

О.Д. Хвольсон

Учение о движении и о силах

**Москва
«Книга по Требованию»**

УДК 53
ББК 22.3
О-11

О-11 **О.Д. Хвольсон**
Учение о движении и о силах / О.Д. Хвольсон – М.: Книга по Требованию, 2021. – 278 с.

ISBN 978-5-458-58201-8

ISBN 978-5-458-58201-8

© Издание на русском языке, оформление
«YOYO Media», 2021
© Издание на русском языке, оцифровка,
«Книга по Требованию», 2021

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

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

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

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

ВВЕДЕНІЕ.

Предметомъ механическаго отдѣла физики служить ученіе о движеніи и о силахъ. Оно можетъ быть рассматриваемо, какъ общее введеніе въ физику, всѣ части которой имѣютъ, болѣе или менѣе, дѣло съ явленіями движенія. Сущность всѣхъ физическихъ явленій, вѣроятно, и заключается въ движеніи, и главная цѣль современной физики—свести явленія къ опредѣленнымъ движеніямъ.

Нерѣдко опредѣляютъ физику, какъ науку, которая имѣетъ задачею открыть, изучить и объяснить окружающія насъ явленія. Это опредѣленіе неточно; дѣйствительно — что значитъ „объяснить явленіе?“ Объяснить явленіе—значитъ свести пока еще непонятное къ тому, что мы считаемъ понятнымъ, что раньше нами было понято. Но спрашивается, существуетъ ли нѣчто вполне понятное? и что, вообще, слѣдуетъ считать за понятное? Если вдуматься, то оказывается, что абсолютно понятнаго вообще нѣтъ; существуютъ только факты и явленія, къ которымъ мы привыкли и которые намъ по привычкѣ кажутся понятными. Но такое пониманіе есть лишь результатъ случайнаго историческаго развитія физики, какъ науки. Случайно мы съ нѣкоторыми явленіями познакомились раньше, привыкли къ нимъ — и они намъ кажутся понятными. Но историческій ходъ могъ бы быть и иной; другія явленія могли бы быть нами раньше изучены и тогда ихъ мы считали бы понятными. Итакъ, желая объяснить явленіе В, мы сводимъ его къ явленію А, потому что мы съ явленіемъ А случайно

познакомились раньше, и оно намъ кажется понятнымъ. Но могло бы произойти и иначе; мы могли бы съ явленіемъ В познакомиться раньше, и тогда сведеніе явленія А къ явленію В мы бы считали за „объясненіе“ явленія А. Вдумываясь глубже, мы легко убѣдимся, что задача фѣзики не заключается въ томъ, чтобы объяснить явленіе, а чтобы найти связь между явленіями. Не то важно, что мы явленіе А сводимъ къ явленію В или В къ А; важно то, что мы находимъ связь между двумя явленіями, А и В. Каждый разъ, когда была открываема связь между разнородными группами явленій, фѣзика, какъ наука, переживала важнѣйшіе моменты своего развитія; какъ на примѣръ, можно указать на открытіе связи между электрическими и магнитными явленіями. Безсмертная заслуга Ньютона заключается не въ томъ, что онъ якобы объяснилъ движеніе свѣтилъ взаимнымъ ихъ притяженіемъ, но въ томъ, что онъ нашелъ связь между движеніемъ луны и паденіемъ камня, между движеніемъ планетъ и явленіями прилива и отлива.

ОТДѢЛЪ ПЕРВЫЙ.

Ученіе о движеніи.

§ 1. Объ измѣреніи длины и времени.

При всякомъ движеніи должно быть нѣчто движущееся, которое, вообще говоря, кромѣ движенія, обладаетъ еще и многими другими свойствами. Устраняя мысленно всѣ свойства движущагося, кромѣ способности двигаться, напр., протяженность, инертность и т. д., мы получаемъ такъ называемую движущуюся точку.

При разсматриваніи всякаго движенія намъ приходится имѣть дѣло прежде всего съ пройденнымъ путемъ, для измѣренія котораго необходимо имѣть опредѣленную величину, принятую за единицу мѣры. За такую единицу въ наукѣ принимается длина метра, которая первоначально опредѣлялась, какъ 0,0000001 часть четверти земного меридіана.

Въ древности строго выработанная система единицъ имѣлась въ Вавилонѣ. Существенное отличіе ея отъ метрической системы состояло въ томъ, что въ послѣдней основная единица есть единица длины, единица же вѣса вытекаетъ изъ нея; въ древнемъ Вавилонѣ, наоборотъ, въ основаніи всей системы лежала опредѣленная единица вѣса, которая равнялась приблизительно 43,68 килограмма; а за единицу длины была принята длина ребра куба, который, будучи наполненъ водой, имѣлъ бы этотъ вѣсъ (около 352,34 мм.).

Вавилонская система единицъ вѣса и длины распростра-
нилась черезъ Персію въ Египетъ; изъ Египта на островъ
Эгину, а оттуда въ Грецію. Впослѣдствіи она перешла къ
Римлянамъ, которые измѣнили ее въ отношеніи 9 : 10.

Римскою системою, болѣе или менѣе измѣненной, пользо-
валась въ Средніе Вѣка почти вся Европа. Въ XVII вѣкѣ на-
чинають являться предложенія новыхъ системъ, въ которыхъ
основныя единицы не были бы произвольными, но были взяты
изъ самой природы для того, чтобы въ случаѣ ихъ утраты
можно было ихъ снова съ точностью возстановить. Послѣ
массы предложеній, которыя большею частью были мало удачны
(такъ напр., предлагали за единицу длины принять разстоя-
ніе зрачковъ взрослого человѣка), остановились, наконецъ, на
метрѣ. Вотъ краткая исторія метра:

Еще въ 40-хъ годахъ прошедшаго столѣтія Буге и Конда-
минъ предложили ввести во Франціи новую единицу длины,
равную длинѣ секунднаго маятника на экваторѣ (Буге) или на
45° сѣверной широты (Кондаминъ).

Въ засѣданіи Французскаго Національнаго Собранія 8 мая
1790 года по предложенію Талейрана была назначена ком-
миссія для точнаго опредѣленія длины секунднаго маятника,
какъ новой единицы длины; въ ней участвовали Борда, Лап-
ласъ, Лавуазье, Лагранжъ, Монжъ, Кондорсе и др. 26 марта
1791 года эта коммиссія представила свой первый докладъ
Національному Собранію, предложивъ принять за основную
единицу длины одну десятимилліонную часть четверти земного
меридіана, назвавъ ее метромъ. Получивъ согласіе Національ-
наго Собранія, коммиссія приступила къ градуснымъ измѣре-
ніямъ меридіана, которыя вели Мешень и Деламбръ. 29 де-
кабря 1793 года многіе изъ членовъ коммиссіи, а именно Ла-
гранжъ, Бриссонъ, Деламбръ, Лавуазье, Борда, Кулонъ были
исключены; остальные же члены, при участіи депутатовъ отъ
другихъ государствъ, не воевавшихъ въ то время съ Франціей,
учредили международную коммиссію и, не смотря на смутное
время, продолжали свои работы. 7 апрѣля 1795 года они
представили докладъ. Закономъ того же самаго дня былъ вве-

день metre provisoir et legal, который равнялся 443,443 линий (прежняя французская единица длины, тоаза, равнялась 884 линиямъ). 22 июня 1799 года былъ представленъ послѣдній докладъ коммисіи, которымъ была опредѣлена окончательная длина метра (443,296 линий). Этотъ метръ былъ названъ metre vrai et définitif и былъ представленъ въ формѣ платиноваго стержня, на которомъ двѣ черточки обозначали его длину. Въ то же время былъ сдѣланъ и узаконенъ эталонъ килограмма. На эталонѣ метра начертаны слова: pour tous les temps, pour tous les peuples.

До 1837 года метрическая система во Франціи подвергалась измѣненіямъ. Въ 1837 же году при королѣ Луи-Филиппѣ министръ Гизо окончательно уничтожилъ всѣ старыя системы и ввелъ, какъ обязательную и единственно законную систему, метрическую. Съ 1872 года метрическая система начинаетъ быстро распространяться и теперь принята всей Европой, исключая Англіи и Россіи.

8 мая 1875 года былъ заключенъ въ Парижѣ весьма важный международный договоръ, въ которомъ приняли участіе почти всѣ образованныя націи. На основаніи этого договора было постановлено построить на общія средства вблизи Парижа зданіе, въ которомъ производились бы весьма тщательныя изслѣдованія вопросовъ, касающихся устройства, приготовленія сохраненія и употребленія эталоновъ. Въ этой конвенціи приняли участіе всѣ Европейскія Государства, исключая Англіи, которая присоединилась къ ней только въ 1879 году. Приняли участіе также Сѣверо-Американскіе Штаты, введя метрическую систему только факультативно, т. е. не обязательно. Эта Парижская коммисія обязалась доставить каждому государству одинъ или два основныхъ эталона, которые должны быть сравнены съ эталономъ 1799 года, какъ можно точнѣе, и чѣмъ ихъ свойства должны быть описаны и изслѣдованы съ большою подробностью. Только въ августѣ 1889 года произошла первая раздача эталоновъ. Россія получила два метра и два килограмма съ термометрами, съ подробнымъ описаніемъ и т. д.

Названія кратныхъ и подраздѣленій различныхъ единицъ

образуются въ настоящее время приставками: дека—(10), гекто—(10²), кило—(10³), мириа—(10⁴), мега—(10⁶), деци—(10⁻¹), центи или санти—(10⁻²), милли—(10⁻³) и микро—(10⁻⁶).

Единицы площадей и объемовъ непосредственно вытекаютъ изъ единицы длины—метра.

Намъ необходимо еще имѣть опредѣленную единицу времени. Мы за единицу времени принимаемъ секунду, при чемъ обыкновенно говорятъ, что секунда есть такая то доля времени обращенія земли вокругъ оси. Но время обращенія земли не можетъ быть принято за единицу времени, потому что въ противномъ случаѣ мы не въ состояніи будемъ доказать равномерности движенія земли, т. е. постоянства принятой нами единицы времени. За единицу времени мы должны взять время, течение котораго продолжается такое явленіе, которое много разъ повторяется при совершенно одинаковыхъ условіяхъ, независимо отъ движенія земли. Такимъ явленіемъ можетъ считаться качаніе маятника; время одного качанія мы и можемъ принять за единицу времени. Съ этой единицей мы затѣмъ сравниваемъ время обращенія земли и потомъ уже доказываемъ, что земля движется равномерно.

§ 2. О равномерномъ движеніи.

Равномерное движеніе можетъ происходить по прямой линіи или по кривой. Равномернымъ движеніемъ мы называемъ такое, при которомъ въ равные промежутки времени проходятся равные пути или, какъ принято выражаться, равныя пространства. При этомъ „равные промежутки времени“ можно брать какіе угодно: не только цѣлыя секунды, но и произвольныя ихъ дроби.

При равномерномъ движеніи, кромѣ пути, который былъ пройденъ, и времени, которое употреблено на прохожденіе пути, приходится разсматривать еще одну новую величину, именно скорость, которую будемъ обозначать буквою *v*.

Понятіе о скорости равномернаго движенія принадлежитъ къ понятіямъ первоначальнымъ, не требующимъ особаго опре-

дѣленія. Основываясь на первоначальномъ, т. е. приращенномъ представленіи о скорости равномернаго движенія, мы говоримъ, что при различныхъ равномерныхъ движеніяхъ скорость тѣмъ больше, чѣмъ больше пройденный путь, т. е. скорость пропорціональна пройденному въ данное время пути. Кромѣ того мы можемъ выразить зависимость скорости отъ времени, которое требуется для прохожденія одного и того же пути. Пусть одна точка проходитъ въ 3 секунды 4 фута; другая-же проходитъ то же разстояніе въ 15 секундъ; тогда вторая точка двигается со скоростью, въ 5 разъ меньшею, чѣмъ первая. Изъ этого слѣдуетъ, что скорость будетъ тѣмъ больше, чѣмъ меньше времени употреблено на прохожденіе одного и того же пути, т. е. скорости, при одинаковомъ пройденномъ пути, обратно пропорціональны времени. Это можно выразить такъ:

$$v = c \frac{s}{t},$$

гдѣ v —скорость, s —пройденный путь, t —время, а c —коэффициентъ пропорціональности, который мы должны ввести для того, чтобы перейти отъ пропорціональности къ равенству численныхъ значеній. Этотъ коэффициентъ, являющійся во всевозможныхъ формулахъ физики, зависитъ отъ того, какими единицами мы измѣряемъ величины, входящія въ формулу. Покажемъ это яснѣе на вышеприведенной формулѣ для скорости v . Имѣя дѣло съ тремя величинами: пространствомъ, временемъ и скоростью, мы можемъ ихъ измѣрять произвольными соотвѣтственными единицами; такъ напр., путь s измѣрять аршинами, за единицу времени брать минуту, а за единицу скорости принимать скорость тѣла, проходящаго одинъ метръ въ 3 секунды. Тогда v будетъ представлять численное значеніе разсматриваемой скорости и покажетъ, во сколько разъ эта скорость больше скорости, принятой за единицу; s —показываетъ, во сколько разъ пройденный путь больше одного аршина; t ,—во сколько разъ время больше одной минуты. Величина v равна величинѣ $\frac{s}{t}$, помноженной на число c , кото-

рое будетъ мѣняться вмѣстѣ съ измѣненіемъ трехъ выбранныхъ единицъ.

Спрашивается, что будетъ, если мы положимъ $s=1$? Слѣдствіемъ замѣны, въ какихъ бы то ни было формулахъ, коэффиціента пропорціональности единицъ, является то, что мы лишаемся возможности выбирать вполне произвольно единицы всѣхъ величинъ, входящихъ въ формулы. Дѣйствительно, длину s еще можно измѣрять какой угодно единицей длины, напр., метромъ, и время t какой угодно единицей времени, хотя бы секундой. За единицу же скорости послѣ этого нельзя уже принять какую угодно скорость, потому что формула $v = \frac{s}{t}$ показываетъ, что, если $s=1$ и $t=1$, то v должно непремѣнно равняться единицѣ. Итакъ, если движеніе таково, что въ единицу времени проходитъ единица пространства, то скорость этого движенія мы непремѣнно должны принять за единицу скорости. Слѣд., если мы нашу формулу пишемъ въ видѣ $v = \frac{s}{t}$, то за единицу скорости принимается скорость такой точки, которая въ единицу времени пробѣгаетъ единицу пространства.

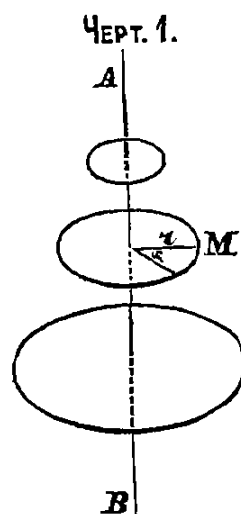
Изъ всего сказаннаго явствуется, что скорость есть особаго рода величина, опредѣленное, частное значеніе которой принимается за единицу скорости. Неправильно говорить, что скорость равномернаго движенія есть пространство, пройденное въ единицу времени. Если $v = \frac{s}{t}$, то можно сказать, что v содержитъ столько единицъ скорости, сколько единицъ длины содержится въ пространствѣ, пройденномъ въ единицу времени, потому что $v=s$ при $t=1$. Положимъ, напр., что точка пробѣгаетъ въ 3 секунды пространство, равное 15 метрамъ; тогда скорость этой точки равна $\frac{15}{3}=5$, гдѣ 5 есть численное значеніе скорости.

Если мы обозначимъ начальный моментъ движенія черезъ t_1 , а конечный черезъ t_2 , то пройденный въ промежутокъ вре-

мени отъ t_1 до t_2 путь выразится формулою $s=v(t_2-t_1)$. Это есть обобщенный видъ формулы $s=vt$.

Кромѣ равномерно-поступательнаго движенія играетъ важную роль еще особый видъ движенія неизмѣняемой системы точекъ, т. е. группы точекъ, взаимныя разстоянія которыхъ остаются постоянными, а именно — вращательное.

Подъ вращеніемъ мы понимаемъ слѣдующаго рода движеніе: всѣ точки данной системы описываютъ круги, плоскости которыхъ перпендикулярны къ нѣкоторой прямой АВ (черт. 1), центры же этихъ круговъ лежатъ на этой прямой. Относительное расположеніе точекъ при этомъ движеніи не мѣняется. При вращеніи слѣдуетъ обратить вниманіе на время полного оборота T . Вообразимъ какую нибудь точку нашей системы, описывающую кругъ радіуса r , и пусть движеніе совершается равномерно со скоростью V . Если точка во время T дѣлаетъ полный оборотъ, то пройденный путь, $2\pi r$, равенъ скорости, помноженной на время полного оборота, т. е. $2\pi r=TV$, откуда $T = \frac{2\pi r}{V}$ и $V = \frac{2\pi}{T} r$. Последняя формула показываетъ, что скорости точекъ вращающагося тѣла пропорціональны ихъ разстояніямъ отъ оси.



Вообразимъ нѣкоторую точку M , находящуюся отъ оси АВ (черт. 1) на разстояніи, равномъ r . Пусть любой радіусъ (перпендикуляръ, опущенный изъ любой точки системы на ось) повернется въ t секундъ на уголъ φ *); ясно, что въ одну секунду онъ повернется на уголъ $\frac{\varphi}{t}$. Этотъ уголъ мы будемъ счи-

*) Углы въ элементарной физикѣ иногда измѣряются градусами, минутами и секундами; мы будемъ, какъ это дѣлается всегда въ высшей математикѣ, ихъ измѣрять соотвѣтствующей дугой при радіусѣ, равномъ единицѣ, — иначе говоря, за мѣру нѣкотораго угла φ будемъ принимать отношеніе дуги s этого угла въ радіусу r , $\varphi = \frac{s}{r}$, и такимъ образомъ будемъ ихъ выражать от-

татъ мѣрою угловой скорости и условимся ее обозначать буквой ϑ . Скорость v для различныхъ точекъ вращающагося тѣла различна, угловая же ихъ скорость $\vartheta = \frac{\varphi}{t}$ есть величина постоянная. Эту угловую скорость ϑ можно представить еще иначе: примемъ уголъ φ равнымъ 2π , т. е. рассмотримъ одинъ полный оборотъ,—тогда $\vartheta = \frac{2\pi}{T}$. Такой формулой обыкновенно и выражается угловая скорость. Эта величина $\frac{2\pi}{T}$ входитъ множителемъ въ формулу для скорости точекъ вращающейся системы: $V = \frac{2\pi}{T} r$. Подставивъ въ эту формулу вмѣсто $\frac{2\pi}{T}$ его величину ϑ , получимъ: $V = \vartheta r$, т. е. скорость произвольной точки равняется угловой скорости всей системы, помноженной на r , т. е. на число единицъ длины, заключающихся въ разстояніи этой точки отъ оси. Положимъ, что точка находится на разстояніи, равномъ единицѣ, отъ оси; тогда $V = \vartheta$, т. е. угловая скорость измѣряется скоростью точки, находящейся на разстояніи единицы отъ оси.

Направленіе скорости. Скорость можетъ имѣть два направленія—въ одну сторону и въ противоположную. Эти два противоположныя направленія мы имѣемъ право считать разнозначными, т. е., одну скорость будемъ считать положительной, а другую, противоположную ей,—отрицательной.

Направленіе скорости есть направленіе самаго движенія.

влеченными числами, показывающими, во сколько разъ дуга больше радіуса; дуги же, очевидно, будутъ выражаться произведеніями угловъ на радіусы, какъ напр., въ данномъ случаѣ— $s = \varphi r$. При такой мѣрѣ за единицу угла принимается уголъ, для котораго дуга равняется радіусу, а именно уголъ въ $57^\circ, 29578\dots$. При такой мѣрѣ уголъ въ 180° измѣряется отвлеченнымъ числомъ π , уголъ въ $360^\circ = 2\pi$ и т. д.