

## О нарушениях принципа причинности в метрологии электромагнетизма

Напомним общепринятое во всех словарях определение: «Принцип причинности в физике, один из наиболее общих принципов, устанавливающий допустимые пределы влияния физических событий друг на друга. Принцип причинности исключает влияние данного события на все уже прошедшие события ("будущее не влияет на прошлое", "событие-причина предшествует по времени событию-следствию")». Этот принцип не ставится под сомнение в макромире, в котором изучается электромагнетизм.

В данной статье будут приведены 15 (!) примеров нарушения принципа причинности в метрологии электромагнетизма. Эти примеры будут приведены в той последовательности и с той терминологией, в каких излагается электромагнетизм и определяются его физические величины в популярном метрологическом справочнике [1], в монографии [2], в популярном справочнике по физике [3] и в учебнике по физике [4]. Эти первоисточники базируются на современных метрологических и терминологических стандартах, основанных на системе единиц СИ. Следовательно, указанную последовательность приведения примеров можно считать логически оправданной.

Существенной проблемой СИ является проблема, сформулированная авторами статьи [5] так: «она должна служить двум конкурирующим и часто конфликтующим господам». Первый – это «ежедневная коммерция», второй – «квантовая физика».

В принципе, возможен и примиряющий «двух господ» вариант, опубликованный в статье [6]: разрыв взаимосвязи между системами физических величин и системами их единиц. Для «ежедневной коммерции» можно оставить систему СИ, а для «квантовой физики» применять естественные системы величин. Поскольку процесс систематизации физических величин, в отличие от процесса унификации их единиц, не нуждается в применении измерительных эталонов [6], то при принятии этого варианта во многих случаях отпала бы необходимость нарушать принцип причинности. Подробнее о нём в конце статьи, а сейчас приведем конкретные примеры нарушения принципа причинности.

### Примеры нарушения принципа причинности.

**Пример 1.** Размерность электрического заряда  $Q$  определяют в СИ по размерности электрического тока  $I$  ( $Q = \int I dt$ ) [1, с. 106], поскольку в СИ основной физической величиной является электрический ток  $I$ . Правда, далее [1, с. 118] электрический ток определяют по электрическому заряду ( $I = dQ/dt$ ), добавляя слова: «... невозможно определить физический смысл силы тока иначе, как через количество электричества».

Это тот редкий пример нарушения принципа причинности в метрологии, который признается. В справочнике [1, с. 106,107] так и сказано: «Будем рассматривать это как издержку построения системы единиц». В процессе преподавания физики на это нарушение принципа причинности обычно указывается.

24-е заседание Генеральной конференции по мерам и весам (ГКМВ) [7] приняло в 2011 году резолюцию «О возможном будущем пересмотре международной системы единиц (СИ)». Согласно этой резолюции при предстоящем возможном переопределении ампера в 2014 году, как одной из основных единиц СИ, приведенное в данном примере нарушение принципа причинности должно остаться в силе. Это обосновывается главными идеологами переопределения [5, с.230] тем, что «общая структура существующей СИ, то есть современные основные величины СИ и их единицы, должны остаться неизменными».

Однако имеется и обоснованное альтернативное решение, устраняющее нарушение принципа причинности и призывающее сделать основной единицей СИ электрический

заряд. Оно приведено в ходе обсуждения переопределения основных единиц СИ в статье [8]. Судя по резолюции ГКМВ [7], к этому мнению пока не прислушались.

Ввести электрический заряд в качестве основной физической величины в систему физических величин можно в рамках варианта раздельного рассмотрения систем физических величин и систем их единиц [6]. Это сделано, например, в работе [9] при обобщении и систематизации физических величин.

**Пример 2. Напряженность электрического поля  $E$**  сейчас определяют в метрологии [1, с. 108] по силе взаимодействия  $F$  полеобразующего заряда и пробного заряда  $Q$  ( $E = dF/dQ$ ), то есть силу взаимодействия  $F$  считают причиной, а напряженность поля  $E$  – следствием. На деле же причиной появления силы взаимодействия при внесении в это поле пробного заряда является напряженность поля, уже созданного ранее полеобразующим зарядом. Таким образом, в современной метрологии электростатики причина и следствие поменялись местами. Не говоря уже о том, что сам пробный заряд является понятием абстрактным, искусственным.

В то же время в физике [3, с. 183] напряженность электрического поля определяют как градиент потенциала этого поля ( $E = \text{grad } \varphi$ ), а потенциал поля  $\varphi$  определяют [3, с. 185] по полеобразующему заряду и по радиусу эквипотенциальной поверхности. Так что с этой точки зрения напряженность электрического поля не зависит от того, введен в созданное поле пробный заряд или его там нет.

Общий вывод: не напряженность электрического поля  $E$  зависит от силы взаимодействия зарядов  $F$ , а наоборот.

**Пример 3. Электрическое смещение  $D$**  определяют в метрологии [1, с. 110] по потоку вектора электрического смещения  $\Psi$  ( $D = d\Psi/(dS \cdot \mathbf{k})$ ), где  $\mathbf{k}$  – орт вектора  $D$ , что само по себе является очевидным нарушением принципа причинности. Нельзя причину ( $D$ ) определять по следствию ( $\Psi$ ). Не говоря уже о том, что векторный анализ не допускает операцию деления на векторную величину (на  $\mathbf{k}$ ).

Фактически же электрическое смещение  $D$  следует определять по напряженности электрического поля  $E$  с учетом относительной диэлектрической проницаемости среды  $\epsilon$  [3, с. 196]. А уж потом по электрическому смещению можно определить поток вектора электрического смещения.

**Пример 4. Электрический потенциал  $\varphi$**  в некоторой точке поля определяют в метрологии [1, с. 114], как отношение потенциальной энергии  $U$  пробного заряда  $Q$  к этому заряду ( $\varphi = U/Q$ ) и измеряют в Дж/Кл. (Не будем останавливаться на том, что символом  $U$  там же [1, с. 119] обозначают электрическое напряжение). Однако разность электрических потенциалов, которая, естественно, тоже должна измеряться в Дж/Кл, измеряют в СИ в других единицах, а именно в Вольтах [1, с. 119]. Конечно,  $1 \text{ В} = 1 \text{ Дж/Кл}$ , но тогда зачем применять единицу Дж/Кл, если уже введена единица Вольт?

Впрочем, у электрического поля существует потенциал и при отсутствии пробного заряда, и в физике его определяют [3, с. 185] не по пробному, а по полеобразующему заряду (с тем же обозначением  $Q$ ) и по радиусу эквипотенциальной поверхности  $r$  с учетом размерного коэффициента  $\epsilon_0$ , называемого электрической постоянной ( $\varphi = Q/4\pi\epsilon_0 r$ ). При использовании этого уравнения определение потенциала электрического поля по метрологическому справочнику [1, с. 114] по уравнению  $\varphi = U/Q$  лишается физического содержания.

**Пример 5. Электрическое напряжение  $U$** , согласно словесной формулировке, приведенной в справочнике [1, с. 119], равно «работе электрического поля по перемещению единичного положительного заряда из одной точки в другую». Заметим,

что в словосочетании «работа электрического поля» не хватает одного слова, нужно писать «работа сил электрического поля». Но дело не в этом.

Определяющее уравнение для электрического напряжения ( $U = P/I$ ) [1, с. 119] не соответствует указанной словесной формулировке, в это уравнение входят другие физические величины: электрический ток  $I$  и **мощность электрического тока**  $P$ . При этом определяющее уравнение для мощности ( $P = IU$ ) приводится в справочнике до того, как приводится определяющее уравнение для напряжения ( $U = P/I$ ). Иными словами, сначала приводится уравнение для определяющей величины, а затем с помощью этого уравнения определяется уравнение для определяемой величины.

**Пример 6. Электродвижущая сила (ЭДС)** определяется в метрологическом справочнике словесно [1, с. 120], как «отношение энергии, подаваемой источником, к электрическому заряду, проходящему через источник» и затем, по словесной формулировке, записывается соответствующее уравнение  $E = W/Q$ . А в справочнике по физике [3, с. 220] определение ЭДС практически совпадает с определением электрического напряжения в метрологии ( $U = P/I$ ) [1, с. 119], если вместо уравнения  $E = W/Q$  записать уравнение  $U = (dW/dt)/(dQ/dt) = P/I$ . Понятно, что размерность и единица для ЭДС и электрического напряжения должны быть одни и те же.

В то же время в справочнике по физике [3, с. 220] для ЭДС имеется еще одно определяющее уравнение, но уже с новым обозначением  $\varepsilon$  для ЭДС ( $\varepsilon = \int \mathbf{E} d\mathbf{l}$ ), где  $\mathbf{E}$  – напряженность электростатического поля, а  $d\mathbf{l}$  – вектор элементарного участка электрической цепи. Получается, что у ЭДС имеются два разные определяющие уравнения в зависимости от того, для какой цели применяется эта физическая величина.

**Пример 7. Плотность электрического тока  $\mathbf{J}$**  является векторной величиной. Но определяющее уравнение [1, с. 121] приводится лишь для модуля плотности тока ( $J = dI/dS$ ), так как сам электрический ток считается в современной физике величиной скалярной. Подобное объясняется тем, что электрический ток в метрологии определяется как «количество электрических зарядов, прошедшее через поперечное сечение проводника в единицу времени», и оно является скалярной величиной ( $I = dQ/dt$ ) [1, с. 118]. Однако выражение  $(dQ/dt)$  может быть истолковано и как скорость приращения количества элементарных зарядов на поверхности уединенного проводника, например, вследствие накопления зарядов на его поверхности.

В физике [3, с. 215] имеется еще одно уравнение ( $I = \int \mathbf{J} d\mathbf{S}$ ), определяющее ток  $I$ , как поток вектора плотности тока  $\mathbf{J}$  через сечение  $d\mathbf{S}$ , произвольно представленное в виде векторной величины. В данном случае получается, что причина (электрический ток  $I$ ) выводится из следствия (потока вектора плотности тока  $\mathbf{J}$ ).

На самом деле электрический ток является векторной величиной  $\mathbf{I}$ , доказательство чего приводится в статье [10]. Признание электрического тока векторной величиной позволит устранить необходимость нарушать принцип причинности.

**Пример 8.** В определяющее уравнение для **удельного электрического сопротивления** [1, с. 122] ( $\rho = E/J$ ) входят модуль напряженности электрического поля  $E$  и модуль плотности электрического тока  $J$ , то есть физические величины, не входящие в закон Ома.

В то же время в изотропном проводнике удельное электрическое сопротивление следует определять так, как определяют любую удельную величину [6], в данном случае, как электрическое сопротивление, отнесенное к площади сечения проводника ( $\rho = R/S$ ). Само же электрическое сопротивление  $R$  определяется в соответствии с законом Ома. Размерность и единица  $\rho$  в обоих случаях, разумеется, получаются одни и те же.

То же самое относится и к **удельной электрической проводимости** [1, с. 123] ( $\gamma = J/E$ ). Кроме того, по своему физическому содержанию электрическая проводимость

является коэффициентом переноса в уравнении переноса для электрической формы движения, а уравнением переноса в электрической форме движения является закон Ома, в котором отсутствует напряженность электрического поля.

**Пример 9. Силы взаимодействия** зарядов являются функциями значений этих зарядов и расстояния между ними [3, 4]. В частности, сила взаимодействия электрических зарядов определяется по закону Кулона, а сила взаимодействия прямых токов определяется по закону Ампера.

Поскольку в законе Кулона и в законе Ампера размерности физических величин зависят от выбранной системы единиц, то эти два закона записываются по-разному в разных системах единиц. В частности, в СИ в определяющие уравнения этих законов введены размерные коэффициенты:  $\epsilon_0$  и  $\mu_0$ . Как пояснено в работах [2,11], значения  $\epsilon_0$  и  $\mu_0$  зависят от выбранной системы единиц. Поэтому неправильно называть  $\epsilon_0$  и  $\mu_0$  физическими постоянными [1, с. 132], тем более, фундаментальными физическими константами.

Фундаментальной константой является электромагнитная постоянная  $c$ , а  $\epsilon_0$  и  $\mu_0$  связаны с ней уравнением [2, с. 104] для коэффициента смешивания  $\gamma = c (\epsilon_0 \mu_0)^{1/2}$ . Для несмешанных систем единиц, к которым принадлежат, в частности, системы СГСЭ, СГСМ, СИ (МКСА),  $\gamma = 1$ . Применение уравнения  $1/c = (\epsilon_0 \mu_0)^{1/2}$  делает значения размерных коэффициентов  $\epsilon_0$  и  $\mu_0$  неопределенными, имея в виду, что для определения одного из них следует произвольно назначить значение другого. Например, для системы СГСМ выбрано значение  $\mu_0 = 1$ , для СГСЭ –  $\mu_0 = 1/c^2$ , для СИ –  $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7}$  Гн/м [1, с. 132]. И тогда значение  $\epsilon_0$  определяется по электромагнитной постоянной  $c$  и значению  $\mu_0$ .

Однако определяющие уравнения для сил взаимодействия диктуются Природой, они не могут зависеть от выбора той или иной системы единиц. Ведь основные величины для систем единиц, согласно современному стандарту, выбираются условно. Помимо этого, в статье [12] показано, что определяющее уравнение для силы взаимодействия различных видов движущихся зарядов имеет разные формы записи, отличающиеся от принятой в современной физике записи закона Ампера.

Фактически существует лишь такая причинно-следственная цепочка. Значения взаимодействующих зарядов и расстояния между ними являются причинами, а напряженности полей, создаваемых этими зарядами, являются следствиями. Именно напряженности и являются причиной появления сил взаимодействия зарядов [12].

**Пример 10.** Напряженность магнитного поля в вакууме называют **магнитной индукцией** и обозначают символом **B** [1, с. 128], а напряженность магнитного поля в веществе называют просто **напряженностью магнитного поля** и обозначают символом **H** [1, с. 132]. Подобная терминология как бы ставит под сомнение тот факт, что магнитная индукция тоже является напряженностью магнитного поля (различие между этими напряженностями только в характеристиках среды: вакуума и вещества).

Согласно словесной формулировке [1, с. 128] магнитная индукция определяет «силу, действующую на движущуюся заряженную частицу со стороны магнитного поля». Из чего следует, что магнитная индукция является причиной появления силы взаимодействия в магнитном поле. Тем не менее, модуль магнитной индукции в определяющем уравнении ( $B = F/Qv \sin\alpha$ ) на той же странице справочника [1, с. 128] определяется в функции от силы взаимодействия  $F$ , то есть в этом уравнении уже сила взаимодействия становится причиной по отношению к магнитной индукции.

Как видим, и здесь причина определяется по следствию, не считая того, что словесная формулировка не совпадает с определяющим уравнением. При этом определяется не сам вектор магнитной индукции, а его модуль.

Подобная ситуация, видимо, связана с применением в практической метрологии токовых весов, в которых сила магнитного взаимодействия сравнивается с силой притяжения.

В соответствии с принципом причинности вектор магнитной индукции можно определять как ротор векторного потенциала  $\mathbf{A}$  ( $\mathbf{B} = \text{rot } \mathbf{A}$ ) [4, с. 176]. Последний определяется в функции от электрического тока  $I$  и от расстояния  $b$  до точки, в которой определяется. Наконец, можно, в принципе, определить модуль магнитной индукции напрямую [13, 4, с. 142] по формуле  $B = (\mu_0/4\pi)(2I/b)$ . В обоих случаях принцип причинности соблюдается.

**Пример 11.** Воздействие переменного магнитного поля на электрический контур называют **электромагнитной индукцией**. Напомним, что слово «индукция» в переводе на русский язык означает наведение, воздействие, влияние. Но, коль скоро магнитное поле воздействует на электрический контур (а не наоборот), то, согласно принципу причинности, следовало бы говорить о **магнитоэлектрической индукции**.

Точно так же нелогично возник исторически и сам термин **магнитная индукция**, так как в опытах Х.Эрстеда электрический ток в проводнике воздействовал на магнитную стрелку, а не магнитная стрелка воздействовала на ток в проводнике. Вот в опыте Х.Эрстеда как раз была электромагнитная индукция.

В статье [14] показано, что на электрические заряды в электрическом контуре воздействует **переменная магнитная сила** переменного магнитного поля, неверно называемого в физике электрическим вихревым полем. А в статье [15] показано, что эту переменную магнитную силу, воздействующую на электрический контур, нельзя называть электродвижущей силой индукции, как это обычно происходит.

**Пример 12.** **Магнитный момент** контура с током  $\mathbf{m}$ , как физическая величина, определяется в справочнике [1, с. 130] словесной формулировкой уравнения  $\mathbf{m} = IS\mathbf{n}$ , где  $S$  – площадь контура, а  $\mathbf{n}$  – орт, нормальный к плоскости контура. Логика применения принципа причинности не позволяет приводить словесную формулировку определяющего уравнения до самого уравнения, то есть при определении физической величины требуется устанавливать причинно-следственную цепочку.

В статье [16] детально разъясняется фактическая последовательность вывода уравнения  $\mathbf{m} = IS\mathbf{n}$ , и показано, как в процессе математических преобразований из записи определяющего уравнения для магнитного момента перестает просматриваться его истинное физическое содержание.

**Пример 13.** **Индуктивность** участка электрической цепи  $L$  в справочнике [1, с. 131] определяется по потокосцеплению самоиндукции  $\Psi$  и по электрическому току  $I$ , протекающему через этот участок ( $L = \Psi/I$ ). Однако катушка индуктивности является конструктивным элементом участка электрической цепи, а индуктивность  $L$  является ее конструктивным параметром (инертностью участка электрической цепи). И поэтому именно **потокосцепление**  $\Psi$  следует определять по индуктивности  $L$  участка электрической цепи, а не наоборот. И здесь причину определяют по следствию.

Сама же индуктивность, как инертность участка электрической цепи, должна определяться в функции от разности потенциалов на концах этого участка (некорректно называемой сейчас терминами «ЭДС самоиндукции» или «ЭДС взаимной индукции») [15].

**Пример 14.** Абсолютная и относительная **магнитные проницаемости** вещества [1, с. 133,134] определяют как отношения напряженности магнитного поля в вакууме (магнитной индукции  $\mathbf{B}$ ) к напряженности магнитного поля в веществе  $\mathbf{H}$ . В то же время абсолютная и относительная **диэлектрические проницаемости** вещества [1, с. 112,113]

определяются как отношения напряженности электрического поля в веществе (электрического смещения **D**) к напряженности электрического поля в вакууме **E**.

Как видим, при определении диэлектрических и магнитных проницаемостей вещества применяется прямо противоположный подход. В статье [17] детально рассмотрены причины этого, а также отмечено, что в современной физике по отношению к характеристикам вещества, находящемуся в электромагнитном поле, имеет место метрологическая, терминологическая и символическая бессистемность. Это относится как к определению этих величин в системе СИ, так и к определению их в системе СГС.

**Пример 15.** По одному из стандартов (СТ СЭВ 1052-78), принятых для системы магнитных величин, единица **магнитной индукции**, называемая Тесла (Тл), определяется по единице **магнитного потока**, называемой Вебер (Вб).

В то же время международный стандарт ИСО 31/5 определяет магнитный поток по магнитной индукции, то есть в обратном порядке. Этот подход соответствует принципу причинности, поскольку напряженность в точке магнитного поля в вакууме (магнитная индукция) определяется по движущемуся полеобразующему заряду, а магнитный поток определяется по магнитной индукции.

### **Причины нарушения принципа причинности.**

Как видно из приведенных выше примеров, определяющие уравнения и названия некоторых важных производных физических величин электромагнетизма не совпадают в метрологических стандартах с теми уравнениями и с теми названиями, какие продиктованы соблюдением принципа причинности. Встречаются также случаи, когда определяющие уравнения физической величины не совпадают со словесными формулировками той же величины, приведенными в том же первоисточнике. Дело, разумеется, не в цитатах из справочников и монографий, их авторы просто отразили профессионально современное состояние методологии физики и метрологии.

По нашему мнению, имеются три основные причины такого положения (последовательность их изложения априорна):

**Причина 1.** На первое место **практическая метрология** [5] ставит экономичность и удобство процессов измерения и создания измерительных эталонов и измерительных устройств. Возможность такого подхода узаконена включением двух слов «условно принятая» в стандартное определение основной физической величины [1, с. 20]. К сожалению, эти два слова не согласовываются в отдельных случаях с соблюдением принципа причинности.

Но если из определения устранить эти слова, то это неизбежно должно привести к различным принципам образования систем единиц в метрологии и систем величин в физике, в том числе, к разным определениям понятия «система физических величин» [18]. И тогда при образовании систем единиц слова «условно принятая» по отношению к основной физической величине останутся, а при образовании систем физических величин этих слов в определении основной физической величины не будет. Такое новшество, с одной стороны, может сохранить все наработки практической метрологии, а, с другой стороны, может позволить систематизировать физические величины без оглядки на ограничения, накладываемые практической метрологией. Подробнее это поясняется в конце данной статьи.

Пока же в метрологии предпочитают следовать принципам практичности, экономичности и единства измерений даже в тех случаях, когда нарушается принцип причинности. Если, конечно, это не препятствует унификации единиц.

**Причина 2.** В методологии физики господствует **исторический подход**, в рамках которого физические величины и закономерности излагаются в том хронологическом порядке, в каком они были открыты, часто с сохранением тех определений и той терминологии, которые были предложены первооткрывателями, разве что с некоторой коррекцией в соответствии с современным состоянием физики. С точки зрения методологии это **индуктивный метод**, в процессе которого к истине идут «от частного к общему».

Но при индуктивном подходе можно прийти к неверно сделанным обобщениям из-за неверно истолкованных частных случаев, в том числе, и к нарушению принципа причинности. К тому же, индуктивный метод не всегда продуктивен, так как ряд первоначально предложенных теорий приходится корректировать или даже отвергать.

Более продуктивен и объективен **дедуктивный метод** («от общего к частному»), когда на базе достоверно установленных истин создается обобщенная теория, в рамках которой и рассматриваются все частные случаи. А исторические подробности приводятся вскользь, по мере необходимости, или выносятся в отдельную отрасль знания. Переход к такой методологии потребовал бы, конечно, перестройки процесса преподавания физики и огромных финансовых затрат. Но чем дальше затягивается начало этого перехода, тем большие затраты потребуются впоследствии.

**Причина 3.** В физике широко используются **математические методы**. Особенно сильно это ощущается в теории электромагнетизма при применении векторного анализа и метода векторных диаграмм. Но при этом не учитывается, что в математике нет необходимости соблюдать принцип причинности. В математике: если  $A = B$ , то  $B = A$ . А в физике: если  $A = f(B)$ , то  $B \neq f(A)$ . Применительно к электромагнетизму: если  $I = f(Q)$ , то  $Q \neq f(I)$ .

Так что нарушения принципа причинности проникают в физику и в метрологию и через математику при ее неаккуратном использовании.

## **Выводы**

В процессе обобщения и систематизации физических величин составление определяющих уравнений должно быть обязательно увязано с принципом причинности, одним из краеугольных камней Природы. Именно такой подход должен, по мнению автора данной статьи, превалировать также и при изучении физики и технических дисциплин, в том числе, и при изучении электромагнетизма. Отсутствие логических связей, базирующихся на принципе причинности, не способствует усвоению учебного материала, превращает процесс преподавания в формальное заучивание нелогичного учебного материала (на студенческом языке – к зазубриванию).

С другой стороны, методика составления определяющих уравнений не должна быть продиктована только требованиями метрологических стандартов, пусть даже и обоснованных с точки зрения метрологической практики и принципа единства измерений. Требования метрологов можно и нужно учитывать при решении практических задач метрологии, но при преподавании необходимо отдавать предпочтение соблюдению принципа причинности. А в тех случаях, когда этот принцип по каким-то объективным причинам всё же вынужден быть нарушенным, следует подробно объяснять причины такого нарушения и пояснять, насколько они веские.

История обсуждения предложения о переопределении основных единиц показывает, что совместить интересы «ежедневной коммерции» и «квантовой физики» [5] при применении СИ пока не удастся. Несмотря на то, что необходимость переопределения единиц была признана еще в 1999 году на 21-ой ГКМВ, что оно ожидалось в 2007 году на 23-ой ГКМВ, затем в 2011 году на 24-ой ГКМВ, всё вылилось в резолюцию о «возможном» переопределении в 2014 году. То есть без всяких гарантий, что в 2014 году

это произойдет. По-видимому, следует всё же начать обсуждать и другие варианты, в частности, вариант различного определения понятия «система физических величин», предложенный в статье [18].

### Суть предложений автора [18]

1. Сейчас существует такое определение [1]: *«Система физических величин (система величин) – совокупность взаимосвязанных физических величин, образованная в соответствии с принятыми принципами, когда одни величины принимаются за независимые, а другие являются функциями независимых величин».*

Предлагается при применении этого определения в метрологии дополнить его словом «в метрологии», то есть начинать цитируемое выше определение словами: *«Система физических величин в метрологии».* Это позволит сохранить СИ (да и любую другую систему единиц) в приемлемом для метрологов виде.

2. Предлагается ввести еще одно новое определение: *«Естественная система физических величин (естественная система величин) – совокупность независимых друг от друга физических величин, набор которых соответствует законам природы, и других физических величин, являющихся функциями этих независимых величин».* Подобное определение развяжет руки физикам-теоретикам, и одновременно не будет мешать метрологам. Конкретный текст этого определения нуждается, разумеется, в детальном обсуждении.

3. При согласии с предложениями автора [18] останется разработать комплекс документов, определяющих области применения *«Систем физических величин в метрологии»* и *«Естественных систем физических величин».*

### Литература

1. Чертов А.Г. Физические величины. – М.: Высшая школа, – 1990, 336 с.
2. Власов А.Д., Мурин Б.П. Единицы физических величин в науке и технике. – М., Энергоатомиздат, – 1990, 176 с.
3. Яворский Б.М., Детлаф А.А. Справочник по физике. 3-е изд. М.: Наука, Физматгиз, – 1990, 624 с.
4. Савельев И.В., Курс общей физики (т. 2). –М.: АСТ: Астрель, – 2005
5. Mills I.M., Mohr P.J., Quinn T.J., Edwin R Williams E.R. Redefinition of the kilogram, ampere, kelvin and mole: a proposed approach to implementing CIPM recommendation 1 (CI-2005). – Metrologia. – 2006. – **43**. – p.p. 227-246.
6. Коган И.Ш. Природа размерности и классификация физических величин. – Законодательная и прикладная метрология. – 2011. – **4**. – с.с. 40-50.
7. Крутиков В. Н., Исаев Л. К., Канищева Т. Д., Кононогов С. А., Ханов Н. И. 24-е заседание Генеральной конференции по мерам и весам (ГКМВ). Законодательная и прикладная метрология. – 2012. – **1**. – с.с. 2-7.
8. Трунов Г.М. О некорректности нового определения ампера. – Законодательная и прикладная метрология. – 2008. – **3**. – с.с. 60-63.
9. Коган И.Ш., Физические величины (Обобщение и систематизация). – 2006. – <http://physicalsystems.narod.ru>.
10. Коган И.Ш. Что такое электрический ток? – 2008. – <http://physicalsystems.narod.ru/index07.04.9.0.1.html>
11. Трунов Г.М., Магнитная постоянная  $\mu_0$ : фундаментальная физическая константа или просто размерный коэффициент? – Законодательная и прикладная метрология. – 2007. – **2**. – с.с. 58-62.
12. Коган И.Ш. Обобщенный закон взаимодействия зарядов. – 2008. – <http://physicalsystems.narod.ru/index07.04.8.html>.
13. Коган И.Ш. Напряженность в поле токового заряда прямого тока (магнитная

- индукция). – 2009. – <http://physicalsystems.narod.ru/index07.04.7.2.html>.
14. Коган И.Ш. Нет необходимости в введении понятия “электрическое вихревое поле”. – 2008. – <http://physicalsystems.narod.ru/index07.04.8.1.html>.
15. Коган И.Ш. ЭДС индукции – фиктивная физическая величина. – 2009. – <http://physicalsystems.narod.ru/index07.04.9.8.4.html>.
16. Коган И.Ш. Физическое содержание магнитного момента. – 2008. – <http://physicalsystems.narod.ru/index07.04.9.4.html>.
17. Коган И.Ш. Характеристики физического поля в веществе. – 2008. – <http://physicalsystems.narod.ru/index07.04.6.1.html>.
18. Коган И.Ш. Системы величин не должны зависеть от систем единиц. – Мир измерений. – 2012. – 7. – с.с. 46-50.