

О понятии "поток вектора"

СОДЕРЖАНИЕ

1. Природа векторной величины в физике.
2. Интегральным воздействием на систему является "поток векторного поля".
3. Формула потока векторного поля а противоречит принципу причинности.
4. Природа векторной величины в физике поля.
5. Термин "поток вектора" не адекватен.
6. Может ли вектор течь?
7. Поток вектора напряженности или полная напряженность?

1. Природа векторной величины в физике.

В природе нет приложенных к точке векторных физических величин, в этом состоит отличие применения векторных величин в физике от той математической абстракции, которая принята в физике по умолчанию. В природе имеются поля распределенных векторных физических величин, и физическое содержание имеют интегралы векторных величин, взятые по площади участка поверхности (И.Бронштейн и К.Семендяев, 1968).

Рассмотрим для примера самую популярную векторную физическую величину – силу \mathbf{F} . В природе приложенных в точке сил не существует. Воздействие на тело всегда распределено по какой-то части поверхности тела площадью S , какой бы малой она не была. На тело направленно воздействует векторная величина, равная $\int_S \mathbf{F} dS$. Подобную векторную физическую величину $\mathbf{\Pi}$ ввел в рассмотрение А.Чуев (2003):

$$\mathbf{\Pi} = \int_S \mathbf{F} dS = \mathbf{F} S, \quad (1)$$

назвав ее **действием потенциальным**. Модуль такой векторной величины $\mathbf{\Pi}$ рассматривается в учебнике физики И.Савельева (2005, кн.1, § 3.13) в теории потенциального физического поля, где он назван **константой потенциального поля** и обозначен символом α . Аналогичная константа Π под названием "количество гравитации" применена в статье И.Бабич (2010), посвященной исследованию [гравистатического поля](#).

Если применять уравнение (1) к потенциальному полю, то прибавление слова "потенциальное" к слову "действие" себя оправдывает. А без этого добавления может возникнуть путаница с понятием "действие", введенным Р.Фейнманом для названия физической величины другого содержания.

Для устранения путаницы лучше называть $\mathbf{\Pi} = \int_S \mathbf{F} dS$ словом **воздействие**. Тогда силу \mathbf{F} можно назвать **локальным воздействием** (приложенным в точке), а векторную величину $\mathbf{\Pi}$ - **полным воздействием** (или **интегральным воздействием**).

2. Интегральным воздействием на систему является "поток векторного поля".

В современной физике **потоком вектора а** называют скалярную физическую величину

$$\Phi_a = \iint_S \mathbf{a} \cdot d\mathbf{S} = \iint_S (\mathbf{a} \cdot \mathbf{n}) dS, \quad (2)$$

где S – площадь произвольно расположенной поверхности; \mathbf{a} – произвольный вектор, начало которого лежит на поверхности S ; $d\mathbf{S} = \mathbf{n} dS$ – псевдовектор, поставленный в соответствие ориентированной элементарной площадке (И.Бронштейн и К.Семендяев, 1968); \mathbf{n} – орт нормали к элементарной площадке dS .

Чаще всего приводится первая запись уравнения (2), но это не меняет того, что физическая величина Φ_a в уравнении (2) является скаляром. Псевдовектор элементарной площадки $d\mathbf{S}$, является чистой математической абстракцией. Согласно принципу причинности произвольную векторную величину \mathbf{a} следует рассматривать как локализацию полного вектора, распределенного по площади и приложенного в точке с заданными координатами.

Чтобы избежать по возможности математических абстракций, не имеющих физического содержания, в физике следовало бы отказаться от часто применяемого абстрактного вектора элементарной площадки $d\mathbf{S}$, заменив его выражением $\mathbf{n}dS$, где \mathbf{n} – орт нормали к площадке dS . Направления вектора \mathbf{a} и орта \mathbf{n} в общем случае не совпадают. Поэтому уравнение (2) можно записать в виде

$$\Phi_a = \iint_S \mathbf{a} (\mathbf{e}_a \mathbf{n}) dS \quad , \quad (3)$$

где \mathbf{e}_a – орт вектора \mathbf{a} , а скалярное произведение двух ортов $(\mathbf{e}_a \mathbf{n})$ равно $\cos(\mathbf{e}_a, \mathbf{n})$, а величина Φ_a оказывается вектором. Уравнение (3) можно записать также в виде:

$$\Phi_a = \iint_S \mathbf{a} dS \cos(\mathbf{e}_a \mathbf{n}) \quad . \quad (4)$$

Уравнение (4) показывает, что можно обойтись без введения абстрактного вектора $d\mathbf{S}$ и что “поток векторного поля” можно определять не скалярным произведением векторов, а произведением вектора на скаляр (4). И тогда становится ясно, что “действие потенциальное” Π из уравнения (1) является частным случаем потока вектора Φ_a .

Когда в математике и физике сначала вводят понятие частной величины (локального вектора), а затем – понятие общей величины, называемой потоком вектора, то мы имеем дело с не оправданным применением индуктивного метода (от частного к общему). А дедуктивный метод (от общего к частному) предполагает сначала введение полной величины (неудачно названной в данном случае потоком вектора), а затем уже – введение локализованной величины (самого вектора).

3. Формула потока векторного поля противоречит принципу причинности.

Проделав обратное преобразование с уравнением (4), можно придти к такому выводу: то, что мы сейчас называем в физике векторной величиной, например, силой \mathbf{F} , является на самом деле поверхностной плотностью воздействия, равной:

$$\mathbf{F} = d\Phi_F / [dS \cos(\mathbf{e}_F \mathbf{n})] \quad . \quad (5)$$

Отсюда вытекает важный вывод о том, что *векторная величина в физике – это удельная производная величина*, базисом которой является площадь поверхности.

Судя по уравнению (5), вектор воздействия Φ_F является причиной, а локальный вектор \mathbf{F} – его следствием. С этой точки зрения запись уравнения (4) в виде $\Phi_F = f(\mathbf{a})$ противоречит принципу причинности. А соответствует этому принципу уравнение (5). Это один из примеров того, как непродуманное до конца применение математики в физике нарушает принцип причинности.

4. Природа векторной величины в физике поля.

Математическое понятие “поток векторного поля” при его применении в физике сокращают до термина “поток вектора”, в котором применение слова “поток” уже становится совершенно неуместным, ибо вектор течь не может.

В теории физического поля взаимодействия локальный вектор можно рассматривать как локальную напряженность физического поля, вектор которой приложен к точке на эквипотенциальной поверхности поля, образованного полеобразующим зарядом системы.

Напряженность \mathbf{E} является важнейшей векторной характеристикой поля, но ее применение отличается от применения векторных величин в механике.

В механике и в гидродинамике вектор воздействия Φ_F определяется по интегральной сумме локальных векторов \mathbf{F} , направленных, как правило, в одну сторону и воздействующих на часть поверхности тела. Поэтому вектор воздействия Φ_F в механике обычно не равен нулю. Он вызывает постоянное направленное движение тела или частиц, характерное для проточных систем, то есть для систем с постоянным перемещением частиц через систему.

В электростатике же речь идет об осесимметричном физическом поле, эквипотенциальная поверхность которого замкнута. Вследствие этого интегральная сумма локальных векторов напряженности поля по всей эквипотенциальной поверхности равна нулю, и вектор воздействия напряженностей Φ_E по всей эквипотенциальной поверхности тоже равен нулю.

Применять вектор воздействия напряженностей Φ_E в теории физического поля в случае, когда поверхность S больше половины площади всей эквипотенциальной поверхности, неудобно, так как часть локальных векторов направлена навстречу друг другу. И по этой причине его стало удобно заменять скаляром Φ_E , неверно называемым потоком вектора напряженности (по аналогии с существующим в гидродинамике потоком вектора скорости). Но в гидродинамике эквипотенциальная поверхность S не замкнута, и потому применение понятия "поток вектора скорости" в какой-то мере может быть оправдано.

Указанные соображения показывают, что мнимое удобство пользования, непродуманная аналогия терминов и недопустимые сокращения названий терминов привели к тому, что при применении математического понятия "поток векторного поля" в физике перестало просматриваться его реальное физическое содержание.

5. Термин "поток вектора" не адекватен.

Термин "поток вектора" в физике является, по нашему мнению, отражением неаккуратности в присвоении названий физическим величинам и должен быть заменен другим термином.

Процитируем справочник по математике И.Бронштейна и К.Семендяева (1986): "*Каждой ориентированной плоской площадке Σ можно поставить в соответствие вектор \mathbf{S} , имеющий направление \mathbf{n} и модуль, равный ее площади S* ". Однако при переносе этого математического определения в физику мы приходим к противоречиям.

Приведем пример. На основании приведенной цитаты может показаться, что такая векторная величина, как перемещение объема, является скаляром, так как определяется скалярным произведением $\Delta V = \mathbf{x}d\mathbf{S}$. Но приводимое в учебниках по физике указание на то, что "поток вектора скорости" является скалярной величиной, противоречит принципу причинности. Ведь перемещение \mathbf{x} центра перемещаемого объема dV является следствием перемещения этого объема, а не его причиной. При соблюдении принципа причинности следует записать выражение $\mathbf{x} = d\mathbf{V}/dS$. И тогда элементарная площадка dS остается скаляром, чем она, по сути дела, и является. А понятие о псевдовекторе площадки $d\mathbf{S}$ остается математической абстракцией, не приемлемой для применения в физике.

Почему же в теории физического поля применяются скалярные потоки вектора? Дело в том, что при анализе физического поля не применяются понятия о проточных системах и перемещаемых координатах состояния. Вследствие этого применение скалярных потоков вектора оправдывает себя теоретически, так как в этом случае оно не противоречит принципу причинности. Но и тут следует заметить, что вместо записи $d\mathbf{S}$, как это принято в векторном анализе, предпочтительнее указывать запись $\mathbf{n}dS$.

Еще пример. Поток вектора магнитной индукции \mathbf{B} (магнитный поток) $\Phi_m = \iint_S \mathbf{B} \mathbf{n} dS$ является величиной скалярной, поскольку в магнитных цепях никакие энергоносители не перемещаются. Это следует объяснять при преподавании, чтобы не казалось, будто в

магнитных цепях что-то движется. А такие мысли могут появиться по причине того, что в термине "магнитный поток" присутствует слово "поток".

6. Может ли вектор течь?

Словосочетание "поток вектора" лишено не только физического, но и практического смысла. Прежде всего, словосочетание "**поток вектора**", безотносительно к его применению, противоречит самому понятию "**вектор**". Не случайно в векторном анализе (И.Бронштейн и К.Семендяев, 1968) нет термина "поток вектора", там есть термин "**поток поля**" (скалярного или векторного), который представляет собой поверхностный интеграл векторной или скалярной функции. Впрочем, и в термине "поток поля" слово "поток" выглядит не намного понятнее, чем в термине "поток вектора". Почему?

Слово "поток" крепко-накрепко связано в голове человека с движением, даже чисто на бытовом уровне. Это слово обычно ассоциируется с потоком воды или воздуха, что и подтверждается при изучении гидроаэродинамики (например, "воздушный поток", "гидравлический поток"). Собственно, из гидродинамики и пришел этот термин в математику и физику. Везде и всюду категории векторного анализа, включая понятие "поток вектора", поясняются примерами из гидродинамики.

Но постепенно вместо понятия "*поток жидкости, определяемый векторной величиной под названием скорость*" (определение из Википедии) физики сочли возможным применять более короткое понятие "**поток вектора скорости**", которое после такого сокращения лишилось смысла, ибо сам вектор течь не может. Ведь вектор – это понятие, а не среда, которая может быть текучей. То, что сейчас понимается под вектором, – это локализация векторной физической величины в точке с определенными координатами. В формуле размерности Φ_a по уравнению (2) нет размерности времени, хотя это обычно свойственно для размерностей физических величин, характеризующих любой поток. И это лишний раз подчеркивает неправомерность включения слова "поток" в термин "поток вектора".

В своем стремлении к сокращениям текста термина физики не остановились. Из термина "поток вектора скорости" постепенно исчезло слово "скорость", и возник совсем уж бессодержательный термин "поток вектора". При первом знакомстве с этим термином в голове интуитивно появляется возражение. Но со временем к любому термину привыкают и перестают видеть его бессодержательность, точнее, вкладывают в содержание термина то, к чему человека приучили. Возникает явление, которое называется профессиональным сленгом.

Интересно, что в романских языках русскоязычное понятие "поток" выражается несколькими словами. Во всех разделах физики, кроме гидродинамики, применяется слово "flux" на английском, "Fluss" - на немецком, "flusso" - на итальянском. А в аэрогидродинамике применяется слово "flow" и "stream" на английском, "Strom" - на немецком.

7. Поток вектора напряженности или полная напряженность?

При изучении электромагнетизма появляется термин "**поток напряженности**", являющийся сокращенным вариантом термина "**поток вектора напряженности**". При изучении электрического поля объясняют, что напряженность поля, образуемого распределенными электрическими зарядами, характеризует состояние поля в той точке пространства, которая нас интересует.

Но при чем тут слово "поток"? Разве напряженность двигается? Она может изменяться по модулю и во времени, но в данной конкретной точке поля она остается привязанной к этой точке. Поэтому то, что мы называем сейчас напряженностью физического поля, является его **локальной напряженностью**. А термин "поток вектора напряженности" должен быть заменен термином "**полная напряженность**" поля, имея в

виду поверхностный интеграл локальной напряженности по площади участка эквипотенциальной поверхности.

В частности, “**магнитный поток**“, под которым понимается поток вектора напряженности вихревого поля, то есть вектора магнитной индукции, правильно называть **полной магнитной индукцией**. И тогда термин “магнитный поток“ не будет наводить на неверную мысль о том, что в магнитной цепи движется что-то подобное электрическому току.

Далее, “**поток электрической индукции**“ равен сумме зарядов, находящихся внутри исследуемой системы, которая при этом может быть неподвижной, так что и здесь слово “поток“ явно лишнее. А термин “**электрический поток**“, когда его применяют в качестве синонима термина “**поток электрического смещения**“, похож по звучанию на термин “электрический ток“, имеющий совершенно другое физическое содержание. Вот электрический ток как раз и является близким родственником термину “гидравлический поток“.

Литература

1. Бабич И.П., 2010, Законы гравитации - поиски физического смысла. URL <http://www.sciteclibrary.ru/rus/catalog/pages/10300.html>.
2. Бронштейн И.Н., Семендяев К.А., 1986, Справочник по математике для инженеров и учащихся втузов. 13-е изд. – М.: Наука, Физматгиз. 544 с.
3. Савельев И.В., 2005, Курс общей физики (в 5 книгах). – М.: АСТ: Астрель
4. Чуев А.С., 2003, О существующих и теоретически возможных силовых законах, обнаруживаемых в системе физических величин. – <http://www.sciteclibrary.ru/rus/catalog/pages/5811.html>