

Д. И. Менделеев

**О сопротивлении жидкостей
и о воздухоплавании**

Выпуск 1

**Москва
«Книга по Требованию»**

УДК 656
ББК 39.1
М50

М50 **Менделеев Д.И.**
О сопротивлении жидкостей и о воздухоплавании: Выпуск 1 / Д. И. Менделеев – М.: Книга по Требованию, 2015. – 238 с.

ISBN 978-5-458-61024-7

Нет страниц: 104-105.

ISBN 978-5-458-61024-7

© Издание на русском языке, оформление
«YOYO Media», 2015

© Издание на русском языке, оцифровка,
«Книга по Требованию», 2015

Эта книга является репринтом оригинала, который мы создали специально для Вас, используя запатентованные технологии производства репринтных книг и печати по требованию.

Сначала мы отсканировали каждую страницу оригинала этой редкой книги на профессиональном оборудовании. Затем с помощью специально разработанных программ мы произвели очистку изображения от пятен, клякс, перегибов и попытались отбелить и выровнять каждую страницу книги. К сожалению, некоторые страницы нельзя вернуть в изначальное состояние, и если их было трудно читать в оригинале, то даже при цифровой реставрации их невозможно улучшить.

Разумеется, автоматизированная программная обработка репринтных книг – не самое лучшее решение для восстановления текста в его первозданном виде, однако, наша цель – вернуть читателю точную копию книги, которой может быть несколько веков.

Поэтому мы предупреждаем о возможных погрешностях восстановленного репринтного издания. В издании могут отсутствовать одна или несколько страниц текста, могут встретиться невыводимые пятна и кляксы, надписи на полях или подчеркивания в тексте, нечитаемые фрагменты текста или загибы страниц. Покупать или не покупать подобные издания – решать Вам, мы же делаем все возможное, чтобы редкие и ценные книги, еще недавно утраченные и несправедливо забытые, вновь стали доступными для всех читателей.

ваніи сопротивленія. встрѣчаемаго ими по отношенію въ водѣ. Такъ птица, аэростатъ, или всякій другой приборъ, двигающійся въ воздухѣ, могутъ быть приведены въ самостоятельное движеніе относительно окружающаго воздуха только при помощи двигающихся частей и не иначе, какъ пользуясь законами сопротивленія воздуха. Пусть это будутъ приборы, подобные крыльямъ птицы или пароходному винту, или наклонная плоскость (какъ въ аэропланахъ); во всякомъ случаѣ самостоятельное движеніе получается не иначе, какъ на основаніи законовъ, управляющихъ сопротивленіемъ среды. Все различіе двигательныхъ приборовъ (пропеллеровъ), дѣйствующихъ въ жидкой средѣ, сводится къ тому, что одни изъ нихъ, напр. весла и гребные колеса, дѣйствуютъ, пользуясь прямымъ сопротивленіемъ, являющимся при ихъ движеніи, а другіе двигательные приборы, какъ винтъ, крыло птицы, рыбій хвостъ и т. п., дѣйствуютъ вслѣдствіе реакціи, являющейся въ направленіи иномъ, чѣмъ движеніе, потому что наклонная плоскость двигательнаго снаряда содѣйствуетъ разложенію силы на ея слагающія. Такъ крыло птицы бьетъ воздухъ сверху внизъ, а вслѣдствіе наклоннаго положенія крыла является такая горизонтальная слагающая сила, которая заставляетъ птицу двигаться впередъ. Такъ точно въ пароходномъ винтѣ движеніе совершается около горизонтальной оси, а потому прямое сопротивленіе дѣйствуетъ въ направленіи перпендикулярномъ къ этой оси, а поступательное движеніе совпадаетъ съ этою осью.

Поэтому задачи дальнѣйшаго развитія воздухоплаванія тѣсно связаны съ рѣшеніемъ задачъ, относящихся до сопротивленія воздуха или, вообще, до сопротивленія среды, потому что сущность вопроса о сопротивленіи среды не позволяетъ дѣлать какого-либо разграниченія между сопротивленіемъ капельныхъ и упругихъ жидкостей. Это заставляетъ насъ въ дальнѣйшемъ изложеніи не отдѣлять вопроса о сопротивленіи воздуха отъ вопроса о сопротивленіи воды. Къ такому слитному изложенію побуждаетъ не только примѣръ всѣхъ главныхъ изслѣдователей вопроса, но еще и то существенное обстоятельство, что число опытныхъ изслѣдованій для однихъ газовъ недостаточно для рѣшенія многихъ основныхъ задачъ въ ученіи о сопротивленіи среды. Опыты съ водою дополняютъ и дополняются опытами съ воздухомъ. Получится еще и та выгода, что сводъ данныхъ о сопротивленіи среды пріобрѣтаетъ интересъ не только въ примѣненіи къ воздухоплаванію, но и въ примѣненіи къ плаванію по водѣ.

Однако, прежде чѣмъ приступить къ изложенію современнаго состоянія ученія о сопротивленіи воды и воздуха, считаю полезнымъ мотивировать вышеупомянутое сліяніе ученія о двухъ средахъ, столь, повидимому, различныхъ между собою, приведя для того нѣкоторыя наведенія, почерпаемыя изъ соображеній и изъ опыта или наблюденія.

Еще до Ньютона, а особенно вслѣдствіе его теоретическихъ

и опытных изслѣдованій, сопротивленіе среды разсматривалось и нынѣ продолжаетъ разсматриваться безъ ближайшаго знакомства съ качествами среды, потому, прежде всего, что многіе опыты заставляютъ утверждать, что сопротивленіе среды зависитъ *почти* исключительно отъ ея плотности, а не отъ какихъ либо другихъ ея качествъ. Это особенно справедливо для среднихъ скоростей движенія. При очень малыхъ скоростяхъ сѣпленіе частицъ среды, столь громадное у твердыхъ тѣлъ и еще значительное у капельныхъ жидкостей ¹⁾, сѣпленіе, гораздо меньшее у газовъ, оказываетъ, по мнѣнію большинства изслѣдователей, свое замѣтное вліяніе. Отъ того въ опытахъ Кулона двигающаяся въ жидкости поверхность представляла при медленныхъ движеніяхъ значительно различныя сопротивленія въ маслѣ и въ водѣ. Когда скорость возрастаетъ, растетъ сопротивленіе, сѣпленіе же частицъ остается неизмѣннымъ, и работа, идущая на его преодоленіе, становится ничтожно малою сравнительно со всею остальною массою затрачиваемой работы, а потому, тогда движеніе плоскости въ маслѣ и въ водѣ будетъ встрѣчать сопротивленіе *различное только вследствие различной плотности масла и воды* и почти независящее отъ разности сѣпленія. Обычный случай сопротивленія жидкости можно представить поэтому подобнымъ переливанію жидкости съ одного мѣста на другое, на что расходуется работа, зависящая, прежде всего, отъ плотности жидкости, при одномъ и томъ же объемѣ переливаемой жидкости. Станемъ ли мы производить сопротивленіе отъ инерціи жидкости, какъ это дѣлали Ньютонъ и его послѣдователи, или будемъ его считать происходящимъ преимущественно отъ тренія, какъ то признаютъ Ранкинъ и его послѣдователи, во всякомъ случаѣ надо допустить тѣсную связь между основными причинами сопротивленія и плотностями жидкостей, потому что таковы результаты опытныхъ изслѣдованій.

При движеніи въ жидкой средѣ, сзади двигающагося тѣла образуется свободное пространство, замѣняемое жидкостью. (Очевидно, во-первыхъ, что, смотря по качеству жидкости и по скорости движенія, кормовое пространство будетъ замѣняться жидкостью болѣе или менѣе скоро и полно, во-вторыхъ, что надающая на корму жидкость будетъ содѣйствовать движенію тѣла, а потому, когда движеніе будетъ столь быстро, что за кормомъ будетъ образоваться свободное ²⁾ или разрывное пространство, тогда сопротивленіе будетъ возрастать съ возрастаніемъ скорости быстрѣе, чѣмъ обычно, т. е. чѣмъ тогда, когда тѣло будетъ получать удары отъ жидкости, наступающей на корму. Такъ, какъ

¹⁾ Оно измѣняется въ капиллярныхъ явленіяхъ и проявляется въ липкости, временахъ истеченія, въ подвижности и т. п. свойствахъ жидкостей.

²⁾ Известный французскій адмиралъ г. Дюпюи-де-Лонъ сообщалъ мнѣ въ 1878 г., что при испытаніи очень быстроходныхъ новыхъ французскихъ миноносцевъ далѣе 20 узловъ, онъ наблюдалъ, что при угловѣ руля, около него, во всю его высоту, образуется сквовное свободное пространство, невинимую воду.

скорость вступленія жидкостей въ пустоту зависитъ отъ свойствъ жидкостей, то, начиная съ нѣкоторой скорости, сопротивленіе всякой жидкости будетъ возрастать быстрее, чѣмъ до того. Но это касается и до капельныхъ и до упругихъ жидкостей. Для послѣднихъ есть измѣренія сопротивленій при очень большихъ скоростяхъ, получающихся при полетѣ артиллерійскихъ снарядовъ. Эти измѣренія дѣйствительно показываютъ тогда значительное возрастаніе сопротивленія. На основаніи этого не должно, однако, считать сопротивленіе воздуха глубоко отличнымъ отъ сопротивленія воды, потому что должно думать, что еслибы вслѣдовались движенія въ водѣ при значительныхъ скоростяхъ, получились бы и здѣсь такіе же явленія.

Если движеніе происходитъ въ воздухѣ или, вообще, въ упругой средѣ, то предъ двигающимся тѣломъ плотность среды возрастаетъ, тѣмъ больше, чѣмъ легче сжимаема и чѣмъ медленѣ подвижна жидкость, а за двигающимся тѣломъ плотность уменьшается; поэтому должно ожидать для упругихъ жидкостей, при большихъ скоростяхъ, сопротивленія, возрастающаго не только въ прямой зависимости отъ скорости и плотности, но и еще въ болѣе быстрой, вслѣдствіе того, что сгущенная жидкость впереди тѣла будетъ оказывать болѣе значительное сопротивленіе, а разрѣженное сзади пространство будетъ заставлять тѣло двигаться медленнѣе, толкая его какъ бы въ обратную сторону. Этими соображеніями достаточно объясняется значительное возрастаніе коэффициента сопротивленія воздуха ¹⁾ съ возрастаніемъ скорости, какъ видно изъ опредѣленій сопротивленія артиллерійскихъ снарядовъ. Если же рѣчь идетъ о такихъ небольшихъ скоростяхъ, не превышающихъ 10—20 метровъ въ секунду, какія встрѣчаются въ дѣйствительности при движеніяхъ рыбъ, птицъ, пароходовъ, то тогда сопротивленіе среды съ достаточною точностію опредѣляется ея нормальною плотностію, т. е. возрастаетъ съ ея увеличеніемъ прямо пропорціонально.

Такъ должно думать потому, что непосредственными опытами доказывается, что, несмотря на громадное различіе плотностей воды и воздуха, сопротивленіе той и другой среды—одно и то же, принимая во вниманіе одно различіе ихъ плотностей. Такъ, напр., изъ опытовъ надъ движеніемъ шарообразныхъ тѣлъ въ воздухѣ и въ водѣ (что мы разсмотримъ подробно впослѣдствіи) оказывается,

¹⁾ Коэффициентомъ сопротивленія мы станемъ называть частное изъ величинъ сопротивленія на квадратъ скорости, при данныхъ другихъ свойствахъ жидкости и тѣла, напр. при плотности среды=1, при наибольшемъ свѣченіи тѣла (по направленію, перпендикулярному къ направленію движенія)=1. Для шара при метрической мѣрѣ, при плотности среды=1 (считая плотность воды или въ куб. метра въ кило=1000) и при величинѣ большаго круга=1 кв. метру, коэффициентъ сопротивленія для обычныхъ скоростей, не превышающихъ 10 метровъ, близокъ къ 0,03 килограмма (если скорости выражены въ метрахъ), а при скоростяхъ въ 400—500 метровъ коэф. сопротивленія шара достигаетъ 0,05, даже 0,053 кило, какъ видно изъ французскихъ и русскихъ артиллерійскихъ опредѣленій.

что на каждый квадратный метръ наибольшаго поперечнаго сѣченія двигающагося шара, при скорости равной 1 метру въ секунду, сопротивление среды близко къ 0,03 килограмма или 30 грам., если вѣсъ кубическаго метра среды равенъ 1 килограмму. Поэтому, такъ какъ куб. метръ воды вѣситъ 1000 кил., сопротивленіе воды близко къ 30 килограммамъ. Воздухъ при температурѣ въ 0° и 760 мм. давленія вѣситъ всего 1,29 килограмма на кубическій метръ, а потому сопротивленіе такого воздуха противу шара, имѣющаго сѣченія 1 кв. метръ, при скорости 1 метра въ секунду, близко къ 0,03.1,29 или къ 0,0387 килограмма. Атмосферный воздухъ измѣняетъ свою плотность, смотря по температурѣ, высотѣ надъ уровнемъ моря, или съ давленіемъ и отъ степени влажности, а потому и сопротивленіе воздушной среды измѣняетъ свою величину, смотря по плотности. Слѣдовательно, говоря о сопротивленіи воздуха, необходимо уже принять во вниманіе его измѣненіе съ перемѣною плотности, а это и достигается проще всего, когда изслѣдованіе сопротивленія относится и къ такой плотной средѣ, какъ вода, и къ такой рѣдкой, какъ воздухъ, обращая каждый разъ вниманіе на плотность.

Не надо забывать, что съ уменьшеніемъ сопротивленія, вреднаго движенію, уменьшается и то сопротивленіе, при помощи котораго можетъ быть производимо направленіе воздухоплавательнаго прибора. Такъ, напр., ударъ крыльевъ, произведенный съ извѣстною быстротою на значительной высотѣ, будетъ представлять меньшій упоръ въ воздухъ, чѣмъ близъ поверхности земли, гдѣ воздухъ болѣе плотенъ. Поэтому въ цѣломъ выводѣ, касающемся самостоятельнаго движенія въ воздухѣ, можно также не обращать вниманія на плотность среды.

Теоретически это выражается тѣмъ, что мѣрою сопротивленія считаютъ вѣсъ жидкаго столба, имѣющаго основаніемъ наибольшее поперечное сѣченіе (мидель), а высоту ту высоту H , которая при свободномъ паденіи тѣла соответствуетъ скорости v движенія и которая $H = \frac{v^2}{2g}$, гдѣ g есть ускореніе тяжести. Поэтому очевидно, что свойства среды при такомъ разсмотрѣніи вовсе не принимаются въ расчетъ и подразумѣваются въ вѣсѣ столба жидкости.

Практически также доказана возможность изъ совокупности свѣдѣній о сопротивленіи, касающихся до воды, судить о сопротивленіи въ воздухѣ по тому, что сдѣлано Дюпюи де-Ломомъ. Въ 1870 онъ сдѣлалъ расчеты, относящіеся до аэростата, принявъ только тѣ данныя, которыя получены для воды, и на основаніи этихъ соображеній, при данной движущей силѣ, размѣрѣ и формахъ аэростата и при заранѣе опредѣленныхъ скоростяхъ и размѣрахъ винтоваго двигателя, рассчитать какую самостоятельную скорость долженъ получить аэростатъ. При опытахъ, сдѣланныхъ 2-го февраля 1872 года, собраны наблюденія, изъ которыхъ можно видѣть, что предварительные расчеты о скорости самостоятельнаго движенія аэростата вполне подтвердились въ дѣйствительности. Слѣдовательно всѣ

данныя для сопротивленія воды прямо можно примѣнять къ воздуху, принявъ въ расчетъ разность плотностей.

И такъ мы будемъ разсматривать совмѣстно сопротивленіе воды и воздуха. Въ этомъ разсмотрѣніи мы будемъ держаться слѣдующаго порядка. Сперва познакомясь съ общимъ состояніемъ всего вопроса и съ тѣми гипотезами и теоріями, которые были примѣнены къ его разрѣшенію. Этому посвящается вся слѣдующая глава. Въ ней мы однако избѣгаемъ математическаго развитія и подробностей теоретическихъ и опытныхъ расчетовъ, а ограничиваемся только указаніемъ на исходные пункты гипотезъ и на нѣкоторыя изъ получаемыхъ выводовъ. Такъ поступаемъ мы въ виду того, что ни одна изъ многихъ теорій сопротивленія не оказалась удовлетворяющею дѣйствительности, хотя каждая изъ главныхъ была побудительницею къ нѣкоторому дальнѣйшему движенію всего ученія о сопротивленіи и соотвѣтствуетъ той или иной сторонѣ сложной задачи. Въ виду же того, что развитіе теоретическихъ построеній, касающихся сопротивленія, имѣетъ самостоятельный интересъ, я считаю не излишнимъ въ особенномъ приложеніи изложить нѣкоторыя изъ важнѣйшихъ теорій сопротивленія, а особенно Ньютонovu теорію сопротивленія среды. Вслѣдствіе недостаточности теоріи сопротивленія, зависящей отъ сложности задачи, приходится въ сущности руководствоваться результатами опытныхъ данныхъ. Имъ посвящаются двѣ особыя главы. Въ одной изъ нихъ я описываю всѣ, которые мнѣ были извѣстны, достоверныя и систематическія изслѣдованія о сопротивленіи тѣлъ опредѣленныхъ формъ, распредѣливъ ихъ по методамъ изслѣдованія. При этомъ я старался собрать по возможности большее количество численныхъ данныхъ прямыхъ опытовъ и сдѣлать ихъ слѣжимыми, приводя ихъ всѣ къ метрической системѣ. Въ то же время я старался дать практическую оцѣнку полученнымъ результатамъ, что положительно необходимо въ виду разнорѣчія многихъ изъ добытыхъ результатовъ. Это изложено во 2-й главѣ. Третья глава посвящается выводамъ изъ опытныхъ данныхъ такихъ, по возможности достоверныхъ, результатовъ, какіе нужны для практической стороны вопросовъ о воздухоплаваніи.

Считаю долгомъ оговориться здѣсь въ томъ отношеніи, что вопросъ о сопротивленіи среды занялъ меня сперва только по отношенію его къ воздухоплаванію. Приступая къ изученію сопротивленія, я, признаюсь, не ожидалъ найти такіе недостатки въ теоріи и въ опытахъ, до него касающихся, какіе оказались въ дѣйствительности. Надобно было думать, что въ примѣненіи къ кораблестроенію и кораблевожденію вопросъ разработанъ съ полнотою. Оказалось, что корабли строятъ и по сихъ поръ ощупью, пользуясь многоразличною практикою, а не расчетомъ, основаннымъ на теоріи или опытахъ сопротивленія. Въ такомъ дѣлѣ, какъ плаваніе по водѣ, это и возможно. Опытъ вѣковъ уже великъ и ощупью, догадкою, и наблюдательностію можно улучшить то, что давно существуетъ. Не таково воздухоплаваніе. Опыты полета, за исклю-

ченіемъ аэростата, который до сихъ поръ не властелинъ, а рабъ вѣтровъ, понинѣ были, какъ извѣстно, еще мало успѣшны. А между тѣмъ птицы летаютъ, аэростатомъ уже сумѣли бороться противу слабаго вѣтра, а потому есть увѣренность и въ томъ, что когда либо достигнуть и полной побѣды надъ воздухомъ. стануть управлять полетомъ. Только для этого очевидно необходимо точно знать сопротивление воздуха, хоти бы на столько, чтобы имъ воспользоваться для первыхъ, пока грубыхъ, попытокъ борьбы съ атмосферой. Все изложеніе ученія о сопротивленіи я подчиняю этой основной цѣли всего сочиненія и стараюсь въ вышеупомянутой послѣдней главѣ свести то, что сюда прямо относится. Недостаточность опытныхъ данныхъ о сопротивленіи среды для полного рѣшенія задачи воздухоплаванія, однако, столь очевидна, что я считалъ невозможнымъ умолчать о неизбѣжной необходимости новыхъ точныхъ опытовъ, о ихъ цѣли, о необходимыхъ приемахъ и о средствахъ, для выполненія ихъ нужныхъ. Этимъ недостаткомъ точныхъ опытныхъ данныхъ о сопротивленіи среды объясняется въ одно и тоже время причина слабаго развитія, какъ общей теоріи сопротивленія среды, такъ и практики воздухоплаванія. Само мореплаваніе должно много выиграть отъ новыхъ точныхъ опытовъ надъ сопротивленіемъ, потому что вслѣдъ за ними несомнѣнно явится болѣе удовлетворительная, чѣмъ нынѣ существующія, теорія сопротивленія среды, а тогда возможно, чѣмъ нынѣ, будетъ достигнута въ морской архитектурѣ такихъ цѣлей, которыя вызываются практикою, т. е. наибольшихъ скоростей хода при наименьшей тратѣ топлива, при наибольшей вмѣстимости и надежнѣйшей остойчивости, поворотливости и пр. свойствахъ корабля. Если мнѣ не по силамъ дать дальнѣйшее движеніе такимъ важнымъ вопросамъ, какъ всѣ вышеуказанные, то я по крайней мѣрѣ стараюсь облегчить путь дальнѣйшимъ дѣятелямъ, собравъ здѣсь все, что считаю наиболѣе важнымъ, и указывая тѣ способы опытнаго исследования, какими, по моему мнѣнію, дѣло можетъ быть подвинуто далѣе, чѣмъ при современномъ состояніи знанія о сопротивленіи среды.

Г Л А В А I.

Важѣйшія свѣдѣнія о сопротивленіи среды.

Первымъ побужденіемъ къ зарожденію знаній о сопротивленіи среды послужило изученіе движенія падающихъ тѣлъ. Галилей и Флорентинская академія были и здѣсь, какъ во многихъ другихъ частяхъ механики и физики, начинателями дѣла. Первые опыты Ричіоли (1640—1650), равно какъ одни изъ полнѣйшихъ для того времени опыты Мариотта и Ла-Гира (1679—1714) представляютъ именно изслѣдованія времени паденія тѣлъ въ водѣ и воздухѣ. Стали понимать, что воздухъ вѣсомое тѣло, а потому и узнали, что онъ, какъ вода, замедляетъ паденіе и движеніе вообще.

Общія, сами собою понятныя соображенія и немногіе опыты, произведенныя въ это время, дали уже поводъ считать сопротивленіе среды пропорціональнымъ площади сѣченія, плотности среды и нѣкоторой степени скорости. Затѣмъ ученіе о сопротивленіи среды развивалось преимущественно подъ вліяніемъ двухъ практическихъ направленій, требующихъ знакомства съ этимъ предметомъ, а именно: мореплаванія и артиллеріи; двигающійся въ водѣ корабль и летящій въ воздухѣ снарядъ представляютъ ясныя примѣры важнаго значенія законовъ сопротивленія среды, потому что тамъ и здѣсь двигатель расходуетъ, если не всю, то значительную долю своей силы на борьбу съ сопротивленіемъ среды. Теоретическія изслѣдованія Ньютона надъ сопротивленіемъ среды, изложенныя во 2-мъ томѣ его знаменитаго творенія: *Philosophiae naturalis principia mathematica*, составляютъ исходную точку всего дальнѣйшаго движенія свѣдѣній объ этомъ предметѣ. Ньютонъ также производилъ (1710—1719) опыты паденія шарообразныхъ тѣлъ въ водѣ и въ воздухѣ и воспользовался ими для сужденія о сопротивленіи среды. Но онъ первый пошелъ въ дѣлѣ рѣшенія задачъ сопротивленія, кромѣ опытнаго способа, путемъ чисто теоретическимъ и опытными изслѣдованіями старался только узнать, какую изъ (трехъ) гипотезъ, которыя онъ имѣлъ въ виду, должно признать за отвѣчающую дѣйствительности.

Строго говоря, не то что теперь, а во время самого Ньютона, онъ самъ, изъ своихъ собственныхъ опытовъ, легко долженъ былъ заключить, что ни одна изъ имѣвшихся у него въ виду (трехъ) гипотезъ, объясняющихъ сопротивленіе среды, не удовлетворяетъ дѣйствительности ¹⁾. Тѣмъ не менѣе исходныя соображенія Ньютона долго и крѣпко держались въ наукѣ, и ради этого мы ихъ излагаемъ здѣсь въ томъ видѣ, въ какомъ они наиболѣе подходятъ къ дѣйствительности и какъ они излагаются въ большинствѣ сочиненій конца прошлаго (послѣ Эйлера) и начала нынѣшняго столѣтія. (Собственные мысли Ньютона изложены отдѣльно, въ первомъ приложеніи къ этой книгѣ). Эти, отчасти видоизмѣненныя мысли Ньютона, многіе называли «обыкновенною теоріей» (*theorie ordinaire*) сопротивленія.

Ньютонъ долженъ былъ, конечно, задаться нѣкоторыми гипотезами, для того, чтобы имѣть возможность подвергнуть математическому изслѣдованію тотъ невидимый процессъ взаимодѣйствія между тѣломъ и частицами среды, который составляетъ причину сопротивленія среды. Ни точныхъ наблюденій, ни тѣмъ менѣе какихъ либо точныхъ законовъ сопротивленія, которые могли бы лечь въ основу математическаго анализа, могли бы служить поводомъ для составленія удовлетворительной гипотезы — ни у Ньютона, ни у другихъ математиковъ, занимавшихся этимъ вопросомъ, не было. Пришлось задаться произвольными гипотезами, берущими начало въ первомъ знакомствѣ съ предметомъ, — въ наблюденіи, а не въ измѣреніи или опытѣ. А если явленіе сложно, какъ сопротивленіе среды, то такой путь не приводитъ никогда къ вѣрнымъ, согласнымъ съ природою, слѣдствіямъ. Это видно во всемъ историческомъ развитіи точныхъ знаній. Выводъ этотъ можно выразить кратко примѣромъ изъ астрономіи: Ньютонъ силѣнъ только Кеплеромъ. Ньютонова гипотеза тяготивія согласуется съ природою, даже и зарождается въ головѣ Ньютона, только потому, что раньше Кеплеръ свелъ, извлекъ изъ массы наблюденій дѣйствительно законы движенія планетъ. Гипотеза Ньютона есть плодъ этихъ выводовъ и ими одними она сильна, дѣлается дѣйствительною теоріею, захватывающею все частности природнаго явленія. Нельзя и думать, чтобы такая вѣрная гипотеза зародилась безъ суммированія точно извѣстныхъ фактовъ, или при помощи одного общаго

¹⁾ Три гипотезы Ньютона суть: 1) жидкость рѣдкая упругая, состоящая изъ упругихъ частицъ, 2) жидкость рѣдкая упругая, состоящая изъ неупругихъ частицъ и 3) жидкость сплошная. Для шаръ (г радиусъ) получаются по первой сопротивленіе $= 2\pi\eta g^2 \lambda$, по второй $= \frac{h}{2} \pi g^2 \lambda$, по третьей $= \frac{h}{2} \pi g^2 \lambda$,

гдѣ h есть высота, отвѣчающая скорости, λ плотности. Для воздуха и воды Ньютонъ получалъ по опыту результатъ близкій къ третьей гипотезѣ, а нельзя же воздухъ считать неупругою жидкостью. Кроме того эта третья гипотеза, оправдавшаяся для шаровъ, сама по себѣ очевидно не объясняетъ дѣйствительности, потому что по ней сопротивленіе шару и цилиндру при одномъ сѣченіи одинаково, чего нѣтъ въ дѣйствительности и что не могъ, конечно, думать самъ Ньютонъ.

знакомства съ явленіями. Хотя такая случайность мыслима, но ей нѣтъ въ исторіи знаній. И немудрено, что въ сложномъ вопросѣ сопротивленія среды, безъ точнаго знакомства съ дѣйствительностью, Ньютонъ и др. теоретики задались гипотезою, совершенно не удовлетворяющею природѣ явленій. Обыкновенно, вслѣдъ за Ньютономъ считали сопротивленіе зависящимъ отъ удара передней части движущагося тѣла о шарообразныя частицы среды — которыя, разъ ударившись о поверхность тѣла, навсегда ее оставляютъ и дѣйствуютъ независимо другъ отъ друга. При такой гипотезѣ сопротивленіе среды сводится къ ясному и простому вопросу объ ударѣ тѣла. Все сомнѣніе въ приложеніи къ дѣйствительности ограничивается при этомъ обыкновенно вопросомъ о мѣрѣ упругости ударающихъ тѣлъ. Можно было бы ждать поэтому большаго различія между сопротивленіемъ газовъ и капельныхъ жидкостей и можно было бы думать далѣе, что задняя, кормовая часть движущагося тѣла не оказываетъ вліянія на сопротивленіе—а это не отвѣчаетъ дѣйствительности. Также мало соотвѣтствуетъ ей основная формула, выводимая изъ гипотезы и приравненная при помощи коэффиціента K къ дѣйствительности, а именно:

$$R = KM\Delta v^2 \sin^2\alpha \text{ ') } \dots\dots\dots I$$

гдѣ R есть прямое давленіе или сопротивленіе (число килограмм.), испытываемое тѣломъ въ направленіи движенія. K постоянный коэффиціентъ, одинаковый для всякой среды и для всѣхъ тѣлъ, M величина (въ метры) плоскости, представляющей проэкцію движущейся плоскости (или призматическаго тѣла, двигающагося по своей оси, потому что въ обоихъ случаяхъ проэкція одна) на плоскость, перпендикулярную къ направленію движенія (въ случаѣ призмы— M есть сѣченіе призмы, въ шарѣ это есть площадь большаго круга, въ кораблѣ—плоскость миделя); Δ вѣсъ (килограммы) одного объема (одного куб. метра) жидкости, въ которой происходитъ движеніе (въ случаѣ воды Δ близка къ 1000, для морской воды

‘) Мы увидимъ далѣе, что такая же точно формула удовлетворяетъ и тому случаю, когда разсматривается сопротивленіе, перпендикулярное къ плоскости, если на мѣсто величины M поставить величину самой плоскости при наклонѣ α . Въ этомъ послѣднемъ видѣ часто при математическомъ изслѣдованіи предмета примѣняютъ формулу сопротивленія. Но въ практической примѣнении примѣняютъ для сущности дѣла относить сопротивленіе къ проэкціи тѣла, а не къ его поверхности (напр. къ миделю корабля, а не къ его передней боковой поверхности) и опредѣляютъ только то сопротивленіе, которое дѣйствуетъ въ направленіи пути, а не въ направленіи, перпендикулярномъ къ плоскости движущагося тѣла, а потому мы придали здѣсь всѣмъ множителямъ формулы сопротивленія вышеуказанное значеніе. Такъ какъ значеніе членовъ, входящихъ въ основную формулу сопротивленія, должно быть вполне ясно усвоено для знакомства съ сопротивленіемъ, то вслѣдъ за симъ я считалъ нужнымъ развить приложеніе формулы сопротивленія для разныхъ простѣйшихъ случаевъ ея примѣненія. Считаю также полезнымъ упомянуть здѣсь, что вышеприведенный видъ формулы сопротивленія, отвѣчающій идеямъ Ньютона, данъ былъ не имъ самимъ, а его послѣдователями, но былъ почти тотъ же у Pardies въ 1670 году. (См. Gehler's Phys. Wörterbuch X. p. 1810).

къ 1020, для воздуха къ 1.2); v скорость (въ метрахъ), то-есть путь, проходимый въ одну секунду, α уголъ, образуемый переднею плоскостію съ направлениемъ пути (съ осью призмы).

Обходя подробности изложенія гипотезы ¹⁾ и выводъ слѣдствій, укажемъ только главныя руководящія соображенія Ньютона и его ближайшихъ послѣдователей въ теоретической части ученія о сопротивленіи среды. Взаимодѣйствія жидкихъ частицъ, равно какъ и треніе частицъ среды о движущееся тѣло, первые изслѣдователи считали столь малыми сравнительно съ тѣми затратами, которыя идутъ на перемѣщеніе частицъ, что вовсе не приняли въ расчетъ при опредѣленіи сопротивленія. Другими словами, это значить, что все сопротивление среды приписывалось ей *иной*, то-есть всю затрату силы и двигателя считали происходящую отъ необходимости сдвинуть, вывести изъ покоя массу жидкости, уступающей свое мѣсто движущемуся тѣлу. При такомъ представленіи, конечно, можно было уиодобить весь механизмъ сопротивленія удару тѣла. Относительно этого послѣдняго, какъ извѣстно, должно отличать ударъ упругихъ тѣлъ (какъ бильярдный шаръ) отъ удара неупругихъ тѣлъ (каковъ до нѣкоторой степени свинецъ). Природныя же тѣла занимаютъ средину, потому что нѣтъ ни совершенно упругой, ни абсолютно неупругой матеріи. Если представимъ, что въ неподвижной средѣ плоскость движется въ направленіи нормально къ каждой линіи на ней лежащей, то-есть уголъ между плоскостію и направлениемъ ея движенія есть прямой ($\alpha = 90^\circ$, $\sin \alpha = 1$), то очевидно прежде всего, что сопротивленіе, по смыслу вышеприведеннаго представленія о немъ, будетъ пропорціонально величинѣ плоскости (M въ уравненіи I) и что, при той же скорости, оно будетъ возрастать пропорціонально плотности среды Δ , потому что масса сдвигаемыхъ частицъ среды возрастетъ съ величиною плоскости и числомъ частицъ, содержащихся въ одномъ объемѣ.

Такъ какъ при возрастаніи скорости не только возрастетъ число частицъ, ударяющихъ о тѣло, но еще и сила удара, то и должно ждать возрастанія сопротивленія пропорціонально квадрату скорости (v^2). Съ измѣненіемъ угла плоскости къ направленію движенія, о данную плоскость ударяетъ очевидно во столько разъ меньшее число частицъ, во сколько синусъ угла меньше синуса прямого угла, то-есть единицы; сверхъ того въ направленіи движенія встрѣчается при этомъ лишь уменьшенное сопротивление, потому что сила удара разлагается по направленію параллельному плоскости и по направленію ей перпендикулярному, изъ которыхъ дѣйствуетъ только послѣдняя слагающая. Но и она, въ свою очередь, разлагается на двѣ силы: одну параллельную движенію, другую перпендикулярную къ ней. Обыкновенно изслѣдуется только эта послѣдняя. Другая слагающая сопротивления перпендикулярна пути и составляетъ то реакціонное дѣйствіе сопротивляющейся среды, которое сжимаетъ бока судна

¹⁾ Они изложены въ прибавленіи, сопровождающемъ эту книгу.