

**Б. Кочетыгов**

**Об упругих движениях**

**Москва  
Издательство Нобель Пресс**

УДК 53  
ББК 22.3  
Б11

Б11      **Б. Кочетыгов**  
Об упругих движениях / Б. Кочетыгов – М.: Lennex Corp, — Подготовка ма-  
кета: Издательство Нобель Пресс, 2014. – 112 с.

**ISBN 978-5-458-71642-0**

**ISBN 978-5-458-71642-0**

© Издательство Нобель Пресс, 2014  
© Б. Кочетыгов, 2014

## **СОДЕРЖАНИЕ**

стр.

Предисловие автора.....	5
1. Предмет исследования.....	7
2. Образование продольных волн .....	10
3. Взаимодействия продольных волн.....	14
4. Движение частицы под действием постоянной контактной силы.....	19
5. Колебательное движение частицы.....	28
6. Контактные взаимодействия частиц .....	40
7. Колебательные движения с вращением частиц.....	47
8. О микрочастицах.....	49
9. Упругие движения во времени и пространстве.....	65
10. Итоги и выводы.....	73
11. Рисунки и таблицы.....	80
12. Приложения.....	107



## ПРЕДИСЛОВИЕ АВТОРА

Вы открыли первые страницы и хотите узнать, о чём эта книга. Название мало что говорит. Более того, термина “упругие движения” нет ни в одном справочнике. Так о чём же эта книга? Основные построения классической механики выполняются на примере абсолютно твёрдых тел. Абстракция абсолютной твёрдости позволила механике решать громадное число практических задач. Но, отталкиваясь от такой абстракции, механика что – то и потеряла. Так что же потеряла механика? В этой книге мы постарались дать свой ответ на этот вопрос. Эта книга, – небольшое исследование. В результате исследования была обнаружена новая форма движения материи – упругие движения, которым и посвящена наша книга. Рассматриваемые упругие движения не выходят за рамки представлений классической механики.

Условно в книге можно выделить две основные части. В первой части формируется основная идея – представления об упругих движениях, во второй – предпринята попытка использовать эти представления для поиска новых идей миропонимания, в чём – то отличных от общепринятых. Своим существованием упругие движения дают повод и новый инструмент для реализации такой попытки. Познавая свойства упругих движений, мы всё меньше будем удивляться корпускулярно-волновому дуализму материи, свойству квантования и свойству неопределённости при измерении параметров этой материи. Эти свойства присущи упругим движениям частиц и могут стать обыденными свойствами в рамках современной классической механики. Об этих удивительных движениях, о том, как они соотносятся с другими движениями, и пойдёт речь в этой книге.

После завершения работы появилось желание её существенно сократить и оставить лишь “сухой остаток”. Потом пришло понимание, что этого делать не следует. Процесс формирования новых представлений имеет самостоятельное значение и приобщает читателя к совместной работе. Вместе с читателем мы будем получать новые представления, потом их уточнять, а иногда и менять; будем задавать вопросы, на которые пока нет готовых ответов. Книга – не учебник по упругим движениям и не претендует на абсолютную истину. Пока ещё ограничен круг выполненного исследования. Книга приглашает

читателя к размышлениям, исследованиям и дискуссии по затрагиваемым вопросам и проблемам.

Автор выражает свою глубокую признательность и благодарит профессора Таганрогского пединститута Т.М. Абрамовича за отзыв и критические замечания, которые с благодарностью были приняты во внимание при последующем редактировании работы.

Б. Кочетыгов

## 1. ПРЕДМЕТ ИССЛЕДОВАНИЯ

Как известно, классическая механика занимается изучением перемещений тел в пространстве и происходящих при этом взаимодействиях между ними. Основу механики составляют три закона Ньютона и его же закон всемирного тяготения. В этих законах в качестве меры механического взаимодействия выступает сила. Для механики не существенно, возникла ли сила в результате контактного взаимодействия или взаимодействия каких-либо силовых полей. Это обстоятельство считается преимуществом механики и позволяет описывать широкий круг взаимодействий. Однако, в этом же состоит и недостаток механики.

Рассмотрим, например, свободное движение какого-нибудь тела в поле тяготения, при котором все элементарные материальные частицы этого тела будут испытывать одинаковое ускорение, но сохранять неподвижность относительно друг друга. В теле будут отсутствовать какие-либо деформации и потоки информации “через деформации”, которые бы свидетельствовали о воздействии какой-то силы. Невозможно создать прибор, способный непосредственно измерить эту силу. Тело не будет “ощущать” сил тяготения. В таком случае физические свойства тела и его форма не будут оказывать влияния на характер движения тела в поле тяготения. Не будет оказывать влияния на характер движения этого тела наделение его свойствами идеальной упругости или абсолютной твёрдости.

Основные теоретические построения классической механики выполняются на примере абсолютно твёрдых тел. Следует отметить особо, что именно это обстоятельство позволяет механике не считаться с природой сил. Только для описания движения абсолютно твёрдых тел не имеет значения происхождение силы, появилась ли сила от взаимодействия силового поля или от контактного взаимодействия.

Иначе происходят контактные взаимодействия упругих тел: отдельные элементы взаимодействующих тел перемещаются относительно друг друга, передавая информацию о взаимодействии от элемента к элементу. В телах возникают деформации и напряжённые состояния, соответствующие приборы смогут зарегистрировать величины деформаций во взаимодействующих телах. Через деформации тела будут “ощущать” действие контактных сил. И в этом

случае физические свойства и форма тел уже должны оказывать какое-то влияние на характер движения этих тел. Характер контактных взаимодействий и движений должен в принципе отличаться от обычных взаимодействий и движений классической механики и иметь свои особенности. Какими будут эти взаимодействия и движения и в чём заключаются их отличительные особенности? Попытка ответить на поставленные вопросы и является целью нашего исследования. Понимаем всю сложность решения поставленной задачи в общем виде. Поэтому попытаемся эти сложности каким-то образом обойти. Будем проводить наше исследование на примере частицы в виде прямолинейного стержня. Принятое упрощение позволяет нам решать поставленные задачи. И если имеются элементы новизны в характере движений частиц, какие-то из них мы сможем выявить в таком частном и упрощённом рассмотрении. Принятая идеология позволяет провести простым способом быстрое поисковое исследование на предмет наличия новизны. И такое исследование поискового характера представлено в настоящей работе.

Написание этой небольшой работы по разным причинам затянулось на многие годы, исследование легче начать, но труднее закончить. Движение по неведомым дорогам конца практически не имеет. А то, что это исследование – новая дорога, стало ясно после публикации открытия Е.В. Александрова в "Бюллетене изобретений и товарных знаков". В бюллетене №7 за 1964г. была сделана публикация об открытии Е.В.Александрова. Новизна предлагаемой для исследования темы стала очевидной. Приводим формулу этого открытия полностью:

#### **«ФОРМУЛА ОТКРЫТИЯ**

*При упругом ударе коэффициент передачи энергии зависит от отношения масс соударяющихся тел до определённого критического значения этого отношения, которое определяется конфигурацией соударяющихся тел.*

*При дальнейшем увеличении отношения масс соударяющихся тел коэффициент передачи энергии определяется уже не отношением действительных масс, а лишь указанным критическим значением этого отношения.*

*При упругом ударе коэффициент восстановления определяется формой и массой соударяющихся тел, а также степенью рассеяния энергии в них ».*

Главное состоит в том, что формула открытия расходится с теорией упругого удара классической механики. Мы не будем останавливаться на этих расхождениях. Обратим внимание лишь на то, что результат упругого удара зависит от формы соударяющихся тел и сопровождается тепловым процессом. Открытие Александрова и наша работа – о контактных взаимодействиях, однако у них разная направленность и идеология исследования. Мысль о новизне пути явились тем импульсом, который позволил работу закончить и поставить промежуточную точку.

\*\*\*\*\*

## 2. ОБРАЗОВАНИЕ ПРОДОЛЬНЫХ ВОЛН

Итак, объект нашего исследования – материальные частицы. Под термином **частица** будем понимать прямолинейное твёрдое материальное тело, поперечные сечения и физические свойства которого одинаковы по длине этого тела. **Абсолютно твёрдая частица** или, для краткости, **твёрдая частица** – такая частица, в которой информация о взаимодействии передаётся мгновенно. **Упругая частица** – частица, которая идеально подчиняется закону Гука. Информация о взаимодействии передаётся в этой частице с конечной скоростью. Абсолютно твёрдые и упругие частицы будем называть **эквивалентными частицами**, если равны их массы и геометрические размеры. По ходу изложения материала не всегда поясняются принятые условные обозначения и изображения на рисунках, в таких случаях следует обращаться к приложениям, помещённым в конце работы.

А теперь, представим себе упругую частицу с поперечным сечением  $F$ , с одним свободным концом  $\mathbf{0}$  и с другим концом, уходящим в бесконечность (рис. 2-1). Свободный конец  $\mathbf{0}$  в момент времени  $t_1$  находится в покое. В момент времени  $t_2$  к свободному концу  $\mathbf{0}$  частицы приложим силу  $N$ , постоянную по величине и направлению. С момента начала взаимодействия силы  $N$  с частицей, вдоль частицы начнёт распространяться информация о взаимодействии со скоростью  $c$ . Скорость распространения информации о взаимодействии вдоль частицы определится из известного выражения

$$c = \sqrt{E/\rho}, \quad (2.1)$$

где  $E$  – модуль упругости, а  $\rho$  – плотность материала частицы. К моменту времени  $t_4$  информация о взаимодействии распространится на длину  $I = c(t_4 - t_2)$  или, если записать в общем виде

$$I = c\tau, \quad (2.2)$$

где  $I$  – **длина волны в частице**, а  $\tau = (t_4 - t_2)$ . Деформация  $\Delta l$  частицы за этот же отрезок времени  $\tau$  определится из закона Гука:  $\Delta l = Nl/EF$  или  $\Delta l = Nct/EF$ . Поскольку физические свойства частицы непрерывны и одинаковы по её длине, последнее выражение можно записать в таком виде:  $dl/d\tau = Nc/EF$ . Производная  $dl/d\tau$  определяет скорость  $v$  перемещения конца  $\mathbf{0}$  частицы. Поскольку мы приняли считать постоянной силу  $N$ , а также считать постоянными сечения частицы  $F$  и физические свойства материала частицы по длине, то и скорость  $v$  будет величиной постоянной. Производную  $dl/d\tau$  можно отнести к любому элементу  $\Delta l$  в отрезке  $I$ ,

следовательно, все элементы частицы в отрезке  $I$  перемещаются с одинаковой и постоянной скоростью

$$\nu = Nc/EF. \quad (2.3)$$

Все элементы частицы в отрезке  $I$  получили информацию о действии силы  $N$  на свободный конец  $O$  частицы и находятся в результате этого действия в движении и в напряженном состоянии. Все элементы частицы справа от  $I$  ещё не получили информации о взаимодействии и сохраняют своё начальное состояние, т.е. находятся в состоянии покоя.

Представим теперь, что в момент времени  $t_4$  действие силы  $N$  прекращается. В этот момент сечение  $O$  частицы получает информацию об изменении силового воздействия (действовала сила  $N \neq 0$ , стала действовать сила  $N = 0$ ), которая также начнёт распространяться с той же скоростью  $c$  вдоль частицы. После прекращения действия силы  $N$ , сечение  $O$  частицы приобретает скорость равную нулю. Проделав подобную операцию, мы получили **сжатую продольную упругую волну**, свободно бегущую вдоль упругой частицы, как результат взаимодействия силы со свободным концом  $O$  частицы. Передний фронт волны (сеч.  $1'$ ) движется со скоростью  $c$  вдоль частицы и передаёт информацию о начале взаимодействия. Задний фронт волны (сеч.  $0'$ ) движется с той же скоростью  $c$  вдоль частицы и передаёт информацию о конце взаимодействия. Поскольку передний и задний фронты волн движутся в одном направлении и с одинаковыми скоростями, длина волны  $I$  при движении по частице сохраняется постоянной.

По принятой для волновых движений терминологии будем называть скорость  $c$  распространения волны **фазовой скоростью**, а скорость  $\nu$  движения всех элементов в волне частицы – **групповой скоростью** движения. Эти скорости следует чётко различать. Передний фронт волны (и задний) всегда перемещается со скоростью  $c$  по частице и вовлекает в движение всё новые её элементы, но эти новые элементы приобретают уже скорость  $\nu$ , а не  $c$ . Передний фронт волны  $1'$  и задний фронт волны  $0'$  являются границами, разделяющими части частицы, движущиеся с разными скоростями. При этом, элементы частицы, вовлекаемые в движение из состояния покоя, приобретают свою групповую скорость мгновенно (скаккообразно). Является очевидным, что групповая скорость волны не может быть больше её фазовой скорости.

Если в рассматриваемом примере (рис. 2-1) изменить направление действия силы  $N$ , получим **растянутую продольную упругую волну**,

свободно бегущую вдоль упругой частицы. Очевидны правила, которые всегда соблюдаются:

если направление фазовой скорости волны совпадает с направлением её групповой скорости, – волна будет сжатой;

если направление фазовой скорости волны противоположно направлению её групповой скорости, – волна будет растянутой.

Введём дополнительную величину

$$\theta = EF/c \quad (2.4)$$

и с учётом этого перепишем выражение (2.3) в таком виде:

$$v = N/\theta. \quad (2.5)$$

Второй закон механики Ньютона определяет причинно-следственную взаимосвязь силы, как причины, а ускорения, как следствия. Выражение (2.5) является, в сущности, записью этого же закона для колебательного движения волны в частице. Здесь та же сила (причина) порождает уже не ускорение, а скорость (следствие) элементов частицы в волне. Имеет смысл величину  $\theta$  назвать **продольной волновой жесткостью частицы**. Умножив левую и правую части выражения (2.4) на  $\tau$ , и сделав простые преобразования с учётом (2.1), получим  $\theta\tau = EF\tau/c = EFl/c^2 = El\rho/E = Fl\rho = m$ . Отсюда можно записать ещё одно значение волновой жесткости

$$\theta = m/\tau, \quad (2.6)$$

где ***m* – масса волны**, а время  $\tau$  будем называть **временем образования волны в частице**. Отметим, что в последней записи просматривается и физический смысл понятия волновой жесткости: волновая жесткость есть временной градиент  $\Delta m/\Delta t$  вовлечения массы частицы в упругое движение.

Бегущая вдоль упругой частицы волна имеет и переносит по частице импульс  $P$  и энергию  $W$ . Запишем несколько выражений для импульса волны в частице:

$$P = N\tau = mv = \theta\tau v. \quad (2.7)$$

Энергия волны состоит из потенциальной энергии и кинетической. Полная энергия  $W = N\Delta l$  равна работе, затраченной на образование волны. Потенциальная энергия  $W_p = N\Delta l/2$  равна затратам энергии на образование стоячей волны. Кинетическая энергия волны равна её потенциальной энергии, т.е.  $W_k = W_p = N\Delta l/2$ , или  $W_k = W_p = mv^2/2$ .