Б. П. Вейнберг.

К изучению поведения твердого тела за пределом упругости. 1. Внутреннее трение исландского шпата и каменной соли.

С 1903 я стал работать над изучением поведения твердого тела при действии и после действия сил, превышающих его предел упругости, или, короче, за его пределом упругости и продолжал вместе с рядом соработников вести исследования в этом направлении до 1915, когда мой отъезд на 2 года в Америку, и разруха, вызванная германской и гражданской войнами, приостановили их. Изучаемыми материалами были: свинец, медь, латунь, железо, сталь, каменная соль, исландский шпат, лед, парафин, глина, вар, асфальт, даммарова смола, а также различные смеси последних трех тел, как со значительно менее вязкими жидкостями, так и с нейтральными твердыми тельцами. Опыты производились в физических лабораториях Новороссийского, Петроградского и Геттингенского университетов и Томского Технологического Института и в механических лабораториях Институтов: Путей Сообщении, Электротехнического, Петроградского Политехнического и Томского Технологического, а также в домашней (над Невским льдом) и в экспедиционной (над льдом ледников Гох-йох и Гинтерейс в Тироле) обстановке.

Напечатаны или—за последние годы—приготовлены к печати описания методов наблюдения и сравнительно небольшая часть полученных результатов [1]), относящихся почти исключительно к типичным пластичным телам—льду, вару, асфальту,—для которых предел упругости настолько мал, что о нем можно судить лишь по зависимости коэффициента внутреннего трения η от быстроты деформации [2]).

Материал же, относящийся к моим опытам над твердыми телами со значительным пределом упругости, я до недавних пор воздерживался даже обрабатывать ввиду вероятной значительности, по несомненной невыясненности влияния температуры на ход процессов в таких телах при действии сил, превышающих или превысивших предел упругости [3]). Хотя соответствующие опыты и ставились, по возможности, в помещениях, где дневные варьяции температуры были незначительны, но годовой ход температуры был всетаки велик, а это при весьма большой длительности многих серий опытов, превысившей в одном случае три года, уменьшало достоверность возможных выводов и заставляло меня стремиться к устройству при нашей физической лаборатории обширного подземного помещения с регулируемой—хотя бы в небольших пределах,—но возможно постоянной температурой, где бы сначала достаточно длительными опытами выяснилось влияние температуры на эти явления. Невозможность осуществить в ближайшее время это намерение, значительное оживление интереса к вопросам твердого тела в физической литературе (а также недавнее учреждение

---

[1]) Список этих 37 работ за недостатком места здесь будет помещен в следующей моей статье о внутреннем трении и релаксации свинца.

[2]) Сравн. Б. П. Вейнберг. Ж. Р. Ф. Х. О. *38*, 189, 1906.

[3]) Сводка этих данных—см. Б. П. Вейнберг. Зап. Нов. Унив., *105*, 157—186, 1906; за последующее время опытные данные увеличились сравнительно незначительно (для льда—Б. П. Вейнберг, Ж. Р. Ф. Х. О., *38*, 270—273, 319—320, 1906; для вара и асфальта—Б. П. Вейнберг, Ж. Р. Ф. Х. О., *44*, 201—229, 1912; для каменной соли—В. Д. Кузнецов, следующая статья; для парафина—его же опыты).

при Томском Технологическом Институте Научно-Исследовательского Института прикладной физики с основной задачей изучения поведения тел за пределом упругости) побудили меня обработь и эти наблюдения, вводя в них соответствующие, хотя и не вполне достоверные, поправки на влияние температуры.

Для практики имело бы наибольшее значение создание теории поведения *металла* за пределом упругости, если понимать под этим влияние времени на зависимость деформации от силы. Обычные металлы представляют собой тела квазиизотропные, состоящие из отдельных „кристаллитов“ (по терминологии Таммана), кристаллографические оси которых у практически изотропного металла расположены без какой либо правильности и которые скреплены друг с другом „спайкою“, изотропною или, вернее, из зерен значительно меньших размеров,— весьма вероятно, эвтектического строения. Поэтому теория поведения металла за пределом упругости должна будет [4]) иметь статистически-геометрический характер и в основу ее для материалов, у которых спайка между кристаллитами более прочна, чем они сами, должно лечь изучение поведения за пределом упругости отдельных кристаллитов или их макромодели—отдельных кристаллов или кусков кристаллического тела. Подходим же к теории поведения за пределом упругости тех металлов, у которых спайка между кристаллитами менее прочна, чем они сами, может служить изучение материалов, составленных из типичного пластичного тела с определенною примесью нейтральных твердых телец [5]).

Поэтому из обширного еще не опубликованного опытного материала я выбираю для первой статьи опыты над исландским шпатом и каменной солью,—тем более, что успехи рентгеноскопии значительно выяснили структуру кристаллов (в частности, ее изменения при остаточных их деформациях) и выдвинули на видное место вопросы о деформации кристаллов. Шпат и соль по сравнению со льдом являются и типичными твердыми телами, и типичными кристаллами, так как, хотя исследованные мною цилиндры речного льда и имели оптические оси параллельными их геометрическим осям, но, являлись ли они выделенными из одиночного кристаллита, перпендикулярного к поверхности замерзания, или из нескольких, нельзя было сказать; что же касается ледникового льда, то цилиндры его состояли несомненно из отдельных кристаллитов с разнообразно направленными осями и размерами почти одного порядка с поперечными размерами цилиидров.

Так как при действии сил, превышающих предел упругости, мы можем по произволу удерживать постоянною только *либо* силу, либо деформацию [6]), то вопрос об изучении поведения тел за пределом упругости приводится к изучению отдельных *режимов*, из которых я лично изучал лишь четыре простейших.

I. Сила = const.

II. Деформация = const. (релаксация).

III. Сила = 0 (упругое последействие).

IV. Быстрота деформирования = const.

По I режиму пронаблюдены 180 серий общей длительностью в 3012 дней, по II—61 серия (188 дней), по III—101 серия (1756 дней) и по IV—45 серий (1499 дней), а всего 387 серий общей длительностью в

[4]) Б. П. Вейнберг, „Вероятные очертания будущей теории деформации твердого тела (на правах предварительного сообщения“), Труды общ. ест. и врач. при Томск. Унив. за 1913, 175—181, 1915.

[5]) Б. П. Вейнберг, Труды 3-го Съезда Росс. Асс. Физ., 24—25, 1923.

[6]) Б. П. Вейнберг, Дневн. 2-го Менд. Съезда, *3*, 24—25, 1911, Ж. Р. Ф. О. *45*, II ч., 67—115, 1913.

6455 дней. Обычно наблюдения велись на нескольких „вековых“ установках одновременно, при чем благодаря любезности моих сработников они не прерывались и во время моих заболеваний, отъездов и т. п.; в частности, многие наблюдения над шпатом и солью сделаны И. Я. Точидловским, К. И. Ивановым, Е. А. Кирилловым, В. И. Занчевским, И. А. Смирновым, а также проф. Н. Karman'ом.

Что касается типов деформации, то, имея первоначально [7]) в виду только определения коэффициента внутреннего трения твердых тел, я выбирал, как при разработке методов, так и при самых определениях, такие деформации, при которых имеются по возможности, исключительно изменения формы, а не объема [8]). В дальнейшем мы имели дело с изменениями объема лишь при изучении сопротивления „твердых“ или весьма вязких тел движению внутри них твердых тел.

И теперь я бы определенно высказался—хотя и по несколько иным соображениям—за необходимость для изучения поведения тел за пределами упругости прибегать преимущественно к деформациям, при которых происходят лишь изменения формы или, по крайней мере, при обсуждении результатов изучения других деформаций *выделять* величину тангенциальных напряжений в деформируемых образцах и вызываемых ими сдвигов. На основании совокупности наших сведений о твердых телах можно высказать мысль, что для изменений объема *не существует при уменьшении объема ни предела упругости, ни предела пластичности, а при увеличении объема эти два предела должны совпадать.* Такое утверждение лишь по отношению к пределу упругости расходится с высказанною мною гипотезою [9]) о существовании *двух* пределов пластичности (то же предполагал я и для пределов упругости): одного для изменений формы, другого—для увеличений объема. Замечу, что подтверждение опытными данными „закона сложных напряжений Геста“, по которому остаточная деформация или разрушение происходит всегда по достижении *тангенциальным* напряжением определенных значений, может быть с этой точки истолковано так, что при всех изученных пока комбинациях различных деформаций раньше в какой нибудь точке образца достигался предел упругости, а затем пластичности на сдвиг, чем где либо отрицательное давление достигало предела пластичности на всестороннее растяжение, которое, вообще говоря, трудно сделать значительным без значительных сдвигов.

Исландский шпат я испытывал только на сдвиг и каменную соль—на сдвиг и на кручение. Исследованный кристалл шпата принадлежал физической лаборатории Новороссийского Университета; происхождение его мне неизвестно; довольно прозрачный. Таков же был исследованный на сдвиг прямоугольный параллелепипед каменной соли, остальная же соль была вывезена мною из Величковских копей благодаря любезности дирекции, выбравшей для меня особо прозрачный кусок размером около $30 \times 15 \times 15$ см.^{3}. Из него я осторожным раскалыванием по плоскостям спайности получал призмы прямоугольного се-

---

[7]) Б. П. Вейнберг, Ж. Р. Ф. Х. О., *36*, 47—48, 1903; Proc. Phys. Soc. Lond., *19*, 291—292. 472—474, 1905.

[8]) Из 15 существующих методов определения коэффициента внутреннего трения у твердых тел (13, если считать продавливание и протекание через трубки за две, разобраны мною в Ж. Р. Ф. Х. О., *38*, 192—203, 1906; кроме того применены метод сдвига двух параллелепипедов—указан мною в Ж. Р. Ф. Х. О. *44*, 45, 1912; разработан В. Д. Дудецким, Ж. Р. Ф. О., *45*, 519—532, 1913—и метод течения по жолобу—Б. П. Вейнберг, Ж. Р. Ф. Х. О., *42*, 167—176, 1910; *45*, 252—256, 1912) при 9 имеются лишь изменения формы; из них 7 разработаны или улучшены мною и моими сработниками

[9]) Ж. Р. Ф. Х. О., *45*, II ч., 88—97, 1913.

чения (опыты мои в Одессе и Петрограде и В. Д. Кузнецова в Томске) или пластинки (мои опыты в Геттингене); последние шлифовались. Величковская соль отличается ничтожной гигроскопичностью, хотя в подземном помещении Геттингенской лаборатории с весьма постоянной температурой даже пластинки этой соли покрывались на столько росою, что приходилось прибегать к смазыванию их парафиновым маслом или венецианским терпентином и к помещению под крышку прибора больших порций хлористого кальция.

Сдвиг. Идеальной деформацией для изучения явлений за пределом упругости является сдвиг, как деформация однородная и не сопровождаемая изменениями объема, но осуществление чистого сдвига является простым лишь для тел с очень малым пределом упругости. Когда метод сдвига прямоугольных параллелепипедов дал вполне удовлетворительные результаты для вара [10]), я попробовал применить его сначала на свинце, а затем на кристаллах, для которых самое констатирование постепенного возрастания деформации с течением времени при действии постоянной силы являлось весьма существенным.

Из свинца был отлит и затем обработан образец в виде двух толстых (10 мм.) параллельных пластин, соединенных перпендекулярной к ним сравнительно узкою (4 мм.) пластиною (высота 45 мм., длина 32 мм.). Нижняя пластина укреплялась горизонтально, а за верхнюю тянул параллельно длине узкого вертикального прямоугольного параллелепипеда груз посредством веревки (или тонкого проволочного каната), перекинутой через блок, располагавшийся так, чтобы натяжение было параллельно верхней пластине. Замечу, что при таком силовом воздействии на образец задний верхний конец стремится подняться вверх, а передний опуститься вниз, так что сдвиг слоев в горизонтальном направлении несколько осложняется явлениями сдвига по вертикальному направлению.

В виду вероятной малости углов сдвига и длительности опыта важно было выработать методологию обнаружения и изменения небольших углов сдвига. Для этого в одной из первых серий по сдвигу свинцового параллелепипеда было применено *четыре* зеркальца, каждое из которых—MMM на рис. 1—прикреплялось к латунной пластинке ABCD, а эта последняя устанавливалась в опредеденном положении относительно другой, более длинной пластинки EFGH посредством трех стерженьков T_1, T_2 и T_3 с винтовыми нарезками и гаечками на концах, проходивших через отверстия в пластинке EFGH, и трех стальных пружинок, окружавших эти стерженьки и отделявших обе пластинки друг от друга. При посредстве гаечек можно было довольно легко направлять даже в отдельную трубу лучи от шкалы и таким образом измерять угол наклона пластинки EFGH. скреплявшейся, напр. концом GH на шарнире к нижней пластине свинцового параллелепипеда, а серединой опиравшейся о верхнюю или прижимавшейся к ней посредством пружинки или резинки, или же прикреплявшейся неподвижно либо к передней грани сдвигаемого параллелепипеда, либо к „неподвижной“ нижней пластине. В последнем случае зеркало являлось „контрольным“ и угол сдвига определялся по *разности* смещений шкалы в контрольном зеркале и в зеркале „подвижном“. Благодаря наличности контрольного зеркала можно было не особенно заботиться о неподвижности, как всей системы, так и трубы со шкалой.

В упомянутой только что серии одно из зеркал был контрольным, а остальные три—подвижными, при чем одно было прекреплено к пластинке ABCD на воске, другое—на менделеевской замазке, а третье

[10]) Б. П. Вейнберг и Ип. Ал. Смирнов, Ж. Р. Ф. Х. О., *44*, 3–35, 1912.

было вделано в металлическую оправку (все зеркальца были просто специально выбранными кусочками обрезков тонких зеркал). Наблюдения показали одинаковую надежность всех трех способов скрепления даже при очень длительных опытах, вследствие чего я обычно прибегал, как к более простому, к прикреплению на замазке.

Опыт показал также на бо́льшую плавность кривых, изображающих зависимость деформации от времени, если отсчеты изображений шкалы в различных зеркальцах (труба помещалась на расстоянии $5^1/_4$ м., так что в поле зрения были видимы все четыре зеркала при одном положении окуляра относительно объектива и изображения шкалы во всех четырех—при другом его положении) производились после легкого пошевеливания веревки, на которой висел груз, или легкого постукивания по той толстой деревянной доске, на которой в нише стены были установлены подвергавшиеся силовым воздействиям образцы. Этим отчасти компенсировалось неравенство между тягой веревки и весом груза, обусловливавшееся, как изменчивостью натяжения куска веревки между сдвигаемым образцом и блоком от изменений температуры и влажности [11]), так и переменностью силы внешнего трения в блоке и по величине, и по направлению. Что сила трения пред трогани́ем с места может иметь любую *величину* до той, при которой начинается движение, видно, между прочим, из наблюдений А. В. Верховского, предварительное сообщение о которых имеет появиться в „Сообщ. и научно-техн. раб. в респ.“; что же касается *направления*, то после того, как блок тронется с места и груз, начавший сравнительно свободно падать будет остановлен веревкой и подействует на блок с силою, превышающею его вес, сила трения может оказаться действующей в *ту же* сторону, как и тяга веревки. Вследствие всего этого движение зеркальца не может быть плавным, а неизбежно происходит скачками даже при применявшихся мною обычно блоках на остриях,—и величина этих скачков уменьшается от постукиваний пред каждом отсчетом [12]). Эти обстоятельства, выяснившиеся постепенно лишь после долгих наблюдений, не играют почти никакой роли для сравнительно больших быстрот сдвигания, получают важное значение для быстрот порядка 10^{-11}—10^{-10} радиана в секунду, с какими приходилось иметь дело, и побуждали в дальнейшем стремиться обходиться без передачи силы блоками, без поддержки кругов кручения подшипниками и т. п.

Для сдвига кристалла шпата (а затем—каменной соли) к толстой латунной горизонтальной пластинке были припаяны две таких же вертикальных стенки, в которых были сделаны бороздки для движения по пиле верхней пластинки. К верхней и нижней припаивались латунные же полоски, пригнанные так, чтобы в них только-только входили нижняя и верхняя части кристалла. Шпат был закреплен так, чтобы на него силы действовали параллельно одной из естественных граней в плоскости главного сечения по направлению к вершине, образуемой тремя тупыми углами; на соль—параллельно одной из плоскостей спайности.

Шпат, с которым я экспериментировал с 24,7,04 по 28,4,05, подвергался все более и более значительным напряжением (и последующим разгрузкам), но ничтожность изменений разностей показаний шкал в подвижном и контрольном зеркальцах изо дня в день позволяет считать устанавливающими феноменологически факт постепенной дефор-

[11]) В частности, на плавности кривой сказываются открывание окон и мытье пола, которые приходилось хотя изредка производить в помещении, где была эта установка.

[12]) Подробнее об этом—см. Ж. Р. Ф. Х. О., *38*, 300, 1906 и *44*, 14—15, 1912.

мации исландского шпата при действии силы, близкой к постоянству, лишь две последние серии при воздействии силы в 21 кгр. первый раз втечение 34 дней, второй раз—втечение 91 дня.

Эти серии обнаружили отчетливо то, что можно было заметить и при меньших нагрузках, а именно, что при приложении силы получается довольно значительная „упругая" деформация, которая постепенно увеличивается—сначала довольно быстро, а затем все медленнее и медленнее. Констатирование и определение окончательной *конечной*, а не безконечно малой быстроты деформации весьма затрудняется, как погрешностями самого наблюдения (речь идет о десятых миллиметра шкалы при расстоянии в $5^1/_4$ метров), так и теми случайными смещениями зеркал, которые несомненно иногда происходили на протяжении таких продолжительных опытов. Иногда эти смещения были настолько значительны, что приходилось вновь устанавливать то или другое зеркальце.

Рис. 2 изображает разности отсчетов (в мм.) шкалы в подвижном и неподвижном зеркалах для второй серии с нагрузкой в 21 кгр. В соответствии с описанными ниже опытами В. Д. Кузнецова над каменной солью все быстроты деформации приведены к 20^0 в предположении их изменения на 0·06 своей величины на каждый градус температуры, которая держалась около 18^0 с крайними отклонениями $14^0{\cdot}5$ и $20^0{\cdot}6$. Каждая точка диаграммы представляет в случае нескольких отсчетов в день среднее из них, причем, как эти средние, так и одиночные отсчеты приводились простой интерполяцией к 12 ч. д. Достоверные наблюдения помечены крестиками, недостоверные—кружками (в частности, совершенно откинуты наблюдения второй половины января, относительно сомнительности которых есть пометка в тетради наблюдений); случаи вероятного или несомненного смещения зеркала в промежутки отмечены перерывами в ломаной, проведенной через отдельные точки диаграммы.

Если взять наиболее достоверные периоды от 26,11,04 до 18,12.04 и от 29,1,05 до 21,3,05 и провести прямые, относительно которых отдельные точки были бы расположены возможно равномерно по обе стороны, получаются тангенсы угла наклона в 0·135 и в 0·059 мм. шкалы в сутки, откуда для средних угловых скоростей сдвигания $\varphi' = 1{\cdot}5$ и $0{\cdot}7 . 10^{-10}$ радиана в сутки получаются значения η, равные 0·7 и $1{\cdot}5.10^{16}$ $\frac{\text{гр.}}{\text{см. сек.}}$ Указание φ' делается в виду зависимости η от φ', обнаруживаемой телами с конечным пределом упругости, хотя в данном случае первое значение φ' далеко от окончательной конечной быстроты, как, вероятно, и второе.

Параллелепипед каменной соли подвергался сдвигающим усилиям и последующим разгрузкам с 2,5,05, по 1,7,06,—и я ограничусь приведением диаграммы (рис. 3) изображающей самую продолжительную серию (193 дня) при нагрузке в 30 кгр. и крайних пределах температуры $14^0{\cdot}3$ и $23^0{\cdot}5$. Из этих серий, если исключить первые три недели, получаются для остального периода, разделенного на три равных части, значения η порядка 5·7, 5·7 и $6{\cdot}2.10^{16}$ (при φ' равном $3{\cdot}3$—$3{\cdot}0.10^{-11}$). Довольно длительная предыдущая серия при нагрузке в 10 кгр. (109 дней, которой предшествовала серия при той же нагрузке в 86 дней), дала значение η в $3{\cdot}8.10^{16}$ при $\varphi' = 1{\cdot}6.10^{-11}$.

Кручение. Кручение имеет перед сдвигом преимущество значительно большей величины угла кручения по сравнению с углом сдвига даже внешних слоев закручиваемого тела, но за то является деформацией неоднородной, интерпретация результатов которой может представлять большие затруднения хотя бы вследствие того, что для более

внешних слоев может быть превзойден предел упругости, когда для более внутренних деформация будет еще оставаться упругой. Закручивать же тонкостенные трубки, для которых разности углов сдвига различных коаксиальных слоев, для кристаллов почти недостижимо, почему пришлось ограничиться кручением призм и пластинок. Постановка опыта, по кручению их весьма напоминала постановку опытов над кручением ледяных цилиндров [13]). Заслуживают упоминания лишь устройство зажимов для зеркалец, которое ясно из рис. 4, и способ закрепления концов призм каменной соли в углублениях для них в неподвижной стойки и на оси, скрепленной с кругом кручения. Эти концы либо заливались расплавленными квасцами, либо загипсовывались. Последнее было предпочтительнее, так как квасцы при продолжительном стоянии выветривались.

Коэффициент внутреннего трения вычислялся по формуле

$$\eta = \frac{12\,PgRL}{ab(a^2+b^2)\,\alpha'} = \frac{6\,PgRL}{a^4\,\alpha'},$$

где PgR (дин.-см.) закручивающий момент, L—длина образца, a и b—стороны сечения, α'—угловая скорость кручения; вторая часть формулы относится к призмам квадратного сечения (опыты В. Д. Кузнецова).

Наиболее длительные серии моих наблюдений—следующие:

I. Призма (L = 20 см., a = 2·0, b = 1·2), расположенная горизонтально, под действием закручивающего момента в 25 кгр.-см. (176 дней—зима 1905—6 и весна 1906, в Одессе);

II. Та же призма в приборе I для кручения ледникового льда при действии момента в 11 кгр.-см. (116 дней—зима 1905—6. Одесса);

III. Та же призма, несколько укороченная, в приборе II при 80—82° (25 дней в начале лета 1907, Петроград); PR = 12 кгр.-см.;

IV. Та же призма осталась в приборе под тем же грузом; чрез 714 дней был сделан еще отсчет по шкале; температура не отмечалась;

V. Полоска (L = 15 мм., a = 5·8, b = 1·0): PR = 250 гр.-см.; 12 дней (лето 1907, Гёттинген).

За недостатком места ограничусь приведением для I серии в ниже помещенной таблице отсчетов (в десятых миллиметра по шкале, отстоявшей на 525 см.), считаемых от отсчета при отсутствии нагрузки чрез $t_1 + t_2$ дней после начала опыта; все отчеты исправлены на перемещение неподвижного зеркала и на случайные или нарочитые смещения одного из зеркал и приведены к 20°, и значений η для серий I—V. Значения эти получены из окончательных скоростей для серии I—из наблюдений последних 128 дней, для II—из 84, для III—из 7, для IV—из всех 714 и для V—из последних 5. Для I, II, IV и V получаются значения (при φ' порядка 5, 3 и 4.10^{-12})

$$\eta_{20} = 2{\cdot}3.10^{18};\ 1{\cdot}8.10^{18};\ (1{\cdot}2.10^{18});\ 4{\cdot}10^{16},$$

а для серии III (при $\varphi' = 2.10^{-11}$)

$$\eta_{81} = 2{\cdot}6.10^{17}.$$

Таблица.

t_1 \ t_2	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0	—	299	295	292	292	294	296	330	329	309
10	308	311	323	—	335	353	356	342	333	338
20	348	339	339	339	—	350	361	351	—	357
30	360	363	—	366	371	387	—	391	413	413
40	416	417	430	431	420	424	441	—	428	434
50	—	422	415	422	424	—	427	425	—	426

[13]) Б. П. Вейнберг. Ж. Р. Ф. Х. О., *38*, 250—281, 289—328, 1906.

Продол. таблицы.

t_1 \ t_2	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
60	438	429	444	440	441	440	436	430	436	—
70	—	440	429	437	427	443	-	458	483	474
80	—	457	—	—	490	485	481	483	486	488
90	483	482	482	472		480	—	—	493	499
100	494	494	—	511	530	535	541	531	526	526
110	514	507	512	514	- -	563	565	565	—	—
120	553	553	543	558	558	563	551	538	533	534
130	579	579	577	—	567	569	567	562	—	575
140	580	590	601	606	597	602	604	604	605	607
150	599	597	597	577	597	597	—	642	632	637
160	617	633	—	—	618	618	—	627	624	629
170	644	—	650	651	651	—	671	[1]) 316		

[1]) Разгружено.

Отмечу то обстоятельство, что значения η из кручения (если откинуть мало достоверное значение η из кратковременных Геттингенских опытов, где оправка могла скользить по растворившейся в атмосферной влаге соли) значительно больше из значений η из сдвига.

Заключение. Описанные опыты вполне устанавливают феноменологически факт весьма длительного возрастания деформации кристалла при действии практически постоянной силы, превосходящей предел упругости, и делают весьма вероятным, что быстрота деформации стремится при этом асимптотически к некоторой конечной величине. Последнее нельзя утверждать с полною достоверностью, так как длительность даже в 5—6 месяцев далеко недостаточна.

Гораздо труднее дать какую нибудь механическую модель сил внутреннего трения в кристалле, подобную модели переноса избытка количества движения частицами газа. Единственная картина, какая рисуется мне лично, есть перескок—при *сдвиге*—целых слоев кристалла из одного положения элементов кристаллической решетки в другое, аналогичное, но сдвинутое относительно первого на повторенное целое число раз расстояние между этими элементами. При кручении же подобный перескок не возможен и при остаточных деформациях должны происходить своего рода внутренние разрушения. Доводами в пользу такого толкования являются явления простого и двойникового скольжения, доказанное А. Ф. Иоффе. Сохранение кристаллической структуры при иных остаточных деформациях и те внутренние разрушения, которые обнаружили и эти опыты, и ниже описанные наблюдения В. Д. Кузнецова, а также то, что η из кручения получилось для каменной соли больше, чем η из сдвига. Но, как именно в явление перескока слоя входит элемент времени и как то же самое тангенциальное напряжение, которое вызвало один перескок, может быть оказываем тем же слоем в его новом положении, мне далеко не ясно. Вероятнее всего, что и в кристалле; как и в газе, следует говорить не о силе внутреннего трения, а только о *работе*, потребной для сдвига (или мощности потребной для сдвигания) одного слоя относительно другого, как в газах можно говорить лишь о количестве движения, перенесенном при аналогичном сдвиге. Такой *конечный* сдвиг может происходить посчередно у различных слоев сдвигаемого кристалла в зависимости от случайного расположения элементов кристаллической решетки друг относительно друга при их движении относительно вершин решетки, обусловливающем возможность такого конечного сдвига. Доводом в пользу такого предположения может быть громадное влияние температуры на внутреннее трение твердых тел вообще и кристаллов в частности.

К статье Б. П. Вейнберга.

К изучению поведения твердого т

1). Внутреннее трение ис
каменной

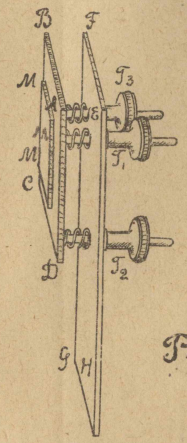


Рис. 1.

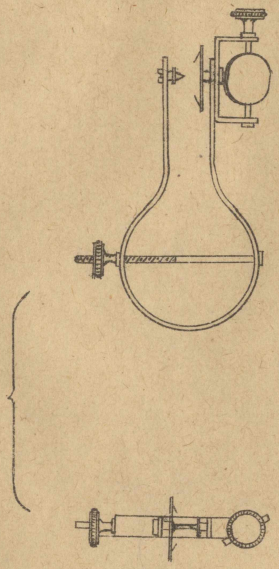


Рис. 4.

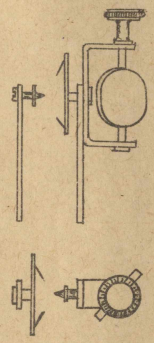
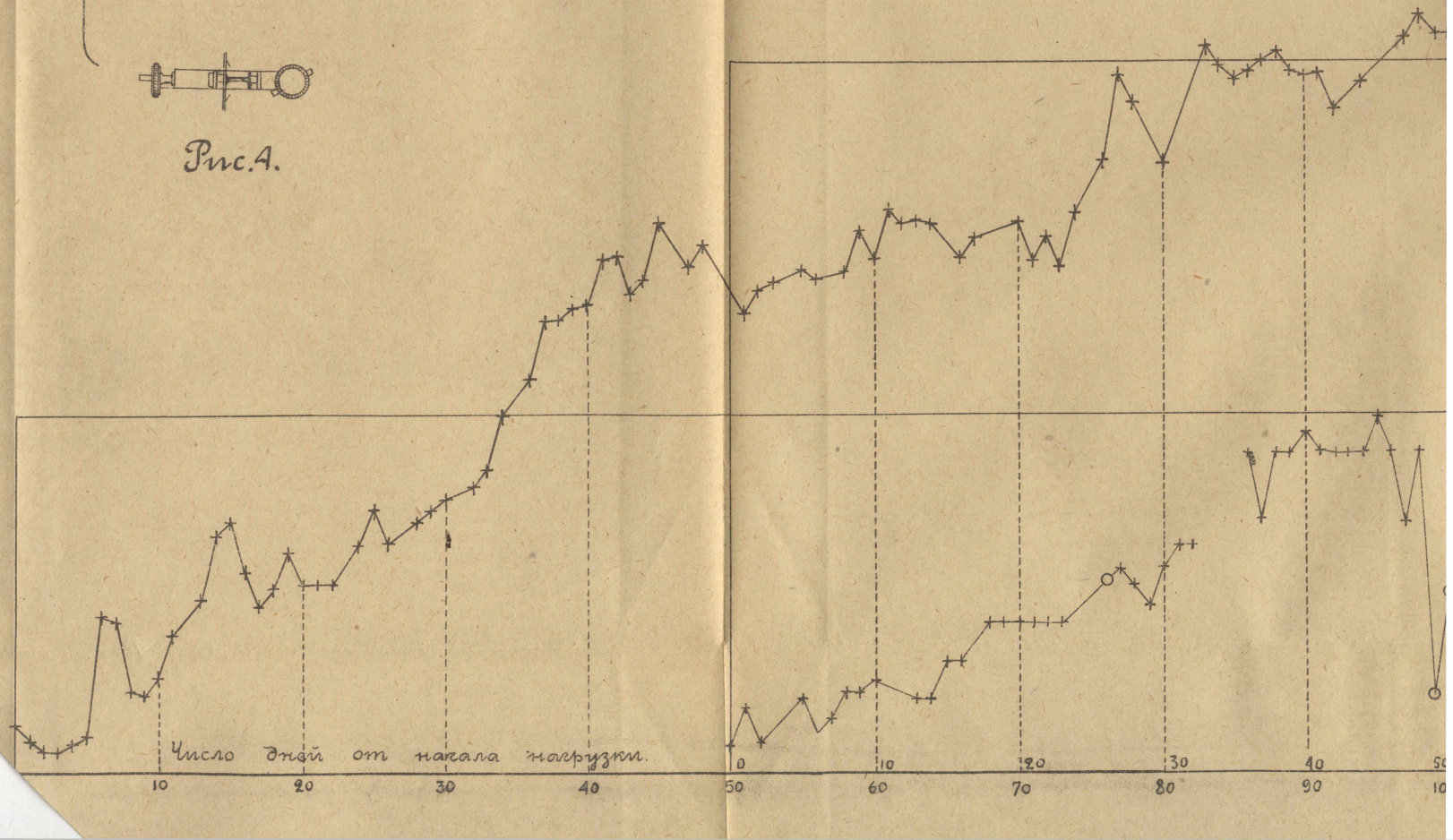


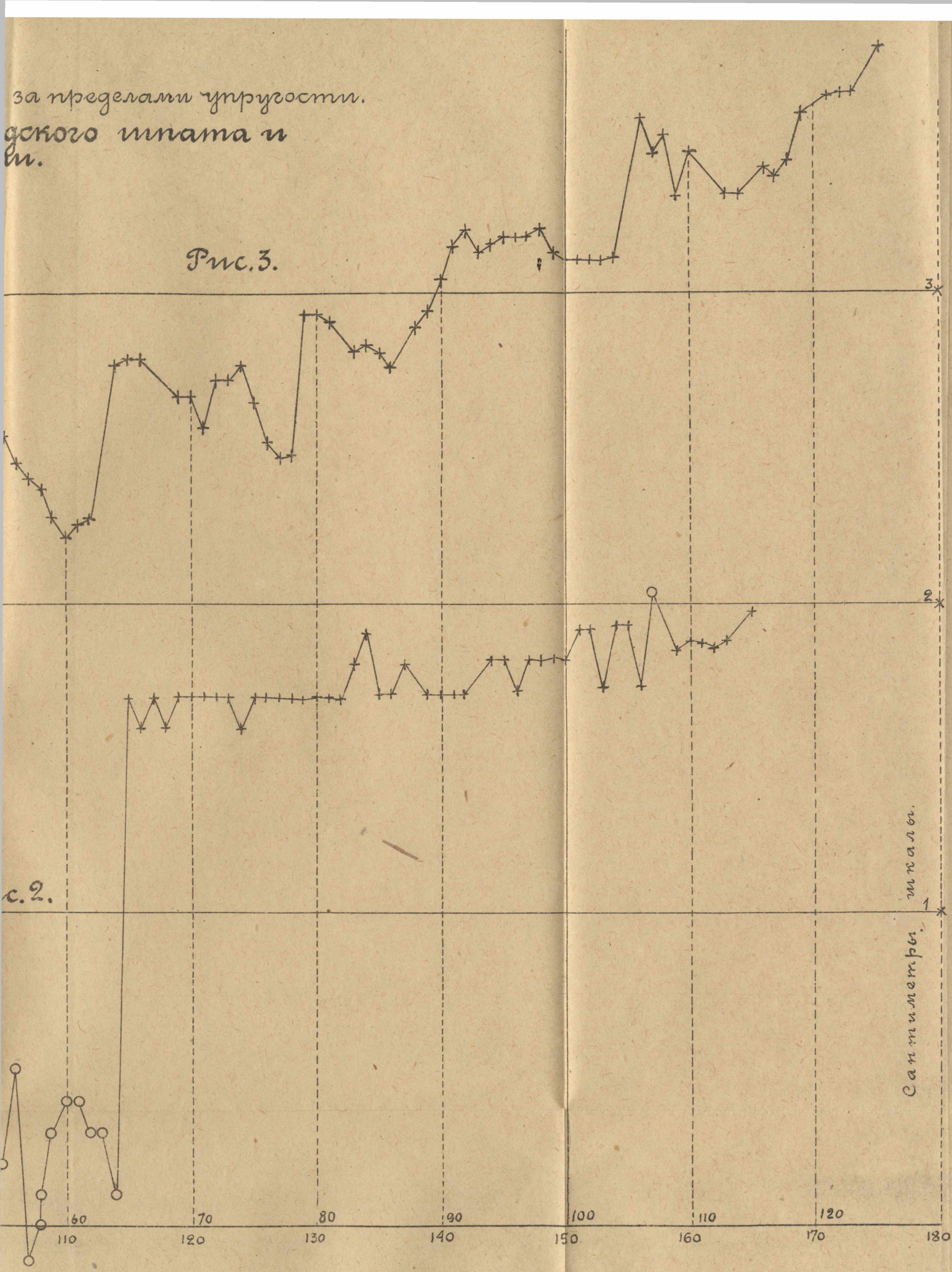
Рис. 4а.



за пределами упругости.

ского типа и
ы.

Рис.3.



с.2.