

А.Ф. Иоффе

**Упругие и электрические
свойства кварца**

**Москва
«Книга по Требованию»**

УДК 53
ББК 22.3
А11

А11 **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 первоизданном 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, состоитъ изъ двухъ частей: первая — динамическая, распространяется со скоростью звука во всемъ тѣлѣ; за ней 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 явленій остаточной деформаціи. Можно было бы опредѣлить упругое послѣдѣйствіе, какъ необратимую часть упругой деформаціи, вызывающую разсѣяніе энергіи. Helmholtz¹⁾ приводитъ упругое послѣдѣйствіе при нагрузкѣ и разгрузкѣ, какъ типичный примѣръ необратимаго замкнутого цикла. При циклической деформаціи упругое послѣдѣйствіе приводитъ 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 принципиальное различіе: упругое послѣдѣйствіе ведетъ къ необратимости только при конечной скорости деформаціи; при бесконечно 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 періодѣ

¹⁾ Н. v. Helmholtz. Vorlesungen über Theorie der Wärme. Leipzig 1903. р. р. 248—249.

измѣненія магнитнаго поля $< 10^{-11}$ сек. гистерезисъ исчезаетъ вмѣстѣ съ намагничиваніемъ). Упругимъ гистерезисомъ слѣдуетъ поэтому называть не упругое послѣдѣйствіе, а остаточную деформацію, представляющую болѣе глубокую аналогію съ магнитнымъ гистерезисомъ. Указанный Helmholtz'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 послѣдѣйствіе 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 опыты изслѣдованія³⁾ были посвящены провѣркѣ формулъ, опредѣляющихъ теченіе послѣдѣйствія во времени, сравненію послѣдѣйствія при различныхъ видахъ деформаціи, изслѣдованію новыхъ матеріаловъ: металловъ и резины. Формулы, хорошо выражающія ходъ послѣдѣйствія, предложены были

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

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

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

F. Neesen. Pogg. Ann. 153 p. 498. 1874.

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

Rehkuh. Wied. Ann. 35 p. 476. 1888.

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

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

Н. А. Гезехусъ. Упругое послѣдѣйствіе и другія сходныя съ нимъ физическія явленія. Диссертация. Петроградъ, 1882.

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

Percy Phillips. Phil. Mag. 9 p. 513. 1903.

H. Jordan. Diss. Göttingen. 1908.

H. Tobusch. Ann. d. Phys. 26 p. 439. 1908.

W. Kautz. Diss. Göttingen. 1908.

P. Ludwik. Phys. Z. 10 p. 411. 1909.

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

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

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

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

Ө. E. Meyer предложилъ двѣ теоріи: въ первой⁶⁾, несостоятельность которой онъ позже призналъ, онъ пытался свести упругое послѣдѣйствіе къ внутреннему тренію между отдѣльными слоями деформируемаго тѣла. Позже⁷⁾, онъ развилъ представленіе, основанное на замедленіи деформациі безпорядочнымъ 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 деформациі установившагося строго циклическаго движенія каждой молекулы, которая каждый разъ на томъ же мѣстѣ и въ томъ же направленіи сталкивается съ сосѣдней молекулою. Математически теорія внутренняго тренія разработана W. Voigt'омъ, а теорія Neesen'a при посредствѣ нѣсколькихъ добавочныхъ гипотезъ позволяетъ придти 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. Michaëlis. 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 объясненіе послѣдѣйствія далъ Th. Nissen ¹⁾. Онъ предполагаетъ, что деформація нарушаетъ равновѣсіе междуатомнаго и внѣшняго эфира; медленно устанавливающееся новое равновѣсіе проявляется въ упругомъ послѣдѣйствіи. Къ его взглядамъ присоединился отчасти Н. А. Гезехусъ ²⁾ 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. Pearson ³⁾ также объяснялъ упругое послѣдѣйствіе взаимодѣйствіемъ между эфиромъ и молекулами тѣла. На ошибочность этой теоріи указалъ Н. Lamb ⁴⁾. Въ послѣднее время Н. А. Гезехусъ ⁵⁾ предложилъ новое объясненіе послѣдѣйствія, основанное на диссоціаціи электроновъ въ тѣлѣ, видоизменяемой при деформациі и медленно приходящей къ динамическому равновѣсію.

J. C. Maxwell ⁶⁾ указалъ на неоднородность строенія тѣлъ, какъ на одну изъ причинъ, способныхъ вызвать упругое послѣдѣйствіе. Дѣйствительно, всѣ изученныя тѣла представляютъ собою либо безпорядочный агрегатъ мелкихъ кристалликовъ (металлы), либо сплавъ различныхъ силикатовъ (стекла), либо крайне неоднородныя системы органическаго происхожденія (паутина, шелкъ и резина). Вполнѣ возможно и даже неизбежно мы перейдемъ предѣлъ 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 матеріала. Кратко сформулированные взгляды Мах-

¹⁾ Th. Nissen. Diss. Bonn. 1880.

²⁾ Н. А. Гезехусъ. Дисс. 1882.

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

⁴⁾ Н. 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 болѣе детально разработаны С. Barus'омъ ¹⁾, который предполагаетъ въ неоднородномъ тѣлѣ присутствіе различныхъ метаустойчивыхъ группъ молекулъ аморфныхъ и кристаллическихъ, или вязкихъ и твердыхъ. Динамическое равновѣсіе между этими группами нарушается деформацией и постепенно возстанавливается. Barus связываетъ эти представленія съ данными о структурѣ стали и указываетъ на аналогію съ явленіями диссоціи электролитовъ. Аналогичными представленіями пользовался также Bouasse ²⁾.

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

Опыты J. Klemencic'a ⁴⁾ и E. Wiechert'a ⁵⁾ надъ вліяніемъ предварительнаго подогрева на послѣдствіе въ стеклѣ и сильное возрастаніе послѣдствія съ температурой ⁶⁾ также говорятъ въ пользу взглядовъ Maxwell'a. Математическое выраженіе эта теорія нашла въ работахъ J. G. Butcher'a ⁷⁾ J. J. Thomson'a ⁸⁾ и E. Wiechert'a ⁹⁾.

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

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

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

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

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

⁵⁾ E. Wiechert. l. 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. Freedericksz. 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 residual effects).

⁹⁾ E. Wiechert, l. c.

Ch.-Ed. Guillaume¹⁾ объясняетъ послѣдствіе въ неоднородныхъ тѣлахъ химическими перегруппировками отдѣльныхъ комплексовъ въ тѣлѣ.

Критическій разборъ теорій упругаго послѣдствія данъ въ диссертацияхъ 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 послѣдствіемъ, что оно не изотропно въ указанномъ смыслѣ.

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

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

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

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

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

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

Наибольшимъ послѣдѣйствіемъ обладаютъ наиболѣе неоднородныя тѣла: паутина, шелкъ, каучукъ; нѣсколько меньшимъ—стекла сложнаго химическаго состава; далѣе слѣдуютъ металлы. Въ болѣе однородныхъ калиевыхъ или натровыхъ стеклахъ послѣдѣйствіе значительно слабѣе выражено¹⁾. Едва замѣтно послѣдѣйствіе 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 деформаци).

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

Опытная провѣрка 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 результатомъ царящаго въ немъ безпорядка.

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 коэффициентами 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 эффектовъ, которые вызывались послѣдѣйствіемъ въ частяхъ прибора. Только въ каменной соли W. Voigt ¹⁾ констатировалъ присутствіе нѣкотораго послѣдѣйствія. Однако болѣе близкое изученіе труда W. Voigt'a не позволяетъ придавать этому результату 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 послѣдѣйствіемъ. Вполнѣ однако допустимо, что послѣдствіе при прогибѣ пластинки вызывалось совер-

¹⁾ W. Voigt. Diss. Königsberg, 1874. VI, Abschn. Pogg. Ann. Erg. Bd. 7 p. p. 1, 177. 1876.

шенно другой причиной — скольженіемъ каменной соли по призмѣ. (Если пластинка при скольженіи встрѣчаетъ достаточное вязкое сопротивленіе, то можно, какъ я убѣдился на опытѣ, вполне воспроизвести явленіе послѣдствія даже безъ сотрясеній. Въ моихъ опытахъ роль вязкой связи играло засохшее масло). Обстановка опыта съ крученіемъ каменной соли также позволяетъ отнести наблюденное послѣдствіе къ вліянію способа закрѣпленія въ латунныя обоймы.

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

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

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

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

В. П. Вейнбергъ. Дисс. Петроградъ, 1907.

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

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

O. Mügge. 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.

заставляют еще осторожнѣе относиться къ тому послѣдѣйствію, которое наблюдается при пластической деформаци.

За исключеніемъ указанныхъ опытовъ, мнѣ удалось найти въ литературѣ только ничѣмъ не мотивированное утверждение 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 индивидуальных умовъ достаточно большихъ размѣровъ, чтобы можно было приготовить необходимые препараты.

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

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

4) Большая прочность и твердость кварца позволяютъ примѣнять значительныя усилія безъ опасенія за его цѣлость.

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

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 матеріалами. Этотъ результатъ былъ позже подтвержденъ I. R. Berton'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.