

## Къ физикѣ системы, имѣющей перемѣнное движеніе.

Н. Любимова.

Различіе двухъ состояній, — покоя и движенія, ничѣмъ не обозначается въ тѣлѣ, если движеніе свершается равномерно и прямолинейно. Матерія сама по себѣ индифферентна къ покою и движенію. Матеріальная точка не носитъ въ себѣ причины измѣненія своего состоянія. Требуется дѣйствіе извнѣ, чтобы измѣненіе это послѣдовало и матеріальная точка отклонилась отъ прямолинейности пути или получила приращеніе скорости (положительное или отрицательное).

Абсолютнаго покоя мы не знаемъ въ природѣ. Всѣ матеріальныя точки природы находятся въ движеніи и всѣ физическія явленія суть измѣненія этихъ движеній. И притомъ именно *измѣненія*, такъ какъ движеніе само по себѣ физическаго признака не имѣетъ.

Сказанное объ одной матеріальной точкѣ примѣнимо къ каждой совокупности ихъ, которую можно разсматривать, какъ отдѣльное цѣлое, составляющее механическую систему. Общее всеѣмъ этимъ точкамъ прямолинейное и равномерно движеніе ничѣмъ физическимъ себя не обнаруживаетъ. Тѣ же движенія въ системѣ, которыя происходятъ отъ взаимодѣйствія матеріальны хъ точекъ, ее составляющихъ, происходятъ такъ, какъ если-



бы система была въ покоѣ. Безъ вѣдѣннхъ указаній, геометрически свидѣтельствующихъ о перемѣщеніи, разумное существо, заключенное въ системѣ, общее движеніе которой прямолинейно и равномерно, — какимъ-бы пронизательнымъ умомъ ни обладало — не могло бы открыть признака этого общего движенія системы, увлекающаго и его и все его окружающее въ системѣ. Такой законъ движенія, указанный Галилеемъ и со времени Ньютона именуемый вторымъ закономъ движенія, подтверждается наблюденіями въ кораблѣ, вагонѣ и иныхъ системахъ.

Не то бываетъ, если общее движеніе системы переменное. Такое движеніе обнаруживаетъ себя физически. Въ такомъ случаѣ нельзя уже сказать, что взаимодѣйствія матеріальныхъ точекъ, составляющихъ систему, происходятъ такъ, какъ если бы система была въ покоѣ. Происходятъ явленія, заслуживающія особаго изученія въ отдѣльныхъ случаяхъ. Остановимся на явленіяхъ въ системѣ, подверженной дѣйствию тяжести. Разберемъ два случая. Во первыхъ, когда тяжелая система движется равномерно и прямолинейно, и во вторыхъ, когда такая система падаетъ или когда подымается вслѣдствіе верженія, находится слѣдовательно въ состояніи переменнаго движенія, происходящаго отъ дѣйствія тяжести.

Представимъ себѣ воздушный шаръ, поднимающійся вертикально кверху или спускающійся книзу равномернымъ движеніемъ. Явленія на немъ будутъ происходить такъ, какъ на движущемся кораблѣ или вообще въ системѣ, подчиненной второму закону движенія. Выроненный изъ рукъ сосудъ упадетъ на дно лодки, вода изъ опрокинутого сосуда выльется, какъ это бываетъ при поверхности земли. Но представимъ себѣ иной случай. Пусть нѣкоторая система съ заключенными въ ней тѣлами свободно — и слѣдовательно ускорительно падаетъ внизъ или брошена вверхъ и подымается замедлительнымъ движеніемъ. Въ этомъ случаѣ явленія будутъ иными. Въ литературѣ всѣмъ извѣстенъ фантастическій рассказъ Жюль Верна о ядрѣ съ

наблюдателями, брошенномъ будто бы съ земли на луну. Но изъ сотни тысячъ читателей никто кромѣ неизвѣстнаго автора небольшой замѣтки въ Современной Лѣтописи «Московскихъ Вѣдомостей» стараго времени и затѣмъ меня — въ моемъ курсѣ Физики — не обратилъ вниманія на то, что интересное описаніе все основано на физической ошибкѣ. Жюль Вернъ описываетъ явленія въ ядрѣ во все время пути до нейтральной точки (гдѣ притяженіе земли сдѣлалось равнымъ притяженію луны) такъ, какъ явленія эти происходили бы въ ядрѣ, подымающемся подобно воздушному шару равномерно вверхъ. Какъ на поразительную особенность нейтральной точки указываетъ онъ на явленіе, удивившее наблюдателей: что всѣ тѣла внутри ядра потеряли свой вѣсъ и всякій предметъ, не падая, оставался въ воздухѣ тамъ, гдѣ былъ помѣщенъ. Въ моемъ курсѣ физики, въ числѣ предложенныхъ задачъ поставлено: «показать, что такое явленіе (потеря вѣса) должно было бы происходить не только въ этой нейтральной точкѣ, но и на всемъ протяженіи пути и что движеніе брошеннаго ядра нельзя сравнивать съ движеніемъ, на примѣръ, воздушнаго шара, поднимающагося вверхъ: каждая часть ядра летитъ не потому, что увлекается другими, а по силѣ верженія, съ такою же скоростію, какъ всѣ другія и не имѣетъ причины отъ нихъ отставать» \*). Два, помѣщенные рядомъ, тѣла не разстанутся между собою ни при паденіи, ни при верженіи и будутъ двигаться вмѣстѣ (сопротивленія воздуха не рассматриваемъ), не оказывая, очевидно, никакого дѣйствія одно на другое. Почему будутъ они давить во время движенія одно на другое, если помѣстить ихъ первоначально одно надъ другимъ, хотя бы въ прикосновеніи? Нижнее не препятствуетъ верхнему двигаться съ тою же скоростію, какъ движется само.

Для экспериментальнаго изученія явленій давленія въ свободно падающей системѣ, зимою прошлаго 1892 года мною

\*) «Физика» проф. Любимова, изд. 1376 года, стр. 41 («релегаторіума»).



былъ произведенъ рядъ опытовъ помощію приборовъ, за исполненіе которыхъ въ мастерской Ремесленного училища Цесаревича Николая въ Петербургѣ я долженъ принести благодарность учебному начальству училища \*).

Опытъ I. Имѣетъ цѣлю обнаружить измѣненіе взаимодѣйствія тяжелыхъ тѣлъ, образующихъ изъ себя падающую систему. Паденіе производится на снарядѣ, представляющемъ собою родъ Атвудовой машины, аршинъ въ пять высоты (фиг. 1). Чтобы падающій снарядъ не ударился въ землю, увлекаемая снарядомъ перекинута черезъ блокъ нить, послѣ нѣкоторой высоты паденія, начинаетъ увлекать за собою тяжелую цѣпь, замедляющую дальнѣйшее паденіе снаряда.

Падающій снарядъ состоитъ изъ металлическаго диска (фиг. 2)  $Q$ , на которомъ лежитъ металлическій цилиндръ  $P$ . Цилиндръ свободно ходитъ на аркообразномъ стержнѣ  $SS$ , къ которому прикрѣпляется нить переброшенная черезъ блокъ  $D$ . Цилиндръ отдѣленъ отъ диска спиралеобразною пружиною и пружина ее своимъ вѣсомъ. Когда снарядъ падаетъ, получая ускорительное движеніе, цилиндръ перестаетъ оказывать давленіе на дискъ. Пружина же сохраняетъ свое дѣйствіе. Расстояніе между дискомъ и цилиндромъ увеличивается: относительно диска цилиндръ подымается. Обнаружить это можно различными приѣмами. На фигурѣ изображены два приѣма: помощію пробочекъ и графическій.

Помѣстимъ надъ цилиндромъ пробочки  $t$ ,  $t_1$  съ легкимъ треніемъ могущія ходить по вѣтвямъ стержня  $S$  и  $S_1$ . Когда во время паденія цилиндръ  $P$  удалится отъ диска  $Q$ , онъ передвинетъ къверху пробочки  $t$  и  $t_1$ , которыя и окажутся при концѣ опыта въ положеніи  $t_1$  и  $t_1'$ .

Удаленіе цилиндра отъ диска во время паденія можно обнаружить также графическимъ приѣмомъ. На верху арки стерж-

\* ) Чувствую себя особенно признательнымъ за помощь, оказанную мнѣ въ производствѣ опытовъ преподавателемъ физики въ училищѣ А. Н. Яковлевскимъ.

ня (фиг. 2) помѣщается дощечка  $T$ , которая во время паденія, при прохожденіи снаряда черезъ кольцо  $C$  (фиг. 1), снимается этимъ кольцомъ. На дощечкѣ укрѣплена вертикальная пластинка  $M$ , покрытая копотью. Цилиндръ  $P$  имѣетъ пишущій стержень  $Z$ . Когда во время паденія цилиндръ удаляется отъ диска, стержень  $Z$  пишетъ на пластинкѣ черту вверхъ отъ своего первоначальнаго положенія. Въ моментъ, когда дощечка снимается, стержень идетъ книзу по той же приблизительно чертѣ. Въ концѣ опыта черта эта, насколько она находится выше первоначальнаго положенія пишущаго острія, свидѣтельствуетъ объ удаленіи цилиндра отъ диска.

Фиг. 6 изображаетъ пишущій приборъ въ нѣсколько иной формѣ. Пишущій стержень имѣетъ форму согнутаго рычажка, придерживаемаго легкою пружиною въ прикосновеніи съ цилиндромъ  $P$ , лежащемъ на дискѣ  $Q$  (въ изображаемомъ на фигурѣ снарядѣ стержень, проходящій черезъ цилиндръ, не аркообразный, а прямой и пружина, находящаяся между цилиндромъ и дискомъ, настолько прижата вѣсомъ цилиндра, что дискъ находится съ нимъ въ прикосновеніи). Во время паденія, когда цилиндръ удаляется отъ диска, пишущее остріе чертитъ кривую линію (фиг. 7). Когда же черезъ кольцо  $C$  (фиг. 1) дощечка снимается, остріе чертитъ внизъ вертикальную прямую линію. Кривая остается свидѣтельствомъ повышенія цилиндра надъ дискомъ во время паденія.

Когда я, во время пребыванія въ Одессѣ, въ маѣ текущаго 1893 года, сообщалъ въ мѣстномъ физико-математическомъ обществѣ о моихъ опытахъ, талантливый механикъ Новороссійскаго Университета Г. А. Тимченко предложилъ и осуществилъ весьма остроумный способъ показать цѣлой аудиторіи, во время самаго паденія моего снаряда, удаленіе цилиндра отъ диска. Приѣмъ изображенъ на фиг. 13 и 14. Снарядъ падаетъ на двухъ нитяхъ, перекинутыхъ черезъ двойной блокъ, укрѣпленный на верху вертикально поставленной доски (фиг. 11 и



12), доходившей до хоръ въ актовомъ залѣ Новороссійскаго Университета. Цилиндръ  $P$  соединяется помощію колѣчатаго рычага  $RN$  и показателемъ  $Z$  изъ легкаго картона. Когда цилиндръ покоится на дискѣ, показатель  $Z$ , имѣющій форму стрѣлки, стоитъ вертикально. Когда цилиндръ удаляется отъ диска, плечо  $N$  поворачиваетъ валь, несущій показатель  $Z$  и показатель этотъ принимаетъ горизонтальное положеніе, какъ на фиг. 14. Это случается во время самаго паденія и вся аудитория видитъ, какъ во время паденія стрѣлка  $Z$  изъ вертикальной становится горизонтальной (фиг. 11).

Опытъ II. Если утрачивается давленіе верхняго тѣла на нижнее при паденіи, то не должно ли утрачиваться и гидростатическое давленіе верхнихъ слоевъ жидкой массы на нижнія? Отвѣтъ на этотъ вопросъ даетъ слѣдующій опытъ. Двухколѣнная трубка укрѣплена на доскѣ, вмѣстѣ съ которой можетъ падать. Доска держится на одной или двухъ нитяхъ, смотря по тому происходитъ-ли паденіе на аппаратѣ, изображенномъ на фиг. 1, или на двойномъ блокѣ фиг. 11. Двухколенная трубка (фиг. 3) заключаетъ въ себѣ, въ одномъ, закрытомъ колѣнѣ  $a$ , воздухъ, въ другомъ, — открытомъ и обращенномъ загнутымъ концемъ въ сосудъ  $b$ , — колонну ртути. Подъ давленіемъ колонны ртути воздухъ находится въ колѣнѣ  $a$  въ сжатомъ состояніи. Во время паденія всего снаряда, сжимающее воздухъ давленіе ртути прекращается, упругость же воздуха вслѣдствіе паденія измѣненія не претерпѣваетъ. Часть ртути выливается изъ открытаго колѣна въ сосудъ  $b$ . Фиг. 10 и 10\* изображаютъ тотъ же снарядъ въ нѣсколькихъ измѣненномъ видѣ. Снаряду фиг. 3 можно дать такое расположеніе, что сосудъ  $b$  будетъ снятъ во время паденія при прохожденіи черезъ кольцо.

Опытъ III. Опытъ этотъ относится къ давленію жидкости на погруженное въ ней тѣло, по Архимедову закону. Законъ Архимеда утрачиваетъ свое значеніе при паденіи системы. Представимъ себѣ, что въ сосудъ съ водою  $A$  (фиг. 4)

погружена пробка  $P$ . Пружина  $F$  удерживаетъ ее въ водѣ вопреки давленію жидкости снизу вверхъ, повинаясь которому пробка всплыла бы на верхъ. Во время паденія сосуда съ пробкою, этого давленія снизу вверхъ нѣтъ и пробка опускается внизъ, какъ показано на фиг. 5.

Обнаружить движеніе пробки внизъ можно графически помощію прибора, изображеннаго на фиг. 8 и 9. Въ снарядѣ, изображенномъ на этихъ фигурахъ, пробка удерживается въ водѣ помощію удлиненообразной пружинки, помѣщенной не подъ пробкой (какъ на схематическомъ изображеніи фиг. 4 и 5), а надъ нею.

Въ снарядѣ, изображенномъ на фиг. 15 и 16, движеніе пробки обнаруживается помощію указателя г. Тимченки. Пружина  $F$  помѣщена подъ пробкою.

На фиг. 17, 18 и 19 изображенъ снарядъ, сдѣланный г. Тимченко для оправданія начала, къ которому относится мой второй опытъ; прекращеніе гидростатическаго давленія слоевъ жидкости, верхнихъ на нижнія, во время ихъ паденія. Воздухъ въ каучуковомъ шарѣ  $K$  сжатъ давленіемъ воды сосуда  $A$ , когда сосудъ этотъ находится въ покоѣ. Сжатый воздухъ чрезъ стеклянную трубку  $S$  дѣйствуетъ на каучуковую обвязку  $Q$  (фиг. 19), къ которой прилегаютъ рычажекъ  $L$ , удерживающій показатель  $Z$  (фиг. 17) въ вертикальномъ положеніи. Когда сосудъ падаетъ, давленіе жидкости на шаръ  $K$  утрачивается, обвязка  $Q$  менѣе нажимаетъ на рычажекъ и показатель повертывается горизонтально, какъ на фиг. 18.

Я имѣю въ виду продолжить опыты въ примѣненіи и къ нѣкоторымъ другимъ явленіямъ, измѣняющимся при перемѣнномъ движеніи системы, сравнительно съ тѣмъ какъ они происходятъ, когда система находится въ покоѣ или въ движеніи постоянно. Прибавлю, что явленія того же порядка могутъ быть наблюдаемы, въ извѣстной степени, не только при свободномъ паденіи системы, но и въ системѣ катящейся внизъ по наклонной

плоскости или качающейся. Опыты съ катящеюся по наклонной плоскости или качающеюся системою могутъ быть произведены тѣмъ съ большимъ удобствомъ, что наблюдатель самъ можетъ помѣститься въ скатывающейся или качающейся системѣ (катиться съ горы, качаться на качеляхъ) и слѣдить за явленіями. Нѣтъ особаго затрудненія устроить и свободно падающую систему съ помѣщеннымъ въ ней наблюдателемъ, озаботившись, чтобы падающая система (например корзина на перекинутой чрезъ блокъ веревкѣ) достигала земли безъ толчка, съ утраченной уже скоростію.

Область явленій, указываемая нашими опытами, имѣетъ интересъ не только чисто физической, но и физиологической. Такъ какъ происходящія отъ тяжести давленія въ твердыхъ и жидкихъ частяхъ организма должны измѣняться, когда организмъ этотъ падаетъ, катится или качается, сравнительно съ тѣмъ, когда онъ находится въ покоѣ или движется равномерно, то физиологическія условія его должны въ слѣдствіе того также претерпѣвать измѣненія. Въ этомъ прохожденіе ощущеній, испытываемыхъ человѣкомъ, когда онъ падаетъ съ высоты, катится ускоренно съ горы, качается на качеляхъ. Объясненіе физиологическихъ условій этого рода движеній организма заключается въ началахъ, для оправданія которыхъ произведены наши опыты.

Физика переменнаго движенія системы имѣетъ, быть можетъ, и еще болѣе широкій интересъ. Геометрическое перемѣщеніе тѣла, имѣющаго постоянное движеніе ничѣмъ, какъ сказано, физически въ немъ не обнаруживается. Но если движеніе переменное, то оно всегда обуславливается причинами (силами), имѣющими физическое дѣйствіе. Возможно, что дѣйствіе это всегда сложнѣе, чѣмъ одно сообщеніе ускоренія. Известно, что въ то время, какъ разнообразныя физическія явленія — тепло, свѣтъ, магнетизмъ, электричество — взаимно преобразуются и переходятъ одно въ другое, тяжесть стоитъ изолированно.

Фарадей искалъ связи между паденіемъ тѣла и индуктивнымъ возбужденіемъ электрическихъ токовъ, но такой связи не обнаружилъ. Опыты дали отрицательный результатъ. Если, однако, тяготѣніе, какъ надо думать, имѣетъ физическую причину, а не есть простое свойство, не требующее механическаго объясненія, то трудно отказаться отъ мысли, что причина эта можетъ обнаружиться и не однимъ ускореніемъ. Потому, изученіе явленій, сопровождающихъ ускореніе падающаго тѣла, можетъ оказаться небезплоднымъ и по отношенію къ вопросу, занимавшему умъ великаго англійскаго физика.

Если приобретаемое падающимъ тѣломъ ускореніе есть слѣдствіе дѣйствія невѣсомой среды, среди которой помѣщены вѣсомныя частицы, то дѣйствіе это должно сопровождаться противодѣйствіемъ, испытываемымъ средою и можетъ быть обнаруживается въ ней какими-либо явленіями, способными подлежать наблюденію.

Физическое изученіе явленій паденія, а также явленій, насколько они доступны наблюденію, взаимнаго притяженія массъ на землѣ по закону всеобщаго тяготѣнія, связано съ величайшимъ вопросомъ философіи природы: о дѣйствіяхъ на разстояніи.