

**РАЗМЕРНЫЕ ВЕЛИЧИНЫ МЕХАНИКИ
И ГРУППЫ СИММЕТРИИ ПРОСТРАНСТВА-ВРЕМЕНИ****Шейкин А. А.****научный руководитель канд. физ.-мат. наук, доц. Пастон С. А.
Санкт-Петербургский государственный университет**

С размерными величинами человек, приступающий к изучению физики, сталкивается практически сразу. В школьном курсе физики размерность физической величины вводится аксиоматически, как некая неотъемлемая и неизменная ее характеристика. К великому сожалению (во всяком случае, физиков-теоретиков), школьная физика оперирует по большей части одной-единственной системой единиц СИ, что связано в основном с простотой электродинамической части этой системы единиц по сравнению с ее основным конкурентом – системой СГС (сантиметр-грамм-секунда). В то же время система СИ с методологической точки зрения обладает несколькими существенными недостатками. Простота в измерении электродинамических величин не обошлась даром: ради нее пришлось ввести в систему две размерные константы, не несущие никакого физического смысла и, более того, вносящие путаницу в структуру электродинамики – диэлектрическую и магнитную проницаемости вакуума. Существование двух этих констант, в частности, делает различными размерности напряженностей электрического и магнитного поля, что с точки зрения специальной теории относительности (на которой базируется электродинамика) есть полнейший нонсенс, т. к. преобразованиями Лоренца можно свободно переводить одну напряженность в другую.

Не останавливаясь подробно на перечислении методологических пороков системы СИ (обзор которых можно найти, в частности, в книге [1(Сена)]), отметим лишь заключающийся в том, что в силу избыточного количества физических величин (и, соответственно, лишенных физического смысла размерных констант) единицы СИ мешают восприятию физики как некой единой, цельной науки. С другой стороны, система СГС подчеркивает это единство тем, что в ее основу положены сугубо механические величины – длина, масса и время. Такой подход представляется вполне естественным в связи с господствующим в настоящее время представлением о взаимодействии как обмене квантами неких полей, т. е. испусканию и поглощению частиц другими частицами – механистичным по своей сути. Известный в квантовой электродинамике прием – разложение электромагнитного поля по осцилляторам – лишний раз подтверждает тот факт, что и современные физические теории основаны на идеологии механики.

Но даже система СГС не дает ответа на вопрос, что такое размерность физической величины и какова причина ее появления. Согласно [1], с давних времен существует две противоположных точки зрения на этот вопрос. Сторонники первой убеждены, что размерность физической величины связана с характером связанных с ней явлений и определяется их характером (с этой точки зрения температура, заряд, светимость и другие величины являются такими же полноправными размерными величинами, как и механические). Сторонники же второй указывают на то, что практическая роль размерности заключается лишь в том, чтобы предписывать правило изменения количественного значения этой величины при смене системы единиц. Эта точка зрения импонирует физику-теоретику, поскольку размерность в этом случае можно воспринимать как некий аналог тензорного значка. Тензорный характер некоей величины относительно каких-либо преобразований есть не что иное, как правило изменения этой величины под действием преобразований. Так, мы называем релятивистским 4-вектором величину, которая под действием преобразований Лоренца преобразуется определенным образом. Нет причин вводить в рассмотрение подобные сущности, если преобразования, о которых идет речь, не являются преобразованиями симметрии (например, запись ньютоновской гравитации в релятивистски

инвариантной форме не привносит ничего, кроме излишнего усложнения уравнений теории).

Так что же за преобразования симметрии приводят к появлению размерности как аналога тензора? Ответ прост – масштабная инвариантность. И в самом деле, выбор единицы измерения длины, массы и времени есть лишь вопрос удобства и традиций, а с точки зрения самой механики – абсолютно произволен. Ни один физический результат не должен измениться при переходе от единиц СГС к английским или старорусским единицам измерения. Другими словами, *длине, массе или времени в обычной ньютоновской механике можно приписать произвольные численные значения*, а размерность этих и любых производных величин в совокупности с системой единиц определяет, какое конкретное значение нужно приписать этой величине.

Но мы все еще не знаем ответа на вопрос, по какой причине для полной фиксации этого произвола в определении численных значений величин в классическую механику необходимо и достаточно ввести три размерных величины. Стоит отметить, что в релятивистской механике достаточно двух размерных величин, ибо релятивистское пространство скоростей является пространством постоянной кривизны[2(Квант)], роль которой играет размерная константа – скорость света. Это позволяет заменить ею одну из основных величин механики и тем самым эффективно сократить количество размерных величин (общепринятое в релятивистской физике соглашение $c=1$ постулирует, что 300000 км = 1 с). Менее известный пример – ньютонова механика на сфере, в которой также необходимы только две размерные величины – масса и время. Расстояния же, очевидно, можно измерять в единицах радиуса сферы. Таким образом, мы видим, что количество размерных величин механики связано с групповой структурой пространства-времени.

Но даже если принять во внимание отсутствие каких бы то ни было фиксированных масштабов в пространстве группы Галилея, что обеспечивает нам масштабную инвариантность длины и времени, остается непонятным, как с группой Галилея связана масштабная инвариантность массы. Ответ, возможно, заключается в том, что группа Галилея, как известно, допускает центральное расширение[3], и значение центрального заряда M остается произвольным. Можно видеть, что растяжение центрального заряда M группы Галилея приведет к точно такому же растяжению всех генераторов группы (операторов энергии, импульса, момента импульса и трехмерного «буста»), что позволяет говорить о наличии у всех этих величин множителя в размерности, равного размерности M .

Подводя итог, хотелось бы сказать, что роль размерных единиц и фундаментальных констант в физике представляется нам недостаточно освещенной в школьных и университетских курсах. Помимо того, что должное понимание этой роли может позволить старшекласснику и младшекурснику легче освоить идеологическую базу специальной и общей теории относительности (также оперирующих с понятиями инвариантов преобразований), оно также является основой для мощного подспорья в решении задач – анализа размерностей[4], являющегося важным элементом многих исследований, особенно в гидродинамике[5] и теории критического поведения[6].

Литература

- 1.1. Сена Л.А. Единицы физических величин и их размерности. М.:Наука, 1969 — 304 с.
- 2.2. Дубровский В. Н., Смородинский Я. А., Сурков Е. В. Релятивистский мир.М.: Наука, 1984—176 с.
- 3.3. L. Ballentine. Quantum Mechanics: a Modern Development. World Scientific, Singapore, 1998.
- 4.4. Бриджмен П. Анализ размерностей. — Ижевск: НИЦ «Регулярная и хаотическая динамика», 2001—148 с.
- 5.Седов Л.И. Методы подобия и размерности в механике. М.: Наука, 1977—440 с.
- 6.Баренблатт Г.И. Автомодельные явления — анализ размерностей и скейлинг. Пер. с англ.:

Учебное пособие / Г.И. Баренблатт — Долгопрудный: Издательский Дом «Интеллект», 2009.
— 216 с.