

БЛВЕЙМБЕРГЪ ТРИВ-ДОУ.

СНЪГЪ, И НЕЙ,
ГРАДЪ,
ЛЕДЪ и ЛЕДНИКИ.



<http://mahesis.ru>

Прив.-доц. Б. П. ВЕЙНБЕРГЪ.

СНѢГЪ, ИНЕЙ, ГРАДЪ,
ЛЕДЪ и ЛЕДНИКИ.

Съ 138 рисунками и 2 фототипическими таблицами.



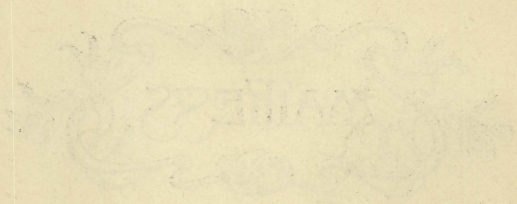
Учб. 12262



ОДЕССА 1909.

<http://mathesis.ru>

Издательство
СНОВА ИЛИ ТРАДИЦИЯ
ВЕРЬ И ПЕДАГОГИ



<http://mathesis.ru>

О Г Л А В Л Е Н І Е .

Стр.

Снѣгъ и иней 1

Вода въ твердомъ состояніи въ природѣ.—Переходъ тѣлъ изъ одного состоянія въ другое.—Вліяніе давленія на температуры кипѣнія и плавленія.—Тройная точка.—Неустойчивыя состоянія вещества.—Пересыщенный водяной паръ; образованіе тумана.—Туманъ, дождь, роса.—Непосредственный переходъ паровъ воды въ твердое состояніе.—Снѣгъ и ограниченность нашихъ свѣдѣній о немъ.—Кристаллографическая форма снѣжинокъ.—Размѣры снѣжинокъ.—Иней и изморозь.—Законы паденія снѣжинокъ.—Попытка объясненія генезиса различныхъ формъ снѣжинокъ.—Оптическія явленія въ атмосферѣ, вызываемыя присутствіемъ въ ней кристалловъ снѣга.

Градъ. Ледъ 59

Ледяной дождь.—Градъ.—Гипотезы о происхожденіи града.—Искусственныя градины.—Переходъ жидкой воды въ твердое состояніе.—Кристаллизація переохлажденной воды; искусственныя снѣжинки.—Рѣчной ледъ.—Цвѣты Тиндалла.—Донный ледъ.—Практическое значеніе изученія доннаго льда.—Сосульки, пещерный ледъ, искусственный ледъ.—Ледниковый ледъ.—Явленія смерзанія (режелаяці).—Скользкость льда.

Ледники 89

Роль силы тяжести по отношенію къ снѣгу.—Текучесть твердыхъ тѣлъ.—Наледи (накипни).—Вопросъ о причинахъ пластичности льда.—Значеніе величины коэффициента внутренняго тренія льда.—Теченіе льда въ ледникахъ.—Область питанія и область таянія и связь между ними.—Фирнь, слоистость его и полосчатость ледниковаго льда.—Линіи тока въ ледникѣ.—„Теорія теченія“ Финстервальдера.—Сліяніе ледниковъ и образованіе моренъ съ точки зрѣнія теоріи Финстервальдера.—Попытка физической теоріи движенія льда въ ледникахъ.—Отступаніе и наступаніе ледниковъ.—Ледниковыя періоды въ жизни земнаго шара.—Ледниковыя катастрофы.—Ледниковый покровъ полярныхъ странъ.—Айсберги.

СЪДЪРЖАНИЕ

Въведение 1

Глава I. Понятие о математике 10

Глава II. Арифметика 20

Глава III. Алгебра 35

Глава IV. Геометрия 50

Глава V. Математический анализ 65

Глава VI. Математическая физика 80

Глава VII. Математическая механика 95

Глава VIII. Математическая астрономия 110

Глава IX. Математическая география 125

Глава X. Математическая история 140

50

Глава I

1. Понятие о математике 1

2. Математика как наука 5

3. Математика как искусство 10

4. Математика как философия 15

5. Математика как религия 20

6. Математика как политика 25

7. Математика как экономика 30

8. Математика как социология 35

9. Математика как психология 40

10. Математика как педагогика 45

50

Глава II

1. Понятие о математике 1

2. Математика как наука 5

3. Математика как искусство 10

4. Математика как философия 15

5. Математика как религия 20

6. Математика как политика 25

7. Математика как экономика 30

8. Математика как социология 35

9. Математика как психология 40

10. Математика как педагогика 45

<http://mathesis.ru>

СНѢГЪ и ИНЕЙ.

Вода въ твердомъ состояніи въ природѣ.

Всякому, кто выступаетъ на кафедре для лекціи, — особенно, лекціи публичной, — приходится раздваиваться. Съ одной стороны, стремишься подѣлиться съ аудиторіей возможно большимъ количествомъ положительныхъ свѣдѣній, добытыхъ наукою. Съ другой стороны, хочется намѣтить предъ слушателями рядъ вопросовъ, еще ждущихъ своего разрѣшенія, рядъ гипотезъ, ждущихъ своего подтвержденія, чтобы путемъ указанія интереса и важности этихъ вопросовъ и гипотезъ побудить хоть нѣкоторую часть аудиторіи къ болѣе детальному изученію ихъ.

Если дать волю одному изъ этихъ стремленій, то легко попасть либо въ Сциллу голыхъ фактовъ, либо въ Харибду смѣлыхъ гипотезъ. Однако Сцилла фактовъ не такъ опасна, если они связаны въ стройную теорію; не такъ опасна и Харибда гипотезъ, если онѣ имѣютъ подъ собою прочно установленные факты.

Къ сожалѣнію, — и я считаю своимъ долгомъ съ самаго начала предупредить васъ объ этомъ, — по отношенію къ вопросу, выбранному мною въ качествѣ темы настоящихъ лекцій, наука обладаетъ пока недостаточнымъ запасомъ фактовъ, которые далеко еще не связаны въ стройныя теоріи, и по поводу которыхъ можно высказывать самыя разнообразныя, но зачастую мало обоснованныя гипотезы. И тѣмъ не менѣе я выбралъ именно эту тему, потому что, если выразиться словами Менделѣева, „не въ тѣ части Африки стремятся путешественники, которыя посѣщаются уже другими и извѣстны, а селятся проникнуть туда, гдѣ не была еще ничья нога“.

А снѣгъ, градъ, ледъ и ледники, т. е. вода въ твердомъ состояніи въ природѣ, и представляютъ съ физической точки зрѣнія, именно такія неизвѣстныя области „темнаго континента“ нашихъ свѣдѣній о природѣ. Причину такой

неосвѣдомленности нашей въ этомъ отношеніи слѣдуетъ искать, можетъ быть, въ общемъ —, хотя не всегда справедливомъ, — положеніи: чѣмъ что нибудь обыденнѣе, тѣмъ менѣе оно изслѣдовано. Между тѣмъ для указанія важности вопросовъ, которые мы здѣсь затронемъ, достаточно сказать, что одна десятая суши покрыта вѣчнымъ ледянымъ, сползающимъ и стекающимъ по скатамъ, покровомъ, что наши рѣки сковываются на нѣсколько мѣсяцевъ ледяною корою, что мы, сѣверяне, значительную, къ сожалѣнію, часть года живемъ среди снѣжнаго океана. И мы ходимъ, катаемся на конькахъ по льду, ѣздимъ на санкахъ по снѣгу, попираемъ снѣгъ ногами, слышимъ хрусть снѣга, видимъ сверканіе снѣга на солнцѣ, отряхиваемъ снѣгъ съ неудовольствіемъ, когда онъ досадными хлопьями западаетъ между одеждою и тѣломъ, еще болѣе досадуемъ, когда отъ гололедицы падаетъ лошадь нашего извозчика или мы сами; рѣдко-рѣдко полюбуемся мы инеемъ на деревьяхъ и ледяными узорами, расписанными морозомъ на окнахъ; въ дѣтствѣ, вѣроятно, съ любопытствомъ собирали мы градъ и играли въ снѣжки, — но врядъ-ли часто задумывались и задумываемся надъ тѣмъ, да какъ же образуется снѣгъ, иней, градъ, ледъ, каковы физическія свойства этихъ любопытнѣйшихъ во многихъ отношеніяхъ образований.

Переходъ тѣлъ изъ одного состоянія въ другое.

Для того, чтобы ввести васъ сразу въ эти вопросы, мнѣ придется сначала нѣкоторое время задержать васъ на общихъ соображеніяхъ объ условіяхъ перехода тѣлъ изъ одного состоянія въ другое и познакомить васъ при этомъ хоть въ самыхъ общихъ чертахъ съ однимъ весьма важнымъ для нашей темы вопросомъ изъ термодинамики — вопросомъ о „тройной точкѣ“.

Вещество является предъ нами въ трехъ состояніяхъ — твердомъ, жидкомъ и газообразномъ, и въ настоящее время физика низкихъ и высокихъ температуръ достигла такихъ успѣховъ, благодаря которымъ можно безусловно утверждать, что среди извѣстныхъ намъ разнообразнѣйшихъ матерьяловъ —, по крайней мѣрѣ, среди такъ называемыхъ простыхъ

тѣль—не существуетъ ни *corps refractaires*—тѣль, сохраняющихъ свое твердое состояніе, какому бы жару мы ихъ не подвергали,—ни *gaz permanents*—постоянныхъ газовъ, которые бы могли существовать лишь въ газообразномъ состояніи.

Наоборотъ, мы теперь убѣждены и знаемъ, что всякое твердое тѣло можетъ быть превращено и въ жидкость и въ газъ (если только оно не разлагается при этомъ на составныя части), всякая жидкость можетъ принять твердое состояніе—*отвердѣть*—и газообразное—*испариться*—, а всякій газъ можетъ быть обращенъ въ жидкость—*ожиженъ*—и въ твердое тѣло. Не составляетъ теперь исключенія и самый легкій изъ газовъ, гелій, который не могъ отстоять свою газообразность и недавно обращенъ въ жидкость, кипящую при атмосферномъ давленіи при абсолютной температурѣ въ $4\frac{1}{2}^{\circ}$, т. е. при $-268\frac{1}{2}^{\circ}$ обычной скалы.

Изъ этихъ переходовъ тѣль изъ одного состоянія въ другое наиболѣе обычны тѣ, въ которыхъ исходнымъ или конечнымъ состояніемъ является жидкое, а именно, съ одной стороны, отвердѣваніе и испареніе (или *кипѣніе*, если переходъ въ газъ совершается не только съ поверхности, но и внутри всей массы жидкости) и плавленіе и ожиженіе, съ другой.

Менѣе изучены и менѣе извѣстны непосредственные переходы изъ твердаго состоянія въ газообразное и обратно—настолько менѣе, что многимъ изъ васъ, можетъ быть, даже незнакомы термины, которые прилагаются къ первому переходу—*улетучиваніе*, *возгонка*, *сублимація*,—термины, изъ которыхъ ни одинъ еще не пріобрѣлъ явнаго первенства передъ своими соперниками,—а для обратнаго перехода изъ газообразнаго состоянія непосредственно въ твердое, минуя жидкое совершенно,—пока нѣтъ вовсе спеціальнаго термина.

Чтобы не оставлять сомнѣній и неясностей у тѣхъ изъ васъ, кому, можетъ быть, не приходилось задумываться надъ фактами, сюда относящимися, напомнимъ такія явленія, какъ довольно быстрое улетучиваніе камфары, нафталина, происходящее безъ перехода ихъ въ жидкое состояніе, какъ наличность запаха у многихъ твердыхъ тѣль, обуславливаемого, почти навѣрное, именно парами этихъ тѣль, какъ по-

степенное потускнѣніе лампочекъ накаливанія, вызываемое возгонкою углерода нитей при высокой ихъ температурѣ и осажденіемъ его въ твердомъ видѣ на стѣнкахъ. Какъ испареніе жидкостей весьма замедляется присутствіемъ надъ ними другихъ газовъ, кромѣ ихъ паровъ, частицы которыхъ должны пробивать себѣ дорогу среди частицъ этихъ газовъ и вслѣдствіе этого могутъ лишь съ крайнею медленностью „диффундировать“ чрезъ эти газы, такъ и улетучиваніе твердыхъ тѣлъ весьма затрудняется присутствіемъ надъ ними, кромѣ „паровъ“ этихъ твердыхъ тѣлъ, другихъ газовъ. Въ пространствѣ же, гдѣ почти нѣтъ этихъ другихъ газовъ,—въ такъ называемой „пустотѣ“—, улетучиваніе идетъ гораздо успѣшнѣе, и, сравнительно не высоко поднимая температуру, удавалось въ пустотѣ подвергать возгонкѣ различные металлы и даже отдѣлять составныя части сплавовъ другъ отъ друга путемъ такой фракціонной перегонки (перегонки отдѣльныхъ порцій при различныхъ температурахъ)—опять таки безъ попутнаго обращенія ихъ въ жидкое состояніе.

Чтобы не ограничиваться словами, а вмѣстѣ съ тѣмъ показать вамъ близкую связь этого вопроса съ темою настоящихъ лекцій, позвольте мнѣ произвести слѣдующій опытъ. Предъ вами находятся здѣсь два высокихъ химическихъ стакана,—въ одномъ изъ нихъ на дно налить спиртъ, на дно другого наложены кристаллы твердой бензойной кислоты; сверху оба стакана прикрыты выпаривательными чашками съ холодною водою. Нагрѣваемъ дно и того, и другого стакана: какъ спиртъ, такъ и бензойная кислота обращаются въ парообразное состояніе, пары ихъ, поднимаясь, доходятъ до чашекъ съ холодною водою и охлаждаются. Что же мы видимъ? Пары спирта, охладившись, переходятъ обратно въ жидкое состояніе,—въ этомъ сосудѣ какъ бы идетъ мелкій осенній „дождичекъ“ изъ капелекъ спирта, представляющийся издали густымъ туманомъ, а пары бензойной кислоты, охладившись, переходятъ прямо въ твердое состояніе,—и въ этомъ сосудѣ идетъ „снѣгъ“ изъ хлопьевъ твердыхъ кристалловъ бензойной кислоты, сверканіе которыхъ въ пучкѣ сильнаго свѣта замѣтно даже издали.

Этотъ опытъ ставитъ насъ лицомъ къ лицу съ вопросомъ: при какихъ условіяхъ происходитъ переходъ тѣлъ изъ

одного состоянія въ другое, отъ чего зависитъ, что въ однихъ случаяхъ твердое тѣло плавится, а въ другихъ прямо улетучивается, что паръ въ однихъ случаяхъ ожижается, а въ другихъ—прямо обращается въ твердое состояніе, отъ какихъ условій зависитъ, въ частности, что падающая изъ верхнихъ слоевъ атмосферы вода въ каждомъ отдѣльномъ случаѣ изъ большого числа разнообразныхъ видовъ, въ какихъ мы наблюдаемъ атмосферные осадки, выбираетъ для этого именно такую, а не другую форму.

Вліяніе давленія на температуры кипѣнія и плавленія.

Разберемъ простѣйшій случай, когда никакого сомнѣнія въ томъ, въ какое состояніе перейдетъ данное тѣло, нѣтъ, а именно переходы изъ *жидкаго* состоянія: при достаточномъ пониженіи температуры жидкость можетъ только затвердѣть, при достаточномъ повышеніи температуры—превратиться въ паръ. Однако, опредѣленная температура является вполне опредѣленнымъ условіемъ возможности перехода только тогда, когда указано еще одно существеннѣйшее обстоятельство, а именно *давленіе*, подъ которымъ жидкость находится.

Чтобы не быть голословнымъ, приведу сразу нѣкоторыя цифры, относящіяся къ водѣ: при атмосферномъ давленіи вода замерзаетъ при 0° , а кипитъ при 100° Ц., при давленіи въ 100 атмосферъ замерзаетъ уже не при 0° , а при $-0^{\circ}9$, а кипитъ не при 100° Ц., а при 308° , при давленіи въ 200 атмосферъ вода замерзаетъ при $-1^{\circ}8$, а кипитъ при 365° , т. е. для воды температура кипѣнія повышается съ увеличеніемъ давленія, а температура замерзанія понижается съ увеличеніемъ давленія. Послѣднее обстоятельство обуславливается тѣмъ, что вода, замерзая, увеличивается въ объемъ, и, слѣдовательно, повышеніе давленія и вызываемое имъ уменьшеніе объема не приближаютъ воду ко льду, а, наоборотъ, какъ бы отдаляютъ ее отъ льда. Вслѣдствіе этого при большомъ давленіи требуется для замораживанія воды болѣе низкая температура, чѣмъ при обыкновенномъ давленіи.

Наоборотъ, для тѣлъ, которыя при отвердѣваніи уменьшаются въ объемъ,—а такихъ тѣлъ громадное большинство,—повышается съ повышеніемъ давленія не только темпера-

тура кипѣнія, но и температура отвердѣванія; увеличеніе давленія приближаетъ жидкость къ твердому состоянію и, слѣдовательно, для замораживанія не требуется прибѣгать къ столь низкимъ температурамъ, какъ при малыхъ давленіяхъ. Приведу опять таки нѣсколько чиселъ, относящихся къ ртути: она при обыкновенномъ давленіи затвердѣваетъ при $-38^{\circ}8$, а кипитъ при 357° , при давленіи въ 80 атмосферъ затвердѣваетъ при нѣсколько менѣе низкой температурѣ, при $-38^{\circ}4$, а кипитъ при 766° , при давленіи же въ 160 атмосферъ замерзаетъ при $-38^{\circ}0$, а кипитъ при 878° .

Всѣ эти числа показываютъ, что давленіе очень сильно отражается на температурѣ кипѣнія и очень мало—на температурѣ отвердѣванія или плавленія (это—одно и то же, ибо жидкость отвердѣваетъ при той же температурѣ, при которой получившееся изъ нея твердое тѣло плавится). Это вытекаетъ и изъ формулъ термодинамики и понятно также съ безхитростной обывательской точки зрѣнія: увеличеніе давленія значительно измѣняетъ объемъ паровъ и тѣмъ самымъ можетъ значительно приблизить ихъ къ жидкости, тогда какъ объемъ жидкостей и твердыхъ тѣлъ очень мало измѣняется съ давленіемъ, и потому требуются громадныя давленія, чтобы внести сколько нибудь существенныя измѣненія въ условія перехода изъ жидкаго состоянія въ твердое. Та же мысль схематически выражается знаменитою термодинамическою формулою Томсона ¹⁾.

Для наглядности изобразимъ кривыми зависимость температуры кипѣнія и плавленія отъ давленія для тѣлъ, подобныхъ водѣ (рис. 1)—увеличивающихся въ объемѣ при затвердѣваніи, —и для тѣлъ, подобныхъ ртути (рис. 2),—уменьшающихся въ объемѣ при затвердѣваніи. Будемъ по горизонтальному направленію откладывать давленія, а по

¹⁾ Вотъ эта формула:

$$\frac{dT}{dp} = \frac{A(\sigma - s)T}{L} \quad (1),$$

гдѣ T —абсолютная температура перехода изъ состоянія, въ которомъ удѣльный объемъ матерьяла есть s , въ состояніе, въ которомъ удѣльный объемъ есть σ , p —давленіе, A —термическій эквивалентъ работы, а L —теплота перехода.

вертикальному—соответствующія температуры кипѣнія и плавленія: получимъ кривыя BB' , для температуръ кипѣнія и кривыя CC' для температуръ плавленія.

Мы до сихъ поръ разсматривали, что происходитъ при увеличеніи давленія сравнительно съ атмосфернымъ; посмотримъ теперь, что будетъ, если мы давленіе станемъ уменьшать. Температура плавленія будетъ оставаться почти безъ измѣненія, а температура кипѣнія будетъ все падать и падать и при достаточномъ уменьшеніи давленія должна будетъ

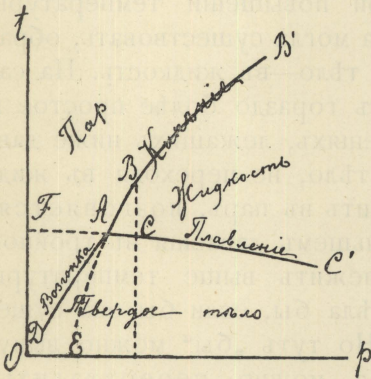


Рис. 1.

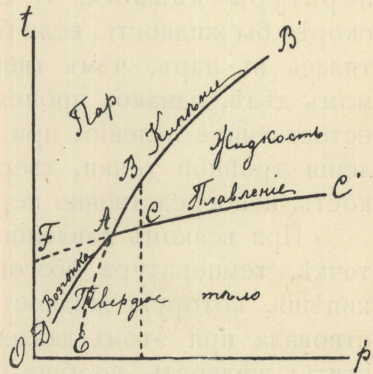


Рис. 2.

стать равною температурѣ плавленія, какъ это и изображаютъ части BA и CA кривыхъ рис. 1 и 2. Что же будетъ тогда?

При давленіи и температурѣ, которыя изображаются точкою A , твердое тѣло будетъ плавиться, а жидкость будетъ кипѣть, если мы будемъ сообщать имъ тепло; пары же, если отъ нихъ отнимать тепло, будутъ превращаться въ жидкость и въ твердое тѣло. Если же тепла не сообщать и не отнимать, то при этомъ давленіи и этой температурѣ твердое тѣло, жидкость и паръ будутъ въ равновѣсіи и могутъ неопредѣленно долго оставаться другъ рядомъ съ другомъ, не переходя одно въ другое, могутъ „сосуществовать“.

Тройная точка.

Точка A и есть знаменитая *тройная точка*—точка, изображающая состояніе вещества, при которомъ могутъ сосуществовать всѣ три состоянія: твердое, жидкое и газооб-

разное. Для воды тройная точка лежитъ при $+0^{\circ}0074$ Ц. и при давленіи въ 4·583 мм. ртутнаго столба, для ртути—при $-38^{\circ}795$ Ц. и давленіи въ нѣсколько миллионныхъ мм. ртутнаго столба.

Попробуемъ теперь догадаться, что́ будетъ при еще меньшемъ давленіи, чѣмъ давленіе въ тройной точкѣ. Если бы температуры кипѣнія и плавленія измѣнялись и за тройною точкою такъ же, какъ до нея,—по кривымъ *AE* и *AF*—, то температура плавленія оказалась бы выше температуры кипѣнія, т. е. при повышеніи температуры скорѣе бы жидкость, если бы она могла существовать, обратилась въ парь, чѣмъ твердое тѣло—въ жидкость. На самомъ дѣлѣ, однако, происходитъ гораздо болѣе простое и естественное явленіе: при давленіяхъ, лежащихъ ниже давленія тройной точки, твердое тѣло, не переходя въ жидкость, непосредственно переходитъ въ парь, возгоняется.

При всякомъ давленіи, меньшемъ давленія въ тройной точкѣ, температура возгонки лежитъ выше температуры кипѣнія, которую жидкость имѣла бы, если бы она существовала при этомъ давленіи. Но тутъ „бы“ можно выпустить: жидкость, вообще говоря, можно „переохладить“—при условіяхъ, о которыхъ я далѣе буду говорить,—ниже обычной температуры отвердѣванія, и тогда она остается жидкою и при уменьшенномъ давленіи, и при достаточномъ пониженіи давленія закипаетъ.

Что температура кипѣнія переохлажденной жидкости падаетъ при уменьшеніи давленія болѣе быстро, чѣмъ температура возгонки, и вслѣдствіе этого оказывается ниже температуры возгонки, можно вывести прямо изъ формулы Томсона. Но легко убѣдиться въ этомъ и изъ того соображенія, что парь болѣе разнится отъ твердаго тѣла, чѣмъ отъ жидкости, и что уменьшеніе давленія еще болѣе отдаляетъ его отъ твердаго тѣла, чѣмъ отъ жидкости.

Отсюда сейчасъ же можно вывести заключеніе относительно того, что́—твердое тѣло или переохлажденная жидкость—будетъ устойчивѣе при температурахъ и давленіяхъ ниже температуры и давленія тройной точки.

Положимъ, у насъ при такой низкой температурѣ въ

закрытомъ сосудѣ находится рядомъ чашка съ твердымъ тѣломъ и чашка съ переохлажденною жидкостью; станемъ повышать температуру,—первою начнетъ обращаться въ паръ жидкость, и ея пары будутъ осѣдать на твердомъ тѣлѣ, непосредственно обращаясь въ твердое состояніе. Точно также, если мы станемъ уменьшать давленіе, то первую станеть обращаться въ паръ жидкость, такъ какъ „упругость насыщающихъ пространство паровъ“ переохлажденной жидкости больше „упругости насыщающихъ пространство паровъ“ твердаго тѣла при той же температурѣ. Послѣднее обстоятельство было доказано непосредственными измѣреніями надъ нѣсколькими веществами,—и я приведу лишь нѣкоторыя данныя, относящіяся къ водѣ.

Таблица I.

Упругость насыщающихъ пространство паровъ.

температура	вода	ледь
+ 0°·0074	4·583	4·583
± 0°	4·581	4·580
— 5°	3·162	3·010
— 10°	2·145	1·946
— 20°	0·939	0·772

Неустойчивыя состоянія вещества.

Такимъ образомъ переохлажденная жидкость представляетъ собою вещество въ *неустойчивомъ* состояніи, а твердое тѣло—въ *устойчивомъ*, и, если только переохлажденная жидкость и то твердое тѣло, которое изъ нея можетъ получиться, придуть въ соприкосновеніе, жидкость должна переходить въ твердое состояніе. Поэтому, если мы хотимъ переохладить расплавленное твердое тѣло, мы должны тщательно слѣдить, чтобы въ эту жидкость не попалъ извнѣ ни одинъ кусочекъ этого твердаго тѣла, чтобы какая нибудь отдѣльная капля ея на стѣнкахъ сосуда не застыла раньше всей массы и не дала такихъ кристалликовъ; точно также должны мы наблюдать, чтобы какое нибудь другое твердое

тѣло или просто толчокъ, сильное встряхиваніе и т. п. не нарушили неустойчиваго равновѣсія молекулъ и не заставили этимъ жидкость превратиться въ твердое состояніе.

Но единственнымъ вѣрнымъ средствомъ для нарушенія такого неустойчиваго равновѣсія является всетаки кристалликъ даннаго твердаго тѣла, который, будучи внесенъ въ переохлажденную жидкость, является „затравкою“, „зерномъ кристаллизаціи“.

Вы видите теперь на экранѣ изображеніе стеклянной оттянутой трубки, опущенной въ колбу съ переохлажденнымъ расплавленнымъ сѣрноватистокислымъ натромъ (гипосульфитомъ), который плавится при 56° ; жидкость эта остается жидкою при комнатной температурѣ неопредѣленно долго, но достаточно бросить въ эту оттянутую трубку кристалликъ гипосульфита, какъ отъ этого „зародыша“ начинается кристаллизація: закристаллизовывается сначала жидкость въ трубкѣ, а затѣмъ кристаллъ начинаетъ расти на нижнемъ концѣ ея во всѣ стороны (рис. 3).

На этомъ примѣрѣ отчетливо видна необходимость „зерна“, „затравки“, „ядра“, „зародыша“ для перехода изъ жидкаго состоянія въ твердое — необходимость, которая обнаруживается и при всѣхъ другихъ переходахъ изъ одного состоянія въ другое. Безъ такихъ „зеренъ“, „зародышей“ вещество можетъ легко получиться въ состояніи, которое не соотвѣтствуетъ наличнымъ условіямъ температуры и давленія, которое будетъ поэтому неустойчивымъ равновѣсіемъ и изъ котораго его можно вывести соотвѣствующимъ зародышемъ.

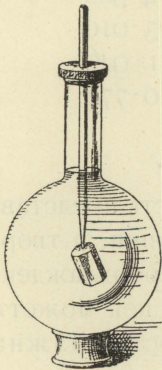


Рис. 3.

Разберемъ еще нѣсколько такихъ неустойчивыхъ состояній — такихъ „пере“-состояній, „сверх“-состояній, съ которыми такъ же трудно имѣть дѣло, какъ съ „сверх“-людьми. Здѣсь передъ вами стаканъ съ зельтерскою водою — „пересыщеннымъ“ растворомъ углекислаго газа въ водѣ съ прибавкою нѣкоторыхъ солей —: достаточно бросить туда ложку мелкаго сахара, каждая частица котораго несетъ на себѣ слой

сгущеннаго воздуха,—и избытокъ углекислоты выдѣляется ввидѣ большого числа пузырей: жидкость шипитъ и становится молочно бѣлою. Еще примѣръ: если въ водѣ имѣется растворенный воздухъ, кипѣніе происходитъ спокойно; но, если этихъ затравокъ, на которыхъ могъ бы выдѣляться парь, нѣтъ, кипѣніе происходитъ лишь моментами, взрыво-подобно: жидкость „перегрѣвается“.

Пересыщенный водяной парь. Образованіе тумана.

Точно также, если взять „насыщающій пространство“ парь и охладить его, то онъ можетъ остаться „пересыщеннымъ“, если нѣтъ соотвѣтствующихъ „зеренъ конденсаціи“.

Зерномъ такимъ можетъ явиться любая пылинка,—вслѣдствіе того, вѣроятно, что всѣ твердыя тѣла болѣе или менѣе гигроскопичны и сгущаютъ на своей поверхности пары воды въ тончайшій жидкій слой. Поэтому, если въ воздухѣ, насыщенномъ парами воды, нѣтъ пыли, то онъ при охлажденіи можетъ оказаться „пересыщеннымъ“ водяными парами, которые будутъ искать случая осѣсть, но не будутъ осѣдать, если этого случая имъ не будетъ представляться. А этотъ случай можетъ дать имъ любая твердая частица, которая, какъ говорятъ, „подвѣшена“ въ воздухѣ, т. е., въ сущности, крайне медленно падаетъ въ немъ.

Замѣчу кстати, что скорость паденія мелкихъ частицъ, болѣе тяжелыхъ, чѣмъ окружающая среда, будетъ тѣмъ меньше, чѣмъ меньше ихъ размѣры, ибо сопротивленіе этой среды движенію убываетъ гораздо медленнѣе при уменьшеніи размѣровъ падающаго тѣла, чѣмъ убываетъ его вѣсъ. Такъ, напр., капля воды въ $\frac{1}{100}$ сантиметра діаметромъ падаетъ со скоростью 25 сантиметровъ въ секунду, а капля воды въ $\frac{1}{1000}$ сантиметра діаметромъ—довольно обычные размѣры капелекъ тумана—падаетъ со скоростью $2\frac{1}{2}$ миллиметровъ въ секунду¹⁾. Твердыя же частицы пыли зачастую имѣютъ размѣры во много разъ меньшіе и падаютъ со ско-

¹⁾ Это получается изъ формулы Стокса

$$6\pi\eta r V = \frac{4}{3}\pi r^3 g(\sigma - \varsigma) \quad (2),$$

ростями одного сантиметра въ нѣсколько минутъ, часовъ и даже сутокъ. Укажу, напр., что вулканической пепель, выброшенный при изверженіи вулкана Кракатоа въ августѣ 1883 на высоту до 30 километровъ и разнесенный воздушными теченіями по атмосферѣ всей земли, продолжалъ давать ненормальныя пурпуровыя зѣри до 1886, т. е. осѣлъ отчасти лишь въ 3 года!

Если же такихъ твердыхъ частицъ нѣтъ, то водяной паръ при охлажденіи остается пересыщеннымъ,—и въ немъ не появляется тѣхъ мельчайшихъ капелекъ, скопленіе которыхъ образуетъ собою *туманъ*.

Здѣсь предъ вами находится большая бутылъ, которая наполнена воздухомъ, профильтрованнымъ чрезъ вату и лишеннымъ такимъ образомъ пыли ²⁾. Воздухъ этотъ насыщенъ парами воды, слой которой имѣется на днѣ бутылки, и можетъ быть легко охлажденъ внезапнымъ расширеніемъ. Для этого достаточно нѣсколько сжать—дѣйствіемъ легкихъ—этотъ воздухъ и затѣмъ отнять палецъ отъ трубки, сообщающей его съ атмосферою (рис. 4): воздухъ расширяется, охлаждается отъ этого, и пары становятся пересыщенными, какъ вы теперь видите или—вѣрнѣе, пожалуй,—какъ вы теперь не видите. То обстоятельство, что вы не замѣчаете при расширеніи воздуха почти никакой разницы во внѣшнемъ видѣ бутылки, освѣщенной сбоку мощнымъ пучкомъ свѣта, не видите этихъ пересыщенныхъ водяныхъ паровъ, приоб-

въ которой η есть коэффициентъ внутренняго тренія среды, r —радіусъ падающаго шарика, V —его скорость, σ —его плотность, ζ —плотность среды, а g —ускореніе силы тяжести, и которая приравниваетъ сопротивленіе среды, встрѣчаемое падающимъ шарикомъ, движущей силѣ, равной разности его вѣса и вѣса среды въ его объемѣ. Изъ этого условія равномерности движенія шарика получается формула

$$V = \frac{2r^2g(\sigma - \zeta)}{9\eta} \quad (3),$$

показывающая, что скорость паденія уменьшается пропорціонально квадрату радіуса. Для воды получается приблизительно

$$V = 10^6 r^2 \frac{\text{см.}}{\text{сек.}} \quad (4).$$

²⁾ Для этого сосудъ наполняютъ водою и сифономъ выпускаютъ ее, выпуская воздухъ чрезъ другое отверстіе сквозь тампонъ изъ ваты.

рѣшаетъ для васъ убѣдительность и интересъ, вѣроятно, только послѣ слѣдующаго видоизмѣненія этого опыта.

Мы открываемъ бутылъ, выпускаемъ туда немного табачнаго дыма (а можно было бы пропустить сквозь нее воздухъ этой комнаты, въ которомъ есть достаточно пыли) и затѣмъ повторяемъ тотъ же опытъ: теперь при расширеніи и вызываемомъ имъ охлажденіи бутылъ наполняется туманомъ, ясно замѣтнымъ по тому, что вы теперь отчетливо видите очертанія цилиндрическаго пучка свѣта, проходящаго черезъ бутылъ. Пересыщенный паръ нашель себѣ зерна конденсаціи, и избытокъ его осѣлъ на нихъ. На каждой твердой частицѣ получилось по маленькой капелькѣ, которая влечетъ внизъ эту пылинку, опускаясь съ нею, хотя и съ большою медленностью.

По скорости этого „паденія“ капелекъ, по скорости опусканія такого тумана можно узнать размѣры капелекъ, а, зная, насколько охладился паръ при расширеніи, мы можемъ узнать, какой избытокъ пара могъ оказаться пересыщеннымъ, а при наличности пылинокъ—осѣлъ на нихъ. Такъ, въ нашей бутылѣ, объемъ которой равенъ 20 литрамъ, вмѣщается при комнатной температурѣ около 350 миллиграммовъ пара; при уменьшеніи давленія на одну 15-тую атмосферы воздухъ въ ней охлаждается градусовъ на 6, и около 80 миллиграммовъ пара оказались бы пересыщенными. Если бы мы впустили мало пылинокъ, капелекъ образовалось бы довольно мало, но зато—, болѣе крупныхъ и падающихъ быстрѣе; если пыли впушено больше, то и число капелекъ значительнѣе, но зато онѣ меньше и падаютъ медленнѣе.

Если, напр., туманъ въ бутылѣ опускается съ немалою для него скоростью 1 см. въ секунду, то каждая капелька вѣситъ 0.000004 mgr., и ихъ было, слѣдовательно, 20 милльоновъ! Столько же было тамъ и пылинокъ! А довольно обычная

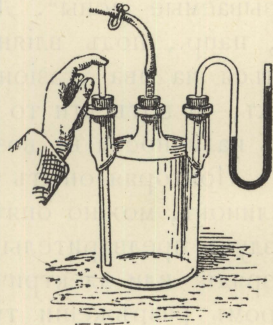


Рис. 4.

скорость въ 1 мм. въ секунду показала бы, что на 20 литровъ воздуха приходится 500 миллионѣвъ пылинокъ, т. е. столько, сколько взрослыхъ мужчинъ на всемъ земномъ шарѣ!

Подумайте только о тѣхъ мириадахъ пылинокъ, которыя служатъ для образованія окутывающаго цѣлый городъ тумана или громаднаго грозоваго облака, если въ этой бутылѣ число ихъ измѣняется десятками и сотнями миллионѣвъ.

На аналогичномъ принципѣ основанъ „пылемѣръ“ Айткена, позволяющій опредѣлять число пылинокъ въ воздухѣ путемъ непосредственнаго счета осѣвшихъ на нихъ и опустившихся внизъ капелекъ. Измѣренія этимъ приборомъ показали, что даже на высокихъ горахъ на кубической сантиметрѣ приходится нѣсколько десятковъ или сотъ пылинокъ, а въ людныхъ помѣщеніяхъ число ихъ доходитъ до нѣсколькихъ сотъ тысячъ на кубической сантиметрѣ.

Но не однѣ твердыя частицы могутъ служить зернами для ожигенія пара,—такими зернами могутъ являться и такъ называемые „іоны“. Допускаютъ, что частица газа можетъ —, напр., подъ вліяніемъ электрическихъ силъ — расщепляться на два „газіона“ противоположно наэлектризованныхъ,—и вотъ эти то „газіоны“ являются также, въ случаѣ ихъ наличности въ воздухѣ, зернами конденсаціи.

Повторяя опытъ съ пересыщеніемъ пара при отсутствіи пылинокъ, можно опять получить туманъ, если чрезъ этотъ воздухъ предварительно пропустить такъ называемый „тихий разрядъ“ или электрическую искру. Безъ разряда при быстромъ разрѣженіи тумана не получается, а послѣ тихаго разряда получается отчетливый туманъ во всемъ сосудѣ, послѣ же электрической искры—главнымъ образомъ въ тѣхъ мѣстахъ, гдѣ проскочила искра.

Такимъ же путемъ, какимъ мы подсчитывали здѣсь число пылинокъ въ этой бутылѣ,—по скорости опусканія образовавшихся на нихъ капелекъ—Дж. Дж. Томсонъ опредѣлялъ число образующихся въ газѣ при различныхъ условіяхъ іоновъ.

Туманъ, дождь, роса.

Аналогичные процессы ожигенія паровъ воды происходятъ и въ атмосферѣ и даютъ начало дождю, туману,

росѣ. Если этотъ процессъ происходитъ въ нижнихъ этажахъ атмосферы, соотвѣтствующее образованіе называется *туманомъ*, пока оно опускается въ свободномъ воздухѣ, *осѣвшимъ туманомъ*, когда оно осядетъ на земныхъ предметахъ, и *росою*, если оно появляется прямо на этихъ предметахъ. Осажденіе росы происходитъ тогда, когда твердыя тѣла охлаждаются ниже температуры воздуха—, напримѣръ, вслѣдствіе лучеиспусканія—или еще сохраняютъ свою низкую температуру, а окружающій воздухъ—, напр., отъ перемѣны вѣтра—станетъ теплѣе и влажнѣе.

Если же процессъ оживленія происходитъ въ верхнихъ этажахъ атмосферы—, напр., при восходящихъ токахъ въ атмосферѣ, при которыхъ воздухъ, попадая въ слои съ меньшимъ давленіемъ, расширяется и, какъ было въ нашемъ опытѣ, охлаждается, — то соотвѣтствующему образованію придаютъ названіе *облака*. Самое красивое облако, несущееся по лазурному небу, представляетъ, въ сущности, не что иное, какъ извѣстную массу такого же промозглаго тумана, какимъ мы не разъ бываемъ окружены, копошась въ нижнихъ этажахъ атмосферы. Капельки, образующія облако,— а, слѣдовательно, и все облако,—постепенно спускаются внизъ и при достаточной быстротѣ опусканія выпадаютъ на поверхность земли ввидѣ *дождя*.

Мы уже говорили о томъ, что маленькія капли опускаются медленнѣе большихъ. Поэтому при опусканіи облака происходитъ какъ бы естественное отмучиваніе болѣе мелкихъ капелекъ отъ болѣе крупныхъ; въ каждомъ слоѣ облака должны получиться капли болѣе или менѣе одинаковыхъ размѣровъ, какъ это получается, напр., въ эмульсіяхъ. Предъ вами на экранѣ изображеніе раствора спирта въ водѣ, въ которомъ разболтано нѣсколько болѣе тяжелое масло,— и вы видите, какъ болѣе крупныя капельки при своемъ паденіи обгоняютъ болѣе мелкія, и въ каждомъ слоѣ получаютъ капли, болѣе или менѣе одинаковыя. Въ облакѣ къ этому явленію раздѣленія капель вслѣдствіе различной быстроты ихъ паденія присоединяются еще два явленія, одно—способствующее тому, чтобы капли въ одномъ и томъ же слоѣ становились вполнѣ одинаковыми, а другое—нарушающее, и притомъ весьма

своеобразно, эту одинаковость. Первое обстоятельство —, вслѣдствіе котораго двѣ капли дождя должны быть похожи другъ на друга не только, какъ двѣ капли воды, но даже болѣе, а именно должны быть не только обѣ круглыми, но и быть вполне одинаковыхъ размѣровъ,—есть измѣненіе упругости пара съ измѣненіемъ кривизны поверхности. Чѣмъ капля болѣе выпукла, т. е. чѣмъ она меньше, тѣмъ больше упругость пара на ея поверхности, какъ это впервые показала Вилльямъ Томсонъ¹⁾. Поэтому, если въ атмосферѣ находятся вблизи другъ отъ друга капли побольше и капли поменьше, то, когда упругость пара въ атмосферѣ будетъ равна упругости насыщеннаго пара надъ большею каплею, паръ надъ меньшею каплею будетъ не насыщающимъ,—и меньшая капля будетъ испаряться и осѣдать на большей. Такимъ образомъ, въ слоѣ облака большія капли будутъ пожирать меньшія—т. е. будетъ происходить обратное тому, что происходило во снѣ Фараона: тамъ тощія коровы пожрали тучныхъ. Это явленіе будетъ продолжаться до тѣхъ поръ, пока всѣ капли не сдѣлаются одинаковыхъ размѣровъ.

Но капли въ облакѣ не находятся въ полномъ покоѣ и могутъ сталкиваться одна съ другою и соединяться при этомъ другъ съ другомъ (этому соединенію особенно способствуютъ электрическія силы, какъ это видно, напр., изъ опыта Бойса съ соединеніемъ двухъ мыльныхъ пузырей въ одинъ при поднесеніи наэлектризованной палочки). Слѣдовательно, изъ одиночныхъ капель могутъ получаться двойныя, тройныя, четверныя и т. д. капли, но никакъ не можетъ получиться, напр., капля, въ $2\frac{2}{5}$ раза бѣльшая одиночной.

Если облако находится въ восходящемъ токъ воздуха,

¹⁾ Упругость p_1 пара на поверхности жидкаго шарика радіуса r выражается формулою

$$p_1 = p + \frac{2\alpha\delta}{\sigma r} \quad (5),$$

гдѣ p — упругость пара на плоской поверхности, α — коэффициентъ поверхностнаго натяженія, δ — плотность пара, а σ — плотность жидкости. Для водяной капли радіусомъ 0·001 см. избытокъ упругости пара на ея поверхности равенъ, по этой формулѣ, 0·03 мм. водяного столба, а для капли радіусомъ 0·0001 см. этотъ избытокъ равенъ 0·3 мм. водяного столба.

поднимающемся съ нѣкоторою скоростью, то этотъ потокъ будетъ поддерживать на одномъ и томъ же уровнѣ относительно поверхности земли тѣ капли, скорость паденія которыхъ въ спокойномъ воздухѣ равна скорости потока, будетъ увлекать вверхъ тѣ капли, скорость паденія которыхъ менѣе этой скорости, а тѣ капли, скорость паденія которыхъ будетъ больше скорости восходящаго тока, будутъ понемногу падать внизъ. Такимъ образомъ, восходящій потокъ еще болѣе способствуетъ отдѣленію неодинаковыхъ капель другъ отъ друга—, и падать внизъ будутъ только капли, размеры которыхъ не ниже опредѣленной величины.

Падая, эти капли будутъ еще нарастать, отягчаться и падать все быстрѣе и быстрѣе (любопытный случай для примѣненія „динамики перемѣнной массы“) — и на землю сначала упадутъ самыя большія капли, провозвѣстницы слѣдующей за ними свиты „младшихъ богатырей“. Эти послѣдующія капли дождя, когда дождь пойдетъ, какъ слѣдуетъ, должны быть, соотвѣтственно вышесказанному, либо одинаковой величины, либо двойной, либо тройной и т. д.. Эти простыя соображенія вполне просто объясняютъ то любопытное обстоятельство, которое обнаружили Дефантъ и Беккеръ, а именно, что вѣса наиболѣе часто встрѣчающихся въ одномъ и томъ же дождѣ капель находятся въ отношеніи

$$1:2:3:4:6:8:12:16:.....;$$

главные же максимумы относятся между собою, какъ

$$1:2:4:8.$$

Замѣчу, что обычный вѣсъ капель дождя 0·1—0·5 миллиграмма, но что въ сильнѣйшіе тропическіе дожди средній вѣсъ капель достигаетъ 150 миллиграммовъ, что соотвѣтствуетъ діаметру въ $6\frac{1}{2}$ миллиметровъ, т. е. съ горошину.

Непосредственный переходъ паровъ воды въ твердое состояніе.

Превращеніе паровъ воды при охлажденіи въ жидкое состояніе возможно только въ случаѣ, если упругость этихъ паровъ больше упругости ихъ въ тройной тонкѣ, какъ это ясно видно изъ рис. 1. Если же упругость водяныхъ паровъ меньше этой упругости — 4·583 мм. ртутнаго столба—, то

при охлажденіи водяной паръ будетъ превращаться не въ жидкое, а прямо въ твердое состояніе: будетъ итти не дождь, а снѣгъ или крупа, будетъ осаждаться на твердыхъ тѣлахъ не роса, а иней или изморозь, будетъ появляться туманъ, но туманъ не изъ жидкихъ капелекъ, а изъ твердыхъ кристалловъ.

Если повторить опытъ съ пересыщенными парами, но при температурѣ ниже тройной точки и съ завѣдомо пыльнымъ воздухомъ, то снова получается туманъ, но уже туманъ не изъ жидкихъ капелекъ, а изъ твердыхъ частицъ, изъ снѣжинокъ. Убѣдиться въ этомъ довольно трудно, такъ какъ, когда температура охладившагося при расширеніи воздуха уравнивается съ температурой стѣнокъ —, а это происходитъ довольно быстро, — то туманъ исчезаетъ, и собрать его нельзя.

Укажу лишь путь, который наводитъ на мысль, что въ этомъ опытѣ у насъ получался —, можетъ быть, впервые искусственно, лабораторнымъ путемъ — снѣгъ. Если освѣтить сосудъ съ такимъ снѣжнымъ туманомъ такъ называемымъ поляризованнымъ свѣтомъ и „поворачивать“ плоскость поляризации, то, когда плоскость поляризации совпадаетъ съ плоскостью, въ которой въ глазъ попадаютъ отраженные отъ частицъ тумана лучи, отраженный свѣтъ ярче, чѣмъ въ томъ случаѣ, когда плоскость поляризации составляетъ прямой уголъ съ плоскостью отраженія. Если же этотъ опытъ производится съ тѣмъ же сосудомъ, когда воздухъ въ ней нагрѣтъ почти до комнатной температуры, т. е. съ „водянымъ“ или „дождевымъ“ туманомъ, то различіе въ интенсивности свѣта при поворачиваніи поляризатора гораздо менѣе. Не углубляясь въ этотъ, вообще говоря, довольно сложный въ теоретическомъ отношеніи опытъ, ограничусь этими указаніями.

Такимъ образомъ, когда упругость паровъ воды ниже $4\frac{1}{2}$ мм. ртутнаго столба, то они превращаются прямо въ твердое состояніе и даютъ, смотря по мѣсту этого превращенія, снѣгъ, иней, изморозь, туманъ.

Единственное, что мы знаемъ болѣе или менѣе достоверно объ образованіи снѣга, это — что снѣгъ образуется непосредственно изъ паровъ воды.

Подтверженіемъ этого могутъ служить многія наблюденія въ полярныхъ странахъ, на высокихъ горахъ и на воздушныхъ шарахъ. Зачастую случалось видѣть, что идетъ снѣгъ, а надъ наблюдателемъ чистое, синее небо. При подъемахъ же на воздушныхъ шарахъ иногда удавалось проходить послѣдовательно сквозь слои съ падающими крупными хлопьями, слои съ менѣе крупными хлопьями, слои съ отдѣльными большими снѣжинками и, наконецъ, слои съ мелкими и мельчайшими снѣжинками.

Намъ, сѣверянамъ, знакомо также и непосредственное—въ сильные морозы—обращеніе выдыхаемыхъ нами паровъ воды въ скопища мельчайшихъ ледяныхъ кристалликовъ, мельчайшихъ снѣжинокъ, и выпаденіе снѣга, когда воздухъ натопленной комнаты приходитъ въ непосредственное соприкосновеніе съ морознымъ воздухомъ улицы. Позволю себѣ по этому поводу рассказать два эпизода, наглядно иллюстрирующие переходъ паровъ воды въ снѣгъ при достаточномъ охлажденіи ихъ путемъ смѣшенія съ очень холоднымъ воздухомъ. Тутъ упругость водяныхъ паровъ, диффундирующихъ изъ теплаго воздуха въ холодный, сама собою становится ниже упругости въ тройной точкѣ,—и происходитъ непосредственный переходъ ихъ въ твердое состояніе.

Одинъ эпизодъ—знаменитая въ свое время „С.-Петербургская исторія“. На одной изъ ассамблей въ Петербургѣ въ 1773 г. въ горницѣ сдѣлалось такъ жарко и душно, что дамы стали падать въ обморокъ. Тогда одинъ изъ кавалеровъ шпагою выбилъ стекло въ окнѣ,—и въ комнатѣ отъ врывающагося морознаго воздуха пошелъ обильный снѣгъ!

Другой эпизодъ заимствую я изъ разсказа А. И. Добровольскаго. Однажды въ довольно холодный—около -30° —день ему пришлось быть долго въ усиленномъ движеніи въ довольно легкой одеждѣ на воздухѣ при безснѣжной погодѣ. Когда онъ, вернувшись раздѣлся, то въ складкахъ нижней рубашки, которая была плотно застегнута и у ворота и у рукавовъ, онъ нашелъ довольно много снѣга, въ который обратился паръ, шедшій отъ его кожи.

Все это, вмѣстѣ съ описаннымъ здѣсь опытомъ получе-

нія „снѣжнаго тумана“, указываетъ путь, которымъ слѣдуетъ итти для полученія искусственнаго снѣга: воздухъ съ водяными парами, имѣющими упругость ниже упругости въ тройной точкѣ, охлаждать безъ соприкосновенія съ болѣе холодными, чѣмъ этотъ воздухъ, твердыми тѣлами.

Снѣгъ и ограниченность нашихъ свѣдѣній о немъ.

Если вамъ сказали бы, что физикамъ и химикамъ извѣстенъ матерьялъ, легко получаемый въ чистомъ видѣ и имѣющійся на земной поверхности въ количествѣ нѣсколько больше, чѣмъ 2—3 миллиграмма, и что ни одно физическое свойство его, кромѣ температуры плавленія,—ни удѣльный вѣсъ, ни показатель преломленія, ни свѣторазсѣяніе, ни теплоемкость, ни теплота плавленія, не говоря уже объ упругости пара, о діэлектрической постоянной, электропроводности, магнитной проницаемости, двупреломленіи и т. д.,—ни одно свойство неизвѣстно, то вы, вѣроятно, съ усмѣшкою посмотрѣли бы на говорящаго и, можетъ быть, изъ любопытства и изъ сожалѣнія къ нему удостоили бы его вопросомъ: „что же это за матерьялъ?“.

Матерьялъ этотъ, господа,—*снѣгъ!* Кромѣ случайныхъ опредѣленій теплоты плавленія снѣга, сдѣланныхъ Реньо, не существуетъ, повидимому, никакихъ опредѣленій физическихъ свойствъ снѣга, ни даже попытокъ такихъ опредѣленій, а всегда *tacito consensu* эти свойства отождествляются со свойствами льда. Я не говорю объ опредѣленіяхъ „плотности снѣга“, производимыхъ зачастую на метеорологическихъ обсерваторіяхъ, потому что они относятся не къ тѣмъ любопытнѣйшимъ кристалламъ воды, съ которыми мы сейчасъ подробнѣе познакомимся, не къ „снѣгу“, а къ „снѣжному покрову“—той неопредѣленной смѣси снѣга и воздуха, которая покрываетъ поверхность земли, такъ великолѣпно защищая ее отъ неблагоприятныхъ тепловыхъ вліяній ¹⁾.

¹⁾ Коэффициентъ κ теплопроводности снѣга, по изслѣдованіямъ Абельса, прямо пропорціоналенъ квадрату его плотности D и въ *C. G. S.* единицахъ выражается такъ:

$$\kappa = 0.4 D^2 \quad (6).$$

Плотность свѣже выпавшаго снѣга обыкновенно равна 0.1, но оказыва-

Какія же основанія отождествлять физическія свойства снѣга съ физическими свойствами льда? Если разобраться, то окажется, что этихъ основаній немного: близкое совпаденіе значеній теплоты плавленія, найденныхъ Реньо для снѣга и—на слѣдующій годъ, безснѣжный въ Парижѣ,—для льда, приблизительное согласіе значеній наблюдаемыхъ угловыхъ отверстій круговъ вокругъ солнца и луны со значеніями этихъ угловыхъ отверстій, вычисленными въ предположеніи, что показатель преломленія снѣжинокъ—тотъ же, что льда, и, главное, кристаллографическія сходства у снѣжинокъ и у льда. Замѣчу, впрочемъ, что опредѣленіе даже такого простаго свойства, какъ удѣльный вѣсъ снѣжинокъ, представило бы весьма большія экспериментальныя затрудненія вслѣдствіе ничтожныхъ ихъ размѣровъ и такого, напр., обстоятельства, какъ наличность сгущеннаго на ихъ поверхности воздуха.

Кристаллографическая форма снѣжинокъ.

Кристаллографическія же особенности снѣжинокъ являются прекрасно изученными, и въ этомъ изученіи можно отмѣтить три стадіи.

Въ первой пробуютъ разобраться, какія главнѣйшія формы имѣютъ снѣжинки, и зарисовываютъ ихъ отъ руки, — большею частью, не прибѣгая даже къ увеличительному стеклу. Типичною работою этого періода изученія снѣга является сочиненіе Кеплера (1611) „*Strena seu de nive sexangula*“ (Новогодній подарокъ или о шестиугольномъ снѣгѣ), въ которомъ онъ задаетъ, между прочимъ, вопросъ „*cur autem sexangula?*“ (отчего же снѣгъ шестиуголен?)—и самъ указываетъ, что „*res mihi nondum comperta est*“ (вещь эта мнѣ еще не открыта),—мнѣніе, которое должны раздѣлить и мы, хотя насъ отъ Кеплера отдѣляютъ почти два столѣтія.

Второй періодъ изученія снѣжинокъ— посредствомъ микроскопа и съ тщательнымъ зарисовываніемъ ихъ формъ—характеризуется какъ бы коллекціонированіемъ разнообраз-

ется иногда близкою къ 0·015, а слежавшагося—достигаетъ 0·7, такъ что коэффициентъ теплопроводности снѣга лежитъ между 0·00009 и 0·2, тогда какъ, напримѣръ, для дуба коэффициентъ этотъ равенъ 0·004.

ныхъ формъ, въ которыхъ выпадаютъ эти кристаллы, и изображеніемъ ихъ построенными идеально правильно, со вполне симметричнымъ развитіемъ всѣхъ частей, съ полною неприкосновенностью всѣхъ отростковъ, рѣдко наблюдаемой у этихъ нѣжнѣйшихъ кристалловъ, когда они дойдутъ до поверхности земли.

Эта идеализація особенно отчетливо видна въ многочисленныхъ рисункахъ разнообразныхъ формъ снѣжинокъ, сдѣланныхъ Глэшеромъ (Glaiser, 1855) и его женою, одинъ изъ которыхъ изображенъ на рис. 5. Вы видите здѣсь двѣ весьма сложныхъ и красивѣйшихъ звѣздки, абсолютно

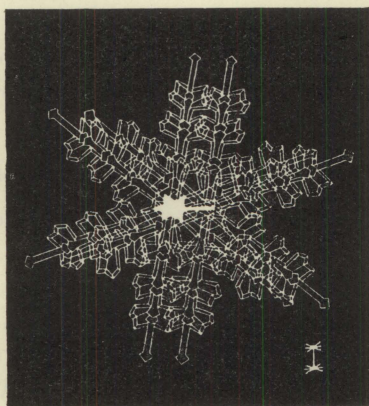


Рис. 5.

симметричныхъ и правильныхъ. Обращу къ вамъ ваше вниманіе на то, что эти двѣ звѣзды, изображенныя на рисункѣ въ одной плоскости, на самомъ дѣлѣ были расположены въ параллельныхъ плоскостяхъ и соединены шестигранною осью, какъ это указано на верху рис. 5 съ правой стороны. Такія изображенія—„стилизованная“ и „идеализованная“, какъ вы увидите далѣе по микрофотографіямъ снѣжинокъ.

То же стремленіе къ идеальной правильности можно наблюдать и у нѣкоторыхъ позднѣйшихъ изслѣдователей, прибѣгавшихъ къ помощи фотографии,—напр., у американскаго метеоролога Бентлея, сдѣлавшаго болѣе тысячи сним-

ковъ со снѣжинокъ, и отчасти у А. И. Сигсона, рыбинскаго фотографа-любителя, которому принадлежать лучшія въ мірѣ по художественности микрофотографіи снѣжинокъ. Эти изслѣдователи выбирали для фотографирования, такъ сказать, лучшіе—наиболѣе совершенные по развитію—кристаллы или же кристаллы, особенно курьезные.

Третій періодъ можно назвать реалистическимъ: фотографируются или точно измѣряются снѣжинки такъ, какъ онѣ есть,—съ выборомъ, при которомъ руководятся развѣ лишь стремленіемъ, чтобы изучена была не очень поломанная снѣжинка,—и строеніе снѣжинокъ изучается со всѣми ихъ дефектами.

Вопросъ о формахъ снѣжинокъ можно въ настоящее время считать достаточно выясненнымъ. Основныхъ типовъ строенія снѣжинокъ—два: пластинчатое и стержневое. Оба эти типа представляютъ соотвѣтствующія модификаціи такъ называемой гексагональной системы, обладающей четырьмя осями симметріи: три изъ нихъ лежатъ въ одной плоскости, составляя другъ съ другомъ углы въ 60° , а четвертая—перпендикулярна къ этой плоскости (рис. 6). Типичнымъ представителемъ этой системы является шестигранная призма, при чемъ въ зависимости отъ того, длинна или коротка ея ось по сравненію со стероною, мы имѣемъ либо шестигранную призму, либо шестигранную пластинку.

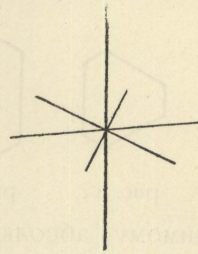


Рис. 6.

На рис. 5 вы видѣли характерныя шестилучевыя звѣзды, а на рис. 1 и 2 табл. I предъ вами характерныя шестигранныя пластинки. Могутъ, однако, быть и промежуточныя формы: комбинаціи одной пластинки посредишь съ шестью пластинками или шестью лучами у шести вершинъ основной пластинки (рис. 3 и 4 табл. I), при чемъ боковые лучи могутъ имѣть развѣтвленія, эти—свои и т. д. какъ это видно, напр., на рис. 2 табл. II (всѣ эти фотографіи—работы А. И. Сигсона).

Займемся сначала типичными пластинками. У нихъ почти во всѣхъ случаяхъ всѣ шесть угловъ оказываются равными

между собою (и, слѣд., равными 120°), но далеко нельзя сказать того же про стороны. Рис. 7—17 изображают всѣ теоретически возможные ¹⁾ случаи равноугольных шестигранных пластинокъ. Пластинку рисунка 7 можно назвать правильной, пластинку рис. 8—правильною съ усѣченнымъ краемъ (примѣръ—рис. 2 табл. I), пластинку рис. 9—правильною съ удлинненнымъ краемъ; пластинку рис. 10—правильною удлинненною; пластинку рис. 11—правильною укороченною; пластинку рис. 12—неправильною съ двумя равными сосѣдними сторонами; пластинку рис. 13—треугольникоподобною; пластинку рис. 14—треугольникоподобною съ усѣченнымъ краемъ; пластинку рис. 15—треугольникоподобною съ удлинненнымъ краемъ; пластинку рис. 16—ромбоподобною; пластинку рис. 17—неправильною съ неравными сторонами.

Снѣжинки ввидѣ совершенно симметричныхъ, вполне правильныхъ шестигранныхъ пластинокъ представляютъ, по-

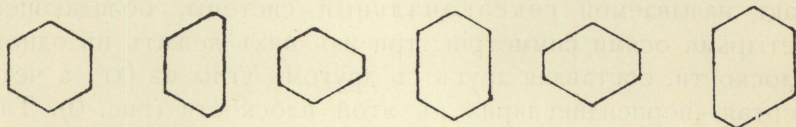


Рис. 7, рис. 8, рис. 9, рис. 10, рис. 11, рис. 12,

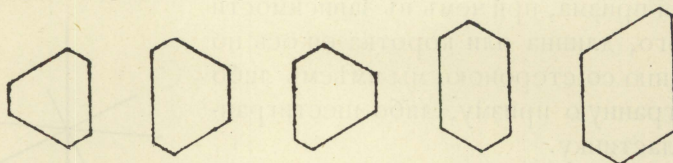


рис. 13, рис. 14, рис. 15, рис. 16, рис. 17.

видимому, абсолютное большинство снѣжинокъ, имѣющихъ видъ пластинокъ: по подсчету всѣхъ опубликованныхъ до сихъ поръ фотографий и измѣреній, ихъ получается 53%. Довольно часто (18%) встрѣчаются также треугольникоподобныя (типъ рис. 13), иногда съ—усѣченнымъ краемъ (тип. рис. 14). Рис. 18 и 19 изображаютъ фотографии по-

¹⁾ Доказательство возможности только такихъ типовъ, а также болѣе подробное, чѣмъ здѣсь, изложеніе нѣкоторыхъ соображеній относительно образованія различныхъ формъ снѣжинокъ приведены мною въ статьѣ „*Considérations sur la gèneses des différentes formes des cristaux de neige*“, которая появится въ „Изв. И. Р. Минер. Общ.“.

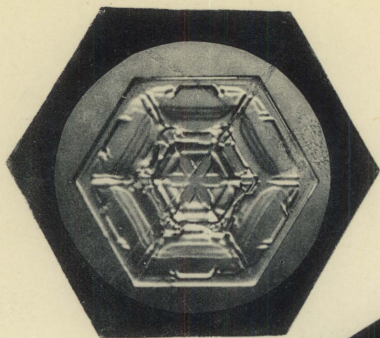


Рис 1

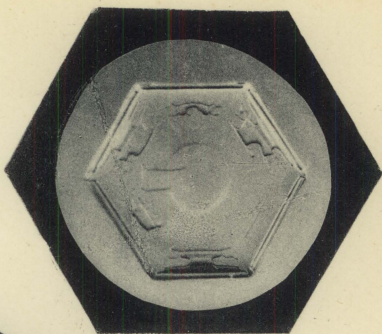


Рис. 2.

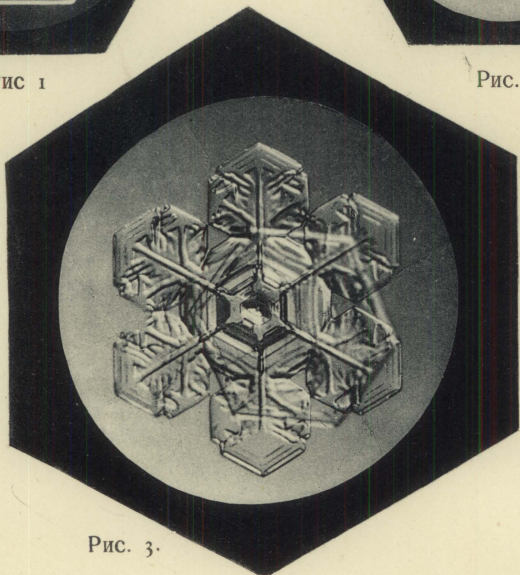


Рис. 3.



Рис. 4.

<http://mathesis.ru>

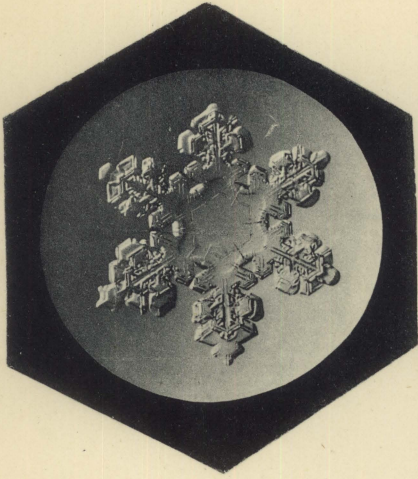


Рис. 1

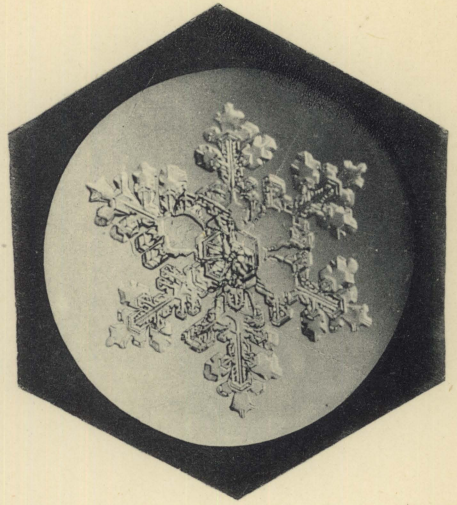


Рис. 2



Рис. 3.

<http://mathesis.ru>

добныхъ снѣжинокъ, снятыя Бентлеемъ. Изъ остальныхъ типовъ чаще другихъ (9%) попадаются удлиненныя правильныя пластинки, — рис. 20 представляетъ любопытный сростокъ четырехъ пластинокъ такого рода. Ромбоподобныя (типъ рис. 16), имѣющія лишь двѣ равныя стороны (типъ



Рис. 18.

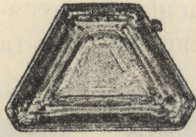


Рис. 19.

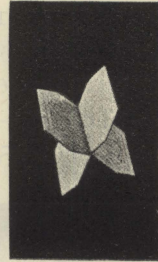


Рис. 20.

рис. 12) и совершенно не имѣющія равныхъ сторонъ (типъ рис. 17) не попадаютъ почти никогда.

Пластинки, подобныя изображеннымъ на рис. 1 и 2 табл. I и на рис. 18—20, не такъ часты, какъ пластинки, снабженныя лопастями. На рис. 21 вы видите зачатки такихъ лопастей на слегка треугольникоподобной пластинкѣ, на рис.

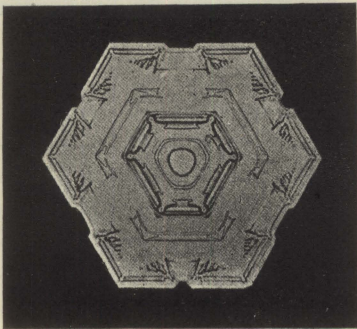


Рис. 21.

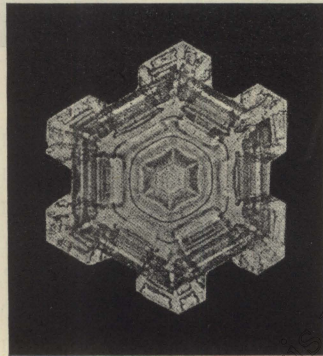


Рис. 22.

22—болѣе развитыя лопасти на правильной пластинкѣ съ усѣченнымъ краемъ (типъ рис. 8); еще больше лопасти на снѣжинкѣ, снимокъ съ которой изображаетъ рис. 3 табл. I. Эти первичныя лопасти обыкновенно несутъ на себѣ такія же вторичныя лопасти, имѣющія такіе же углы въ 120° , исхо-

дѣшія отъ вершинъ первичныхъ лопастей такъ же, какъ первичныя—отъ вершинъ первоначальной пластинки. Красивые примѣры такихъ сложныхъ образований, которыми, къ сожалѣнію, длительно любоваться можно только на фотографіяхъ, даютъ рис. 1 и 3 табл. II. Иной разъ вторичныя лопасти такъ тѣсно примыкаютъ другъ къ другу, что образуютъ сплошные лучи, то идущіе почти безъ измѣненія ширины—рис. 23—, то расширяющіеся—рис. 24—, то сужающіеся—рис. 25—и превращающіе такимъ образомъ перво-

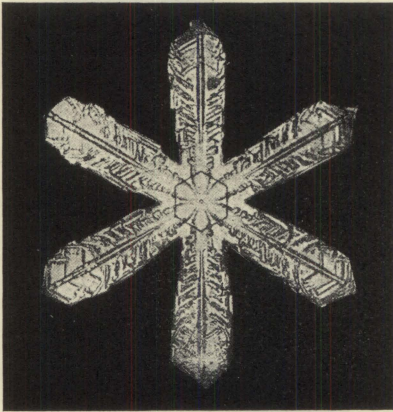


Рис. 23.

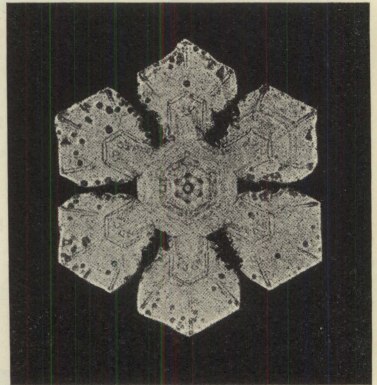


Рис. 24.

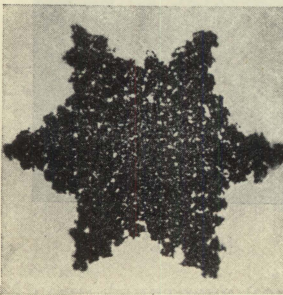


Рис. 25.

начальную пластинку въ шестилучевую звѣзду того типа, какой мы привыкли видѣть на орденскихъ знакахъ. Снимки, изображенные на рис. 24 и 25, любопытны еще въ томъ отношеніи, что тутъ виденъ иней, покрывающій снѣжинки: на первой—ввидѣ отдѣльныхъ крапинокъ, на второй—почти сплошь.

Мы незамѣтно подошли къ типичнымъ звѣздчатымъ снѣжинкамъ, особенно сложнымъ и красивымъ, когда на вторичныхъ лопастяхъ имѣются еще лопасти третьяго и т. д. порядка. Въ иныхъ такихъ звѣздочкахъ отчетливо

замѣтна центральная шестигранная пластинка,—взгляните, напр., на рис. 26; въ иныхъ—такую центральную пластинку почти не разсмотрѣть, какъ на рис. 27 или на рис. 4 табл. I. Въ зависимости отъ обилія и относительнаго развитія этихъ лопастей перваго, втораго и слѣдующихъ порядковъ и получаютъ тѣ разнообразнѣйшія формы звѣздочекъ, которыя тщательно зарисовывали или снимали изслѣдователи, ставившіе себѣ задачу какъ бы собрать полную коллекцію раз-

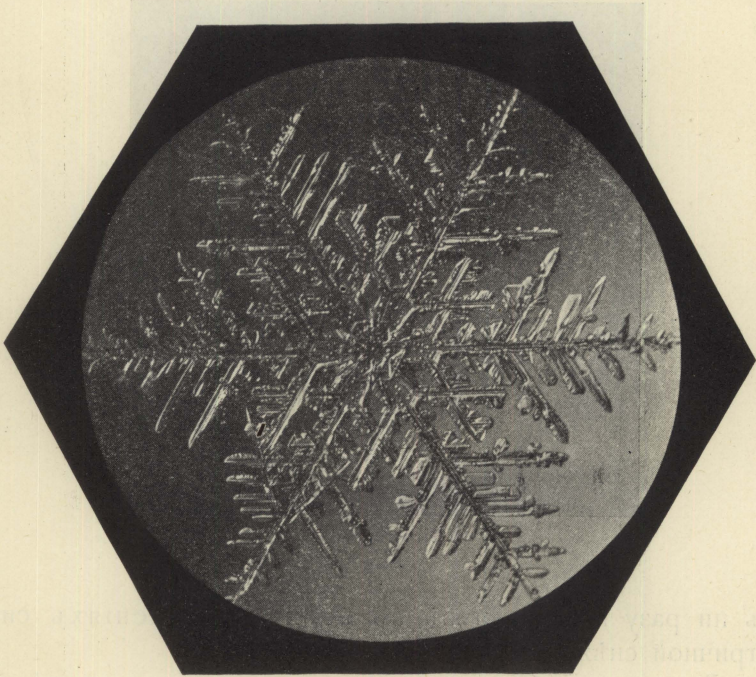


Рис. 26.

личныхъ видовъ—задачу, очевидно, невыполнимую, разъ все опредѣляется не только числомъ тѣхъ или другихъ особенностей снѣжинки, но и ихъ размѣрами.

За послѣднее время замѣчается однако стремленіе поставить вопросъ на болѣе рациональную почву—сравнить между собою не столько различныя снѣжинки, сколько различныя лучи одной и той же снѣжинки. Дѣло въ томъ, что идеально правильныхъ звѣздочекъ—такихъ, у которыхъ всѣ

шесть лучей были бы совершенно одинаковы и по размерамъ, и по внутреннему своему строению: пустотамъ, утолщеніямъ, бороздкамъ, которыя всегда имѣются на нихъ,—въ природѣ, повидимому, не образуется. По крайней мѣрѣ А. И. Добровольскій, произведшій массу наблюдений микроскопомъ надъ снѣжинками во время полутора- годового пребывания за южнымъ полярнымъ кругомъ, утверждаетъ, что

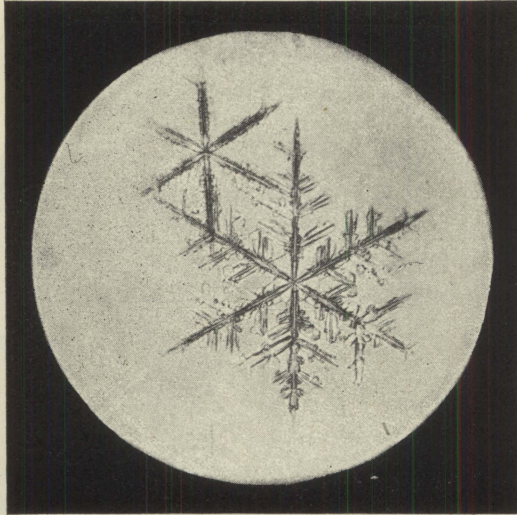


Рис. 27.

онъ ни разу не встрѣтилъ во всѣхъ отношеніяхъ симметричной снѣжинки.

Легче всего бросается въ глаза различіе въ длинѣ лучей: нѣкоторая часть лучей обыкновенно оказывается нѣсколько—, а иногда и много,—короче или длиннѣ остальныхъ. Рис. 28—39 изображаютъ основные типы звѣздочекъ по этому признаку различія. Звѣзда рисунка 28 имѣетъ всѣ лучи равной длины; у звѣзды рис. 29 одинъ лучъ длиннѣ прочихъ, у звѣзды рис. 30 одинъ лучъ короче остальныхъ; у звѣздъ рис. 31—33 два луча длиннѣ другихъ, у звѣздъ рис. 34—36 два луча короче прочихъ, причемъ у звѣздъ рис. 31 и 34 эти лучи—рядомъ, у звѣздъ рис. 32 и 35—черезъ

одинъ, у звѣздъ рис. 33 и 36—другъ противъ друга. Звѣзды рис. 37—39 имѣють три луча, болѣе длинныхъ, но у пер-

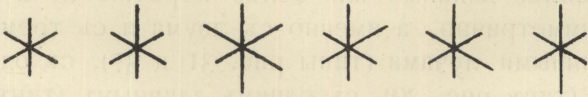


Рис. 28, рис. 29, рис. 30, рис. 31, рис. 32, рис. 33,

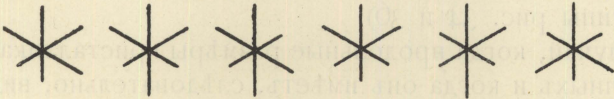


рис. 34, рис. 35, рис. 36, рис. 37, рис. 38, рис. 39.

вой—они всѣ рядомъ, у второй—два рядомъ, а у третьей—длинные и короткіе лучи чередуются.

Примѣромъ снѣжинки-звѣзды съ лучами одинаковой длины можетъ служить рис. 26, примѣромъ звѣзды съ однимъ короткимъ лучомъ и звѣзды съ двумя сосѣдними короткими лучами—рис. 27, звѣзды съ двумя сосѣдними длинными лучами—рис. 3 табл. II, съ двумя длинными черезъ одинъ—рис. 2 табл. II, а лежащими другъ противъ друга—рис. 4 табл. I, съ тремя сосѣдними длинными—рис. 1 табл. II и съ тремя длинными, чередующимися съ короткими,—рис. 40, изобра-

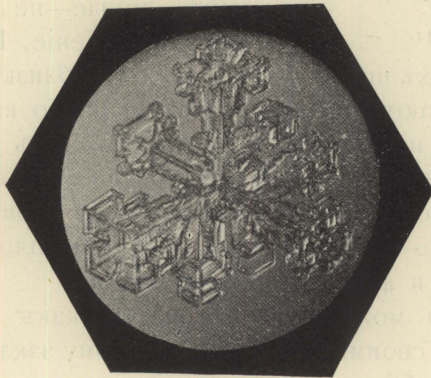


Рис. 40.

жающей очень курьезную звѣздочку. Вообще нужно замѣтить, что кромѣ звѣздочекъ съ равными лучами, составляющихъ нѣсколько болѣе четверти всѣхъ снѣжинокъ-звѣздо-

чекъ, попадаются болѣе или менѣе равномерно всѣ типы. Преимущество всетаки изъ этихъ типовъ имѣютъ тѣ, у которыхъ болѣе длинные или болѣе короткіе лучи расположены симметрично, а именно съ двумя и съ тремя сосѣдними длинными лучами (типы рис. 31 и 37), съ однимъ короткимъ (типъ рис. 30), съ однимъ длиннымъ (типъ рис. 29) и съ двумя сосѣдними или двумя противоположными короткими (типы рис. 34 и 36).

Случай, когда продольные размѣры кристаллика меньше поперечныхъ и когда онъ имѣетъ, слѣдовательно, видъ стерженка, распадается на два основныхъ: иглы и призмы. Иглы (рис. 41) имѣютъ отношеніе длины къ поперечнику отъ 5 до 20 и представляются либо заостренными съ обо-

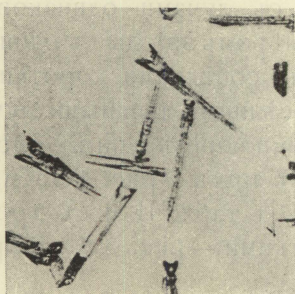


Рис. 41.

ихъ концовъ или съ одного, либо плоскими съ обоихъ концовъ. Часто онѣ сростаются другъ съ другомъ параллельно длинѣ, отъ чего, можетъ быть, и получается видъ острія на концахъ. Что касается поперечнаго сѣченія ихъ, то нѣкоторые наблюдатели считаютъ его шестиугольнымъ, другіе—не рѣшаются на это утверженіе. Иглы довольно

рѣдки въ нашихъ широтахъ, но въ болѣе близкихъ къ полюсу мѣстахъ попадаютъ довольно часто, равно какъ и призмы.

Призмы встрѣчаются двухъ главныхъ видовъ: либо призмы съ однимъ плоскимъ основаніемъ и съ пирамидою на другомъ (рис. 42)—гемиморфныя, по терминологіи А. И. Добровольскаго—, либо призмы съ двумя плоскими основаніями (рис. 43 и 44)—голоэдрическія.

Послѣднія можно разсматривать, какъ сростки двухъ гемиморфныхъ своими концами. Къ такому заключенію можно прійти, если обратить вниманіе на форму пустотъ въ гемиморфныхъ и въ голоэдрическихъ призмахъ. Въ первыхъ пустоты напоминаютъ пирамиду, входящую въ призму съ плоскаго конца и имѣющую цѣлый рядъ перетяжекъ, и непрерывно закрыты съ плоскаго конца; во вторыхъ пустоты

вполнѣ аналогичны, но имѣются съ обоихъ концовъ такихъ призмъ. Убѣждаетъ въ этомъ и то обстоятельство, что встрѣчаются и такія гемиморфныя призмы, въ которыхъ болѣе узкое мѣсто еще не выполнилось матерьяломъ.

Вообще гемиморфныя призмы склонны сростаться другъ съ другомъ не только по-двое, но и по-трое (рис. 45), и по-четверо, и притомъ — непремѣнно вершинами пирамидъ,

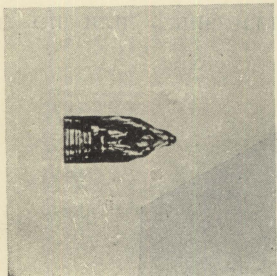


Рис. 42.

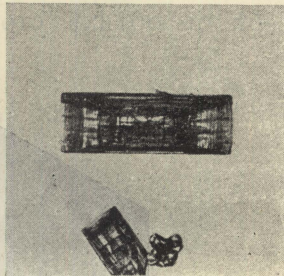


Рис. 43.

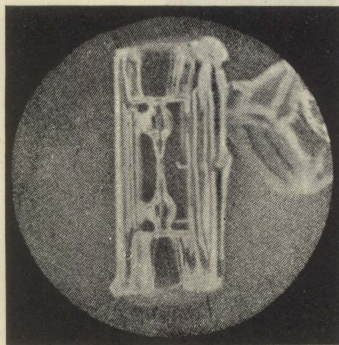


Рис. 44.

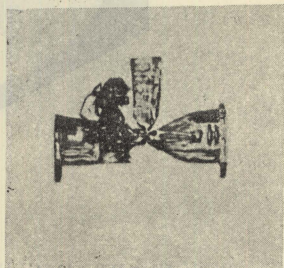


Рис. 45.

причемъ оси призмъ обыкновенно составляютъ другъ съ другомъ углы или въ 60° , или въ 90° .

Что касается до звѣздъ и пластинокъ, то онѣ болѣею частью сростаются при параллельности своихъ плоскостей и совпадении ихъ центровъ, при чемъ либо лучи ихъ совпадаютъ, либо лучи одной дѣлятъ углы между лучами другой пополамъ, такъ что получается двѣнадцатилучевая звѣзда

(рис. 46). Пластинки же сростаются весьма часто по-трое, причемъ вслѣдствіе нормальнаго роста двухъ крайнихъ и замедленнаго питанія средней и получаются тѣ симметричныя узоры на всѣхъ шести секторахъ пластинокъ, которые мы видѣли во многихъ случаяхъ, и которые, повидимому, представляютъ собою не что иное, какъ внутреннія пустоты.

Пластинки и звѣзды довольно часто сростаются съ призмами. Голоэдрическія призмы большею частью несутъ на себѣ съ обѣихъ сторонъ по пластинкѣ или по звѣз-

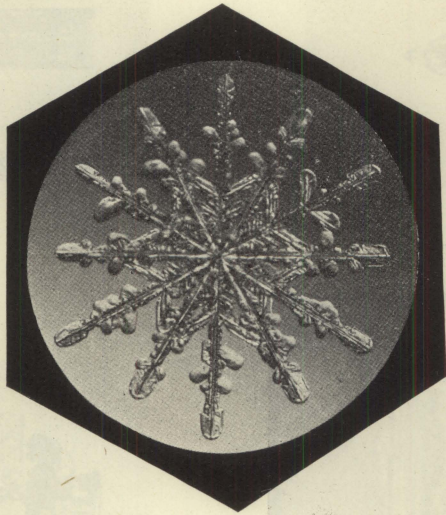


Рис. 46.

дочкѣ—вспомнимъ рисунокъ Глэшера (рис. 5) и бросимъ взглядъ на рис. 47 и 48—, а гемиморфныя—только на одномъ основаніи, какъ это можно видѣть на рис. 45.

Снѣжинки далеко не всегда доходятъ до насъ въ неприкосновенномъ видѣ: изламываются эти нѣжныя созданія и отъ порывовъ вѣтра во время ихъ опусканія, и въ моменты столкновений другъ съ другомъ, и въ моментъ самаго паденія на землю, такъ что видъ отдѣльныхъ снѣжинокъ въ массѣ выпавшаго снѣга часто далекъ отъ того, что мы видѣли на снимкахъ здѣсь. При столкновеніяхъ звѣздочки и пла-

стинки часто смерзаются—объ явленіи смерзанія будетъ рѣчь дальше—своими краями и образуютъ хлопья снѣга. Если падающія снѣжинки попадаютъ въ бурный круговоротъ воздуха, онѣ скатываются вѣтромъ въ маленькіе молочнаго цвѣта шарики, которые называютъ обыкновенно *крутою*. Если

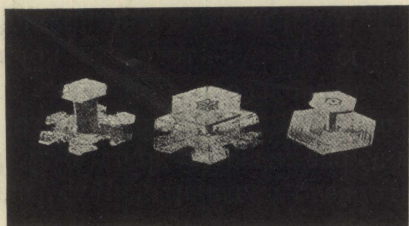


Рис. 47.



Рис. 48.

же снѣгъ выпадаетъ въ маловѣтренную погоду, то образуются часто большіе хлопья, достигающіе у насъ до 1—2 см., а въ болѣе высокихъ широтахъ—до 8 см..

Размѣры снѣжинокъ.

Самые же элементы хлопьевъ снѣга очень малы, какъ это показываетъ таблица II, составленная Вестманомъ на основаніи его измѣреній на Шпицбергенѣ и сходящаяся въ общемъ съ результатами измѣреній А. И. Добровольскаго.

Таблица II.

Размѣры снѣжинокъ (въ миллиметрахъ).

		Средн.	Max.	Min.
Звѣзды	диаметръ	2·30	6·00	0·12
	толщина	0·08	—	—
Пластинки —	диаметръ	0·33	1·29	0·05
Призмы	диаметръ основанія	0·14	0·30	0·06
	высота	0·34	0·82	0·08
Призмы съ пирамидами	диаметръ основанія	0·15	0·40	0·03
	высота призмы	0·23	0·48	0·06
	высота пирамиды	0·12	0·24	0·04
Иглы	длина	0·72	2·32	0·18
	диаметръ (наибольшій)	0·07	0·19	0·02

Отсюда можно рассчитать, что средній вѣсь звѣздочки около $\frac{1}{10}$ mgr., такъ что на вѣсь серебрянаго гривенника приходится тысячь 15—20 звѣздочекъ, что средній вѣсь пластинки—, если толщина ея—та же, что у звѣздочки, т. е. толщина обыкновенной писчей бумаги,—около $\frac{1}{150}$ mgr., такъ что на вѣсь гривенника ихъ пришлось бы около 200—300 тысячь. Вѣсь призмочекъ и призмочекъ съ пирамидами, несмотря на совершенно иную форму,—того же порядка, какъ пластинокъ, а игль—въ нѣсколько разъ меньше. Здѣсь рѣчь идетъ только о среднихъ величинахъ, потому что наименьшіе и наибольшіе особи различаются другъ отъ друга въ сотни и тысячи разъ и гораздо различнѣе, чѣмъ, напри- мѣръ, карлики и великаны.

Замѣчу, что, когда звѣздочки и пластиночки особенно тонки и малы, онѣ образуютъ еще труднѣе изслѣдуемую и изучаемую и выпадающую лишь при безвѣтренной погодѣ снѣжную пыль (poudrin), которую нѣмцы по блеску ея справедливо называютъ *алмазной пылью* (Diamantstaub).

По приведеннымъ числамъ легко рассчитать, что, если землю покрылъ довольно плотный и довольно высокій—въ метръ вышиною, что далеко не рѣдкость,—снѣжный покровъ, то для этого понадобилось, чтобы на квадратный метръ выпало отъ нѣсколькихъ миллиардовъ до нѣсколькихъ десятковъ миллиардовъ снѣжинокъ, т. е. въ нѣсколько разъ больше, чѣмъ живетъ людей на земномъ шарѣ! Чтобы сдѣлать яснымъ ничтожество нашихъ свѣдѣній о снѣгѣ, укажу, что число измѣренныхъ или зафотографированныхъ снѣжинокъ не достигаетъ еще и двухъ тысячь.

Иней и изморозь.

Прежде, чѣмъ переходить къ догадкамъ—не болѣе, какъ догадкамъ,—насчетъ того, какъ образуются эти разнообразнѣйшія формы снѣжинокъ, коснусь аналогичныхъ образований, получающихся на земныхъ предметахъ,—*иней* и *изморозь*.

Иней и изморозь различаютъ не по внѣшнему виду, а по условіямъ, въ которыхъ они получаютъ. Иней осаждается при охлажденіи поверхности тѣлъ отъ лучеиспусканія преимущественно на предметахъ, обладающихъ хорошею теплопроводностью и малою теплоемкостью,—съ тѣхъ сто-

ронъ, съ которыхъ они свободно въ безоблачную ночь испускаютъ свою теплоту въ междупланетное пространство, охлаждаясь при этомъ. Изморозь осаждается, главнымъ образомъ, на предметахъ съ плохую теплопроводностью и большою теплоемкостью, запаасающихъ въ себѣ большой запасъ холода и медленно его отдающихъ, осаждается или во время смѣны холодной погоды менѣе холодною и при тепломъ, сравнительно, и влажномъ вѣтрѣ; или, обратно,—во время смѣны теплаго и влажнаго вѣтра, несущаго насыщенный парами воздухъ съ подвѣшенными въ немъ частицами тумана, болѣе холоднымъ. Въ отличіе отъ инея, осажденію котораго подвержены преимущественно горизонтальныя поверхности и острые края тѣлъ, изморозь предпочитаетъ вертикальныя и наклонныя поверхности, но непремѣнно и только съ подвѣтренной стороны.

Любопытно—, запомнимъ это для дальнѣйшаго—, что изморозь садится тѣмъ лучше, чѣмъ тоньше предметъ, на которомъ она садится: на стебляхъ растений, на травѣ, на сжатомъ полѣ, на вѣтвяхъ деревьевъ, особенно деревьевъ съ тонкими и многочисленными развѣтвленіями—береза, ива, хвойныя—, и на кустарникахъ.

Приведу, какъ примѣръ, одно изъ наблюденій И. Пульмана, сдѣланное въ Курской губ. въ мартѣ 1907 г.

Диаметръ прута (въ мм.)	1	2	4	10	50	100
Высота изморози (въ мм.)	7	7	6	5	2	1/2
Вѣсъ изморози (въ гр. на метрѣ)	12	13	14	19	25	10

Числа эти показываютъ, что на толстыхъ вѣтвяхъ (особенно ясно это при гладкой корѣ) изморозь почти отсутствуетъ, но что на тонкихъ вѣточкахъ она осаждается въ большомъ количествѣ.

Иногда изморозь достигаетъ еще гораздо большихъ размѣровъ—до 60 мм. на вѣточкахъ и соломинкахъ,— и все-таки эта толщина ничтожна въ сравненіи съ тѣмъ, что получается на горахъ въ мощномъ потокѣ восходящаго теплаго и влажнаго воздуха: такъ, по наблюденіямъ метеорологической станціи на вершинѣ Puy de Dôme изморозь на телеграфныхъ проволокахъ достигаетъ тамъ 25—30 сантиметровъ, на телеграфныхъ столбахъ—50 см., а на мачтѣ надъ станціей—1 метра!

Изморозь и иней (а также роса) по народной примѣтѣ имѣютъ значеніе для урожая,—и это можно объяснить тѣмъ, что въ нихъ содержится гораздо большее количество амміака, чѣмъ въ дождѣ и снѣгѣ,—раза въ 3—4 больше, чѣмъ въ дождѣ, и разъ въ 5 больше, чѣмъ въ снѣгѣ,—такъ что вода этихъ осадковъ, обогащая почву азотомъ, увеличиваетъ ея плодородіе. Замѣчу, кстати, что это сравнительное богатство амміакомъ иней, изморози и росы также указываетъ на ихъ земное происхожденіе.

Переходя къ еще мало разработанному вопросу о строеніи иней, укажу, что оно въ общемъ напоминаетъ строеніе снѣжинокъ,—наблюдаются тѣ же шестиугольныя пластинки, такія же шестиугольныя звѣздообразныя развѣтвленія, такія же призмочки и пирамидки, но все это, еще менѣе правильно развитое вслѣдствіе вліянія поверхности, на которой отлагается иней или изморозь.

Когда иней или изморозь растутъ въ направленіи, перпендикулярномъ къ поверхности, образованіе ихъ идетъ гораздо правильнѣе, чѣмъ на самой поверхности, и болѣе „снѣгоподобно“. На рис. 49 вы видите иней на вѣточкѣ, а

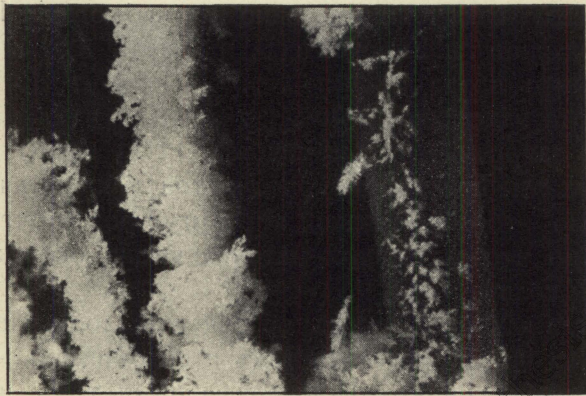


Рис. 49.

на рис. 50 и 51—отдѣльныя частицы его въ увеличенномъ видѣ, весьма напоминающія то, что мы видѣли въ снѣжинкахъ-звѣздочкахъ.

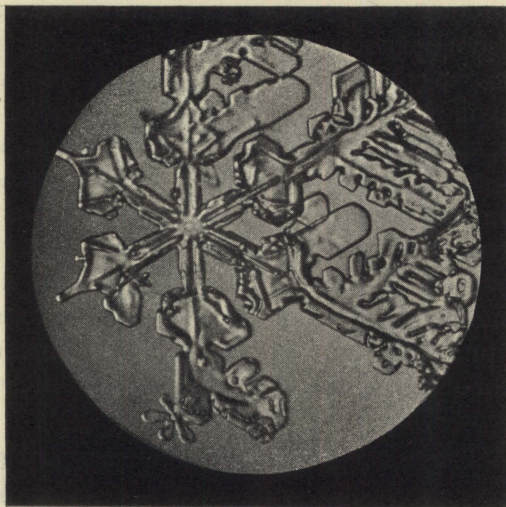


Рис. 50.

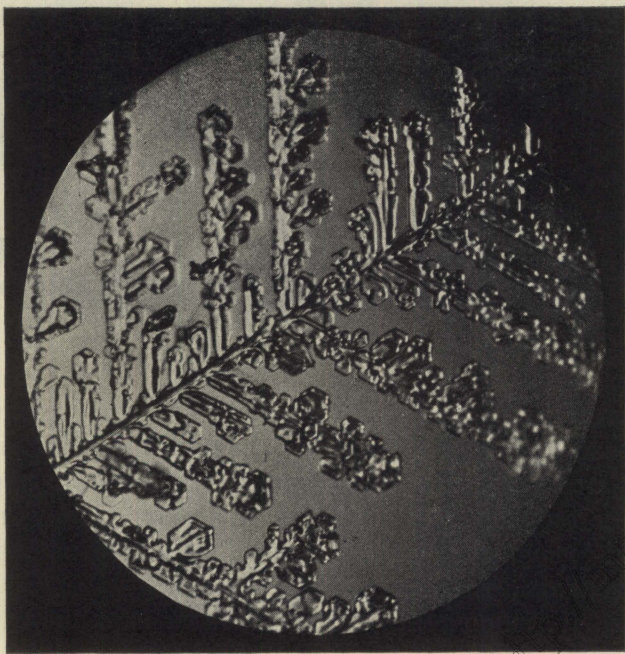


Рис. 51.

Если же иней образуется на поверхности—, въ особенности, на поверхности охлаждаемой—, то образование его идетъ не такъ воздушно и такъ свободно, направленіе осей отдѣльныхъ кристалликовъ опредѣляется особенностями поверхности, а кромѣ того частицы пара стремятся заполнить всѣ промежутки между отдѣльными кристалликами и даютъ въ концѣ концовъ сплошную кристаллическую кору. Последовательное развитіе и послѣдовательныя стадіи такого инея можно наблюдать зачастую на тѣхъ узорахъ, которые морозъ расписываетъ на окнахъ и одинъ изъ снимковъ которыхъ даетъ рис. 52. Рис. 53 даетъ въ увеличенномъ видѣ кусочекъ этого узора, и здѣсь мы уже видимъ, что оси по-



Рис. 52.

слѣдовательныхъ кристалликовъ образуютъ не вполнѣ прямая, а изогнутыя линіи, и углы между отвлѣтвленіями отклоняются отъ 60° . Эти отклоненія, вызываемыя, вѣроятно, вліяніемъ твердой поверхности, придаютъ узору то видъ вѣточекъ хвойныхъ деревьевъ, то видъ перьевъ, то видъ папоротниковъ, то видъ стеблей пальмъ.

Замѣчу, впрочемъ, что при обилии пара между стеклами оконъ здѣсь возможно предварительное ожигеніе пара въ капельки росы, а затѣмъ уже замерзаніе капелекъ

этой росы въ кристаллики льда. Тогда—, опять таки придется добавить, „вѣроятно“,—иней приобретаетъ особый зернистый видъ, и отдѣльныя зернышки имѣють форму пластиночекъ, призмочекъ и пирамидокъ, ясно видную, напр., на



Рис. 53.

рис. 54. Изъ особыхъ формъ подобнаго инея заслуживаютъ упоминанія усѣченныя пирамидки, а также четырехъ-гранныя, не встрѣчающіяся въ снѣгѣ, призмочки.

Вѣроятно, такого же происхожденія—изъ капелекъ тумана или облака—зернистый иней, который иногда покрываетъ снѣжинки, и который мы видѣли на рис. 24, 25 и 26. Иней этотъ оказывается обыкновенно покрывающимъ одну сторону пластинки, или звѣздочки, при чемъ иногда настолько обильно ее покрываетъ, что почти невозможно различить шестиугольность основы (рис. 55).

Иногда такого инея осаждается столько, что онъ образуетъ на пластинкѣ горку и даетъ особый „пирамидоидаль-



Рис. 54.

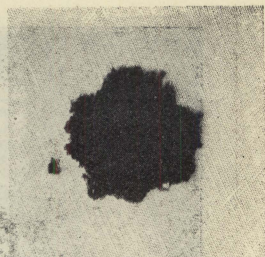


Рис. 55.

ный“ снѣгъ (рис. 56)—съ пирамидками изъ зеренъ инея на одной и даже на обѣихъ сторонахъ пластинки.

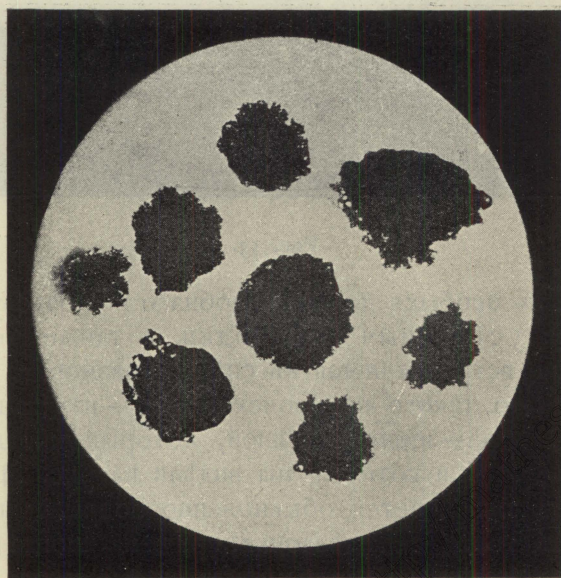


Рис. 56.

Законы паденія снѣжинокъ.

Для того, чтобы попытаться высказать нѣкоторыя догадки о томъ, какія причины вызываютъ развитіе тѣхъ формъ кристалловъ воды, которыя наблюдаются въ снѣжинкахъ,—формъ, въ общихъ чертахъ встрѣчающихся и въ инеѣ,—надо рассмотреть вопросъ о томъ, какъ должны падать снѣжинки того или другого вида. Вопросъ этотъ тоже принадлежитъ къ числу весьма не разработанныхъ: его затрогивали—и то попутно—два-три физика, два-три метеоролога, но не тѣ ученые, кому тутъ и книги въ руки,—не специалисты по гидродинамикѣ, такъ что эти вопросы представляютъ въ настоящее время своего рода *terrain neutre*.

Бабинэ и Бравэ, давшіе теорію круговъ вокругъ солнца и луны, высказали предположеніе, что кристаллы должны поворачиваться при паденіи такъ, чтобы встрѣчать наименьшее сопротивленіе,—и ихъ мнѣніе, лишь изрѣдка встрѣчая возраженія, повторялось почти всѣми, кто писалъ потомъ по этимъ вопросамъ.

Между прочимъ недавно американскій физикъ Вудъ, критикуя книгу Пернтера „*Meteorologische Optik*“, въ которой проводится этотъ принципъ наименьшаго сопротивленія, выставилъ какъ разъ противоположный принципъ: всякое тѣло при паденіи стремится ориентироваться такъ, чтобы встрѣчать наибольшее сопротивленіе, но въ качествѣ доказательствъ ссылается лишь на нѣкоторыя наблюденія: паденіе листьевъ и хвоевъ въ воздухѣ, монетъ въ водѣ и т. д.

Я выпускаю теперь изъ руки кружокъ бумаги,—и онъ падаетъ не вертикально, а горизонтально съ колебаніями въ ту и другую сторону,—опровергая принципъ Бабинэ и подтверждая принципъ Вуда. Выпускаю я изъ руки полоску бумаги,—и она падаетъ, крутясь винтообразно, а не сохраняя ни вертикальнаго, ни горизонтальнаго направленія и опровергая этимъ, какъ принципъ Бабинэ, такъ и принципъ Вуда.

Вопросъ не такъ простъ,—и правильный путь избралъ французскій метеорологъ Бессонъ, начавшій изучать, какъ падаютъ тѣла различной формы въ столбѣ жидкости. Я по-

пробую поступить нѣсколько иначе для демонстраціи вамъ законовъ (если только можно уже говорить о законахъ) паденія снѣжинокъ. Подъ потолкомъ къ общей мѣдной проволоцѣ привѣшены бумажныя модели разныхъ формъ снѣжинокъ; каждая держится на тонкой свинцовой проволоцѣ, отъ которой идетъ отдѣльный проводникъ къ замыкателю тока. Пропуская токъ чрезъ ту или иную проволоку, мы можемъ заставить любую изъ свинцовыхъ проволокъ переплавиться и отпустить соотвѣтствующій кристаллъ, изображающій снѣжинку въ увеличенномъ въ 2000 разъ размѣрѣ. Я отпускаю призматическую „снѣжинку“, привѣшенную за середину, и она падаетъ, сохраняя—съ небольшими колебаніями—ось горизонтальною, при чемъ разрѣзаетъ воздухъ не ребромъ, а гранью (рис. 57). Также падаетъ—во второй половинѣ пути—и другая такая же „снѣжинка“, которая была подвѣшена за одну изъ вершинъ. Призма съ пирамидою не обнаруживаетъ такой правильности, но все же въ ней замѣтно стремленіе двигаться „носомъ“ впередъ—и это особенно ясно у слѣдующей призмы съ пирамидою, падавшей носомъ впередъ и внизъ, такъ что ось была все время подъ угломъ къ горизонту (рис. 58): у этой второй модели пирамидка наполнена ватою, чтобы приблизить ее по неоднородности распредѣленія въ ней массы къ настоящимъ снѣжинкамъ той же внѣшней формы, въ которыхъ въ призматической части имѣется пустота. Снѣжинки, представляющія собою призмы съ пластинками на основаніяхъ, падаютъ на такомъ небольшомъ разстояніи (метровъ 8) не такъ правильно, но при большемъ просторѣ, какъ показали мнѣ опыты въ другомъ помѣщеніи, онѣ обнаруживаютъ явное стремленіе падать осью вертикально (рис. 59). Призма съ пирамидою на одномъ основаніи и съ пластинкою на другомъ поворачивается остриемъ внизъ (рис. 60), — и пластинка поддерживаетъ ее, какъ парашютъ; въ особенности отчетливо это въ такой же второй снѣжинкѣ, въ которой пирамида наполнена ватою.

Звѣздочки и пластинки большихъ размѣровъ падаютъ, на первый взглядъ, довольно неправильно, но все же можно вполне отчетливо замѣтить, что плоскость ихъ большую

часть времени паденія близка къ горизонтальности. Онѣ покачиваются въ ту и другую сторону, круто измѣняя направление движенія, когда плоскость ихъ при этихъ покачиванияхъ доходить до положенія, близкаго къ вертикальному. Иногда, когда плоскость ихъ дойдетъ до вертикальнаго положенія, пластинки начинаютъ при паденіи вращаться вокругъ одного изъ диаметровъ—и затѣмъ снова начинаютъ совершать колебательное паденіе (рис. 61).

Такія же явленія, но съ меньшими, пожалуй, размахами (рис. 62), видите вы теперь у большихъ звѣздъ, а особенно у маленькихъ звѣздочекъ изъ очень тонкой бумаги,

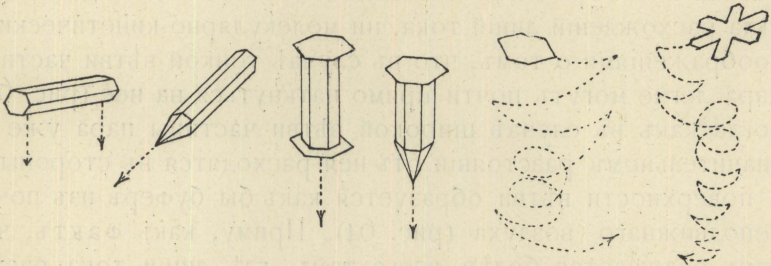


Рис. 57.

Рис. 58.

Рис. 59.

Рис. 60.

Рис. 61.

Рис. 62.

которыя теперь мы пускаемъ съ потолка большое число заразъ. Такія же покачивания и вращенія наблюдалъ однажды при очень спокойномъ воздухѣ на дѣйствительныхъ снѣжинкахъ А. И. Добровольскій.

Такіе же приблизительно результаты получаются изъ опытовъ Бессона, который указываетъ для призмъ съ пирамидою различіе въ паденіи для умѣренныхъ скоростей (нѣсколько сантиметровъ въ секунду) и для очень малыхъ скоростей (нѣсколько миллиметровъ въ секунду): въ первомъ случаѣ онѣ падаютъ при горизонтальности одной изъ боковыхъ граней, во второмъ случаѣ—вершиною внизъ. Бессонъ обращаетъ, кромѣ того, вниманіе на важное значеніе малѣйшаго несовпаденія центра тяжести съ центромъ пластинки или звѣзды, потому что тогда при очень малыхъ скоростяхъ пластинки и звѣзды падаютъ, сохраняя плоскость свою вертикальную.

Попытка объясненія генезиса различныхъ формъ снѣжинокъ.

Какое же значеніе имѣеть то, какъ падаетъ снѣжинка, для ея развитія? Смѣю высказать предположеніе, что значеніе характера паденія очень велико. Предположеніе это основываю я на томъ фактѣ, что изморозь на вѣточкахъ растетъ тѣмъ энергичнѣе, чѣмъ вѣточки тоньше. Не буду стараться объяснить этотъ фактъ ни термодинамическими соображеніями о степени охлажденія при расширеніи въ мѣстѣ разрыва непрерывности поверхностей потенциала скоростей и о вѣроятной зависимости этого охлажденія отъ угла расхожденій линий тока, ни молекулярно-кинетическими соображеніями о томъ, что въ случаѣ тонкой вѣтви частицы пара легче могутъ почти прямо наткнуться на нее (рис. 63), тогда какъ въ случаѣ широкой вѣтви частицы пара уже на значительномъ разстояніи отъ нея расходятся въ стороны, а у поверхности вѣтви образуется какъ бы буферъ изъ почти неподвижнаго воздуха (рис. 64). Приму, какъ фактъ, что паръ осаждается болѣе всего тамъ, гдѣ линии тока расходятся въ стороны.

Водяной паръ, поднявшись на достаточную высоту въ атмосферѣ, можетъ охладиться на столько, что дойдетъ до насыщенія. Если температура при этомъ окажется ниже температуры тройной точки, паръ будетъ въ состояніи начать превращаться въ твердое состояніе, — а за „зародышами“, „затравками“ дѣло врядъ ли станеть. Въ самыхъ верхнихъ этажахъ атмосферы достаточно и пылинокъ, заносимыхъ съ поверхности земли или изъ нижнихъ этажей атмосферы восходящими потоками, и пылинокъ небеснаго, космическаго происхожденія—результатовъ распыленія тѣхъ безчисленныхъ метеоритищъ, метеоритовъ и метеоритиковъ, которые непрерывно бомбардируютъ земной шаръ, — и газіоновъ, результатовъ электрическихъ процессовъ въ атмосферѣ и,

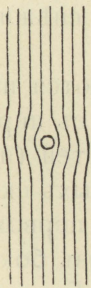


Рис. 63.

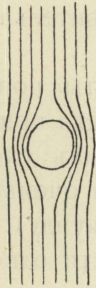


Рис. 64.

и, результатовъ электрическихъ процессовъ въ атмосферѣ и,

наконецъ, самыхъ подходящихъ зародышей—снѣжной пыли. Образуются мельчайшіе кристаллики, — стремящіяся, можетъ быть, подобно водянымъ каплямъ, выравняться другъ съ другомъ по величинѣ, — если только допустить мысль о зависимости упругости ихъ паровъ отъ размѣровъ. Болѣе крупныя кристаллики начинаютъ падать нѣсколько быстрѣе и, встрѣчая слои, болѣе богатые паромъ, начинаютъ расти.

Предположимъ, что эти эмбрионы позднѣйшихъ снѣжинокъ представляютъ собою шестигранныя пластиночки, какъ на это наводитъ форма снѣжной пыли. Вопросъ, почему —шестигранныя, *сиг autem sexangula*, есть—при современномъ состояніи нашихъ знаній о возможности сказать *a priori*, въ какой системѣ должно кристаллизоваться то или другое соединеніе,—вопросъ праздный.

Если образовалась пластиночка, то, пока она мала, она должна расти равномерно, такъ какъ она почти не разрѣзаетъ воздуха, и ея центръ почти такъ же доступенъ, какъ края. Если же къ такой ничтожныхъ размѣровъ пластинкѣ пристанетъ другая, еще меньшая, то она пристанетъ такъ, какъ приставали бы отдѣльныя частицы пара, отъ которыхъ она мало отличается вслѣдствіе малости размѣровъ,—а именно пристанетъ параллельно и такъ, что совпадутъ центры, и пойдутъ по одному и тому же направленію лучи. Получится нѣчто вродѣ усѣченной пирамидки, и эта пирамидка,—подобныя которымъ встрѣчаются въ инеѣ,—падая съ горизонтальною, по большей части, поверхностью (рис. 65), будетъ наростать уже неравномерно, а, главнымъ образомъ, въ центрѣ, и мало-по-малу изъ нея образуется пирамида, уже не усѣченная, а съ острою вершиною (рис. 66). При такомъ паденіи линіи тока воздуха, насыщеннаго паромъ, будутъ обтекать боковую поверхность пирамиды, а затѣмъ будутъ снова соединяться сзади, вслѣдствіе чего должны начать наростать и вертикальныя стѣнки шестигранной призмы на ребрахъ основанія пирамиды (рис. 67). Когда эти стѣнки достаточно поднимутся, воздухъ, находящійся въ образовавшемся углубленіи, будетъ вовлеченъ въ движеніе, линіи тока начнутъ затекать въ это углубленіе, и стѣнки станутъ расти и въ горизонтальномъ направленіи: пустота станетъ закры-

ваться горизонтальною пластинкою (рис. 68). Тотъ же процессъ образованія горизонтальныхъ слоевъ призмы можетъ произойти и при замедленіи паденія, и при вступленіи въ болѣе богатый паромъ слой. Когда горизонтальная пластинка достаточно изолируетъ находящійся въ полученной пустотѣ воздухъ, снова начнутъ расти преимущественно вертикальныя стѣнки (рис. 69), и т. д.

Такъ какъ паръ продолжаетъ осаждаться и на боковыхъ поверхностяхъ, то отдѣльныя камеры этихъ пустотъ должны быть все большихъ и большихъ размѣровъ (рис. 70).

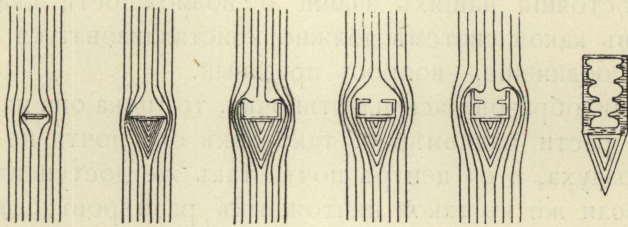


Рис. 65. Рис. 66. Рис. 67. Рис. 68 Рис. 69. Рис. 70.

Такимъ путемъ, возможно, и образуются тѣ любопытныя пустоты, которыя вы видѣли у подобныхъ снѣжинокъ.

Падаеть такая снѣжинка вершиною впередъ и внизъ и, слѣдовательно, эта вершина первую встрѣчаетъ болѣе теплые слои и, такъ какъ теплота, выдѣляющаяся при обращеніи пара въ твердое состояніе, вслѣдствіе узости ближайшихъ къ вершинѣ частей снѣжинки, медленнѣе, чѣмъ въ другихъ частяхъ, передается внутрь, то самую теплою частью снѣжинки будетъ именно ея вершина,—и потому условія смерзанія будутъ самыя благоприятныя именно тамъ. Точно также и столкновеніе вѣроятнѣе всего именно носами. И, въ самомъ дѣлѣ, срстаются такія призма-пирамиды всегда вершинами. Объяснить то, что при этомъ ихъ оси совпадаютъ, можно либо кристаллообразующими силами, либо опять таки условіями паденія: сопротивленіе воздуха выправить ихъ, если даже онѣ срстаются иначе.

Если къ пластинкѣ, пока она мала, не приросло другихъ пластинокъ,—а это вѣроятнѣе въ тѣхъ случаяхъ, когда

зеренъ кристаллизаціи, а, слѣдовательно, и отдѣльныхъ кристалликовъ мало,—то она будетъ падать ввидѣ пластинки, —и прирость ея будетъ опредѣляться главнымъ образомъ температурою и степенью влажности тѣхъ слоевъ воздуха, которые она будетъ встрѣчать при своемъ паденіи.

Вообще каждую снѣжинку мы въ правѣ разсматривать, какъ своего рода *ballon-sonde*. На главныхъ метеорологическихъ обсерваторіяхъ въ настоящее время въ особые установленные „международные дни“—выпускаютъ небольшіе „шары-зонды“, несущіе на себѣ записывающіе метеорологическіе приборы. Шары эти (обыкновенно пускаютъ два, связанныхъ другъ съ другомъ) быстро поднимаются на высоту 16—18 километровъ, при чемъ ихъ приборы записываютъ все, что происходитъ въ это время въ соотвѣтствующихъ этажахъ атмосферы; на достаточной высотѣ тотъ изъ шаровъ, который болѣе наполненъ водородомъ, лопається отъ чрезмѣрнаго растяженія и начинаетъ тянуть за собою внизъ другой—, а также приборы, которыя опять записываютъ все, что они „наблюдали“ на обратномъ пути. Таковую же запись метеорологическихъ элементовъ несетъ съ собою и всякая снѣжинка, но только пока для насъ представляются гіероглифами всѣ эти развѣтвленія, пустоты, линіи утолщенія и другія особенности снѣжинокъ, какъ представляются для несвѣдущаго человѣка гіероглифами тѣ кривыя линіи, которыя вычерчиваютъ на закопченныхъ цилиндрахъ пишущія части приборовъ шара-зонда. Но, если человѣкъ, нашедшій шаръ-зондъ и вскрывшій—въ противность предостерегающей надписи—ящикъ съ цилиндромъ, будетъ знать, что это—запись метеорологическихъ элементовъ, а не сотретъ слой копоти, какъ грязь на приборѣ, то и это значить много. Точно также, если мы придемъ къ убѣжденію, что снѣжинки представляютъ собою такихъ же подневольныхъ записывателей метеорологическихъ явленій на пути своего паденія, записывающихъ эти явленія своимъ собственнымъ тѣломъ, своею плотью и кровью, то мы рано или поздно научимся читать эти гіероглифы и будемъ разсматривать особенности строения снѣжинокъ не только съ кристаллографической точки зрѣнія, но и съ метеорологической.

Что же касается до различныхъ формъ, въ которыхъ выпадаютъ пластинчатая снѣжинки, то ихъ можно, можетъ быть, объяснить механическими условіями прогиба пластинки.

Что при паденіи пластинки—, когда ихъ поперечникъ станетъ значителенъ въ сравненіи съ ихъ толщиной,—должны нѣсколько выгибаться и падать выпуклостью внизъ, слѣдуетъ и изъ простыхъ механическихъ соображеній,—и изъ наблюдений надъ паденіемъ бумажныхъ пластинокъ и звѣздъ, и изъ одного непосредственнаго наблюденія А. И. Добровольскаго, замѣтившаго вогнутость у только что выпавшихъ звѣздочекъ, и изъ подмѣченнаго имъ и уже упомянутаго мною факта, что иней осаждается обыкновенно лишь на одной сторонѣ пластинокъ и звѣздочекъ.

Какъ же можетъ выгнуться пластинка?

Если пластинка симметрична и падаетъ довольно ровно, то въ ней возможны лишь симметричные изгибы и прогибы.

Если отогнутся два противоположныхъ ребра, то получится одинъ прогибъ по діаметру, параллельному этимъ ребрамъ (рис. 71, на которомъ, какъ и на рис. 72—80, отогнувшіяся вверхъ при паденіи пластинки части изображены болѣе густою штриховкою). Въ такомъ случаѣ при паденіи пластинка будетъ болѣе рѣзать воздухъ ребрами, составляющими уголъ въ 60° съ этимъ діаметромъ, чѣмъ ребрами ему параллельными,—и на первыхъ паръ долженъ будетъ отлагаться болѣе, чѣмъ на вторыхъ: пластинка станетъ разрастаться по этому направленію, превратится изъ правильной въ удлинненную (типъ рис. 10). Но прогнуться пластинка можетъ и по діаметру, перпендикулярному къ двумъ противоположнымъ ребрамъ (рис. 72): тогда при паденіи эти два ребра будутъ въ лучшихъ условіяхъ для роста, чѣмъ остальные четыре ребра,—и пластинка начнетъ нарастать, обращаясь въ укороченную (типъ рис. 11).

Если отогнутся три ребра, то при симметрии это могутъ быть лишь ребра черезъ одно,—и въ пластинкѣ получатся три изгиба, а треугольное среднее поле останется плоскимъ (рис. 73); въ этомъ случаѣ паръ будетъ осаждаться преимущественно на остальныхъ трехъ ребрахъ пластинки,—и пластинка станетъ обращаться въ треугольнико-

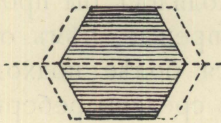


Рис. 71.

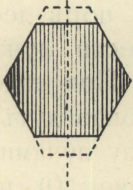


Рис. 72.

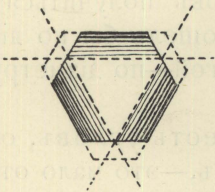


Рис. 73.

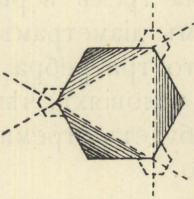


Рис. 74.

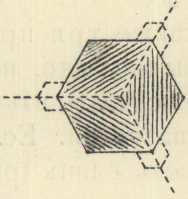


Рис. 75.

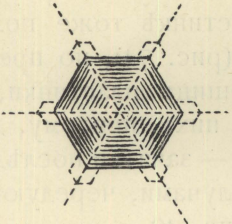


Рис. 76.

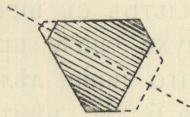


Рис. 77.

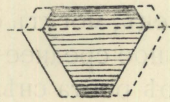


Рис. 78.

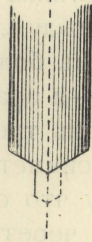


Рис. 79.

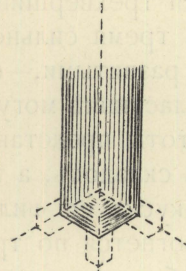


Рис. 80.

<http://mathesis.ru>

подобную (типъ рис. 13). Если же отогнутся три угла—тоже черезъ одинъ—, то въ пластинкѣ тоже получится плоское треугольное среднее поле (рис. 74), но преимущество будетъ на сторонѣ трехъ вершинъ пластинки, лежащихъ между отогнутыми углами. На нихъ, поэтому, должны получиться трехвершинныя лопасти—зачатки послѣдующей звѣзды съ тремя сильно развитыми лучами, чередующимися съ менѣе развитыми,—см., напр., рис. 40.

Въ пластинкѣ могутъ получиться также три прогиба. Для простоты представьте себѣ, что вы желаете, не дѣлая на бумагѣ складокъ, а только сгибая ее, сдѣлать изъ шестиграннаго куска ея фильтръ съ тремя пазухами. Если пластинка прогнется по тремъ лучамъ черезъ одинъ (рис. 75), то тоже будутъ наростать лопасти на трехъ вершинахъ. Если же пластинка прогнется по тремъ діаметрамъ, дѣлящимъ углы между лучами пополамъ, то три ребра черезъ одно будутъ въ болѣе благоприятныхъ условіяхъ, чѣмъ промежуточные,—и правильная пластинка будетъ стремиться къ превращенію въ треугольникоподобную.

Двухъ симметричныхъ прогибовъ получиться не можетъ, потому что одинъ изъ нихъ пошелъ бы по діаметру, проходящему черезъ два луча, а другой—по діаметру, дѣлящему уголъ пополамъ.

Наконецъ, могутъ отогнуться шесть угловъ, оставивъ шестиугольное среднее поле плоскимъ,—это мало отразится на характерѣ роста снѣжинки, — и могутъ—самая симметричная изъ всѣхъ разобранныхъ до сихъ поръ деформаций—получиться шесть прогибовъ по шести лучамъ на бумажкѣ—фильтръ съ шестью пазухами. При паденіи и давленіи воздуха снизу прогибы эти произойдутъ въ такую сторону, что линіи, дѣлящія углы между лучами пополамъ, поднимутся болѣе, чѣмъ самые лучи (рис. 76), ибо въ противоположномъ случаѣ воздуху приходилось бы пройти болѣе длинный путь вдоль пластинки прежде, чѣмъ онъ покинулъ бы ее,—и вершины окажутся болѣе подходящими мѣстами для осаждения паровъ, чѣмъ середины реберъ. А въ такомъ случаѣ на нихъ и начнутъ наростать лопастеобразныя лучи: пластинка мало-по-малу начнетъ обращаться въ шести-

угольную звѣзду съ шестиугольнымъ среднимъ полемъ и съ трехвершинными лопастями.

Разсмотримъ еще, какъ могутъ изгибаться пластинки, переставшія быть правильными и превратившіяся въ удлиненныя (рис. 71), въ укороченныя (рис. 72) или въ треугольнико-подобныя (рис. 73). Удлиненныя и укороченныя будутъ изгибаться либо по тѣмъ линиямъ, по какимъ онѣ были изогнуты при ихъ образованіи,—и тогда отклоненіе формы отъ правильнаго шестиугольника будетъ становиться еще рѣзче, —либо по линиямъ, перпендикулярнымъ къ обозначеннымъ на рис. 71 и 72, и тогда онѣ будутъ возвращаться къ правильной формѣ. У треугольнико-подобной пластинки либо по прежнему отогнутся три края, оставивъ неизмѣненнымъ среднее поле (рис. 73),—и тогда она будетъ еще болѣе приближаться къ треугольнику,— либо же она прогнется такъ, какъ изображено на рис. 77, и станетъ обращаться въ треугольнико-подобную съ удлиненнымъ краемъ, либо же она изогнется такъ, какъ изображено на рис. 78, и станетъ обращаться въ треугольникоподобную съ усѣченнымъ краемъ.

Попробуемъ теперь на основаніи такихъ же соображеній предсказать, какъ должно пойти развитіе тѣхъ трехвершинныхъ лопастей, которыя могутъ образоваться на вершинахъ пластинки. Когда одна изъ такихъ лопастей звѣзды достаточно разовьется, она можетъ изогнуться (рис. 79),— и тогда ея конечная вершина станетъ рѣзать воздухъ болѣе и будетъ въ болѣе благоприятныхъ условіяхъ, чѣмъ боковыя вершины той же лопасти,— и на концѣ лопасти начнетъ расти новая, меньшая лопасть.

Если же получатся три прогиба по тремъ лучамъ лопасти (рис. 80), то на каждой вершинѣ получится по новой лопасти,—и такимъ образомъ будетъ мало-по-малу развиваться та древовидная— „дендритовая“—структура, которую мы видѣли у цѣлаго ряда снѣжинокъ.

Такимъ образомъ сопоставленіе законовъ паденія снѣжинокъ съ механическими условіями изгиба шестиугольных пластинокъ и съ фактомъ преимущественнаго наростанія изморози на стебляхъ, указывающимъ, что мѣрь осаждается преимущественно тамъ, гдѣ струя несущаго его воздуха

разрѣзывается препятствіемъ, позволяетъ дать отчетъ въ возникновеніи самыхъ разнообразныхъ формъ снѣжинокъ.

Повторяю, впрочемъ, что все это — догадки и при томъ догадки, принадлежація мнѣ, т. е. всего одному лицу, — научные вопросы, какъ это ни странно, рѣшаются также большинствомъ голосовъ.

Провѣркою могли бы быть одновременныя наблюденія надъ снѣжинками во всѣхъ этажахъ атмосферы, — напр., въ зимніе подъемы на воздушныхъ шарахъ или при посредствѣ шаровъ-зондовъ, снабженныхъ приспособленіями, которыя на разной высотѣ захватывали бы носящіяся въ воздухѣ вокругъ нихъ снѣжинки и приносили бы ихъ на землю.

Оптическія явленія въ атмосферѣ, вызываемыя наличностью въ ней кристалловъ снѣга.

Изученіе законовъ паденія снѣжинокъ имѣетъ большое значеніе и для другой области нашихъ свѣдѣній о природѣ — для объясненія тѣхъ любопытныхъ оптическихъ явленій, которыя вызываются наличностью кристалловъ воды въ верхнихъ и среднихъ этажахъ атмосферы, а именно, круговъ вокругъ солнца и луны, столбовъ около нихъ и побочныхъ или ложныхъ солнць и лунь. На рис. 81 вы видите одно изъ наиболѣе интересныхъ и сложныхъ явленій этого рода, наблюденное и зарисованное Данцигскимъ астрономомъ Юганномъ Гевелемъ въ 1661 г. и представляющее почти всѣ самыя существенныя особенности такихъ явленій. Вокругъ солнца *A*, мы видимъ три круга: два *цветныхъ* —, одинъ, какъ слѣдуетъ изъ ряда аналогичныхъ наблюденій и измѣреній, имѣетъ радіусомъ уголъ въ 22° , другой — уголъ въ 46° , — и третій *бѣлый* — съ угломъ въ 90° (довольно рѣдкій). Меньшій кругъ имѣетъ три яркихъ мѣста —, два, *B*, *C*, — на одной высотѣ надъ горизонтомъ съ солнцемъ, а третье, *G*, — въ одной вертикальной плоскости съ солнцемъ и наблюдателемъ, — *побочныя* или *ложныя солнца* круга 22° . Такія же яркія части имѣютъ часто и круги 46° и 90° Гевель наблюдалъ три изъ такихъ солнць: два, *D*, *E*, — въ мѣстахъ пересѣченія бѣлаго горизонтальнаго круга съ бѣлымъ кругомъ въ 90° и одно, *F*, — въ точкѣ, прямо противоположной солнцу на бѣломъ горизонтальномъ кругѣ.

Поэтому онъ и назвалъ наблюденное имъ явленіе „явленіемъ семи солнць“. Надъ вертикальными побочными солнцами Гевель наблюдалъ побочныя цвѣтныя дуги, касательныя къ цвѣтнымъ кругамъ. Такія же дуги наблюдаются и около побочныхъ солнць, лежащихъ на бѣломъ горизонтальномъ кругѣ. Кромѣ того наблюдаются иногда вертикальные бѣлые столбы надъ

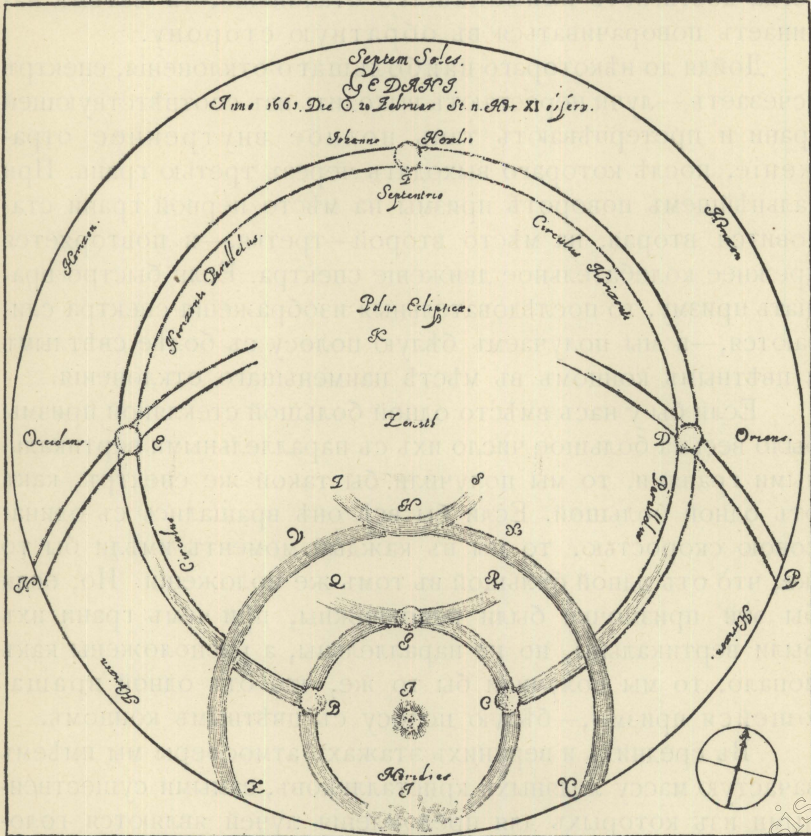


Рис. 81.

солнцемъ, а также рядъ другихъ еще болѣе рѣдкихъ явленій того же рода. Все сказанное относится также къ лунѣ.

Для объясненія этихъ явленій представимъ себѣ, что мы имѣемъ ледяную трехгранную равноугольную призму,

расположенную осью вертикально, какъ здѣсь расположена у насъ эта стеклянная призма. Если на нее падаетъ пучокъ параллельныхъ лучей свѣта, то она отклоняетъ эти лучи и вмѣстѣ съ тѣмъ разсѣиваетъ ихъ, такъ что получается спектръ. Если постепенно поворачивать призму вокругъ оси все время въ одну сторону, поворачивается и спектръ, но при дальнѣйшемъ вращеніи онъ останавливается—тогда, когда достигнетъ наименьшаго отклоненія,—и затѣмъ начинается поворачиваться въ обратную сторону.

Дойдя до нѣкотораго наибольшаго отклоненія, спектръ исчезаетъ,—лучи перестаютъ выходить изъ соотвѣтствующей грани и претерпѣваютъ тамъ полное внутреннее отраженіе, послѣ котораго выходятъ черезъ третью грань. При дальнѣйшемъ поворотѣ призмы на мѣсто первой грани становится вторая, на мѣсто второй—третья,—и повторяется прежнее колебательное движеніе спектра. Если быстро вращать призму, то послѣдовательныя изображенія спектра сливаются,—и мы получаемъ бѣлую полосу съ болѣе свѣтлымъ и цвѣтнымъ концомъ въ мѣстѣ наименьшаго отклоненія.

Если бы у насъ вмѣсто одной большой стеклянной призмы было весьма большое число ихъ съ параллельными вертикальными гранями, то мы получили бы такой же спектръ, какъ отъ одной большой. Если бы всѣ онѣ вращались съ одинаковою скоростью, то мы въ каждый моментъ имѣли бы то же, что отъ одной большой въ томъ же положеніи. Но, если бы эти призмочки были неподвижны, при чемъ грани ихъ были вертикальны, но не параллельны, а расположены какъ попало, то мы получили бы то же, что отъ одной вращающейся призмы,—бѣлую полосу съ цвѣтнымъ концомъ.

Въ среднихъ и верхнихъ этажахъ атмосферы мы имѣемъ зачастую массу ледяныхъ кристалликовъ, самыми существенными изъ которыхъ для преломленія лучей являются голоэдрическія призмы и призматическія части гемиморфныхъ призмъ. Грани этихъ призмъ составляютъ другъ съ другомъ углы въ 120° —сосѣднія грани (напр., *AB* и *BC* на рис. 82), углы въ 90° —боковыя грани съ основаниями—и углы въ 60° —боковыя грани черезъ одну (напр., *AF* и *BC* на рис. 82). Черезъ ледяную призму въ 120° лучи пройти совсѣмъ не

могут; отъ ледяной призмы въ 90° получается наименьшее отклоненіе лучей на 46° , а отъ ледяной призмы въ 60° —наименьшее отклоненіе на 22° .

Положимъ, что снѣжинки представляютъ собою именно ледяныя призмы, и рассмотримъ сначала, какое дѣйствіе могутъ онѣ оказать своими углами въ 60° . Если бы была одна такая призмочка, то идущій отъ солнца лучъ SK , входя въ грань AF и преломляясь чрезъ грань BC , выйдетъ по направленію LM ,—и глазъ, помѣщенный въ точкѣ M , кромѣ солнца видѣлъ бы окрашенное его изображеніе въ направленіи ML . Если бы была не одна такая призмочка, а цѣлое ско-

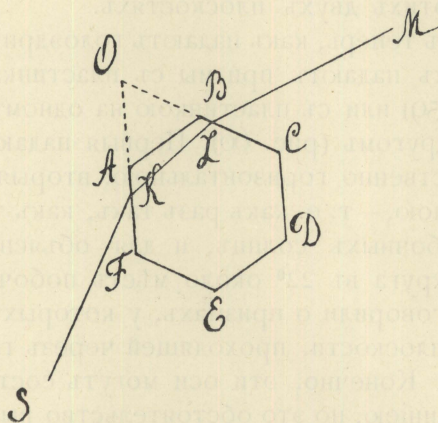


Рис. 82.

пище ихъ, и при томъ всѣ онѣ были бы невдалекѣ отъ нѣкоторой плоскости, проходящей чрезъ солнце и глазъ наблюдателя, а оси ихъ были бы перпендикулярны къ этой плоскости, то глазъ видѣлъ бы въ этой плоскости по бѣлой полосѣ въ обѣ стороны отъ солнца съ болѣе свѣтлымъ цвѣтнымъ концомъ, отстоящимъ на 22° отъ солнца. Если между солнцемъ и глазомъ находится облако, состоящее изъ призматическихъ снѣжинокъ, и чрезъ лучъ, идущій отъ солнца къ глазу наблюдателя, провести всевозможныя плоскости, то тѣ изъ лежащихъ близъ этихъ плоскостей призматическихъ снѣжинокъ, оси которыхъ будутъ близки къ перпен-

дикулярности къ этимъ плоскостямъ, и дадутъ такія полосы, начинающіяся цвѣтнымъ концомъ на разстояніи 22° отъ солнца, — и въ результатѣ ихъ дѣйствія глазъ вокругъ солнца увидѣлъ бы цвѣтной кругъ, окаймленный полемъ, болѣе свѣтлымъ, чѣмъ внутренняя часть этого круга, и имѣющій радіусомъ уголъ въ 22° , — т. е. какъ разъ то, что наблюдается въ дѣйствительности.

Но въ дѣйствительности обыкновенно наблюдается, что наиболѣе яркими частями являются части, близкія по высотѣ надъ горизонтомъ къ солнцу, и части, близкія къ вертикальной плоскости, проходящей черезъ солнце и глазъ наблюдателя, — не говоря уже о побочныхъ солнцахъ, лежащихъ какъ разъ въ этихъ двухъ плоскостяхъ.

Вспомнимъ теперь, какъ падаютъ голоэдрическія призмы (рис. 57) и какъ падаютъ призмы съ пластинками на двухъ концахъ (рис. 59) или съ пластинкою на одномъ концѣ и пирамидкою на другомъ (рис. 60). Первые падаютъ, сохраняя ось преимущественно горизонтальною; вторыя —, сохраняя ось вертикальною, — т. е. какъ разъ такъ, какъ требуется для объясненія побочныхъ солнцъ, и для объясненія наибольшей яркости круга въ 22° около мѣстъ побочныхъ солнцъ.

Пока мы говорили о призмахъ, у которыхъ оси перпендикулярны къ плоскости, проходящей черезъ глазъ наблюдателя и солнца. Конечно, эти оси могутъ составлять другіе углы съ этою линіею, но это обстоятельство вызываетъ лишь то, что мы за уголъ призмы должны принять уголъ, меньшій 60° . Теорія показываетъ, что — при преимущественной наличности призмъ съ горизонтальными и вертикальными осями — эта измѣнчивость угла призмы должна вызвать дуги, касательныя къ цвѣтному кругу въ 22° .

Форма этихъ, вообще говоря, слабыхъ дугъ, даваемая теоріей, далеко не всегда такъ проста, какъ — по стремленію къ симметріи — изображалъ ихъ Гевель и нѣкоторые другіе наблюдатели, но самыя разнообразныя формы, зарисованныя другими наблюдателями, всѣ укладываются въ рамки теоріи, объясняющей даже такую странную и красивую форму, какую вы видите теперь на рис. 83; рисунокъ этотъ сдѣланъ съ фотографіи, снятой на вершинѣ Sonnenblick.

Уголъ въ 90° , который можетъ вызвать совершенно аналогичные круги, побочныя солнца и касательныя дуги, но съ угломъ въ 46° , не можетъ быть такъ дѣйствителенъ, какъ уголъ въ 60° ,—какъ по причинѣ, что въ призмахъ вблизи этого угла имѣются пустоты (причина, указанная А. И. Добровольскимъ), такъ и вслѣдствіе меньшей площади

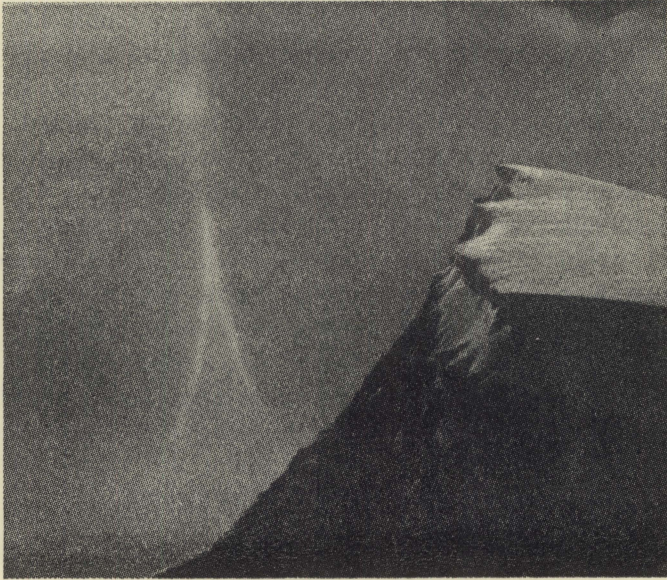


Рис. 83.

основаній въ сравненіи съ боковыми гранями. Поэтому круги въ 46° со всѣми ихъ атрибутами встрѣчаются гораздо рѣже, чѣмъ круги въ 22° .

Бѣгло осмотримъ теперь остальныя явленія, вызываемыя не преломленіемъ, а отраженіемъ—обыкновеннымъ, отъ переднихъ граней призмъ у пластинокъ и звѣздочекъ, и внутреннимъ, отъ поверхностей заднихъ граней. Призмы, пластинки и симметричныя звѣздочки падаютъ такъ, что у нихъ преимущественное направленіе граней—горизонтальное. Боковыя грани призмъ съ пирамидами (гемиморфныхъ), осно-

ванія голоэдрическихъ призмъ и поверхности несимметричныхъ звѣздъ, если основываться на наблюденіяхъ Бессона,—вертикальны. Отраженіе лучей солнца отъ вертикальныхъ граней должно давать горизонтальный бѣлый кругъ, какой получается теперь при вращеніи вокругъ вертикальной оси плоскаго зеркала, отраженіе же отъ горизонтальныхъ граней тѣхъ снѣжинокъ, которыя находятся высоко надъ нами, должно давать вертикальный столбъ надъ солнцемъ, подобный—по происхожденію—столбамъ на водѣ отъ солнца или луны.

Полное внутреннее отраженіе объясняетъ и бѣлый кругъ съ отверстіемъ въ 90° , и соотвѣтствующія побочныя солнца, и „противоположное солнце“, и еще многія явленія, которыя глазъ видитъ иногда на небѣ, благодаря присутствію между нимъ и солнцемъ скопищъ снѣжинокъ.

Оканчивая этимъ мой, поневолѣ, краткій обзоръ физическихъ свѣдѣній о снѣгѣ, позволю себѣ выразить надежду, что, послѣ того, что вы видѣли здѣсь сегодня, вы, когда вамъ на рукавъ попадетъ зимою снѣжинка, можетъ быть, не всегда съ досадою встряхнете ее, а полюбуетесь, какъ испаряется она, не плавясь, какія красивыя отвѣтвленія она имѣетъ,—и полюбуетесь не только съ эстетической точки зрѣнія, а также съ точки зрѣнія, мнѣ наиболѣе близкой и дорогой,—съ точки зрѣнія физической.

ГРАДЪ. ЛЕДЪ.

Ледяной дождь.

Когда паръ воды попадаетъ въ слои атмосферы съ достаточно низкою температурою, онъ обращается въ жидкое или въ твердое состояніе, смотря по тому, будетъ ли его упругость больше или меньше упругости пара въ тройной точкѣ, и образуетъ облака изъ капелекъ воды или изъ снѣжинокъ.

Пока паръ былъ паромъ, его частицы двигались вмѣстѣ съ частицами окружающаго воздуха, какъ вѣрныя спутницы, непрерывно съ ними сталкивавшіяся. Но, когда паръ перестаетъ быть паромъ, его частицы какъ бы остепеняются и, соединившись въ капельки воды или въ кристаллики снѣга, начинаютъ медленно удаляться внизъ отъ своихъ недавнихъ товарищей, отъ частицъ окружающаго воздуха. Какъ бы малы эти капельки или кристаллики ни были, съ какою бы скоростью и въ какомъ бы направленіи ни двигалось облако изъ нихъ, капельки или снѣжинки эти относительно окружающаго воздуха непрерывно падаютъ.

Обыкновенно, чѣмъ слой воздуха ближе къ поверхности земли, тѣмъ онъ теплѣе и влажнѣе. Поэтому наши капли и кристаллики, по большей части, по мѣрѣ опусканія растутъ и выпадаютъ, наконецъ, ввидѣ дождя или снѣга. Если же нижніе слои бѣдны влагою, то дождевыя капли и снѣжинки могутъ не расти, а испаряться,—и лѣтомъ случается видѣть, что пелена дождя, идущаго изъ тучи, становится все рѣже и свѣтлѣе по мѣрѣ приближенія къ поверхности земли и иногда вовсе и не доходитъ до нея.

Не всегда, однако, первоначальныя капли достигаютъ земли ввидѣ дождя, а первоначальныя кристаллики—ввидѣ снѣга. Если температура нижнихъ слоевъ выше 0° , то снѣжинки могутъ оплавиться и даже расплавиться, выпадаетъ мокрый

снѣгъ или очень холодный „ледяной“ дождь. Весьма вѣроятно, что многіе весенніе и осенніе дожди, встрѣты ихъ воздухоплаватель на нѣкоторой высотѣ, были бы для него снѣгомъ. Такимъ образомъ, парь, превратившійся въ верхнихъ этажахъ атмосферы непосредственно въ твердое состояніе, можетъ, однако, выпасть на землю въ жидкомъ состояніи.

Для того же, чтобы парь, обратившійся первоначально въ жидкое состояніе, достигъ поверхности земли въ твердомъ состояніи, нужны особыя условія, а именно нужно, чтобы дождевыя капли на своемъ пути внизъ встрѣтили не слои, болѣе теплые, какъ бываетъ обыкновенно, а слои, болѣе холодные и даже не только болѣе холодные, но имѣющіе температуру ниже нуля.

Такіе случаи возможны, съ одной стороны, тогда, когда мы встрѣчаемся съ явленіемъ такъ называемаго отрицательнаго термическаго градіента. Явленіе это, довольно частое въ лѣтнее время, когда нижніе слои нагрѣваются и охлаждаются быстрѣе верхнихъ, состоитъ въ томъ, что между двумя горизонтальными слоями воздуха болѣе высокой температуры находится слой воздуха температуры, болѣе низкой. Такъ какъ такое расположеніе не соотвѣтствуетъ условіямъ равновѣсія, то оно часто завершается рѣзкимъ опрокидываніемъ болѣе холоднаго слоя внизъ, выраженіемъ чего является во многихъ случаяхъ буря и гроза.

Съ другой стороны, дождевыя капли, опускаясь относительно окружающаго воздуха, могутъ достигъ мѣстъ съ температурою ниже 0° и въ тѣхъ случаяхъ, когда этотъ окружающій воздухъ достаточно быстро поднимается вверхъ, —напр., въ центральныхъ частяхъ „воздуховоротовъ“, которые въ миниатюрѣ каждый изъ насъ видѣлъ на примѣрѣ „пыльных вихрей“, и которые въ болѣе грандіозномъ видѣ называются смерчами, тайфунами и т. п.

Капли „дожда“, попадая въ слои съ температурою ниже 0° , должны были бы начать замерзать, но для начала замерзанія нужно „зерно кристаллизаціи“ или какой нибудь рѣзкій толчекъ, а такіе толчки капля, несомая самымъ бѣшенымъ ураганомъ, можетъ получать только при столкновеніяхъ съ другими каплями. Поэтому капли эти должны

быть весьма склонными къ переохлажденію. Навѣрняка дѣйствующія зерна кристаллизаціи, т. е. кристаллики твердой воды, могутъ быть только у такихъ капелекъ, которыя представляютъ собою еще не вполне расплавившіяся снѣжинки, — и такія капли могутъ упасть, либо сплошь обратившись снова въ твердое состояніе, либо — отчасти, но и въ томъ, и въ другомъ случаѣ форма осадка будетъ близкою къ шарообразной.

Такого происхожденія, думается мнѣ, тотъ гидрометеоръ, который выдѣлилъ изъ прочихъ формъ водяныхъ осадковъ К. Н. Жукъ, придавъ ему названіе „ледяного дождя“. Это — небольшіе ледяные шарики, иногда не сплошь состоящіе изъ льда, а имѣющіе лишь ледяную оболочку и жидкое содержимое.

Такъ же К. Н. Жукъ называетъ однако и дождь, состоящій изъ капелекъ очень холодной воды, и дождь, состоящій изъ капелекъ переохлажденной воды, которые, ударяясь о твердыя поверхности, „моментально и типично замерзали“.

Дождь изъ капелекъ переохлажденной воды покрываетъ предметы, на которые онъ падаетъ, болѣе или менѣе толстымъ слоемъ льда — *гололедицею*. На югѣ гололедица бываетъ иногда причиною гибели растительности: сучья и вѣтви оказываются покрытыми слоемъ льда толщиной въ нѣсколько сантиметровъ, и, хотя деревья съ такимъ уборомъ представляются при солнечномъ или лунномъ свѣтѣ волшебнo красивыми, но зачастую вѣтви ихъ не выдерживаютъ непосильнаго груза, ломаются, и отъ пышнаго дерева остается голый стволъ. Я живо помню одну такую гололедицу въ Одессѣ, когда телеграфныя проволоки рвались отъ тяжести покрывшей ихъ толстымъ слоемъ хрустально-прозрачной ледяной оболочки и валили телеграфныя столбы, когда лошади и люди ломали себѣ ноги на улицахъ, когда, напр., одинъ весьма почтенный профессоръ, подѣхавъ вечеромъ къ своей квартирѣ, могъ перебраться черезъ тротуаръ къ подъѣзду, только надѣвъ калоши на руки и пойдя на четверенькахъ.

Но такое обращеніе выпадающаго ледяного дождя въ твердое состояніе можетъ лишь отчасти вызываться переохлажденіемъ, такъ какъ даже при переохлажденіи до -10°

имѣющійся въ капль „запасъ холода“ можетъ обратить въ твердое состояніе лишь одну ея восьмую, а выдѣляющаяся при этомъ превращеніи теплота нагрѣетъ остальные семь восьмыхъ до 0° , уничтоживъ тѣмъ самымъ ихъ переохлажденіе. Такимъ образомъ, для полного превращенія ледяного дождя изъ переохлажденной воды въ гололедицу температура воздуха и поверхности земли должна быть ниже нуля.

Г р а д ь .

Точно также двѣ переохлажденные капли при столкновеніи могутъ лишь отчасти обратиться въ твердое состояніе, если температура воздуха тамъ, гдѣ произошло такое столкновеніе, равна или выше 0° . Но, такъ какъ вѣроятнѣе, что температура воздуха, чрезъ который падаютъ такіа переохлажденные капли, ниже 0° , то весьма возможно, что двѣ столкнувшіяся жидкія капли скоро превратятся въ одну твердую, которая будетъ продолжать падать внизъ. Когда снова будетъ сталкиваться съ переохлажденными каплями эта *градина*, — назовемъ ее уже тѣмъ именемъ, какое дается такому гидрометеору, потому что, повидимому, именно такова физическая сторона процесса образованія градинъ, — переохлажденные капли или будутъ успѣвать обволокнуть градину прежде, чѣмъ замерзнуть, или будутъ примерзать вблизи отъ того мѣста, гдѣ онѣ ударились въ градину. Бла-

годаря этому градина должна пріобрѣтать въ концѣ концовъ слоистое или зернистое строеніе, какое и наблюдается обыкновенно у градинъ, — взгляните, напр., на рис. 84—86. Зернистое строеніе будетъ получаться и въ тѣхъ случаяхъ, когда будутъ сталкиваться между собою не вполне замерзшія капли. вмѣстѣ съ тѣмъ такое же зернистое строеніе получить и большая масса во-

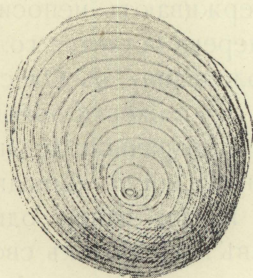


Рис. 84.

ды, свободно замерзающая, но каждое изъ зеренъ будетъ кристаллической структуры, какъ въ случаѣ искусственнаго льда—съ тою разницею, что вымораживаемый воздухъ бу-

дѣть скопляться въ наружныхъ слояхъ, которые, какъ это обыкновенно и наблюдается въ градинахъ, будутъ мутнѣе внутреннихъ.

Подобными процессами можно объяснить происхожденіе многихъ формъ градинъ, нѣкоторыя изъ которыхъ изображены на рис. 84—94, 96 и 97. Изъ этихъ изображеній только рис. 87 представляетъ собою одинъ изъ двухъ фотографическихъ снимковъ—въ натуральную величину—града, выпавшаго 8 іюля 1893 въ Йоркширѣ: это—единственные извѣстные мнѣ опубликованные снимки градинъ, сдѣланные, вѣроятно, благодаря довольно крупнымъ размѣрамъ града.

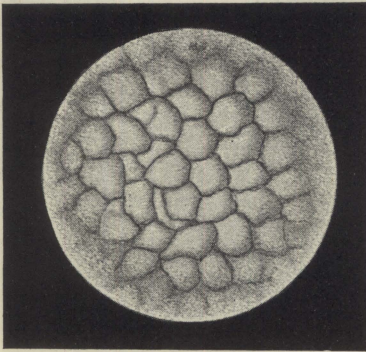


Рис. 85.

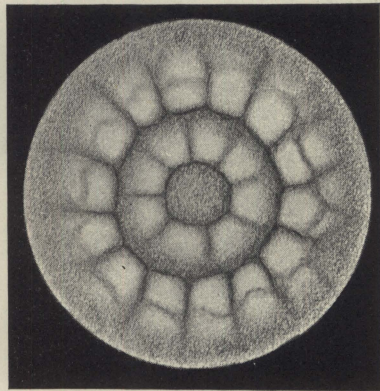


Рис. 86.

обратившимъ на себя вниманіе и позволившимъ сохранить его довольно долго. Обыкновенно градъ таетъ вскорѣ послѣ того, какъ онъ выпадаетъ, и наблюдатели довольствуются спѣшнымъ зарисованіемъ уже довольно оплавившихся градинъ. Между тѣмъ только тогда изслѣдованіе структуры града станетъ на твердую почву, когда мы будемъ имѣть въ распоряженіи много фотографій, а не рисунковъ градинъ, или научимся консервировать его до зимы, втеченіе которой можно было бы спокойно анатомировать и изучать его.

Гипотезы о происхожденіи града.

То, что я высказалъ объ образованіи градинъ, представляетъ собою догадки, касающіяся физическихъ условій

ихъ происхожденія. Не менѣ темною, не менѣ гадательною является метеорологическая сторона, которой я коснусь только по отношенію къ основному вопросу: земного или космическаго происхожденія градъ?

Большинство авторовъ стоитъ на первой точкѣ зрѣнія и въ пользу ея приводитъ связь града съ бурями и грозами: по ихъ мнѣнію, градъ происходитъ изъ водяныхъ капелекъ,

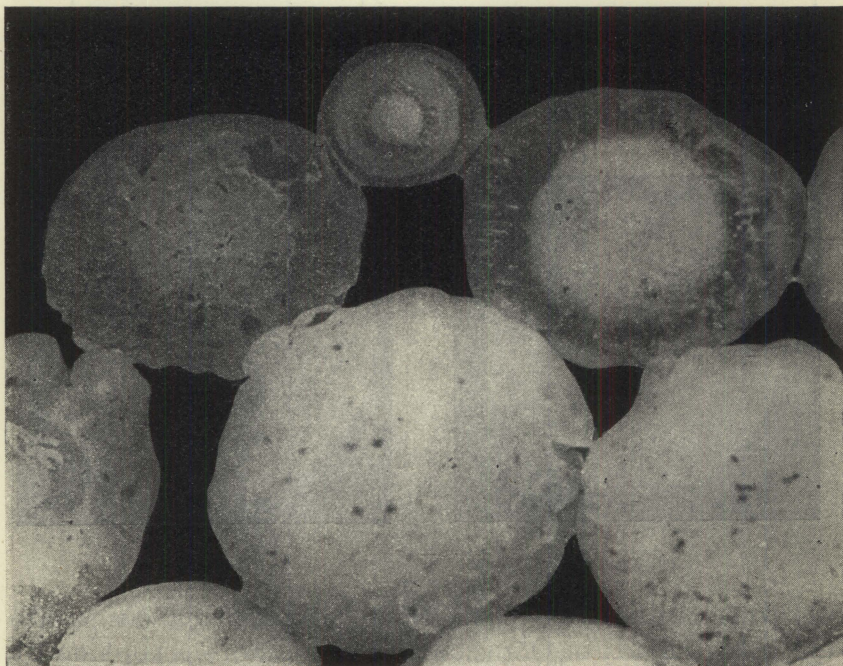


Рис. 87.

капель и даже прямо сплошныхъ массъ земной воды, втянутыхъ въ верхніе холодные слои атмосферы вихрями. Но та же связь града съ бурями проф. Шведовымъ¹⁾ выставилась, какъ доказательство высказанной имъ гипотезы космическаго происхожденія града: онъ разсматривалъ градины, какъ особаго рода метеориты, вовлеченные земнымъ притяженіемъ изъ междузвѣзднаго пространства въ круговращеніе вокругъ

¹⁾ Въ рядѣ статей въ Журн. Р. Физ. Хим. Общ. за 1880 и 1881 гг.

земного шара и сбрасываемые съ ихъ орбитъ бурями, рѣзко нарушающими вертикальное распредѣленіе слоевъ, или же, наоборотъ, вызывающіе своимъ вторженіемъ въ атмосферу бурю.

Еще однимъ изъ доказательствъ космическаго происхожденія града считалъ Шведовъ прекрасно развитые кристаллы льда, наблюдаемые иногда на градинахъ,—напр., на градинахъ, выпавшихъ въ 1873 г. на Бѣломъ Ключѣ (Кавказъ) и зарисованныхъ Абихомъ (двѣ изъ нихъ изобра-

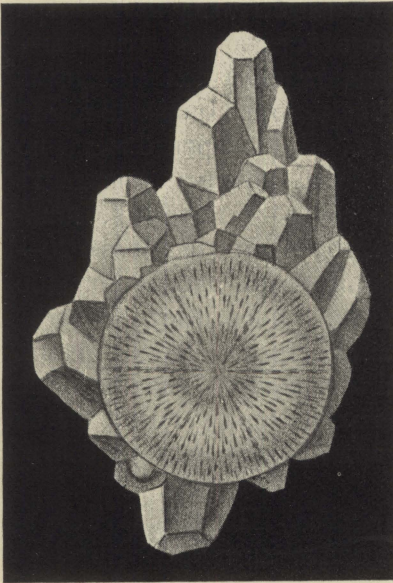


Рис. 88.

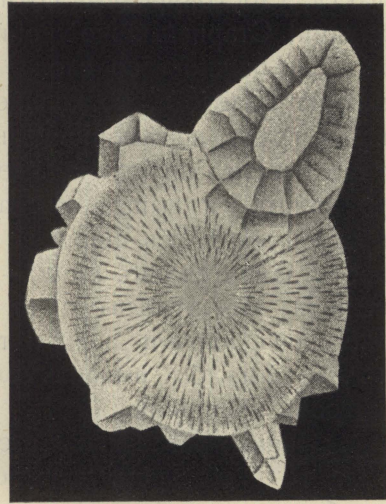


Рис. 89.

жены въ натуральную величину на рис. 88 и 89). Такіе кристаллы, по мнѣнію Шведова, требовали для своего образованія очень большого времени.

Точно также въ пользу космическаго происхожденія града приводилъ Шведовъ, въ числѣ другихъ аргументовъ, громадныя размѣры, которыхъ достигаютъ градины и которыхъ онѣ никакъ не могли бы достигнуть, если бы онѣ происходили изъ находящейся въ атмосферѣ влаги.

Въ самомъ дѣлѣ, въ то время, какъ наибольшія капли тропическихъ дождей достигаютъ лишь одной-двухъ десятыхъ долей грамма, а наибольшіе, зарегистрированные К. Н. Жукомъ, шарики ледяного дождя не достигаютъ и одной десятой, весьма обычны градины „въ вишню“—въ 1—2 грамма, „въ голубиное яйцо“, „въ куриное яйцо“—въ десятокъ-другой граммовъ. Но въ метеорологическія лѣтописи занесено довольно много случаевъ градинъ въ нѣсколько сотъ граммовъ и даже въ нѣсколько килограммовъ вѣсомъ, а Андриесъ въ *Annalen der Hydrographie und maritimen Meteorologie* цитируетъ паденіе въ Бланкенратѣ глыбы льда въ 2 метра длиною, въ метръ шириною и соответствующей толщины—фактъ, удостовѣренный сотнею свидѣтелей и должностными лицами! Старинныя же хроники описываютъ выпаденіе глыбъ льда „величиною со слона“ и т. п.. Еще характернѣе, по мнѣнію Шведова, то количество воды, которое выпадаетъ ввидѣ града: нерѣдки случаи, что градъ—, который, замѣтимъ кстати, никогда не идетъ долгое время, не болѣе 20—30 минутъ, и выпадаетъ на сравнительно небольшой (по крайней мѣрѣ, въ ширину) площади, — покрываетъ поверхность земли слоемъ въ 20—30 сантиметровъ. Между тѣмъ, если бы вся атмосфера до самихъ верхнихъ слоевъ была насыщена парами воды и температура сразу упала бы на 10° , то могъ бы выпасть слой воды всего въ 4—5 сантиметровъ толщиною.

Очень оригинальная и смѣлая мысль Шведова не встрѣтила въ свое время сочувствія среди метеорологовъ, но пробудила новый интересъ къ этому любопытному явленію и заставила сторонниковъ земного происхожденія града собраться съ новыми силами и заняться и собираніемъ новыхъ фактовъ, и подыскиваніемъ новыхъ аргументовъ.

Въ настоящее время въ качествѣ весьма вѣскаго возраженія гипотезѣ Шведова можно привести то, что въ градинахъ находили куски земныхъ породъ—кусочки алебастра, бактерии и даже черепаху, какъ это было въ маѣ 1894 г. въ Бовинѣ (Соед. Штаты), гдѣ въ качествѣ градины выпала черепаха въ 15 см. ширины и 20 см. длины, покрытая со всѣхъ сторонъ слоемъ льда.

Главному же аргументу Шведова, касающемуся громадности выпадающих слоев града (сюда же причисляет онъ и многія ливни, рассматривая ихъ, какъ расплавишійся градъ) сравнительно съ запасомъ влаги въ атмосферѣ, противопоставляется возможность втягиванія воды въ жидкомъ состояніи вихрями изъ земныхъ водоемовъ въ верхніе слои атмосферы. Соотвѣтственно этому взгляду во многихъ случаяхъ градъ происходитъ изъ земной воды, непосредственно замерзшей, — безъ предварительнаго перехода ея въ паробразное состояніе, безъ предварительной ея перегонки.

Что у вихрей можетъ хватить силы, въ буквальномъ смыслѣ этого слова, на то, чтобы поднимать въ высь такія громадныя массы воды и поддерживать ихъ тамъ втеченіе времени, достаточнаго для того, чтобы онѣ тамъ замерзли, въ этомъ врядъ-ли вы усомнитесь, если я приведу вамъ два-три случая изъ дѣятельности вихрей и смерчей.

31 мая 1891 г. въ Новскѣ циклонъ опрокинулъ поѣздъ и перенесъ три вагона на разстояніе 30 метровъ черезъ телеграфные провода, поломалъ, расположивъ ихъ по спирали, болѣе 100 тысячи дубовъ и кленовъ со среднимъ діаметромъ въ метръ и т. д. (описаніе проф. Мохоровича въ Аграмѣ). Въ Кирксвиллѣ (штатъ Миссури) въ апрѣлѣ 1889 г. ураганъ срывалъ крыши, поднималъ повозки, дома и на глазахъ очевидца взметнулъ на высоту нѣсколькихъ десятковъ метровъ цѣлый домъ, который и расщепилъ тамъ на тысячу кусковъ, унеся ихъ неизвѣстно куда.

А вотъ и еще болѣе близкіе къ нашему вопросу факты. Въ Шатенэ (департаментъ Сень-э-Уазъ) смерчь „вытянулъ прудъ“ и вылилъ его черезъ нѣкоторое время на сосѣдную долину, покрывъ ее трупами тысячъ рыбъ; въ августѣ 1892 г. въ Падерборнѣ выпалъ ливень, принесшій сотни живыхъ рыбокъ; въ августѣ 1888 г. на Женевскомъ озерѣ вихрь поднялъ столбъ воды, поднявшійся въ пять минутъ километровъ на пять, — и т. д., и т. д.. Слѣдовательно, самую возможность занесенія земной воды въ верхніе слои атмосферы нужно считать несомнѣнною.

Наконецъ, что касается большого времени, потребнаго для образованія правильно развитыхъ большихъ кристалловъ

льда, то, вѣроятно, Шведовъ взялъ бы этотъ доводъ обратно, еслибы увидѣлъ тотъ опытъ кристаллизаціи переохлажденной воды, который вы увидите здѣсь.

Такимъ образомъ, далеко не считая остроумную гипотезу Шведова опровергнутою и допуская, что нѣкоторые случаи града могутъ быть космическаго происхожденія, я всетаки долженъ высказать мнѣніе, что главные доводы этой гипотезы за эти 27 лѣтъ потеряли значительную часть своей убѣдительности, и что многіе выдающіеся случаи града—несомнѣнно земного происхожденія.

Во всякомъ случаѣ за Шведовымъ остается крупная заслуга въ этомъ отношеніи, а многія изъ его обобщеній не теряютъ никогда своего значенія,— напр., то, что форма градинъ очень часто напоминаетъ формы, которыя принимаетъ жидкая капля, приведенная въ быстрое вращеніе,— формы сплюсненнаго сфероида, даже съ углубленіемъ на концахъ короткой оси,— и то, что прослойки между отдѣльными „зернами“ градинъ перпендикулярны къ ихъ поверхности—указаніе на замерзаніе съ поверхности.

Искусственныя градины.

Условія, въ которыхъ можетъ происходить замерзаніе увлекаемыхъ и увлеченныхъ вверхъ вихревыми движеніями массъ воды, смерзаніе ихъ другъ съ другомъ и столкновенія ихъ между собою, могутъ быть настолько разнообразными, что возможны самыя различныя внѣшнія очертанія у градинъ такого происхожденія,— если, прибавлю изъ осторожности, таково иногда происхожденіе града. Это разнообразіе формъ отчетливо выступаетъ, напр., изъ сравненія рис. 90—94.

Если же градъ происходитъ изъ замерзшихъ капелекъ переохлажденной воды, составлявшихъ облако, то формы и структура градинъ будутъ менѣе разнообразны,— и въ этомъ отношеніи нельзя не упомянуть очень интересные опыты проф. Н. А. Гезехуса. Опыты эти имѣли цѣлью полученіе искусственныхъ градинъ изъ расплавленной сурьмы, которая была взята для этихъ опытовъ по тому, что она,

подобно водѣ, увеличивается въ объемѣ при затвердѣваніи. Выливая расплавленную сурьму въ холодную воду, Н. А.

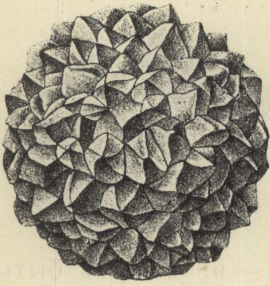


Рис. 90.

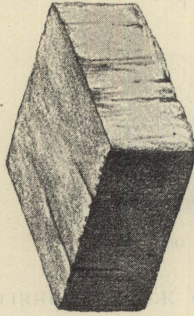


Рис. 91.



Рис. 92.

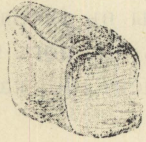


Рис. 93.

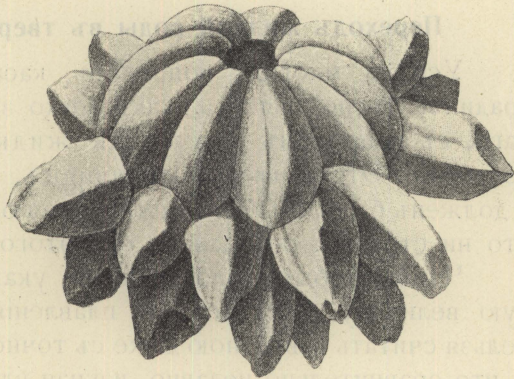


Рис. 94.

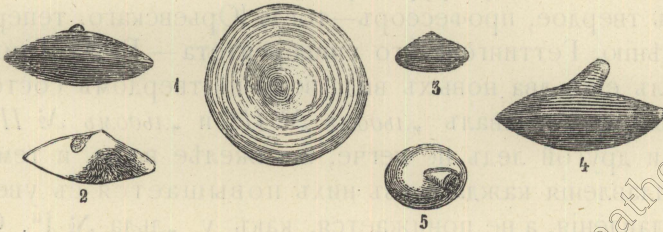


Рис. 95.

Гезехусъ получалъ затвердѣвшія капли (рис. 95) такого же слоистаго строенія, какъ градины. При этомъ вслѣдствіе того, что наружные слои затвердѣвали раньше внутреннихъ, вну-

треніе иногда, увеличиваясь въ объемѣ, прорывали внѣшнюю оболочку, и избытокъ жидкости выливался наружу, давая искусственной градинѣ придатокъ, весьма напоминающій

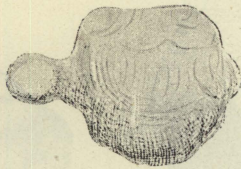


Рис. 96.



Рис. 97.

придатки подобнаго же внѣшняго вида — и, можетъ быть, такого же происхожденія — нѣкоторыхъ натуральныхъ градинъ (рис. 96 и 97).

Переходъ жидкой воды въ твердое состояніе.

Успѣхъ многихъ вопросовъ, касающихся образованія градинъ, тѣсно связанъ, какъ легко заключить изъ сказаннаго, съ вопросомъ о переходѣ жидкой воды въ твердое состояніе. Этотъ физическій вопросъ, казалось бы, могъ бы и долженъ былъ бы быть исчерпывающе изученъ, но, какъ это ни странно, онъ далекъ отъ этого.

Чтобы не быть голословнымъ, укажу, что такую основную величину, какъ теплота плавленія льда, до сихъ поръ нельзя считать извѣстною даже съ точностью полу-процента, и что сравнительно недавно, изучая вліяніе очень большихъ давленій на температуру перехода воды изъ жидкаго состоянія въ твердое, профессоръ—тогда Юрьевского, теперь, къ сожалѣнію, Гёттингенскаго университета — Г. А. Тамманъ открылъ еще два новыхъ вида воды въ твердомъ состояніи, которые онъ назвалъ „льдомъ № II“ и „льдомъ № III“. И тотъ, и другой ледъ не легче, а тяжелѣе воды, и температура плавленія каждаго изъ нихъ повышается съ увеличеніемъ давленія, а не понижается, какъ у „льда № I“. Очень любопытныя явленія наблюдаются при переходѣ льда I въ ледъ II и въ ледъ III: температура каждаго изъ этихъ переходовъ, совершающихся съ поглощеніемъ или выдѣленіемъ очень небольшихъ количествъ тепла, но съ рѣзкимъ измѣ-

неіемъ объема, и потому происходящихъ взрывоподобно, сначала очень быстро понижается съ увеличеніемъ давления, а затѣмъ—по достиженіи опредѣленнаго давления—начинаетъ быстро понижаться при уменьшеніи давления, какъ это показываетъ рис. 98, изображающій результаты Тамманна.

Такимъ образомъ, въ нѣкоторыхъ предѣлахъ давления при одномъ и томъ же значеніи давления ледъ II (то же относится и ко льду III) переходитъ въ ледъ I, какъ при достаточномъ повышеніи температуры, такъ и при достаточномъ пониженіи ея. Это любопытнѣйшее обстоятельство

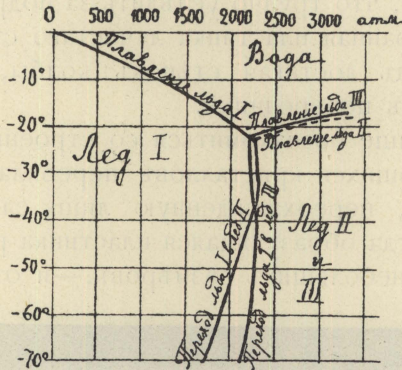


Рис. 98.

служить косвеннымъ подтвержденіемъ теории замкнутости твердаго (кристаллическаго) состоянія, которую развиваетъ и защищаетъ Тамманъ, и по которой тѣло можетъ существовать въ твердомъ (кристаллическомъ) состояніи лишь въ опредѣленныхъ границахъ температуры и давления и переходить въ аморфное (жидкое, газообразное) состояніе всегда съ рѣзкимъ измѣненіемъ свойствъ, а не непрерывно.

Кристаллизація переохлажденной воды. Искусственный снѣжинки.

Оставимъ однако въ сторонѣ ледъ II и ледъ III, которые пока получалъ лишь Тамманъ—и то не надолго, которые могутъ существовать либо при очень большихъ давленияхъ, либо при очень низкихъ температурахъ, и о существованіи которыхъ Тамманъ могъ судить лишь по показаніямъ манометра.

метра, — и перейдемъ къ болѣе знакомому намъ и всетаки болѣе изученному „льду № I“.

Попробуемъ дать водѣ возможность свободно кристаллизоваться и для этого повторимъ съ переохлажденною водою тотъ опытъ, который мы демонстрировали здѣсь съ переохлажденнымъ гипосульфитомъ. Вы видите теперь на экранѣ изображеніе оттянутой стеклянной трубки, которая опущена внутрь колбы съ переохлажденною до -5° водою. Бросимъ въ эту трубочку въ качествѣ затравки кусочекъ льда. Кристаллизация распространяется по трубкѣ до оттянутого конца, и затѣмъ на немъ начинаетъ расти — настолько быстро, что трудно услѣдить за подробностями глазомъ, — шестигранная пластинка лучистаго строенія, въ нѣсколько секундъ достигая стѣнокъ колбы, т. е. десятка сантиметровъ въ поперечникѣ.

Чтобы лучше познакомиться со строеніемъ этихъ свободно развивающихся кристалловъ переохлажденной воды, возьмемъ воду, переохлажденную лишь слегка, на $\frac{1}{2}$ — 1° ниже нуля. Тогда образующаяся пластинка растетъ медленно, достигаетъ небольшихъ размѣровъ, — и отчетливо видно,



Рис. 99.

что это — не сплошная шестигранная пластинка, а характерная шестилучевая звѣзда (рис. 99).

При больших переохлаждениях у этих лучей больше разветвлений, и сами эти разветвления шире, как это показывают рис. 100 и 101. Последний рисунок представляет



Рис. 100.

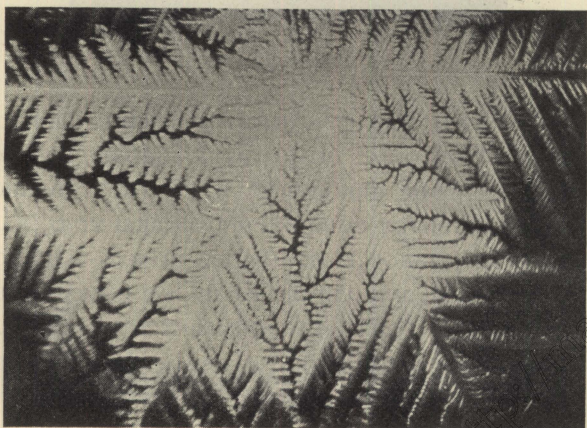


Рис. 101.

собою фотографію (снятую, какъ и прочія, при увеличеніи въ 3 раза) съ куска большой искусственной снѣжинки.

Снѣжинки эти представляютъ часто сростки нѣсколькихъ шестилучевыхъ звѣздочекъ разной величины, имѣющихъ параллельныя плоскости, параллельные лучи и даже параллельныя развѣтвленія второго порядка, какъ это видно изъ рис. 102.

Эти кристаллическія пластинки оптически одноосны, при чемъ оптическая ось перпендикулярна къ ихъ плоскости,



Рис. 102.

такъ что, если лучъ падаетъ по этому направленію, онъ не раздваивается. Поэтому, если такую звѣздочку помѣстить между „скрещенными николями“ и соотвѣтственно повернуть ее, она становится совершенно невидимою, какъ не видно всякое изотропное тѣло—вода, стекло—, находящееся между скрещенными николями. Если же вывести пластинку изъ этого положенія, она вырисовывается ввидѣ бѣлой звѣздочки на темномъ фонѣ (такъ и сняты помѣщенные здѣсь фотографіи), а при достаточномъ поворотѣ красиво окрашивается въ цвѣта такъ называемой „хроматической поляризаціи“.

Такимъ образомъ, если судить по этому опыту, произведенному впервые М. В. Ивановымъ¹⁾, вода кристаллизуется одинаково, независимо отъ того, обращается ли она въ твердое состояніе изъ газообразнаго состоянія или изъ жидкаго, если только кристаллизація идетъ свободно²⁾.

Такъ же ли происходитъ кристаллизація жидкой воды въ природныхъ условіяхъ? Я едва ли ошибусь, если отвѣчу на этотъ вопросъ утвердительно, хотя и на него, какъ на большинство затронутыхъ мною здѣсь вопросовъ, приходится отвѣчать лишь предположительно. Наведеній на утвердительный отвѣтъ много, но, чтобы разобраться въ нихъ, надо сначала познакомиться съ тѣмъ, какіе сорта льда встрѣчаются въ природѣ.

Рѣчной ледъ.

Классифицируютъ разновидности льда по мѣсту образованія—ледъ озерный, рѣчной, морской, донный, пещерный, ледниковый, сосульки—, или же по особенностямъ строенія—ледъ кристаллическій, зернистый, аморфный. Можно также классифицировать, руководствуясь тѣмъ, получается ли ледъ непосредственно изъ жидкой воды или произошелъ онъ—путемъ смерзанія—изъ снѣга. Всѣ три классификаціи одинаково законны—тѣмъ болѣе, что, указывая, напр., мѣсто образованія льда, указываютъ, какъ характеристику его, и его строеніе, и то, какимъ путемъ онъ образовался.

Разберемъ сначала наиболѣе часто встрѣчающійся у насъ ледъ—ледъ рѣчной; таковъ же и ледъ озерный, и ледъ прудовой, и ледъ морской,—последній, впрочемъ, часто между кусками льда изъ чистой воды заключаетъ замерзшую соленую воду. Рѣчной ледъ имѣетъ шестоватое строеніе и состоитъ изъ отдѣльныхъ кристаллическихъ индивидуумовъ, расположенныхъ длиною своею вертикально, т. е. перпендикулярно къ поверхности замерзанія, имѣющихъ каждый

¹⁾ Подробнѣе опытъ этотъ описанъ въ моей статьѣ „О кристаллизаціи переохлажденной воды“—Журн. Р. Физ. Хим. Общ., вып. 7, 1908.

²⁾ Соображенія, которыми можно объяснить звѣздчатую форму кристалловъ переохлажденной воды, изложены мною въ упомянутой уже статьѣ „*Considérations sur la g n se ..*“ и относятся къ теоріи теплопроводности.

одинаковое, приблизительно, поперечное сечение на протяжении всей длины, а потому и представляющих собою родъ призмъ. На эти призмы ледъ, когда его пригрѣтъ солнышко весною, распадается при толчкѣ, какъ многимъ изъ васъ, вѣроятно, приходилось наблюдать во время ледохода.

Поперечныя сечения этихъ призмъ разнообразны и по формѣ, и по величинѣ, какъ это можно видѣть изъ рис. 103, сдѣланнаго отъ руки съ поверхности куска Невскаго льда (натур. велич.). Если же разрѣзать кусокъ льда подъ угломъ

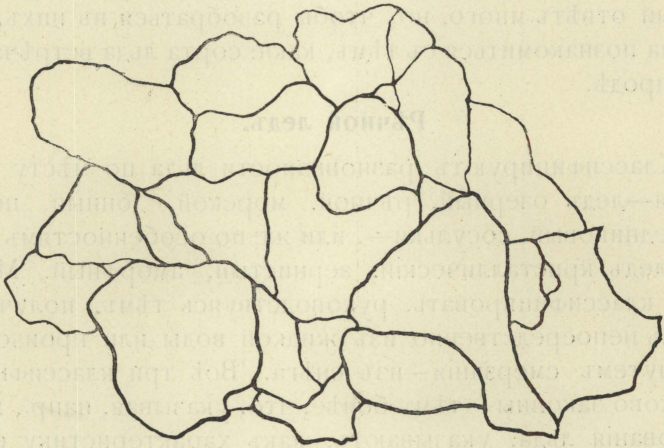


Рис. 103.

къ поверхности, то у сечений этихъ „зеренъ“ получаются продолговатыя очертанія; въ разрѣзѣ же, перпендикулярномъ къ поверхности замерзанія, границы между отдѣльными элементами рѣчного льда представляются ввидѣ линій, мало отличающихся отъ параллельныхъ прямыхъ.

Вырисовываются эти прослойки между призмами вслѣдствіе того, что онѣ плавятся легче, чѣмъ самыя призмы, и вода, образуемая изъ льда, занимая при плавлении меньшій объемъ, понижается въ этихъ расщелинахъ ниже уровня окружающаго льда призмъ, а мѣстами образуетъ рядъ мелкихъ пустотъ. Благодаря этому при таяннн льда прослойки кажутся съ поверхности—узкими бороздками, а внутри льда—болѣе мутными, чѣмъ самыя кристаллы, перегородками.

Каждая такая призма представляет собою въ оптическомъ отношеніи одноосный кристаллъ, ось котораго параллельна длинѣ призмы. Такимъ образомъ, когда, напр., станетъ Нева, весь ея ледяной покровъ есть одинъ гигантскій сростокъ одноосныхъ кристалловъ, оси которыхъ всѣ параллельны между собою и перпендикулярны поверхности замерзанія,—и по этому сростку кристалловъ мы ходимъ, ѣдимъ, проводимъ электрическіе желѣзные дороги!

Цвѣты Тиндалля.

Какой же системы эти одноосные кристаллы? Навести на отвѣтъ можетъ знаменитый опытъ „цвѣтовъ Тиндалля“.

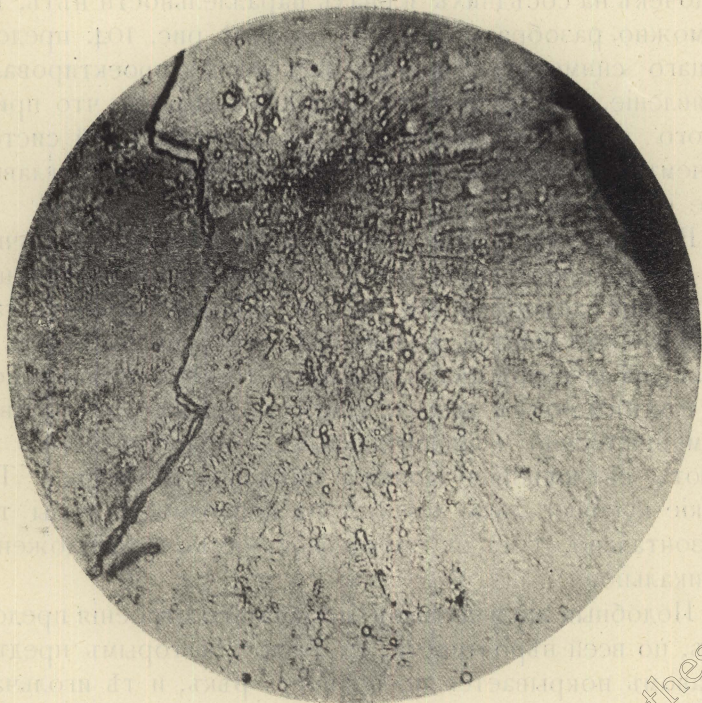


Рис. 104.

Если взять пластинку льда, въ нѣсколько миллиметровъ толщиною и вырѣзанную параллельно поверхности замерзанія, освѣтить ее мощнымъ пучкомъ лучей отъ проекціон-

наго фонаря и получить ея изображение на экранѣ, то вскорѣ—вслѣдствіе того, что прослойки между призмами начинаютъ таять раньше самихъ призмъ, — обрисовываются мало-по-малу очертанія отдѣльныхъ „зеренъ“, а затѣмъ начинается своего рода внутреннее таяніе. При этомъ вода должна занять меньшій объемъ, чѣмъ занималъ ледъ,—и происходятъ такъ сказать внутренніе разрывы льда. Разрывы эти и слышны, и видны: отъ времени до времени слышится трескъ, и на экранѣ вспыхиваютъ красивыя разноцвѣтныя (отъ явленій интерференціи) шестилучевыя звѣздочки.

На каждомъ отдѣльномъ зернѣ лучи этихъ „отрицательныхъ кристалловъ“ параллельны между собою, но у лучей звѣздочекъ на сосѣднихъ зернахъ параллельности нѣтъ, какъ это можно разобрать на лѣвой сторонѣ рис. 104. представляющаго снимокъ съ экрана, на который проектировалось это явленіе. Обстоятельство это показываетъ, что призмы рѣчного льда принадлежатъ къ гексагональной системѣ, при чемъ у сосѣднихъ призмъ параллельны только главныя, но не побочныя оси.

Въ качествѣ подтвержденія гексагональности рѣчного льда можно привести также тѣ „искусственныя снѣжинки“, образованіе которыхъ вы видѣли здѣсь. Если отъ такой звѣздочки отломается кусокъ или вся она отстанетъ отъ трубки, на которой она получилась, то эти плоскіе кусочки льда поднимаются вверхъ, слегка колеблясь, но оставаясь преимущественно горизонтальными, — подобно тому, какъ падаютъ снѣжинки-звѣздочки и снѣжинки-пластинки. Такіе плоскіе кусочки льда ложатся на поверхность воды тоже горизонтально, т. е. съ оптической осью, расположенною вертикально.

Подобныя же пластинки звѣздчатаго строенія представляетъ, по всей вѣроятности, то „сало“, которымъ предъ ледоставомъ покрывается поверхность рѣкъ, и тѣ игольчатыя пленки, въ какія обращаются въ морозную ночь верхніе слои лужъ. Если это предположеніе вѣрно, то, когда такая корка покроетъ сплошь поверхность воды въ лужѣ, прудѣ, озерѣ, рѣкѣ, когда развѣтвленія каждой звѣздочки заполнятъ всѣ промежутки между лучами и когда отдѣльныя звѣздочки

какъ бы вростуть одна въ другую, дальнѣйшая кристаллизація будетъ, по мѣрѣ проникновенія холода вглубь, итти такъ, что каждая кристаллическая пластинка будетъ расти въ направленіи, перпендикулярномъ къ поверхности замерзанія.

При этомъ, если положить въ основу разсужденія аналогію съ рис. 102, центры и направленія лучей въ прирастающихъ снизу пластинкахъ будутъ приходиться подъ центрами и направленіями лучей пластинокъ верхняго слоя, т. е. должны будутъ расти именно такіе призматическіе индивидуумы неправильнаго поперечнаго сѣченія, изъ какихъ на самомъ дѣлѣ состоитъ рѣчный ледъ. Вода же въ промежуткахъ между кристаллами, будучи болѣе насыщенною воздухомъ и солями, чѣмъ эти кристаллы, должна замерзать позднѣе—, а, слѣдовательно, и плавиться впослѣдствіи раньше,—самихъ кристалликовъ.

Донный ледъ.

Необходимо, однако, замѣтить, что часто у рѣчного льда верхній слой и болѣе мутенъ, чѣмъ послѣдующіе, и оптическія оси отдѣльныхъ частей его расположены не вертикально (я не говорю здѣсь о самомъ верхнемъ слоѣ, который представляетъ собою выпавшій на ледъ и смерзшійся съ нимъ снѣгъ). Съ моей стороны, можетъ быть, нѣсколько рискованно сопоставить—, но сопоставленіе это само собою напрашивается,—такой верхній слой рѣчного льда съ такъ называемымъ *доннымъ льдомъ*— „шорохомъ“, „шугою“, „ледянымъ наносомъ“ и т. п.

Подъ этими именами понимается особый кашеобразный ледъ, образующійся на различныхъ предметахъ, находящихся на днѣ, на боковыхъ и береговыхъ частяхъ русла, и, вообще, внутри текущей рѣки. Говоря „образующійся“, я, пожалуй, принимаю невольную сторону тѣхъ авторовъ, которые допускаютъ возможность самого зарожденія этого льда на днѣ рѣки (оттуда и названіе) и въ качествѣ причины такого необычнаго явленія выставляютъ усиленное лучеиспусканіе со дна— лучеиспусканіе, вызывающее переохлажденіе воды¹⁾.

¹⁾ Непосредственныя измѣренія рѣдко обнаруживаютъ переохлажденія, превосходящія двѣ-три сотыхъ градуса.

Между тѣмъ, кажется, болѣе правы тѣ, кто считаетъ этотъ ледъ наноснымъ—образующимся въ верхнихъ слояхъ и заносимымъ внизъ благодаря тому перемѣшиванію слоевъ, которое составляетъ неотъемлемую особенность текущей въ рѣкѣ воды. Въ пользу послѣдняго объясненія говорить то обстоятельство, что въ спокойной водѣ и въ тѣхъ мѣстахъ рѣки, гдѣ теченіе почему либо не смущаетъ покоя воды, донный ледъ не „образуется“.

Замѣчу, что такую же кашеобразную массу получаемъ мы, если въ сильно переохлажденную воду введемъ трубку съ затравкою, или просто бросимъ въ нее кусочекъ льда, или даже просто рѣзко перемѣшаемъ ее.

Всякій опущенный въ воду рѣзки предметъ въ иные дни

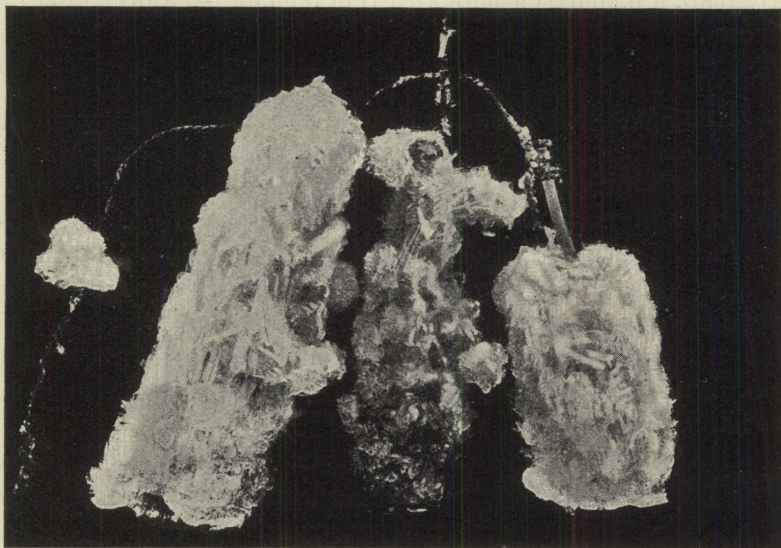


Рис. 105.

оказывается вскорѣ облѣпленнымъ болѣе или менѣе толстымъ слоемъ этого донного льда, который при выниманіи остается, обыкновенно, въ достаточной мѣрѣ пропитаннымъ водою. Вода эта замерзаетъ также, и донный ледъ приобрѣтаетъ тогда видъ аморфно-волокнистой массы, какъ это видно

изъ рис. 105, изображающаго три бутылки, покрытыя доннымъ льдомъ. Между тѣмъ, въ сущности, этотъ ледъ, какъ показываютъ нѣкоторыя наблюденія А. М. Шенрока, состоитъ иногда—, а мнѣ хотѣлось бы вѣрить, что— всегда,— изъ шестигранныхъ пластинокъ. Пластинчатое строеніе доннаго льда иногда отчетливо видно, какъ можно заключить,

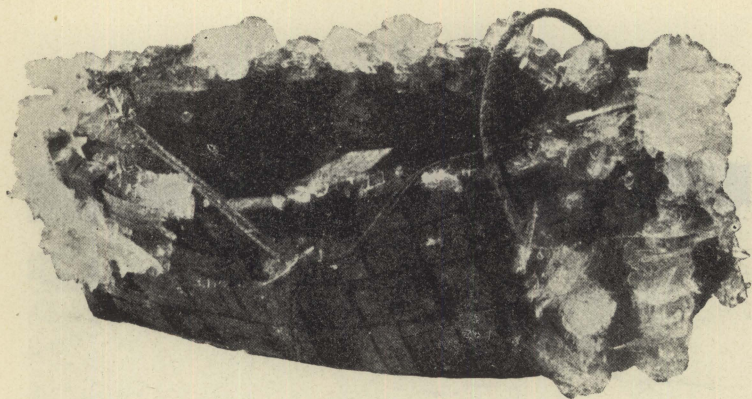


Рис. 106.

напр., по рис. 106, представляющему фотографію съ доннаго льда на вынутой изъ воды бѣльевой корзины.

Практическое значеніе изученія доннаго льда.

Изученіе доннаго льда и условій его образованія имѣетъ не только научный, но и практическій интересъ, потому что ледъ этотъ на многихъ рѣкахъ—, между прочимъ, на Невѣ—часто садится снизу обычнаго твердаго и сплошнаго ледянаго покрова слоемъ, въ нѣсколько разъ превосходящимъ его по толщинѣ. При этомъ, такъ какъ, хотя донный ледъ и кашеобразенъ, но, напр., пробитое въ немъ отверстіе („майна“) не заплываетъ втеченіе весьма продолжительнаго времени, то вода сквозь его массу протекаетъ крайне медленно. Вслѣдствіе этого донный ледъ можетъ значительно уменьшать „живое сѣченіе“ русла—, на Невѣ, напр., не разъ наблюдалось уменьшеніе въ 2 раза и болѣе,— и тогда напоръ воды можетъ разломать ледяной покровъ мѣ-

стами или сплошь: получается мѣстное наводненіе, ледоходъ среди зимы, образованіе гигантскихъ ледяныхъ заторовъ. Снимокъ съ одного изъ такихъ заторовъ на Невѣ вы видите на рис. 107.

Донному льду приписываютъ часто большую подъемную силу и считаютъ, что онъ можетъ отрывать ото дна

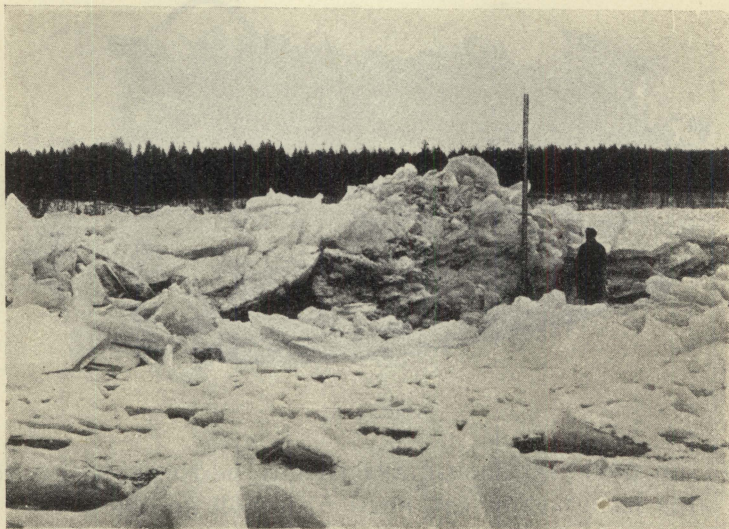


Рис. 107.

куски почвы, камни и т. п.. Основываются при этомъ на фактъ, что въ поднимающихся на поверхность кускахъ доннаго льда часто оказываются включенными такія тѣла. Нисколько не отрицая, что донный ледъ можетъ поднимать тѣла, болѣе тяжелыя, чѣмъ вода, позволю себѣ усомниться въ томъ, чтобы онъ могъ оторвать ото дна какойнибудь предметъ, если подъ этотъ предметъ не подтекаетъ вода.

Въ самомъ дѣлѣ, если какоенибудь тѣло плотно пристало ко дну, и къ нему примерзъ донный ледъ, то гидростатическое давленіе, благодаря которому ледъ поднялся бы наверхъ, теперь лишь еще плотнѣе прижимаетъ ко дну, какъ это тѣло, такъ и самый ледъ. Это соображеніе хорошо

иллюстрируется слѣдующимъ опытомъ, предложеннымъ М. В. Ивановымъ.

Вы видите теперь на экранѣ изображеніе шлифованной стеклянной пластинки *AB* (рис. 108), приклеенной ко дну сосу-

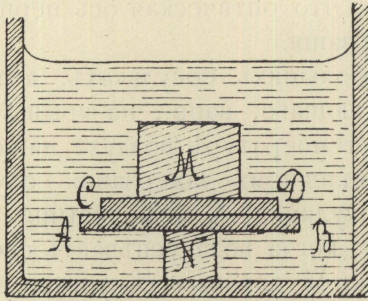


Рис. 108.

да при посредствѣ пробки *N* и долженствующей изображать дно рѣки. Возьмемъ другую пластинку *CD* съ приклеенною къ ней пробкою *M* и плотно прижмемъ ее къ пластинкѣ *AB*; пластинка *CD* будетъ представлять собою предметъ, плотно приставшій ко дну рѣки *AB*, а пробка *M*—примерзшій къ этому предмету донный ледъ. Пока вода не проникла между пластинками, столбъ воды, находящійся надъ пластинкою *CD* и пробкою *M*, только прижимаетъ ихъ къ пластинкѣ *AB*,—и лишь тогда, когда вода прососется между пластинками, она начнетъ производить и давленіе снизу вверхъ, превышающее давленіе сверху внизъ, и пробка *M* подниметъ вверхъ пластинку *CD*.

Донный ледъ иногда описываютъ, какъ аморфный, но едва ли будетъ неправильнымъ предположеніе, что и въ тѣхъ случаяхъ, когда его кристаллическая структура и не видна такъ отчетливо, какъ на рис. 106, донный ледъ всетаки только псевдо-аморфенъ, т. е. состоитъ изъ сростковъ весьма большого числа весьма мелкихъ кристаллическихъ элементовъ, оси которыхъ ориентированны самымъ разнообразнымъ образомъ и размѣры и внѣшняя форма которыхъ также крайне разнообразны.

Сосульки, пещерный ледъ, искусственный ледъ.

Точно также не являются аморфными и всѣ остальные виды льда, происходящіе изъ жидкой воды: сосульки, пещерный ледъ, искусственный ледъ. Во всѣхъ нихъ можно обнаружить кристалличность, при чемъ, какъ общее правило, оказывается, что оптическая ось перпендикулярна къ поверхности замерзанія.

Такъ, въ небольшихъ сосулькахъ, которыя происходятъ изъ снѣга, тающаго, напр., на крышѣ подъ вліяніемъ лучей солнца при температурѣ воздуха ниже 0° , оптическая ось—при очень медленномъ замерзаніи сосульки—горизонтальна и перпендикулярна къ краю крыши. При болѣе быстромъ замерзаніи, когда вода успѣваетъ стекать ниже края крыши, и образуются длинныя сосульки, въ верхнихъ частяхъ ихъ оптическія оси горизонтальны и направлены по радіусамъ поперечнаго сѣченія, а въ нижнихъ частяхъ оказываются болѣе наклонными къ горизонту, доходя почти до вертикальности.

Въ кускахъ искусственнаго льда продольныя направленія отдѣльныхъ „зеренъ“ отчетливо видны благодаря заполненнымъ пузырьками воздуха прослойкамъ—особенно во внутреннихъ частяхъ кусковъ, гдѣ скопляется какъ бы вымораживаемый изъ воды воздухъ. Направленія этихъ осей даютъ, такимъ образомъ, возможность воспроизвести направленія „линій тока“ тепла—направленія движенія тепла при образовании искусственнаго льда, потому что тепло всегда течетъ перпендикулярно („нормально“) къ поверхностямъ одинаковой температуры, а поверхность замерзанія въ каждый данный моментъ есть та поверхность льда, во всѣхъ точкахъ которой температура равна 0° .

Наконецъ, пещерный ледъ представляетъ собою не что иное, какъ сосульки-сталактиты, спускающіяся со свода пещеры, и подобныя же сосульки-сталагмиты, растущія имъ на встрѣчу соответственно подъ ними.

Ледниковый ледъ.

Перейду теперь ко льду, зернистое строеніе котораго часто противопоставляютъ кристаллическому строенію

рѣчного льда, и который, во всякомъ случаѣ, отличается отъ рѣчного своимъ происхожденіемъ,—ко льду ледниковому.

Если куску этого льда дать потаять на солнцѣ, то скоро на всѣхъ граняхъ этого куска, какое бы расположеніе относительно горизонта и относительно русла ледника онѣ не занимали, когда кусокъ этотъ былъ на мѣстѣ, получаютъ узоры, аналогичные рис. 103. Ледниковый ледъ оказывается, такимъ образомъ состоящимъ изъ отдѣльныхъ кусочковъ, изъ отдѣльныхъ „зеренъ“ вполне неправильнаго внѣшняго вида, а не только неправильнаго горизонтальнаго сѣченія, какъ у льда рѣчного. Нѣкоторые наблюдатели, впрочемъ,—исслѣдователи ледниковъ полярныхъ странъ, главнымъ образомъ,—указываютъ, что у этихъ зеренъ—преимущество на сторонѣ размѣровъ въ направленіи движенія ледника. Картина, получающаяся въ сѣченіи куска ледниковаго льда по вертикальной плоскости въ направленіи движенія ледника, напоминаетъ, по мнѣнію этихъ авторовъ, структуру стѣнъ циклопическихъ построекъ, въ которыхъ камни брали неправильной формы, но располагали ихъ по преимуществу такъ, чтобы наибольшіе размѣры ихъ были горизонтальны.

Размѣры зеренъ ледниковаго льда варьируютъ отъ десятыхъ долей миллиметра до нѣсколькихъ сантиметровъ, при чемъ въ одномъ и томъ же ледникѣ въ верхнихъ частяхъ зерна гораздо мельче, чѣмъ въ нижнихъ.

Каждое изъ такихъ зеренъ представляетъ собою одиночный кристалль, но между направленіями осей у сосѣднихъ зеренъ нѣтъ никакой зависимости: направленія эти расположены, какъ попало, такъ что ледниковый ледъ, рассматриваемый en gros, если угодно, аморфенъ или, по крайней мѣрѣ, псевдо-аморфенъ.

Явленія смерзанія (режеляціи).

Чтобы выяснитъ, какъ въ такой ледъ превращается выпадающій на поверхность ледника снѣгъ, намъ надо остановиться на явленіи, о которомъ мы уже не разъ упоминали,—на явленіи смерзанія (режеляціи).

Явленіе это, открытое Фарадзеемъ, заключается въ томъ, что два куска льда, прижатые другъ къ другу, по прекра-

щени давлѣнія оказываются соединившимися крѣпко другъ съ другомъ, и объясняется оно пониженіемъ точки плавленія льда при увеличеніи давлѣнія. Въ мѣстахъ, гдѣ два куска льда соприкасаются другъ съ другомъ, давлѣніе больше, чѣмъ въ сосѣднихъ, и тамъ ледъ плавится. На это плавленіе требуется теплота, которая и заимствуется отъ сосѣднихъ частей льда. Поэтому, когда вода, получившаяся изъ расплавленнаго льда, выдавливается въ прилегающія къ мѣсту соприкосновенія части просвѣта между сдавливаемыми кусками, то она замерзаетъ тамъ, такъ какъ давлѣніе тамъ меньше, а температура ниже.

Въ качествѣ иллюстраціи этого объясненія воспроизведемъ извѣстный опытъ Боттомлея. На кусокъ льда вѣшаемъ на проволоку грузъ, — и чрезъ 20—30 минутъ проволока пройдетъ сквозь этотъ кусокъ, не перерѣзавъ его: вода, въ которую обращается ледъ подъ давлѣніемъ проволоки, попадая въ пространство надъ проволокою, замерзаетъ тамъ снова, такъ какъ въ окружающихъ проволоку частяхъ куска льда температура ниже 0° . Что здѣсь дѣло именно въ пониженіи температуры плавленія подъ влияніемъ давлѣнія, покажетъ контрольный опытъ съ такимъ же грузомъ, подвѣшеннымъ на такой же проволоку на тотъ же кусокъ льда вблизи первой, но на мѣстѣ, посыпанномъ затѣмъ сверху солью: раствореніе соли понижаетъ температуру не только ниже 0° , но и ниже температуры плавленія льда при давлѣніи, равномъ давлѣнію проволоки, — и вторая проволока почти не врѣжется въ ледъ, хотя его и расплавится около нея (отъ растворенія соли) больше, чѣмъ вблизи первой.

Многіе изъ насъ неоднократно, по всей вѣроятности, пользовались въ дѣтствѣ явленіемъ смерзанія, играя въ снѣжки, дѣлая снѣжныя бабы, каждый изъ насъ зимою буквально на каждомъ шагу имѣетъ дѣло съ этимъ явленіемъ, но, возможно, это обстоятельство будетъ для нѣкоторыхъ изъ васъ такимъ же открытіемъ, какимъ для Мольтеровскаго мѣщанина въ дворянствѣ было то, что онъ всю жизнь говорилъ прозою.

Когда мы при температурѣ, близкой къ 0° , сжимаемъ въ рукахъ комъ снѣга, онъ плавится въ тѣхъ мѣстахъ, гдѣ

снѣжинки надавливають другъ на друга, и образующаяся вода, выдавливаясь въ стороны, замерзаетъ, благодаря чему комъ снѣга превращается въ „снѣжокъ“—полупрозрачную массу, болѣе напоминающую ледъ, чѣмъ первоначальный снѣгъ. Такое же смерзаніе—подъ вліяніемъ силы тяжести—получается въ мѣстахъ соприкосновенія снѣжинокъ на нижней части кома снѣга, когда мы катаемъ его по снѣгу,—и то же явленіе лежитъ въ основѣ объясненія обычнаго, но чрезвычайно курьезнаго свойства льда—его скользкости.

Скользкость льда.

Одинъ англійскій физикъ печатно сознался, что мы до того привыкли къ этому свойству льда, что, если бы его—до того, какъ онъ самъ задумался надъ этимъ вопросомъ,—спросили невзначай, отъ чего ледъ—скользкій, онъ отвѣтилъ бы: „отъ того, что онъ—скользкій“, и, только подумавъ, пришелъ бы къ правильному объясненію.

Въ мѣстахъ, въ которыхъ нога нажимаетъ на ледъ или снѣгъ, они подъ вліяніемъ давленія, вызываемаго вѣсомъ тѣла, плавятся,—и между ногою и почвою получается слой жидкой смазки, которая значительно уменьшаетъ силу тренія и дѣлаетъ снѣгъ и ледъ скользкими, какъ скользка панель, покрытая слоємъ жидкой грязи. Когда нога сходитъ съ мѣста, смазка эта снова замерзаетъ, образуя на снѣгу ледяной слѣдъ.

Что тутъ не въ степени гладкости дѣло, видно изъ того, что самый шероховатый и бугристый ледъ является едва ли не болѣе скользкимъ, чѣмъ зеркально-гладкій, потому что у послѣдняго площадь соприкосновенія съ ногою больше, а, слѣдовательно, давленіе ноги на ледъ меньше.

Вообще, чѣмъ на меньшей поверхности сосредоточено давленіе тѣла на ледъ и чѣмъ менѣе низка температура льда, тѣмъ болѣе скользкимъ долженъ онъ быть. Поэтому на конькахъ можно скатиться дальше съ горы, чѣмъ безъ коньковъ, и кататься на конькахъ тѣмъ легче, чѣмъ температура ближе къ 0°. Когда температура воздуха выше 0°, ледъ становится рыхлымъ, по крайней мѣрѣ, въ верхнихъ слояхъ,—и коньки

слишкомъ врѣзаются въ ледъ. Въ большіе же морозы коньки какъ то прилипаютъ ко льду: жидкой смазки образуется очень мало, и она замерзаетъ раньше, чѣмъ нога успѣетъ сойти съ мѣста.

Нансень, пересѣкшій на лыжахъ Гренландію, жалуется на то, что ледъ былъ совершенно не скользкимъ, но причина этого заключалась не въ особыхъ свойствахъ Гренландскаго льда, а въ очень низкой температурѣ, при которой давленіе тѣла было недостаточно для расплавленія льда подъ лыжами.

Вообще, такъ какъ изъ матерьяловъ, встрѣчающихся въ природѣ, ледъ является единственнымъ, у котораго температура плавленія лежитъ въ предѣлахъ температуры воздуха и понижается при повышеніи давленія, то ледъ—единственное скользкое тѣло въ природѣ.

Я думаю, что послѣ сказаннаго я могу ограничиться только упоминаніемъ о примѣненіи полозьевъ у саней, о посыпаніи панелей пескомъ для уменьшенія ихъ скользкости, объ опасности гололедицы и т. п.,—и вернуться къ тому льду, который и зимою, и лѣтомъ заполняетъ многія долины, образуя въ нихъ *ледники*.

ЛЕДНИКИ.

Роль силы тяжести по отношенію къ снѣгу.

На всякой широтѣ на достаточной высотѣ надъ уровнемъ моря осадки выпадаютъ чаще ввидѣ снѣга, чѣмъ ввидѣ дождя, — и за болѣе холодную часть года прибавляется больше снѣга, чѣмъ успѣваетъ стаять его за болѣе теплую. Отъ этого горы, высота которыхъ выше уровня „снѣговой линіи“ на данной широтѣ, получали бы ежегодную премію за свою высоту и съ каждымъ годомъ становились бы выше и выше, если бы сила тяжести не примѣняла крайне разнообразныхъ средствъ, чтобы воспрепятствовать этому.

Во-первыхъ, сила тяжести приходитъ на помощь вѣтру, дующему на большихъ высотахъ часто съ громадною силою и вздымающему съ горъ тучи снѣга, — и этотъ снѣгъ, подъ вліяніемъ силы тяжести, опускается внизъ и таетъ тамъ. Во-вторыхъ, сила тяжести представляетъ собою причину скатыванія внизъ *лавины*. Лавины, въ сущности, не что иное, какъ гигантскія снѣжныя бабы, скатываемыя на наклонныхъ снѣжныхъ поляхъ самую природою. Онѣ достигаютъ иногда такой величины, что засыпаютъ цѣлыя долины, сметая, разрушая и губя все, попадающее на пути ихъ стремительнаго движенія. Въ-третьихъ, сила тяжести, прижимая каждую снѣжинку къ ниже лежащимъ и заставляя ихъ плавиться въ мѣстѣ соприкосновенія, вызываетъ — путемъ замерзанія образующейся воды — ростъ части снѣжинокъ. Такимъ образомъ, благодаря смерзанію (режелациі) сила тяжести обращаетъ покровъ изъ цѣлыхъ и ломаныхъ снѣжинокъ въ скопище болѣе крупныхъ кристаллическихъ зеренъ, включающее и пузырьки воздуха, и пыль, осѣвшую на снѣгъ, и т. п. и называемое *фирномъ*. Молодой фирнъ — не что иное, какъ старый, слежавшійся и уплотнившійся снѣгъ, — и въ очень раннихъ стадіяхъ похожъ на плотныя части нашего

снѣжнаго покрова къ концу зимы. Старый же фирнь есть молодой ледниковый ледъ. Ледъ плотнѣе фирна, фирнь плотнѣе снѣга, а потому и эти превращенія нѣсколько приближаютъ выпавшій снѣгъ къ уровню моря.

Но едва-ли не самымъ интереснымъ является четвертое дѣйствіе силы тяжести,—дѣйствіе ея не на внутреннее строеніе снѣга и фирна, а на форму лежащихъ въ горныхъ долинахъ массъ фирна и льда, на относительное расположеніе частицъ ихъ. Сила тяжести заставляетъ фирнь и ледъ течь по руслу тѣхъ ложбинъ, въ которыхъ они скопились, въ которыхъ они образовали ледники,—течь подобно тому, какъ течетъ, подъ влияніемъ той же силы тяжести, вода по руслу рѣки.

Эти четыре дѣйствія силы тяжести, къ которымъ можно прибавить еще непосредственное стеканіе воды (ледниковые ручьи), получающейся отъ таянія снѣга, и компенсируютъ тотъ избытокъ прихода надъ расходомъ, который иначе возвысилъ бы снѣжныя горы до предѣловъ атмосферы.

Текучесть твердыхъ тѣлъ вообще и льда въ частности.

Какъ же можетъ течь такое твердое тѣло, какъ ледъ? Если вдуматься въ то, что значитъ „течь“, то мы увидимъ, что это значитъ непрерывно измѣнять свою форму при непрерывномъ дѣйствіи силы тяжести—или всякой другой силы. А въ этомъ смыслѣ могутъ течь самыя разнообразныя твердыя тѣла, начиная отъ такихъ „мягкихъ“, какъ воскъ, сургучъ, и кончая такими „твердыми“, „крѣпкими“, какъ олово и желѣзо.

Если положить на двѣ перекладки палочку сургуча, то это твердое тѣло будетъ непрерывно, хотя и очень медленно, измѣнять свою форму подъ влияніемъ силы тяжести и черезъ нѣсколько дней замѣтно „прогнется“, если примѣнить обычный способъ выраженія, или „протечетъ“, если по аналогіи примѣнить терминъ, относящійся обыкновенно къ измѣненію формы жидкихъ тѣлъ подъ влияніемъ силы тяжести.

Если на середину такой сургучной палочки привѣсить соотвѣтствующій грузъ, то „протеканіе“ сургуча будетъ

происходить быстрой, чѣмъ безъ груза. Точно такъ же при нагрузкѣ будетъ протекать и палочка свинца, и тонкій брусокъ льда, но только гораздо медленнѣе (безъ нагрузки— еле замѣтно).

Способность непрерывно измѣнять свою форму подъ вліяніемъ достаточно большой непрерывно дѣйствующей силы называется *текучестью* или *пластичностью*, и это свойство обнаруживается, какъ я уже упоминалъ, даже у такихъ тѣлъ, какъ, напр., олово и желѣзо.

Если на дно стального цилиндра положить кусокъ олова и вогнать подъ давленіемъ въ нѣсколько сотъ атмосферъ поршень, діаметръ котораго нѣсколько меньше діаметра цилиндра, то олово „выдавливается“, „вытекает“ въ кольцеобразный просвѣтъ между поршнемъ и стѣнками цилиндра и покрываетъ поршень цилиндрическою оболочкою. Куски такой оболочки вамъ, вѣроятно, случалось видѣть, потому что такъ дѣлають баночки для масляныхъ красокъ.

Если во днѣ цилиндра имѣется отверстіе, а поршень одного діаметра съ цилиндромъ, то подъ давленіемъ въ нѣсколько сотъ или тысячъ атмосферъ свинець, желѣзо и даже сталь выдавливаются чрезъ это отверстіе ввидѣ капли, какъ выдавливались бы при малыхъ давленіяхъ или даже подъ вліяніемъ одной силы тяжести вода, масло, негустой кисель, густой кисель, смола, воскъ, сапожный варъ, ледъ.

Между всѣми тѣлами, которыя я перечислилъ, начиная отъ воды и кончая сталью, есть только количественныя различія по способности противодѣйствовать постоянной силѣ, постоянно измѣняя свою форму при этомъ, по „внутреннему тренію“. Чтобы еще болѣе укрѣпить въ васъ ту мысль, что „твердость“ льда есть обстоятельство, нисколько не мѣшающее ему „течь“, приведу въ круглыхъ числахъ значенія „коэффициента внутренняго тренія“ или „коэффициента вязкости“¹⁾ для нѣкоторыхъ тѣлъ.

¹⁾ Подъ коэффициентомъ внутренняго тренія понимаютъ ту силу (въ динахъ), которую нужно было бы приложить къ каждому квадратному сантиметру сдвигаемаго слоя, чтобы этотъ слой за каждую секунду обгонялъ на 1 сантиметръ слой, отстоящій отъ него на 1 сантиметръ. Сила „дина“ немного болѣе вѣса миллиграмма.

Таблица III.

Коэффициентъ внутренняго тренія нѣкоторыхъ матерьяловъ.

Воздухъ	0·0002
Вода	0·01
Глицеринъ	8
Воскъ	1,000,000
Варъ	100,000,000
Ледъ	10,000,000,000,000
Сталь	100,000,000,000,000,000.

Въ качествѣ иллюстраціи текучести твердыхъ тѣлъ произведемъ съ сапожнымъ варомъ опытъ, предложенный Н. А. Орловымъ. Варъ—типичное твердое тѣло, бруски котораго, какъ вы видите, ломаются на части при приложеніи достаточной силы. Если же дѣйствовать не слишкомъ большою силою, то они непрерывно измѣняютъ свою форму: я пробую закрутить верхній конецъ этой цилиндрической палки изъ вара, держа нижній конецъ неподвижнымъ, и, пока я прилагаю силу, цилиндръ медленно, но непрерывно закручивается, какъ „закручивается“ за эту широкую пробку „цилиндръ изъ масла“, находящійся въ этомъ стаканѣ.

Вы видите теперь передъ собою стеклянную воронку, отверстіе которой было погружено въ коробку съ тонкимъ слоемъ расплавленнаго вара и оказалось затянутымъ твердою стѣнкою вара. Станемъ осторожно нагнетать въ эту воронку велосипеднымъ насосомъ воздухъ: стѣнка изъ вара будетъ сначала медленно прогибаться, выпячиваться и наконецъ — минутъ черезъ 15—30 — обратится въ пузырь изъ вара (рис. 109), очень напоминающій пузырь изъ мыльной воды, но твердый.

Наледи (накипни).

Опытъ Н. А. Орлова напрашивается на сопоставленіе съ одною частностью интереснаго явленія *наледей* или *накипней*, наблюдаемаго на многихъ рѣчкахъ и рѣкахъ Сибири. Когда такая рѣчка станетъ, на ледъ начинаетъ просачиваться вода изъ прибрежныхъ частей ледяного покрова и изъ прилегающихъ къ рѣчкѣ частей берега. Вода эта заливааетъ ледъ,

и, замерзая на немъ, повышаетъ его уровень, а съ прибрежныхъ частей наливается новая вода, — и, въ концѣ концовъ, уровень льда оказывается на нѣсколько аршинъ выше первоначального уровня рѣчки, и образуется обшир-

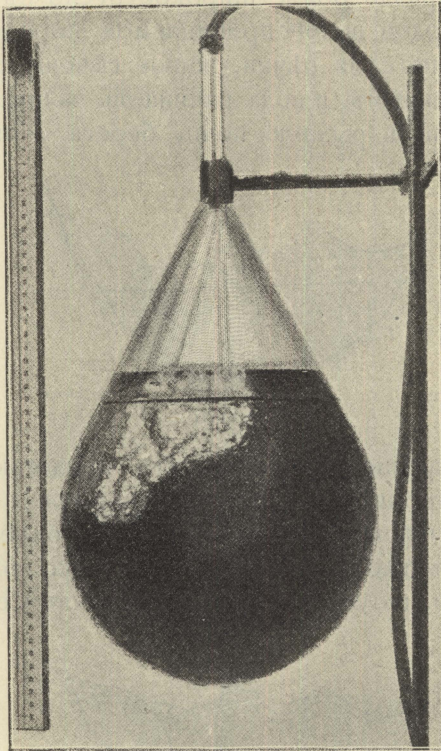


Рис. 109.

ная „наледь“, во много разъ превышающая по ширинѣ ширину рѣчки. Надъ этою наледью торчатъ верхушки кустовъ и деревьевъ и — ввидѣ небольшихъ вершинъ — наиболѣе возвышенныя мѣста долины рѣчки, а на поверхности наледи мѣстами видны ледяные бугры, которые иногда достигаютъ сажени высотой, и на поверхности которыхъ часто имѣются перпендикулярныя къ поверхности и суживающіяся вглубь трещины.

Одно изъ наиболѣе правдоподобныхъ объясненій образованія такихъ наледей—слѣдующее. Вода въ подобныхъ рѣчкахъ течетъ внизъ не только явно — по тому узкому руслу, которое видно на глазъ,—а также скрытымъ образомъ просачивается внизъ сквозь рыхлыя породы, заполняющія собою гораздо болѣе широкое русло съ дномъ и берегами изъ твердой водонепроницаемой породы. Когда замерзаютъ верхніе слои рѣчки, живое сѣченіе рѣчки оказывается уменьшеннымъ, и вода начинаетъ заливаться на ледъ съ краевъ и сквозь рыхлую почву берега. Когда же рѣчка

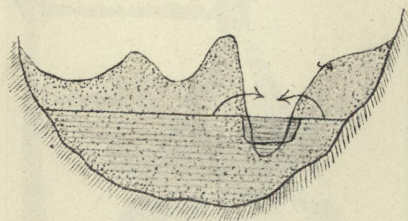


Рис. 110.

промерзнетъ дальше и промерзнутъ прилегающіе къ ней слои рыхлой, пропитанной водою почвы (рис. 110), то уровень воды въ рыхлой почвѣ долженъ еще болѣе повыситься. Процессъ этотъ идетъ до тѣхъ поръ, пока вода не поднимется настолько, что ледяной покровъ закроетъ собою сверху

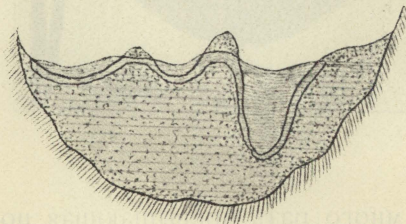


Рис. 111.

все истинное русло рѣчки, мѣстами проходя внутри имѣющихся у этой рыхлой почвы возвышеній (рис. 111).

Когда вода въ сильный морозъ заливааетъ какое нибудь углубленіе, имѣющееся на этомъ ледяномъ покровѣ или на твердой породѣ, въ ней въ первое время замерзаетъ только

верхній слой (рис. 112). Затѣмъ этотъ слой растеть, а вмѣстѣ съ тѣмъ замерзають и нижніе слои, примыкающіе къ сильно охлажденной твердой поверхности (рис. 113). Но, такъ какъ вода, отвердѣвая, увеличивается въ объемъ, то верхніе слои выпячиваются давленіемъ сжимаемой воды, какъ выпячива-

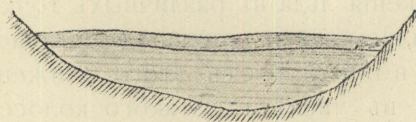


Рис. 112.

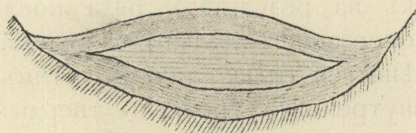


Рис. 113.

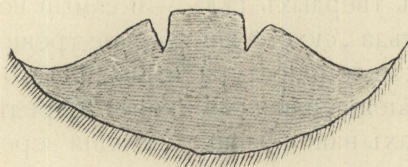


Рис. 114.

ется уже пластинка вара въ нашемъ опытѣ. Наконецъ, когда весь ледъ замерзнетъ, это выпячиваніе можетъ оказаться настолько рѣзко выраженнымъ, что верхніе слои образовавшагося ледяного нарыва растрескиваются (рис. 114; здѣсь, какъ и на рис. 113, измѣненіе объема воды при замерзаніи сильно преувеличено).

Вопросъ о причинахъ пластичности льда.

Если взглянемъ снова на таблицу III и обратимъ вниманіе на то, что ледъ по величинѣ своей вязкости не представляетъ собою ничего исключительнаго, то станетъ яснымъ, что много прежнихъ горячихъ споровъ касательно

теоріи движенія льда въ ледникахъ въ настоящее время можно считать потерявшими свое значеніе или, по крайней мѣрѣ, свою остроту.

Споры эти касались не столько теоріи ледниковъ въ смыслѣ установленія количественной связи причины движенія льда—силы тяжести—съ результатами ея дѣйствія—со скоростью движенія льда въ различныхъ точкахъ ледника—, сколько стремились найти причины пластичности льда, обусловливающей возможность этого движенія. Многие авторы—, укажу въ числѣ ихъ такого колосса мысли, какъ Гельмгольтцъ,—ставили пластичность льда въ непосредственную связь съ режеляціей (смерзаніемъ) и смотрѣли на движеніе льда, какъ на результатъ ряда послѣдовательныхъ расплавленій и смерзаній отдѣльныхъ зеренъ, форма которыхъ могла измѣняться только такимъ путемъ. За послѣдніе годы изученіе внутренняго тренія въ твердыхъ тѣлахъ значительно подвинулось впередъ, ледъ потерялъ свое мѣсто чуть не единственнаго и наиболѣе характернаго представителя пластичныхъ твердыхъ тѣлъ,—и самый вопросъ о томъ, имѣемъ ли мы у льда „сухое“ внутреннее треніе, какъ у всѣхъ тѣлъ, у которыхъ температура плавленія повышается съ увеличеніемъ давленія, или же „мокрое“, опредѣляемое наличностью—въ мѣстахъ наибольшаго давленія зеренъ—части льда въ жидкомъ состояніи, теперь до извѣстной мѣры излишенъ.

Значеніе величины коэффиціента внутренняго тренія льда.

Важнѣе знать численную характеристику пластичности ледниковаго льда, знать какова величина его коэффиціента внутренняго тренія. Это обстоятельство понудило меня послѣ того, какъ мнѣ удалось зимою 1904—5 года произвести рядъ опредѣленій этой величины для Невскаго льда, отправиться въ Тироль на ледникъ Гинтерейсъ въ Отцталевскихъ Альпахъ и тамъ на мѣстѣ сдѣлать рядъ такихъ же опредѣленій для льда ледниковаго. Выбралъ я этотъ ледникъ (рис. 115) по тому, что онъ—своего рода *unicum* во всемъ мірѣ: это—единственный ледникъ, въ которомъ путемъ непосредственныхъ буреній опредѣлена форма русла и извѣстна благодаря этому толщина слоя льда.

Методъ, которымъ я пользовался въ этихъ опытахъ, состоялъ въ измѣреніи скорости закручиванія ледяного цилиндра подѣ дѣйствіемъ постоянной силы, такъ что опыты эти аналогичны тому закручиванію цилиндра изъ вара, который я съ четверть часа назадъ производилъ здѣсь. Въ зимнихъ опытахъ съ Невскимъ льдомъ я могъ помѣщать такіе цилиндры непосредственно на воздухѣ¹⁾, а въ опытахъ на Гинтерейсфернерѣ я долженъ былъ искусственно окружать ихъ воздухомъ съ температурою ниже 0°. Для этого обѣ половины прибора были сдѣланы двухстѣнными, и въ про-



Рис. 115.

свѣтъ между стѣнками насыпался снѣгъ или ледъ, политый соленою водою, а ледяной цилиндръ помѣщался во внутреннее пространство. Рис. 116 изображаетъ снимокъ съ ледяного цилиндра, верхній конецъ котораго закрутился (втече-

¹⁾ Замѣчу, что, такъ какъ я при этомъ бралъ цилиндры съ осью, перпендикулярною поверхности замерзанія, при крученіи которыхъ трудно допустить какія либо надавливанія одного зерна на другое, то эти опыты можно разсматривать, какъ аргументъ въ пользу возможности „сухого“ внутренняго тренія во льду.

не 4 суток) болѣе, чѣмъ на одинъ полный оборотъ относительно нижняго. Въ верхней части прибора виденъ кругъ

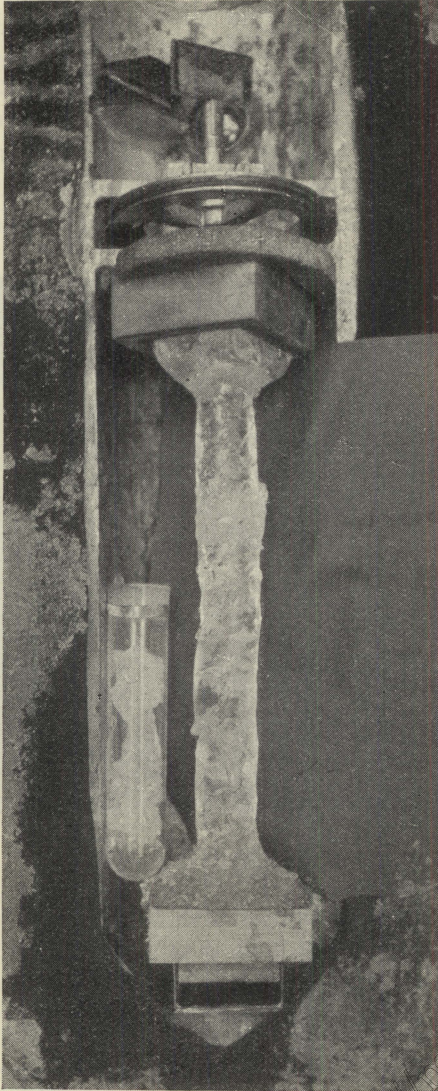


Рис. 116.

крученія, отъ котораго шель шнурокъ чрезъ блокъ къ грузу,

вызывавшему закручиваніе, а на самомъ верху слѣва — стеклянная скала; изображеніе ея въ насаженномъ на ось круга крученія зеркалацѣ, разсматривалось въ трубу, конецъ которой замѣтенъ на томъ же уровнѣ, но нѣсколько правѣе.

Какое же значеніе имѣеть знаніе вязкости льда для теории движенія льда въ ледникахъ? Очевидно, что, чѣмъ больше вязкость текущаго по руслу матерьяла, тѣмъ медленнѣе при одинаковыхъ остальныхъ условіяхъ будетъ онъ течь: медвяная рѣка текла бы много медленнѣе водяной. Зная же, напр., во сколько разъ ледъ болѣе вязокъ, чѣмъ вода, легко было бы сказать, во сколько разъ медленнѣе воды будетъ онъ течь по руслу, а отсюда, подсчитавъ, съ какою скоростью текла бы вода по руслу какого нибудь ледника, можно было бы а ргіогі сказать скорость теченія льда въ этомъ ледникѣ. Сравненіе же этого предсказанія съ дѣйствительностью позволило бы убѣдиться, въ самомъ ли дѣлѣ ледъ въ ледникахъ только по быстротѣ, а не по законамъ теченія, отличается отъ воды, текушей въ рѣкѣ.

Сейчасъ первая проволока, поддерживавшая грузъ, прошла сквозь кусокъ льда, а вторая, посыпанная сверху солью, едва врѣзалась въ ледъ. Если ударить по этому куску льда, то онъ разламывается отнюдь не по той плоскости, гдѣ прошла сквозь него проволока.

За это же время выдулся большой пузырь изъ вара, отчетливо показывая собою пластичность этого твердаго тѣла. Чтобы убѣдиться въ томъ, что оно — дѣйствительно твердое, нагнетемъ теперь туда быстро много воздуха, — и пузырь разлетается на массу обломковъ, а не капель.

Теченіе льда въ ледникахъ.

Какъ это ни странно, но сравнительно недавно — въ началѣ XVIII вѣка — было впервые указано, что ледъ въ ледникахъ движется, и лишь въ 1770 г. была сдѣлана попытка измѣрить скорость движенія льда по перемѣщеніямъ сосны, воткнутой въ щель во льдѣ. Болѣе или менѣе систематическія измѣренія —, упомяну Гюги, Агассица, Форбса, Тиндалля, — стали производиться только со второй четверти прошлаго столѣтія, и особаго развитія достигли въ послѣдніе 20 лѣтъ,

главнымъ образомъ, благодаря работамъ профессора механики въ Мюнхенскомъ университетѣ Финстервальдера и ревностныхъ его сотрудниковъ и продолжателей его дѣла, Блюмке и Гесса, съ которыми мнѣ привелось съ большимъ удовольствіемъ проработать нѣсколько недѣль на Гинтерейсфернерѣ.

Финстервальдеръ занялся ледниками совершенно случайно. Онъ приобрѣлъ какъ то хорошій геодезическій приборъ и спросилъ у извѣстнаго геолога Рихтера, съемку какой мѣстности посоветоваль бы тотъ ему сдѣлать въ качествѣ лѣтняго отдыха. Рихтеръ указаль ему, что было бы очень интересно и полезно сдѣлать съемку какого нибудь ледника. Финстервальдеръ послѣдовалъ его совѣту—и результатомъ работъ его и его молодыхъ тогда друзей Блюмке и Гесса явилась такъ называемая теорія теченія (Strömungstheorie) ледниковъ. Финстервальдеръ разработаль ее главнымъ образомъ теоретически, Блюмке и Гессъ, каждое лѣто—скоро уже двадцать лѣтъ—проводящіе на ледникахъ Отцталя, собрали громадный опытный матерьяль. Они производять измѣренія быстроты и направленія перемѣщенія цѣлага ряда точекъ поверхности ледника, для чего поперекъ ледника было уложено въ нѣсколькихъ мѣстахъ по ряду камней или вставлялись въ ледъ вѣхи, положеніе которыхъ отъ времени до времени опредѣлялось, какъ тригонометрическою, такъ и фотограмметрическою¹⁾ съемкою. Они производять измѣренія измѣненій толщи снѣга и льда на поверхности ледника по измѣненію ихъ уровня относительно воткнутыхъ въ ледъ вѣхъ, измѣренія количества твердаго матерьяла—пыли, грязи, камешковъ, камней—, который несетъ съ собою ледъ при своемъ движеніи, и рядъ другихъ измѣреній. Одна изъ наиболее важныхъ сторонъ изысканій Гесса и Блюмке—именно въ ихъ непрерывности на протяженіи ряда лѣтъ, такъ какъ процессы въ ледникахъ идутъ десятками и сотнями лѣтъ,—и только длинный рядъ наблюденій можетъ дать подтвержденіе тому или другому взгляду, той или другой теоріи.

¹⁾ Фотограмметрическимъ аппаратомъ называется такой фотографическій аппаратъ, въ которомъ направленіе оси при сниманіи точно измѣряется, благодаря чему послѣдующія измѣренія снимковъ даютъ возможность опредѣлять относительное расположеніе снятыхъ предметовъ.

Область питанія и область таянія и связь между ними.

Съ точки зрѣнія теоріи течения поверхность всякаго ледника удобно разбить на двѣ части: на часть, гдѣ слой стаивающаго за лѣто снѣга и льда меньше слоя, прибавляющагося за годъ, — *область питанія* — и на часть, гдѣ количество стаивающаго льда больше количества выпадающаго снѣга, — *область таянія*. Поэтому въ области питанія поверхность ледника покрыта всегда остатками отъ выпавшихъ твердыхъ осадковъ ближайшихъ лѣтъ — покрыта фирномъ, тогда какъ въ области питанія поверхность представляетъ либо остатокъ снѣга этого же года, либо ледъ, образовавшийся много десятковъ и сотъ лѣтъ назадъ. Раздѣлъ между областью питанія и областью таянія, изображенный

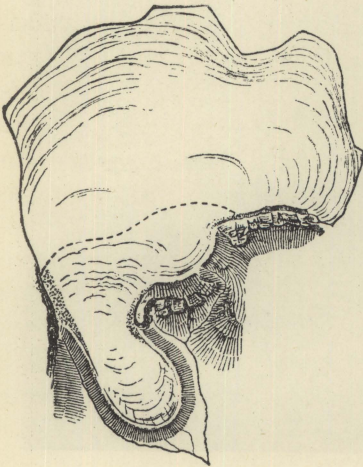


Рис. 117.

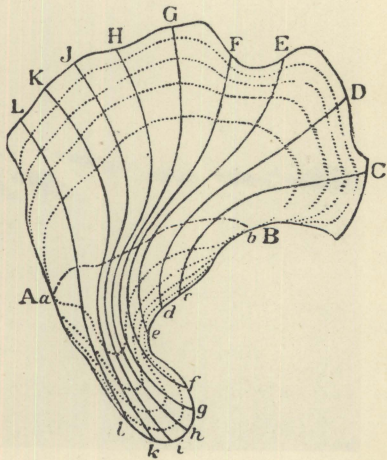


Рис. 118.

на планѣ ледника (рис. 117) пунктиромъ, можно поэтому называть *фирновою линією*.

Каждая снѣжинка, выпавшая въ области питанія и не растаявшая тамъ, входитъ въ составъ зерна фирна и въ этомъ видѣ, а затѣмъ въ видѣ части зерна ледниковаго льда проходитъ вдоль ледника и стаиваетъ гдѣ нибудь въ области таянія, выглянувъ послѣ долгаго подледнаго путешествія на свѣтъ божій. Другая частица снѣга, выпавшая на томъ же

мѣстѣ области питанія, проходить по тому же пути и стаиваетъ въ томъ же мѣстѣ области таянія. Такимъ образомъ, въ ледникѣ можно провести мысленно цѣлый рядъ вполне опредѣленныхъ линій — „*линій тока*“ —, представляющихъ пути снѣжинокъ. Каждая изъ этихъ линій начинается гдѣ нибудь въ области питанія и заканчивается въ соотвѣтствующемъ, вполне опредѣленномъ мѣстѣ области таянія. На рис. 118 изображены сплошными линіями — *Cc, Dd, Ee, ...* — проекціи такихъ линій тока на дно ледника рис. 117; *ab* — фирновая линія. Рис. 119 представляетъ уже не схему обла-

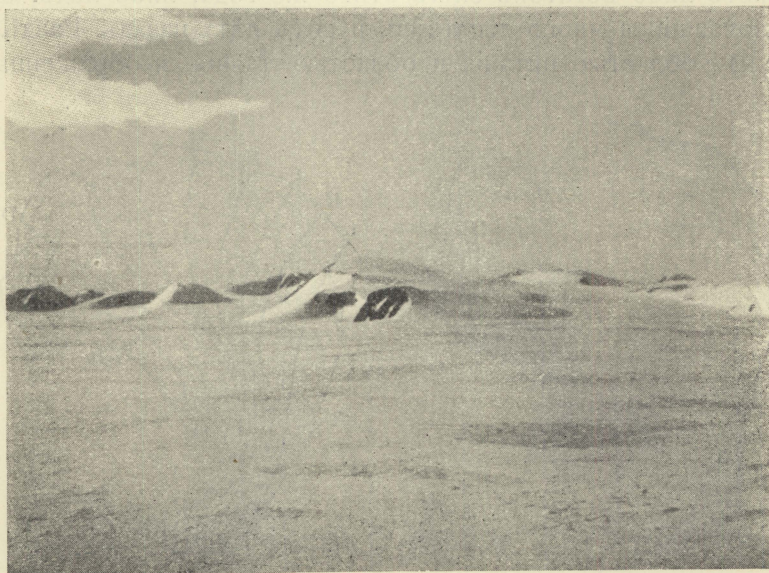


Рис. 119.

сти питанія и области таянія ледника, а снимокъ съ типичной области питанія — съ фирноваго поля одного изъ ледниковъ Шпицбергена.

Фирнъ, слоистость его и полосчатость ледниковаго льда.

Если взглянуть на вертикальное сѣченіе фирна, которое ясно видно въ трещинахъ (рис. 120), то бросается въ глаза его „*слоистость*“. Слоистость фирна есть тоже своего рода

шифрованная метеорологическая запись, которую мы лишь еле-еле умѣем дешифровать.

Если морозною ночью на ледникъ выпалъ слой снѣга, а днем его пригрѣетъ солнышко, то—въ зависимости отъ температуры воздуха и облачности—большая или меньшая часть этого свѣжаго снѣга растаетъ. Получившаяся вода



Рис. 120.

пропитаеъ верхній слой еще не растаявшаго снѣга—на различную глубину, смотря по рыхлости снѣга, которая, въ свою очередь, стоитъ въ связи съ температурою выпавшаго снѣга, силы вѣтра при его выпаденіи и другихъ обстоятельствъ. Слѣдующею ночью этотъ пропитанный водою снѣгъ болѣе или менѣе подмерзнетъ—въ зависимости отъ того, на сколько низка будетъ температура воздуха и

насколько сильно будет лучеиспускание или, другими словами, насколько густо прикрыта будет поверхность земли своимъ воздушнымъ одѣяломъ—облаками. Если слѣдующіе дни не будетъ итти снѣгъ, то этотъ процессъ будетъ повторяться,—и „насть“, какъ называютъ у насъ подобную ледяную корку, станетъ еще толще и еще плотнѣе закупорить въ начинающемъ образовываться фирнѣ тотъ воздухъ, который остается между снѣжинками еще не промокшаго или только начинающаго промокать снѣга. Если же въ эти дни будетъ сильный вѣтеръ, онъ можетъ нанести съ сосѣднихъ горъ довольно много пыли,—и верхняя часть наста будетъ грязнѣе нижнихъ. Чѣмъ дольше будетъ промежутокъ времени до слѣдующаго снѣга, тѣмъ больше будетъ количество осѣвшей пыли,—и тѣмъ отчетливѣе будетъ раздѣлъ между этимъ „слоемъ“ и слѣдующимъ.

Не буду ставить точекъ надъ „і“, потому что изъ сказаннаго каждый изъ васъ пойметъ, что мы можемъ научиться читать многое по структурѣ и составу слоя фирна.

Описанные процессы должны итти значительно интенсивнѣе лѣтомъ, чѣмъ зимою, такъ что по сравнительному обилію прослоекъ, болѣе плотныхъ и болѣе напоминающихъ ледъ, или же прослоекъ, болѣе рыхлыхъ и болѣе снѣгообразныхъ, можно, думается, судить о томъ, представляетъ ли данный слой фирна зимній или лѣтній метеорологическій бюллетень.

Слоистость фирна, по мнѣнію нѣкоторыхъ авторовъ, превращается въ „полосчатость“ ледниковаго льда, которая обнаруживается отчетливѣе всего у конца его языка,—возьмите, напр., рис. 121, изображающій снимокъ съ боковой стѣны конца одного изъ Гренландскихъ ледниковъ. Эта „полосчатость“ состоитъ въ смѣнѣ болѣе прозрачныхъ слоевъ голубого льда и болѣе мутныхъ слоевъ бѣлаго льда, отличающагося отъ голубого обиліемъ пузырьковъ воздуха, которые и придаютъ ему молочный оттѣнокъ.

Можетъ быть, бѣлые слои ледниковаго льда—потомки снѣга, выпавшаго въ фирновомъ полѣ зимою, а голубые—, выпавшаго лѣтомъ? За отсутствіемъ соответствующихъ наблюдений (замѣчу кстати, что, вслѣдствіе меньшей доступ-

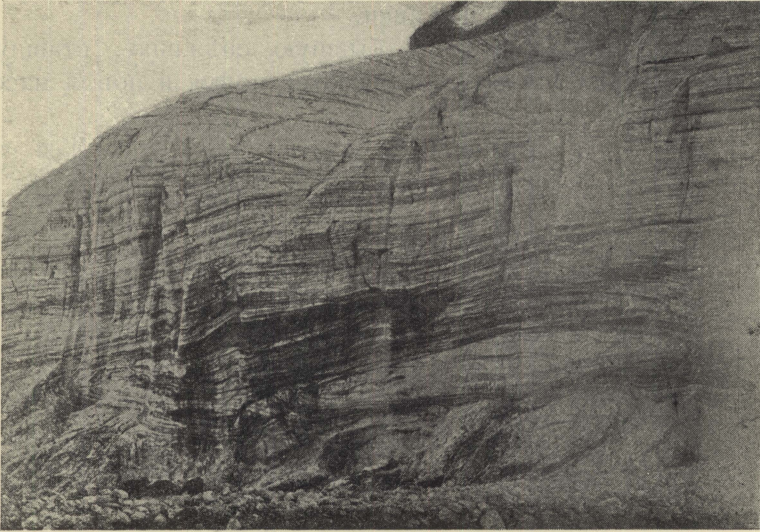


Рис. 121.

ности фирновых полей, фирнь изученъ пока очень мало) догадка эта остается догадкою.

Линіи тока въ ледникѣ.

Снѣжинка, упавшая въ опредѣленномъ мѣстѣ фирноваго поля, если не превратится въ воду, стекшую внизъ, пройдетъ по совершенно опредѣленной линіи тока внутри ледника. Разберемъ, какъ можно прослѣдить путь снѣжинки, какъ вычертить мысленно линію тока, по которой она идетъ.

Если мы около снѣжинки *A* (рис. 122) воткнули въ фирнь палку *AE*, то и эту снѣжинку и прилегающую часть палки мало-по-малу заваливаютъ сверху новыя и новыя массы снѣга, но въ то же время сосѣдній съ палкою фирнь и ледъ перемѣщаются внизъ. Если точка *A* при движеніи льда внизъ по руслу опустится внизъ на кусокъ *AB*, который можно опредѣлить при помощи тригонометрической съемки, и окажется заваленною сверху снѣгомъ на кусокъ *BC*, который можно измѣрить по мѣткамъ на палкѣ, то, зная—изъ той же съемки—разность *AC* высоты поверхности

ледника въ точкахъ *A* и *C*, мы можемъ узнать начальное направлѣніе *AB* пути снѣжинки.

Мало-по-малу на нашу бывшую снѣжинку, ставшую частицею зерна фирна, наваливаются новыя и новыя массы

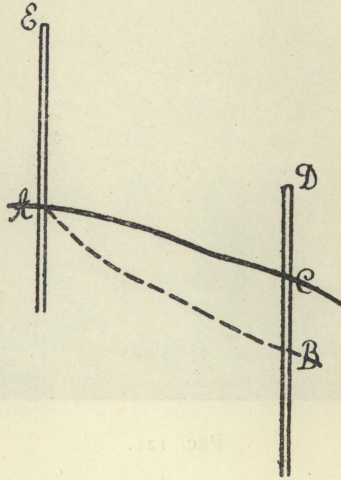


Рис. 122.

снѣга, и она, опускаясь внизъ по руслу, въ то же время погружается все глубже и глубже подъ поверхность ледника.

Близъ границы между областью питанія и областью таянія убыль отъ таянія почти равна прибыли отъ твердыхъ осадковъ, толща льда въ ледникѣ на этомъ протяженіи (если ледникъ не измѣняетъ своей ширины) почти не измѣняется,—линіи тока идутъ параллельно поверхности. Ледникъ въ этихъ частяхъ еще болѣе, чѣмъ въ остальныхъ, имѣетъ видъ какъ бы застывшей въ своемъ движеніи рѣки, но поверхность его зачастую чрезвычайно неровна, какъ это видно, на примѣръ, по рис. 123, представляющему среднюю часть одного изъ Гренландскихъ ледниковъ.

Въ области таянія убыль отъ таянія превышаетъ прибыль отъ выпадающаго снѣга, и толща льда по мѣрѣ его движенія внизъ становится все меньшею и меньшею. Чѣмъ дальше отойдемъ мы отъ фирновой линіи, тѣмъ хуже сходится балансъ между убылью и прибылью и тѣмъ рѣзче

сказывается убывание толщины слоя льда по мѣрѣ удаленія отъ фирновой линіи. Это наглядно показываетъ рис. 124, изображающій продольное сѣченіе Гинтерейсфернера съ линіями тока въ немъ.

Узнать конечное направленіе линій въ области таянія можно такимъ же способомъ, какъ начальное. Если палка



Рис. 123.

AC (рис. 125), воткнутая въ ледъ, за то время, какъ она перемѣстится въ положеніе DE , обнажится отъ таянія льда на кусокъ BA , а поверхность ледника опускается на этомъ протяженіи на кусокъ BD , то линія тока будетъ AD .

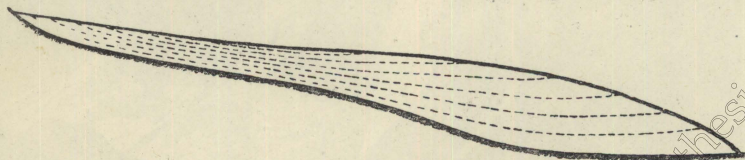


Рис. 124.

На нѣкоторой высотѣ избытокъ убыли отъ лѣтняго таянія надъ прибылью отъ выпавшаго за годъ снѣга будетъ равенъ тому количеству льда, которое за годъ передвигается къ этому мѣсту изъ верхнихъ частей ледника. Въ этомъ

мѣстѣ, слѣдовательно, весь ледъ, который подойдетъ сверху, и весь снѣгъ, который выпадетъ за зиму, стають за лѣто,

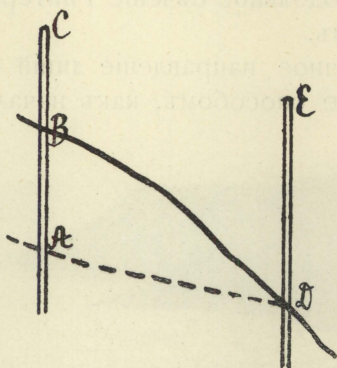


Рис. 125.

—и тутъ будетъ конецъ языка ледника. Нужно замѣтить, впрочемъ, что, такъ какъ сдвигается ледъ внизъ круглый годъ, а стаиваетъ только въ теплое время года, то конецъ



Рис. 126.

ледника за зиму подвигается впередъ, за лѣто отступаетъ назадъ.

Благодаря движенію льда, конецъ ледника, вообще говоря, оказывается гораздо ниже снѣговой линіи, и не рѣдкость — подобная ледяная рѣка, текущая между берегами, которые покрыты лугами, полями, лѣсами и цвѣтущими деревьями.

Такъ будетъ однако лишь тамъ, гдѣ снѣговая линія лежитъ на значительной высотѣ надъ уровнемъ моря. Въ этомъ случаѣ конецъ ледника приходится на сушѣ, и ледникъ либо какъ бы свисаетъ въ крутомъ углубленіи горы (рис. 126—одинъ изъ альпійскихъ ледниковъ), образуя такъ называемый висячій ледникъ, либо кончается лежащимъ въ долинѣ языкомъ, какъ это видно на рис. 115 и на рис. 127. Послѣдній рисунокъ, представляющій снимокъ съ одного



Рис. 127.

изъ ледниковъ на Новой Землѣ, любопытенъ въ томъ отношеніи, что по нему можно видѣть колоссальность размѣ-

ровъ этого языка: на большой снѣжной полянкѣ, ближайшей къ снимавшему (посрединѣ рисунка), черное пятнышко на лѣво—человѣкъ.

„Теорія теченія“ Финстервальдера.

Прежде, чѣмъ перейти къ судьбѣ ледниковаго покрова тамъ, гдѣ снѣговая линия лежитъ низко, остановимся еще на нѣкоторыхъ подробностяхъ замѣчательной теоріи Финстервальдера.

Тѣми способами, которые мы указали—см. рис. 122 и 125—, можно опредѣлить лишь начальное и конечное направленіе линіи тока, но нельзя сказать, какъ будетъ итти траекторія частицы внутри самаго ледника. Задача эта весьма трудна,— и весьма существенными данными для ея рѣшенія являются величина убыли въ различныхъ точкахъ поверхности ледника, скорости перемѣщенія этихъ точекъ и форма русла. Величины стаиванія и скорости на поверхности опредѣляются сравнительно легко, но нельзя того же сказать о формѣ русла. Вообще мы по отношенію къ ледникамъ находимся пока въ такомъ же состояніи, въ какомъ были метеорологи до изслѣдованій верхнихъ слоевъ атмосферы: они изучали явленія на днѣ воздушнаго океана, не имѣя почти никакихъ свѣдѣній о томъ, что дѣлается наверху, а современные изслѣдователи ледниковъ изучаютъ явленія на поверхности ледяныхъ рѣкъ, не имѣя, въ сущности, никакого понятія о томъ, что дѣлается у нихъ подъ ногами, и лишь догадываясь объ этомъ по явленіямъ на поверхности.

Изъ свѣдѣній о внутреннихъ частяхъ ледника кое-какія данныя мы имѣемъ относительно распредѣленія температуры тамъ. Наблюденія Блюмке и Гесса надъ температурою на различной глубинѣ продѣланныхъ ими буровыхъ скважинъ дали очень любопытный результатъ, что температура льда въ каждой точкѣ ледника—лѣтомъ, по крайней мѣрѣ,—равна температурѣ плавленія льда при давленіи, равномъ „глиціостатическому“ давленію столба льда, приходящагося надъ этимъ мѣстомъ. Такимъ образомъ, въ каждой точкѣ ледника могутъ сосуществовать вода и ледъ,—и относительное количество воды должно возрастать по мѣрѣ углубленія линіи

тока подъ поверхность и уменьшаться по мѣрѣ приближенія ея къ поверхности.

Форму русла и толщю слоя льда мы знаемъ приближительно—и то въ одномъ поперечномъ сѣченіи—лишь для одного ледника—Гинтерейсфернера—, знаемъ тоже благодаря работамъ Блюмке и Гесса. Трудности подобныхъ опредѣлений станутъ ясными, если сказать вамъ, что на высоту $2\frac{1}{2}$ —3 тысячъ метровъ пришлось втащить буровой инструментъ, вѣсившій въ общей сложности около 150 пудовъ, и описать одинъ эпизодъ при этихъ буреніяхъ.

При буреніи льда внутри него попадаются иногда камни, просверливаніе которыхъ очень затруднительно и долговременно,—и на одинъ изъ такихъ камней на глубинѣ нѣсколькихъ десятковъ метровъ наткнулись Блюмке и Гессъ, когда начали бурить въ той точкѣ сѣченія ледника, въ которой по предварительнымъ расчетамъ толща льда должна была быть наибольшею.

Проработавъ втеченіе нѣсколькихъ часовъ и не пройдя еще буромъ сквозь камень, Блюмке и Гессъ рѣшили вынуть буръ и попробовать счастья по сосѣдству. Но каждая новая буровая скважина, которую они закладывали, оказывалась еще неудачнѣе первой, потому что, начиная съ глубины нѣсколькихъ метровъ, попадались имъ многочисленные камни. Пробившись напрасно болѣе недѣли, Блюмке и Гессъ рѣшили вернуться къ старому другу, первой скважинѣ, и бурить до тѣхъ поръ, пока не пройдутъ сквозь попавшійся имъ въ первый разъ большой камень. Представьте себѣ ихъ удовольствіе и вмѣстѣ съ тѣмъ досаду, когда черезъ 20 минутъ послѣ возобновленія сверленія камня они прошли сквозь него, а затѣмъ до дна, до глубины въ 180 метровъ, не встрѣтили болѣе ни одного камешка ¹⁾.

Зная величину годовой убыли въ различныхъ мѣстахъ поверхности ледника и скорости движенія этихъ поверх-

¹⁾ Два года назадъ я произвелъ въ С.-Петербургѣ нѣсколько опытовъ буренія высокихъ столбовъ льда посредствомъ „электрическаго бура“, въ которомъ наконецникъ накаливался токомъ и плавилъ ледъ подъ собою. Способъ этотъ могъ бы, повидимому, дать возможность быстрѣе и дешевле производить буреніе ледниковъ, а также обходить камни, прибѣгая къ наклону стержня бура.

ностныхъ слоевъ, можно подсчитать, какое количество льда проходить за годъ чрезъ то или другое поперечное сѣченіе ледника, а отсюда, дѣлая нѣкоторыя предположенія о распредѣленіи скоростей въ поперечномъ сѣченіи, можно вычислить и среднюю скорость теченія въ данномъ сѣченіи, и площадь этого сѣченія, и форму русла. Укажу, что буреніе на Гинтерейсфернерѣ дало результаты, довольно близкіе къ вычисленнымъ.

Наблюденія надъ скоростями въ различныхъ точкахъ ледника показываютъ, что медленнѣе всего движутся части, прилегающія къ берегамъ, а быстрѣе всего — среднія. Части, прилегающія къ берегамъ, всетаки движутся, показывая этимъ, что масса льда не только измѣняетъ свою форму, но и скользитъ, какъ одно цѣлое, внизъ по руслу. При этомъ скольженіи она — благодаря несомому ею съ собою песку, камешкамъ и камнямъ — стираетъ и шлифуетъ въ иныхъ мѣстахъ русло ледника, какъ какое то гигантское точило, и оставляетъ почти неизгладимый слѣдъ своего движенія такими продольными письменами, которыя много говорятъ геологу. Довольно типичное распредѣленіе скоростей на поверхности изображаетъ рис. 128; это — распредѣленіе скоростей въ одномъ изъ сѣченій ледника Mer de glace въ Аль-

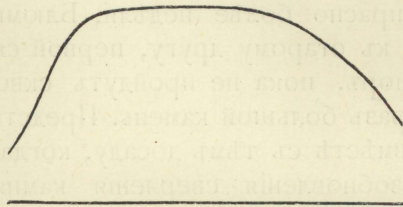


Рис 128.

пахъ, текущаго съ Монблана. Замѣчу, что такой же видъ должна съ теченіемъ времени принять, если смотрѣть на нее сверху, линія уложенныхъ поперекъ ледника камней или установленныхъ поперекъ ледника вѣхъ.

Наблюденія обнаруживаютъ также, что тамъ, гдѣ русло ледника суживается, а также тамъ, гдѣ наклонъ русла увеличивается, скорость движенія льда больше, чѣмъ въ дру-

гихъ мѣстахъ русла. Если же сравнить между собою различные ледники, то быстрота теченія (варьирующая, на примѣръ, у европейскихъ ледниковъ въ среднихъ ихъ частяхъ въ предѣлахъ 30—150 метровъ въ годъ), оказывается тѣмъ больше, чѣмъ шире ледникъ, чѣмъ больше наклонъ, а также, чѣмъ болѣею можно предположить толщину ледника.

Такимъ образомъ, въ ледникахъ наблюдаются совершенно такія же — на первый взглядъ, по крайней мѣрѣ, — законности, какія знаемъ мы у воды, текущей въ рѣкѣ. Отмѣчу пока лишь несущественное отличіе — наличность въ ледникѣ скольженія по дну, котораго не наблюдается въ рѣкѣ.

Сліяніе ледниковъ и образованіе моренъ съ точки зрѣнія теоріи Финстервальдера.

Если придерживаться теоріи теченія, то линіями тока — *Cc*, *Dd*, *Ee* и т. д. на рис. 118 — можно разбить ледникъ на отдѣльные составляющіе ледники, въ каждомъ изъ которыхъ течетъ свой собственный ледъ, не перемѣшивающійся со льдомъ сосѣднихъ составляющихъ ледниковъ. Точно также, когда сливаются два ледника (на рис. 115 видно сліяніе Гинтерейсфернера съ Кессельвандфернеромъ, спускающимся къ нему недалеко отъ конца лѣвой стороны, если смотрѣть внизъ по долинѣ), то частицы льда каждаго ледника продолжаютъ идти по своимъ линіямъ тока, измѣнившимъ лишь направленіе, — и край одного изъ ледниковъ образуетъ собою подвижную — въ направленіи общаго движенія — стѣнку для другого. Зачастую стѣнка эта отчетливо видна — въ трещинахъ, на примѣръ, — ввидѣ внутренней морены или „грязевого шва“.

Мореною называется скопленіе грязи, песку, камней, которое несетъ на себѣ или въ себѣ ледъ въ извѣстныхъ частяхъ ледника и которое онъ отлагаетъ затѣмъ, при своемъ таяніи, въ томъ или другомъ мѣстѣ русла. Смотря по тому, гдѣ несетъ и отлагаетъ ледъ весь этотъ матерьялъ, морены называютъ донными, внутренними, срединными, краевыми.

Если сливаются два ледника, то въ мѣстѣ ихъ соединенія необходимо долженъ быть край горы, и, если порода

тамъ—не особенно прочная и постепенно разрушается водою и вѣтромъ, то части ея—отъ маленькихъ пылинкокъ до цѣлыхъ скалъ—или попадаютъ на края сливающихся ледниковъ, или защемляются нажимающими другъ на друга внутренними ихъ частями,—и образуется срединная и внутренняя морена.

Если сливаются не области таянія (какъ въ случаѣ рис. 115) двухъ ледниковъ, то срединная поверхностная морена можетъ оказаться заваленною снѣгомъ и фирномъ и затѣмъ обнаруживаться лишь въ области питанія уже внутри льда соединеннаго ледника, служа указаніемъ на то, что онъ образовался изъ нѣсколькихъ притоковъ.

Попытка физической теоріи движенія льда въ ледникахъ.

Струи двухъ сливающихся ледниковъ остаются до конца раздѣльными, между тѣмъ какъ въ двухъ сливающихся рѣчкахъ струи ихъ перемѣшиваются другъ съ другомъ, и чрезъ нѣсколько сотъ саженъ или нѣсколько верстъ нельзя отличить, какая вода принадлежитъ одной рѣчкѣ, какая—другой. Уже это показываетъ, что теченіе воды въ рѣчкѣ и теченіе льда въ ледникѣ подобны, но не совсѣмъ.

И въ самомъ дѣлѣ, въ рѣчкѣ линіи тока имѣютъ въ известной мѣрѣ условное значеніе, потому что, кромѣ общаго движенія въ направленіи линій тока, у воды, текущей въ рѣчкѣ, рѣчкѣ, ручьѣ и даже въ водопроводной трубѣ, есть еще вихревыя движенія—мельчайшіе, мелкіе, средніе и крупныя водовороты. Такіе водовороты вы, вѣроятно, видѣли не разъ: они особенно ясно замѣтны—ввидѣ воронкообразныхъ углубленій—въ мѣстахъ, гдѣ теченіе быстро, если поверхность воды гладка и спокойна.

Водовороты эти, какъ показали изслѣдованія Рейнольдса, появляются только тогда, когда у сосѣднихъ, движущихся въ одномъ направленіи слоевъ получается достаточная разность скоростей. Если же разности скоростей невелики, какъ будетъ въ случаѣ очень узкихъ капиллярныхъ трубокъ, движеніе воды получается „спокойное“, по терминологіи Рейнольдса,—каждая частица идетъ параллельно оси трубки по своей линіи тока. Если же взять трубку пошире и про-

гонять воду подъ все бѣльшимъ и бѣльшимъ давленіемъ, то наступаетъ „непокойное“ теченіе, сопровождающееся появленіемъ вихровыхъ движеній — сначала только по оси трубки — и смѣшеніемъ слоевъ другъ съ другомъ.

„Критическая скорость“, при которой спокойное теченіе смѣняется неспокойнымъ, будетъ тѣмъ меньше, чѣмъ больше діаметръ трубки и чѣмъ меньше коэффициентъ внутренняго тренія жидкости. Если уподобить ледникъ половинѣ трубки, то, напримѣръ, для теченія льда въ Гинтеррейсфернерѣ, благодаря громадной вязкости льда, критическая скорость оказалась бы превышающею въ нѣсколько разъ скорость свѣта, такъ что съ несомнѣнностью можно сказать, что „льдовороты“ въ ледникѣ невозможны. Поэтому уподоблять теченіе льда въ ледникѣ слѣдуетъ теченію воды не въ рѣкѣ, а въ капиллярной трубкѣ: для льда ледникъ есть капилляръ, а широкою трубкою для льда была бы трубка діаметромъ въ діаметръ земного шара.

Это обстоятельство не только не ослабляетъ теоріи Финстервальдера, имѣющей скорѣе геометрической, кинематической характеръ, чѣмъ физической, но позволяетъ положить ее въ основу физической теоріи ледниковъ — теоріи, которая связала бы причину движенія — силу тяжести — съ ея результатами — скоростями различныхъ точекъ ледника — посредствомъ физическаго свойства льда — его вязкости.

При попыткѣ построить такую теорію¹⁾ я убѣдился, что теорія спокойнаго теченія въ каналахъ того или другаго сѣченія оказалась совершенно не затронутою. Разсматривая каналъ, какъ половину трубки, которая, будучи разсѣчена пополамъ горизонтальною плоскостью, давала бы этотъ каналъ, я получилъ возможность свести задачу о каналахъ къ задачѣ о спокойномъ теченіи по трубкѣ — задачѣ, которая рѣшена для ряда сѣченій.

Приведу нѣкоторые результаты, ограничиваясь графическими изображеніями. На рис. 129 толстыя сплошныя ли-

¹⁾ Теорія эта развита мною въ работѣ „О внутреннемъ треніи льда“, напечатанной въ Журн. Р. Ф. Х. О. за 1906 г. и изложена, въ существенныхъ чертахъ, въ статьѣ „Внутреннее треніе льда и физическія теоріи ледниковъ“ — „Физ. Обзор.“, 1907 г.

ни соединяють тѣ точки жидкости, текущей по каналу треугольнаго сѣченія, которыя обладают скоростями въ $\frac{1}{5}$, $\frac{2}{5}$, $\frac{3}{5}$ и $\frac{4}{5}$ наибольшей скорости—скорости у частицъ середины свободной поверхности жидкости. Рис. 130 изображаетъ такія же „лініи равныхъ скоростей“ для канала полуэллиптическаго сѣченія (сплошныя лініи) и для канала

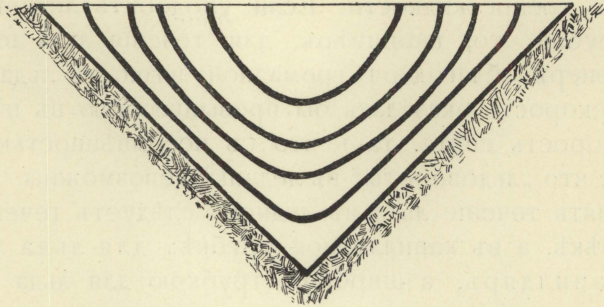


Рис. 129.

полукруглаго сѣченія, при чемъ лінія надъ свободною поверхностью изображаетъ распределе́ніе скоростей въ поверхностномъ слое¹⁾. На рис. 131 проведены лініи равныхъ

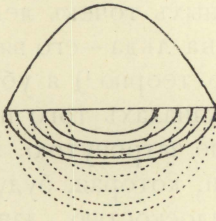


Рис 130.

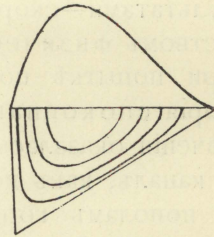


Рис. 131.

скоростей и изображено распределе́ніе скоростей на свободной поверхности для случая канала съ одною вертикаль-

¹⁾ Распределе́ніе это не зависитъ отъ отношенія осей эллипса и выражается параболическимъ закономъ:

$$v = k(a^2 - d^2) \quad (10),$$

гдѣ v — скорость въ точкѣ, отстоящей на разстояніи d отъ середины поверхности, a — разстояніе отъ этой середины до края, а k — коэффициентъ пропорціональности.

ною и одною наклонною, вдвое болѣе длинною, стѣнкою. Обращу ваше вниманіе на то, что въ случаѣ, когда стѣнка идетъ вертикально внизъ, возрастаніе скоростей отъ стѣнки къ серединѣ идетъ, все время замедляясь; между тѣмъ въ томъ случаѣ, когда стѣнка наклонна, возрастаніе скорости идетъ сначала медленно, затѣмъ быстрѣе, а затѣмъ снова медленно, такъ что кривая распредѣленія скоростей имѣетъ перегибъ.

Обращаясь теперь къ дѣйствительнымъ ледникамъ, мы видимъ, что единственное, что намъ извѣстно, — и то относительно небольшой ихъ части — это именно — распредѣленіе скорости въ поверхностномъ слоѣ. Для сопоставленія этихъ распредѣленій удобнѣе всего сравнивать относительныя скорости¹⁾, выражая ихъ для каждаго сѣченія въ процентахъ наибольшей скорости въ этомъ сѣченіи, и при томъ сравнивать эти относительныя скорости въ точкахъ, отстоящихъ отъ середины ледника на одинаковую долю разстоянія отъ берега до середины. Распредѣленія скоростей, даже будучи подведены подъ подобную общую мѣрку, оказываются довольно разнообразными —, вѣроятно, въ зависимости отъ различій въ формѣ русла —, но не настолько, чтобы не имѣло смысла вывести изъ нихъ нѣкоторое среднее, типичное распредѣленіе. Такое среднее дано ввидѣ сплошной кривой на рис. 132, на которомъ вверхъ отложены относительныя значенія скорости v , а вправо — относительныя значенія разстоянія d отъ середины. Кривая эта имѣетъ характерный перегибъ, сравнительно мало отличаясь вмѣстѣ съ тѣмъ отъ распредѣленія скоростей на поверхности полуэллиптическаго канала (рис. 130) — распредѣленія, представленнаго на рис. 132 пунктирною кривою. Такимъ образомъ, сѣченіе русла въ среднемъ —, если вѣрны сравненіе теченія льда со спокойнымъ теченіемъ воды и всѣ вытекающія изъ такого предположенія слѣдствія, — должно напоминать полуэллипсъ, но не съ вертикальнымъ, а съ на-

¹⁾ И даже не самыя скорости, а разности скоростей данной точки поверхности и скорости у краевъ: такъ какъ скорость у края зависитъ отъ скольженія, то эти разности и выражаютъ собою результаты теченія — въ смыслѣ измѣненія формы.

клоннымъ начальнымъ направлениемъ стѣнокъ. Русла прежнихъ ледниковъ, если не обращать вниманія на борозду, вымытую въ большинствѣ изъ нихъ ледниковымъ ручьемъ, имѣютъ, въ самомъ дѣлѣ, подобную форму.

У единственнаго ледника—Гинтерейсфернера—, для котораго форма русла извѣстна, форма эта настолько непра-

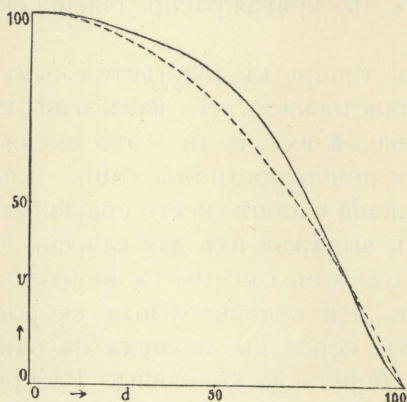


Рис. 132.

вильна, что можно было лишь крайне приблизительно по скоростямъ движенія поверхностныхъ слоевъ вычислить вязкость льда. Поэтому я счелъ простою случайностью, что полученное значеніе оказалось чрезвычайно близкимъ къ значенію, вытекавшему изъ непосредственныхъ моихъ измѣреній. Не смѣя истолковывать это совпаденіе, какъ подтвержденіе моего взгляда на физическую сторону вопроса, я, во всякомъ случаѣ, не могу считать это совпаденіе противорѣчіемъ этой теоріи, — и потому позволяю себѣ высказать, — не, какъ что нибудь достовѣрное, а какъ мое глубокое убѣжденіе, — что теченіе льда въ ледникѣ подобно теченію льда въ капиллярѣ.

Отступаніе и наступаніе ледниковъ.

Какое же значеніе имѣетъ изученіе движенія льда въ ледникахъ и построеніе теоріи этого явленія? Кромѣ того интереса, который представляетъ научное изученіе всякаго явленія природы—, особенно, такого грандіознаго, какъ лед-

ники,—изученіе ледниковъ можно разсматривать съ практическихъ сторонъ: съ одной, близко касающейся обитателей мѣстностей, сосѣднихъ съ нѣкоторыми ледниками, и съ другою, касающейся обитателей всего земного шара, если не въ нашемъ лицѣ, то въ лицѣ отдаленныхъ нашихъ потомковъ.

Объ эти стороны основаны на томъ, что конецъ ледника не остается на мѣстѣ. Лѣтомъ, какъ я уже упоминалъ, онъ всегда отходитъ вверхъ по долинѣ, зимою подвигается внизъ. Размѣры лѣтняго и зимняго перемѣщенія почти всегда различны. Если лѣто выдалось холодное, то къ концу лѣта стаетъ недостаточно льда,—и къ осени конецъ ледника окажется лежащимъ дальше внизъ по долинѣ, чѣмъ было предыдущею осенью. Если это повторяется нѣсколько лѣтъ подрядъ, про ледникъ говорятъ, что онъ „наступаетъ“. Если лѣто было жаркимъ, успѣетъ стаять очень много льду,—и конецъ ледника окажется къ осени отодвинувшимся вверхъ въ сравненіи съ тѣмъ, что было предыдущею осенью: ледникъ „отступаетъ“.

Періоды отступанія и періоды наступанія довольно правильно чередуются другъ съ другомъ, какъ это можно видѣть, между прочимъ, изъ таблицы IV, гдѣ сопоставлены свѣдѣнія о годахъ наибольшаго наступанія нѣсколькихъ альпійскихъ ледниковъ, поскольку эти свѣдѣнія сохранились.

Таблица IV.

Годы наибольшаго наступанія нѣкоторыхъ ледниковъ.

Гриндель-вальдскій	Фер-нагтъ	Бисъ	Алла-линь	Рюиторъ	Макуньяна
1605	1599	—	—	1594	—
—	—	1636	1633	1631	—
—	1677	—	1680	1679	—
1719	—	—	—	—	—
1743	—	1736	1740	1748	—
1778	1771	1786	1772	—	1780
1822	1822	1819	1820	—	1820
1855	1848	1848	1848	1850	1860
1898	1902	—	1894	—	1893

Изъ этой таблицы ясно видно, что наступанія ледниковъ повторяются лѣтъ черезъ 30—40, и при томъ—почти одновременно для всей группы этихъ ледниковъ. Это обстоятельство можно поставить въ связь съ такою же періодичностью въ смѣнѣ теплыхъ и сухихъ годовъ и годовъ холодныхъ и влажныхъ—смѣнѣ, періодъ которой также равенъ приблизительно 35 годамъ.

Ледниковые періоды въ жизни земного шара.

Кромѣ такихъ короткихъ періодовъ смѣны теплыхъ и холодныхъ годовъ, вызывающей смѣну отступанія и наступанія ледниковъ, есть аналогичные періоды гораздо большей длины—не въ 30—40 лѣтъ, а въ 30—40 тысячъ лѣтъ.

Въ настоящее время мы переживаемъ періодъ значительно болѣе высокой средней температуры поверхности земного шара, чѣмъ было 15—20 тысячъ лѣтъ назадъ,—и ледники въ этотъ послѣдній „ледниковый періодъ“ покрывали гораздо большее пространство, чѣмъ теперь. Въ Европѣ, напримѣръ, они покрывали почти всю нынѣшнюю Великобританію, почти всю Германію, значительную часть Россіи (приблизительно до 50° сѣв. широты), весь Скандинавскій полуостровъ. Теперь же они сохранились только въ нѣкоторыхъ горныхъ странахъ—въ Швейцаріи, въ Тиролѣ, на Кавказѣ—, да за полярнымъ кругомъ, гдѣ суша почти сплошь покрыта и теперь ледянымъ покровомъ.

Земной шаръ пережилъ такихъ ледниковыхъ періодовъ уже нѣсколько,—съ достовѣрностью можно обнаружить слѣды четырехъ,—и каждый разъ снѣговая линия спускалась все ниже и ниже. Это служитъ указаніемъ, что средняя годовая температура земной атмосферы, то повышаясь, то

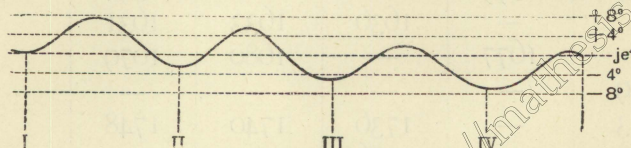


Рис. 133.

понижаясь, въ общемъ всетаки понижается, какъ это изображаетъ рис. 133. Отсюда съ большою вѣроятностью

можно заключить, что через 15—20 тысяч лѣтъ будетъ разгаръ —, если только это слово подходитъ здѣсь, — новаго ледниковаго періода, — и тѣ мѣста поверхности земного шара, которыя теперь являются центрами цивилизаціи, должны будутъ оказаться заволокнутыми толстымъ слоемъ льда.

Будемъ однако надѣяться, что человѣчество справится въ свое время съ этою опасностью, если только оно гораздо раньше не погибнетъ отъ избытка углекислоты въ атмосферѣ¹⁾.

Ледниковыя катастрофы.

Отъ этихъ грандіозныхъ катастрофъ, грозящихъ всему культурному человѣчеству, перейду къ сравнительно мелкимъ горямъ, причиняемымъ теперь ледниками, и ограничусь указаніемъ двухъ примѣровъ.

На Кавказѣ съ отроговъ Казбека вблизи Военно-грузинской дороги спускается Девдоракскій ледникъ, довольно небольшихъ размѣровъ: длина его всего 6 верстъ, — и онъ довольно узокъ, тогда какъ, напримѣръ, Алечскій ледникъ въ Альпахъ имѣетъ 30 километровъ въ длину и 2 километра въ ширину, а онъ еще малъ по сравненію, напримѣръ, съ ледниками Гималаевъ или съ отрогами ледниковаго покрова Гренландіи. Но Девдоракскій ледникъ въ періоды наступанія спускается на такіе крутые склоны, что не разъ отъ него отрывались при этомъ громадныя куски, заваливавшіе и разрушавшіе Военно-грузинскую дорогу, а иногда запруживавшіе Терекъ: получалось за такую плотину цѣлое озеро, которое затѣмъ прорывалось въ долину и производило наводненія.

Второй примѣръ. Въ ту же долину, по которой течетъ ручей, образующійся отъ таянія Гинтерейсфернера и отъ таянія сосѣдняго съ нимъ Гохіохфернера (рис. 134), впадаетъ долина, по которой спускается Фернагтфернеръ. Въ настоящее время конецъ его отстаетъ отъ главной долины на 2 километра, но въ періоды наступанія онъ иногда не только наступалъ до нея, но и загораживалъ ее собою.

¹⁾ См., напримѣръ, мою брошюру: „Люди жизни, думайте о грядущихъ поколѣніяхъ! (Соціальныя задачи опытныхъ наукъ)“. Москва, 1907.

Такъ въ началѣ прошлаго столѣтія Фернаттфернеръ настолько спустился, что языкъ его принялъ форму гигантскаго **T** и своими концами образовалъ въ долинѣ плотину въ 400 метровъ ширины (поперекъ долины), въ 200 м. высоты и въ 1200 м. толщины. Запруженный этою плотиною ручей, небольшой, но быстрый, образовалъ озеро длиною

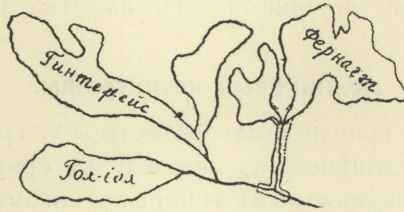


Рис. 134.

въ 1500 м., шириною въ 300 м. и глубиною въ 100—150 м. Озеро это въ концѣ концовъ прорвало ледяную плотину, и скопившаяся въ немъ масса воды хлынула внизъ, сокрушивъ все на пути и принеся громадныя убытки населенію долины.

Проекты борьбы съ этимъ явленіемъ либо фантастичны (взрываніе этой плотины, прострѣливаніе (!) въ ней пушками канала), либо чрезмѣрно дороги (постройка свода надъ ручьемъ, устройство подземнаго канала, устройство канала поверхъ ледяной плотины, постройка ниже по долинѣ расположенныхъ плотинъ со шлюзами). Поэтому экономичнѣе отъ времени до времени подвергаться убыткамъ отъ такого наводненія, принимая лишь мѣры, чтобы убытки эти не были слишкомъ велики,—мосты строить высокіе, дороги проводить повыше, не засѣивать хлѣбомъ прибрежныя поля въ тѣ годы, когда ледникъ наступаетъ, а самое главное—устанавливать сторожевую службу около плотины для сигнализации, предупреждающей о прорывѣ воды.

Но для того, чтобы не терпѣть этихъ убытковъ напрасно, надо предвидѣть время, когда опасность будетъ на лицо, а для этого надо построить теорію такихъ быстро наступающихъ ледниковъ. Въ этомъ направленіи есть уже нѣсколько попытокъ; та же теорія теченія, которую я изло-

жилъ вамъ, относится къ ледникамъ стаціонарнымъ—такимъ, въ которыхъ колебанія конца изъ года въ годъ приблизительно одинаковы, и которые нельзя считать ни отступающими, ни наступающими. Къ небольшому числу такихъ ледниковъ принадлежитъ Гинтерейсфернеръ, почему онъ и былъ избранъ для изслѣдованій Финстервальдеромъ и его сотрудниками.

Ледниковый покровъ полярныхъ странъ.

Мы пока прослѣдили судьбу снѣга, выпадающаго на такихъ ледникахъ, гдѣ снѣговая линія лежитъ значительно выше уровня моря. Если же снѣговая линія лежитъ невысоко надъ уровнемъ моря, то конецъ ледника можетъ легко дойти до моря, и ледниковый покровъ можетъ покрывать всю сушу. И, въ самомъ дѣлѣ, значительная часть Шпицбергена, почти всѣ острова, лежащіе за сѣвернымъ и за южнымъ полярными кругами, почти вся Гренландія покрыты пластомъ вѣчнаго льда. Поверхность Гренландіи, на примѣръ, только у береговъ свободна ото льда, покрывающаго всю ее ввидѣ сплошнаго, гладкаго, ровнаго, повышеннаго по срединѣ и болѣе низкаго къ берегамъ щита, надъ которымъ на большихъ разстояніяхъ другъ отъ друга возвышаются отдѣльныя вершины—„нунатаки“. Покровъ этотъ постепенно расплзается въ стороны, а въ возмѣщеніе этой убыли сверху изъ года въ годъ прибавляются новые осадки. Законы такого расплзанія ледянаго покрова совершенно не изучены, а между тѣмъ тутъ явленія движенія льда проявляются въ еще болѣе грандіозныхъ размѣрахъ, чѣмъ въ горныхъ странахъ, и именно такія явленія грозятъ почти всей Европѣ въ будущемъ, хотя и отдаленномъ. Отроги ледянаго покрова въ полярныхъ странахъ—въ Исландіи, Гренландіи, на Шпицбергенѣ и т. д.—представляютъ собою гигантскіе ледники площадью въ нѣсколько сотъ квадратныхъ километровъ и движущіеся со скоростью въ нѣсколько тысячъ метровъ въ годъ: наблюдались случаи перемѣщенія вѣхъ на 20 метровъ въ день, т. е. почти на одинъ метръ въ часъ.

Рис. 135 изображаетъ фотографію съ конца одного изъ Гренландскихъ ледниковъ, спускающагося прямо въ

фіордъ, прямо въ море,—фотографію, снятую вскорѣ послѣ того, какъ отъ него отломился большой кусокъ.



Рис. 135.

Айсберги.

Часто отъ спускающагося въ море конца ледника подъемною силою воды, силою волнь—въ особенности подъ вліяніемъ теплоты воды и воздуха—отламываются большіе куски; ледникъ, какъ говорятъ, „телится“ (рис. 136).

Но, если ледъ крѣпокъ и быстро спускается въ воду, то языкъ можетъ значительно продвинуться впередъ въ море, и отъ него будутъ отламываться кусочки побольше—въ нѣсколько сотъ метровъ и даже нѣсколько километровъ въ поперечникъ—цѣлыя ледяныя горы, „айсберги“, которые и



Рис. 136.

начинают затѣмъ носиться по морю. Такіе айсберги имѣютъ часто очень причудливыя формы, какъ это можно видѣть по рис. 137, на которомъ о размѣрахъ горы можно судить

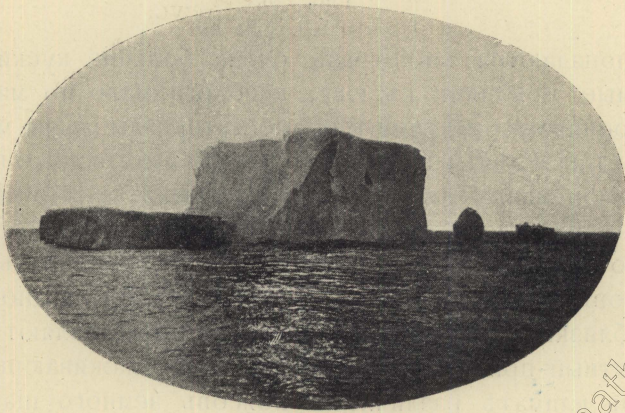


Рис. 137.

по пароходу, находящемуся нѣсколько дальше справа — и по рис. 138, на которомъ немного лѣвѣе самой высокой ча-

сти горы, внизу — приблизительно на одной седьмой высоты горы — можно рассмотреть нѣсколько черныхъ точекъ — пингвиновъ; такъ какъ пингины — очень крупная птица, то эта подробность снимка даетъ также возможность судить о размѣрахъ, которыхъ достигла эта ледяная гора. А подъ водою находится кусокъ разъ въ 6—8 большей толщины!

Айсберги происходятъ изъ ледниковаго льда и потому часто несутъ на себѣ и въ себѣ части моренъ, среди кото-

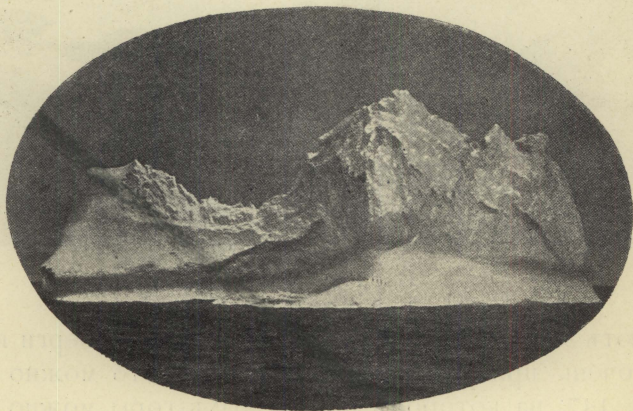


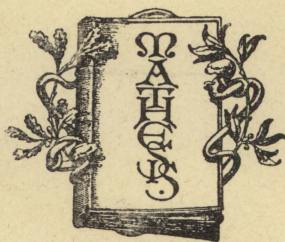
Рис. 138.

рыхъ попадаются иной разъ очень большіе куски скаль. Уносимые теченіями къ югу, айсберги мало по малу плаваются, роняя несомые ими твердые матерьялы на дно морей, — и слѣды такой дѣятельности ихъ можно видѣть даже въ средней Россіи ввидѣ валуновъ, занесенныхъ туда айсбергами въ то время, когда эта часть Европы была еще дномъ моря.

Но помимо переноса вещества съ надводныхъ частей острововъ и материковъ полярныхъ странъ на дно морей, менѣе близкихъ къ полюсамъ, айсберги представляютъ также любопытный примѣръ переноса энергіи, сглаживающаго разницы въ климатѣ различныхъ поясовъ земного шара. Что эти айсберги переносятъ отъ полюса не малые запасы „холода“, можно видѣть изъ расчетовъ, показывающихъ, что, напримѣръ, съ береговъ Гренландіи за годъ отдѣляется до 400 милліоновъ кубическихъ километровъ плавучаго льда!

А такое количество льда, плаваясь на воздухѣ, могло бы охладить воздухъ до предѣловъ атмосферы градусовъ на 10 на пространствѣ милліона квадратныхъ километровъ!

Я, къ сожалѣнію, могъ лишь вскользь остановиться на затронутыхъ вопросахъ, но думаю, что и сказаннаго мною достаточно, чтобы показать, какой горячій интересъ можетъ вызвать такая холодная тема, какъ вода въ твердомъ состояніи въ природѣ. И, если когда нибудь кто нибудь изъ васъ, заинтересовавшись этимъ кладеземъ мало разработанныхъ вопросовъ, заполнить своими наблюдениями или изслѣдованіями хоть небольшой пробѣлъ въ нашихъ свѣдѣніяхъ о снѣгѣ, инеѣ, градѣ, льдѣ, ледникахъ, я буду считать себя вполне удовлетвореннымъ.



<http://mathesis.ru>





<http://mathesis.ru>

Цена 1 руб.

1 р. 20 к.