусъ²) въ своей диссертациі, въ которой проводится интересная аналогія между упругимъ послѣдѣйствіемъ и явленіями тепловыми, электрическимъ послѣдѣйствіемъ, фосфоресценціей, диффузіей. На этомъ взглядѣ основано и опытное изслѣдованіе Н. Бахметьева и П. Баскова. Pearson³) также объяснялъ упругое послѣдѣйствіе взаимодѣйствіемъ между эфиромъ и молекулами тѣла. На ошибочность этой теоріи указалъ Н. Lamb⁴). Въ послѣднее время Н. А. Гезехусъ⁵) предложилъ новое объясненіе послѣдѣйствія, основанное на диссоціаціи электроновъ въ тѣлѣ, видоизменяемой при деформації и медленно приходящей къ динамическому равновѣсію.

J. C. Maxwell⁶) указалъ на неоднородность строенія тѣлъ, какъ на одну изъ причинъ, способныхъ вызвать упругое послѣдѣйствіе. Дѣйствительно, всѣ изученные тѣла представляютъ собою либо беспорядочный агрегатъ мелкихъ кристалликовъ (металлы), либо сплавъ различныхъ силикатовъ (стекла), либо крайне неоднородныя системы органическаго происхожденія (паутина, шелкъ и резина). Вполнѣ возможно и даже неизбѣжно мы перейдемъ предѣль упругости и вызовемъ пластическую деформацію, связанную съ новой перегруппировкой, новымъ агрегатнымъ состояніемъ, въ отдѣльныхъ участкахъ такого тѣла, несмотря на то, что среднее напряженіе будетъ еще весьма далеко отъ предѣла упругости материала. Кратко формулированные взгляды Max-

¹) Th. Nissen. Diss. Bonn. 1880.

²) Н. А. Гезехусъ. Дисс. 1882.

³) Pearson. Proc. Math. Soc. London. 11 Apr. 1889.

⁴) H. Lamb. Nature 41. p. 463. 1890.

⁵) Н. А. Гезехусъ. Ж. Р. Ф.-Х. О. 45, стр. 409. 1913.

⁶) J. C. Maxwell. The Scient. papers. V. II p. 616—624. Cambridge. 1890.

well'a были более детально разработаны С. Barus'омъ¹), который предполагаетъ въ неоднородномъ тѣлѣ присутствіе различныхъ метастабильныхъ группъ молекулъ аморфныхъ и кристаллическихъ, или вязкихъ и твердыхъ. Динамическое равновѣсіе между этими группами нарушается деформацией и постепенно восстанавливается. Barus связываетъ эти представлениія съ данными о структурѣ стали и указываетъ на аналогію съ явленіями диссоціаціи электролитовъ. Аналогичными представлениіями пользовался также Bouasse²).

Совершенно ясная картина тѣхъ перегруппировокъ, которые возникаютъ въ металлахъ при деформаціи въ связи съ упругимъ гистерезисомъ и явленіемъ усталости, дана въ посмертномъ трудѣ В. Л. Кирничева: „Объ усталости металловъ“³). Глубокій и всесторонній анализъ свойствъ металловъ, проведенный въ этой монографії, подтверждаетъ и конкретизируетъ общія положенія Maxwell'a. Особенное значеніе имѣетъ скольженіе кристалловъ при пластической ихъ деформаціи.

Опыты J. Klemencic'a⁴) и E. Wiechert'a⁵) надъ вліяніемъ предварительного подогрѣва на послѣдствіе въ стеклѣ и сильное возрастаніе послѣдствія съ температурой⁶) также говорятьъ въ пользу взглядовъ Maxwell'a. Математическое выраженіе эта теорія нашла въ работахъ J. G. Butcher'a⁷) J. J. Thomson'a⁸) и E. Wiechert'a⁹).

¹) С. Barus. Phil. Mag. 26 p. 183. 1888.

²) H. Bouasse. Ann. chim. phys. 29 p. 384. 1903; 2 p. 5. 1904.

H. Bouasse et Z. Carrière. Ann. chim. phys. 14 p. 190. 1908.

³) В. Л. Кирничевъ. Вѣстн. Общ. Техн. стр. 1. 1914.

⁴) I. Klemencic. S.-B. d. K. Akad. d. Wiss. Wien. 78. 1878.

⁵) E. Wiechert. I. c.

⁶) C. Schaefer. Ann. d. Phys. 5 p. 220. 1901.

Bertram Hopkinson & F. Rogers. Proc. Roy. Soc. 76 p. 419. 1905.

G. E. Guye & V. Fredericksz. C. R. 149 p. 1066. 1909.

G. E. Guye & H. Schapper. C. R. 150 p. 962. 1900.

G. E. Guye. J. d. Phys. p. 620. 1912.

⁷) J. G. Butcher. Proc. Lond. Math. Soc. 8. 1878. Beibl. 2 p. 625—632. 1878.

⁸) J. J. Thomson. Applications of Dynamics to physics and Chemistry. London. 1888. (on residuel effects).

⁹) E. Wiechert. I. c.

Ch.-Ed. Guillaume¹⁾ объясняет послѣдѣйствіе въ неоднородныхъ тѣлахъ химическими перегруппировками отдельныхъ комплексовъ въ тѣлѣ.

Критический разборъ теорій упругаго послѣдѣйствія данъ въ диссертаций Th. Nissen'a и Н. А. Гезехуса.

Нельзя впрочемъ не отмѣтить, что Nissen, излагая взгляды Butcher'a (и не упоминая объ ихъ исходной точкѣ — теоріи Maxwell'a), считаетъ ихъ неосновательными, такъ какъ онъ „никакъ не можетъ понять, какимъ образомъ можно примирить положенія Butcher'a съ основнымъ свойствомъ изотропнаго тѣла: обладать во всѣхъ точкахъ и во всѣхъ направленіяхъ одинаковымъ строеніемъ“. Очевидно по Maxwell'у тѣло потому и обладаетъ послѣдѣйствіемъ, что оно не изотропно въ указанномъ смыслѣ.

Изъ указанныхъ теорій, объясненія, данные О. Е. Meuer'омъ и Е. Neesen'омъ, можно считать опровергнутыми опытомъ: внутренняго тренія недостаточно для объясненія упругаго послѣдѣйствія. Теорія Nissen'a, хотя и поддержанная Н. А. Гезехусомъ, возбуждается также весьма серьезная сомнѣнія: свойства эфира, которыя понадобились Nissen'у для объясненія послѣдѣйствія, настолько противорѣчать тому, что даютъ явленія электрическія и оптическія, что приходится говорить объ особомъ эфирѣ для упругаго послѣдѣйствія. Такъ напр. по Nissen'у частицы эфира взаимно отталкиваются; связь между молекулами и эфиромъ такова, что эфиръ часами вливается въ междуатомные промежутки, пока не достигнетъ равновѣсія и т. п. Кромѣ того теорія Nissen'a связываетъ послѣдѣйствіе съ объемной деформаціей, тогда какъ опыты свидѣтельствуютъ, наоборотъ, о томъ, что послѣдѣйствіе опредѣляется деформаціей сдвига.

Объясненіе, предложенное въ 1913 году Н. А. Гезехусомъ, также повидимому не всегда приложимо и носить пока только качественный характеръ, такъ какъ связь между электризацией и деформаціей діэлектрика количественно еще

¹⁾ Ch.-Ed. Guillaume. Rapp. d. Congrès Int. de Phys. Paris. 1900 VI p. 432.

недостаточно изучена. Не трудно себѣ представить послѣдействіе, вызванное исчезновеніемъ внутренней электризациіи при неоднородной деформаціи діэлектрика. Но при однородной деформаціи (напр. растяженіи) электризациія должна была бы сосредоточиться на пограничной поверхности тѣла и могла бы быть легко устранена. Точно также невыяснены причины медленного исчезновенія электризациіи въ проводникахъ. Въ частныхъ случаяхъ, однако, какъ напр. въ пьезоэлектрическомъ кварцѣ, объясненіе Н. А. Гезехуса вполнѣ правильно.

Теорія вращенія молекулъ при деформаціи повидимому болѣе пригодна для объясненія явлений гистерезиса, такъ какъ медленное теченіе послѣдействія не объясняется какимъ-либо механизмомъ, замедляющимъ вращеніе, а постулируется теоріей. Кроме того, величина послѣдействія должна быть тѣсно связана съ формой молекулы, приближаясь къ нулю съ приближеніемъ молекулы къ шаровидной формѣ; подобной связи однако не наблюдается.

Сопоставляя величину послѣдействія въ различныхъ материалахъ, можно прийти къ заключенію, что оно связано не со структурой молекулы, а съ болѣе грубой микроскопической структурой тѣла, причемъ эта связь вполнѣ совпадаетъ съ основными предпосылками теоріи Maxwell'a.

Наибольшимъ послѣдействіемъ обладаютъ наиболѣе неоднородные тѣла: паутина, шелкъ, каучукъ; нѣсколько меньшимъ—стекла сложнаго химического состава; далѣе следуютъ металлы. Въ болѣе однородныхъ каліевыхъ или натровыхъ стеклахъ послѣдействіе значительно слабѣе выражено¹⁾). Едва замѣтно послѣдействіе въ нитяхъ аморфнаго кварца²⁾.

Естественно возникаетъ вопросъ: не является ли физическая неоднородность структуры тѣла единственной причиной

¹⁾ G. Weidmann. Wied. Ann. 29 p. 214. 1886.

²⁾ R. Threlfall. Phil. Mag. 31 p. 99. 1890.

E. Bouwman. Inaug.-Diss. Groningen. 1899.

G. I. Barnett. Phys. Rev. 6. 1898.

F. Horton. Proc. Roy. Soc. 74 p. 401. 1905.

упругаго послѣдѣйствія (роль внутренняго тренія совершенно ничтожна при обычныхъ скоростяхъ деформаціи).

Въ такомъ случаѣ тѣла, обладающія однороднымъ строеніемъ, (а таковыми являются только кристаллическіе индивидуумы), должны быть лишены совершенно упругаго послѣдѣйствія.

Опытная проверка этого положенія и составляетъ задачу первой части настоящей работы. Подтвержденіе этого положенія показало бы, что упругое послѣдѣйствіе является не свойствомъ твердаго тѣла, какъ такового, а только резултатомъ царящаго въ немъ беспорядка.

Въ случаѣ, если бы упругое послѣдѣйствіе оказалось присущимъ и кристалламъ, можно было бы надѣяться извлечь нѣкоторыя указанія относительно механизма послѣдѣйствія изъ связи между величиной послѣдѣйствія въ различныхъ кристаллографическихъ направленіяхъ, модулями упругости и коэффиціентами внутренняго тренія кристалла.

Изслѣдованія упругаго послѣдѣйствія въ кристаллахъ въ литературѣ не имѣлось къ тому моменту, когда возникла у меня поставленная выше задача. При опытахъ, произведенныхъ *W. Voigt'*омъ для измѣренія упругихъ постоянныхъ кристалловъ, послѣдѣйствіе не могло быть велико; оно не превышало тѣхъ побочныхъ эффеクトовъ, которые вызывались послѣдѣйствиемъ въ частяхъ прибора. Только въ каменной соли *W. Voigt'*¹⁾ констатировалъ присутствіе нѣкотораго послѣдѣйствія. Однако болѣе близкое изученіе труда *W. Voigt'*а не позволяетъ придавать этому резултату рѣшающаго значенія. Послѣдѣйствіе наблюдалось при изгибѣ пластинокъ каменной соли съ матовой неровной поверхностью, причемъ призмы, на которыхъ лежала пластинка, образовали впадины въ соли. Въ этихъ условіяхъ, и то только при сильныхъ сотрясеніяхъ, наблюдалось явленіе, которое *Voigt'* считалъ упругимъ послѣдѣйствиемъ. Вполнѣ однако допустимо, что послѣдѣствіе при прогибѣ пластинки вызывалось совер-

¹⁾ *W. Voigt.* Diss. K鰎nigsberg, 1874. VI, Abschn. Pogg. Ann. Erg. Bd. 7 p. p. 1, 177. 1876.

шенно другой причиной — скольжениемъ каменной соли по призмѣ. (Если пластинка при скольжении встречаетъ достаточное вязкое сопротивление, то можно, какъ я убѣдился на опыте, вполнѣ воспроизвести явление послѣдействія даже безъ сотрясеній. Въ моихъ опытахъ роль вязкой связи играло засохшее масло). Обстановка опыта съ кручениемъ каменной соли также позволяетъ отнести наблюденное послѣдействіе къ вліянію способа закрѣпленія въ латунныхъ обоймы.

Кромѣ указанныхъ чисто экспериментальныхъ сомнѣній противъ доказательности результатовъ W. Voigt'a можно выдвинуть и принципіальныя возраженія: 1) послѣдействіе наблюдалось Voigt'омъ при пластической деформаціи, тогда какъ упругое послѣдействіе проявляется до предѣла упругости; 2) деформація была неоднородной, такъ что однѣ части кристалла испытывали остаточную, другія же упругую деформацію, чѣмъ очевидно нарушалась однородность строенія кристалла.

Тѣ же возраженія можно выставить противъ значенія опытовъ K. R. Koch'a ¹⁾, получившаго при неоднородной пластической деформаціи льда послѣдствіе, достигающее 100% деформаціи. Кромѣ того, ледъ представлялъ собою не отдѣльный индивидуумъ, а агрегатъ кристалловъ, хотя и не столь хаотической, какъ большинство металловъ.

Относительно этихъ двухъ кристалловъ можно считать установленнымъ ²⁾, что при пластической деформаціи происходит скольжение отдѣльныхъ частей по плоскостямъ спайности, причемъ поверхность кристалла принимаетъ ступеньчатую форму. Несмотря на видимую вязкость, отдѣльные пластинки не деформируются; такимъ образомъ „изогнутая“ каменная соль не становится двупреломляющей. Эти факты

¹⁾ K. R. Koch. Wied. Ann. 25 p. 438. 1885.

Б. П. Вейнбергъ. Дисс. Петроградъ, 1907.

²⁾ A. v. Obergauer. Wien. Ber. 113 p. 511. 1904.

J. C. Ms Connell. Nat. Rund. 6 p. 49. 1891.

O. Muggen. Nat. Rund. 11 p. 370. 1896.

Ф. Ю. Левинсонъ-Лессингъ. Изв. Пол. Инст. 3, стр. 115. 1905.

L. Milch. Neues Jahrb. f. Min. 1 p. 60. 1909.

заставляютъ еще осторожнѣе относиться къ тому послѣдѣйствію, которое наблюдается при пластической деформації.

За исключениемъ указанныхъ опытовъ, мнѣ удалось найти въ литературѣ только ничтѣмъ не мотивированное утвержденіе J. H. Poynting'a и J. J. Thomson'a¹⁾, что послѣдѣйствіе въ кристаллахъ, если и существуетъ, то крайне ничтожно.

Такимъ образомъ поставленный вопросъ могъ быть разрѣшенъ только новымъ опытнымъ изслѣдованіемъ.

Въ качествѣ объекта изслѣдованія я остановился на кристаллическомъ кварцѣ по слѣдующимъ соображеніямъ:

1) Кварцъ существуетъ въ видѣ однородныхъ индивидуумовъ достаточно большихъ размѣровъ, чтобы можно было приготовить необходимые препараты.

2) Кварцъ прозраченъ и обладаетъ значительнымъ двойнымъ преломленіемъ и вращеніемъ плоскости поляризациіи, что облегчаетъ изслѣдованіе однородности препарата.

3) Кварцъ хрупокъ: предѣлъ упругости его совпадаетъ съ предѣломъ прочности, такъ что всякая деформація его упруга.

4) Большая прочность и твердость кварца позволяютъ примѣнять значительныя усилия безъ опасенія за его цѣлостъ.

Отсутствіе рѣзко выраженныхъ плоскостей спайности, сравнительно рѣдкое образованіе трещинъ, возможность тщательной полировки—дѣлаютъ его весьма удобнымъ объектомъ для изученія деформацій.

5) Наконецъ, если бы оказалось, что къ вышеуказаннымъ преимуществамъ присоединилось и отсутствіе послѣдѣйствія, то можно было бы найти кварцу и техническое примѣненіе (пружины).

Изложенные въ настоящей работѣ опыты²⁾ приводятъ къ заключенію, что въ кварцѣ упругое послѣдѣйствіе неизмѣримо мало по сравненію съ другими материалами. Этотъ результатъ былъ позже подтвержденъ I. R. Benton'омъ, по

¹⁾ J. H. Poynting & J. J. Thomson. A. Text-book of Physics. Properties of Matter. I p. 57. London. 1903.

²⁾ Опытная часть настоящаго изслѣдованія была произведена въ Мюнхенѣ въ 1903—05 годахъ. Главнѣйшіе результаты были мною опубликованы: Ann. d. Phys. 20 p. 919. 1907.