

УДК 537.621.4; 537.21

О МЕТОДИЧЕСКОЙ ОШИБКЕ В ОПРЕДЕЛЕНИИ ФИЗИЧЕСКОГО СВОЙСТВА «ВОСПРИИМЧИВОСТЬ» ДЛЯ МАГНЕТИКОВ И ДИЭЛЕКТРИКОВ

А. С. Чуев.

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана»
Национальный исследовательский университет техники и технологий (МГТУ им. Н.Э. Баумана),
Москва, Россия, e-mail: chuev@mail.ru

Физическое свойство восприимчивость магнетиков и диэлектриков к воздействию магнитных и электрических полей, в принципе, должна определяться одинаковым образом как реакция веществ на соответствующее полевое воздействие, однако этого не наблюдается. Различие в определении этого свойства связано, по мнению автора, с неверным определением первичных и вторичных электрических и магнитных векторных величин. Восприимчивость диэлектриков, если ее определять по аналогии с восприимчивостью магнетиков, требует ее определения как коэффициента связи двух векторов с одинаковой размерностью: электрической индукции, представляющей внешнее поле, и поляризованности диэлектрика, направленной противоположно. Максимальное значение диэлектрической восприимчивости, определяемой таким образом, будет равно единице, что соответствует проводникам, внутри которых внешнее электрическое поле компенсируется полностью.

Ключевые слова: восприимчивость, магнетики, диэлектрики, магнитные векторы, электрические векторы.

In theory, the physical attribute of magnetic and dielectric susceptibility to the force of magnetic and electric fields should be determined the same way as the reaction of substances to the respective field effects, but this is not observed in practice. The difference in the determination of this quality is due, in my opinion, to the incorrect definition of primary and secondary electric and magnetic vector quantities. The susceptibility of dielectrics, if it is determined by analogy with the susceptibility of magnetics, requires coupling coefficient of two vectors of the same size: the electric induction, which represents the outer field, and the dielectrics polarization, with the opposite flow. The maximum value of the dielectric susceptibility, if calculated this way, equals «one,» which corresponds to the conductors within which an outer electric field is fully compensated.

Key words: susceptibility, magnetics, dielectrics, magnetic vectors, electric vectors.

Безразмерные электромагнитные величины восприимчивость магнетиков χ и восприимчивость диэлектриков κ к воздействию соответствующих магнитных и электрических полей (эти физические величины лучше называть физическими свойствами), в принципе, должны определяться одинаковым образом как реакция

веществ на полевые воздействия. Однако этого нет. Различие в определении связано, по мнению автора, с неверным определением первичных и вторичных электрических и магнитных векторных величин.

Рассмотрим общеизвестные формулы, определяющие соотношения электрических и магнитных

векторных величин с участием соответствующих восприимчивостей. С восприимчивостями тесно связаны и относительные проницаемости – электрическая ϵ и магнитная μ , которые теперь перестали называть относительными, что не совсем оправдано. Слово относительные в названии проницаемостей характеризует не только на их безразмерность, но и указывает на то, что они численно определены относительно чего-то (относительно вакуума).

$$\vec{D} = \epsilon_0 \vec{E} + \vec{P}, \quad \vec{H} = \frac{\vec{B}}{\mu_0} - \vec{J}, \quad (1)$$

$$\vec{D} = \epsilon \epsilon_0 \vec{E}, \quad \vec{H} = \frac{\vec{B}}{\mu \mu_0}, \quad (2)$$

$$\epsilon = (1 + \kappa), \quad \mu = (1 + \chi), \quad (3)$$

$$\begin{aligned} \vec{P} &= \kappa \epsilon_0 \vec{E}, \\ \vec{J} &= \chi \vec{H} = \chi \frac{\vec{B}}{\mu \mu_0} = \\ &= \frac{\chi}{(1 + \chi) \mu_0} \vec{B}. \end{aligned} \quad (4)$$

В приведенных выражениях дополнительно присутствующие физические величины имеют обозначения: ϵ_0 – электрическая постоянная; μ_0 – магнитная постоянная; D – электрическая индукция; E – напряженность электрического поля; H – напряженность магнитного поля; B – индукция магнитного поля.

Векторные величины электрическая индукция \vec{D} и напряженность магнитного поля \vec{H} обычно считаются вспомогательными, расчетными и не имеющими глубокого физического смысла [1, 2]. Однако это не так. В работах автора [3, 4] приведено обоснование того, что для магнитного поля первичным является поле вектора \vec{H} , а для электрического поля первичным является поле вектора \vec{D} . Соотношения магнитных векторов внутри различных типов магнетиков приведены на рис. 1.

Соотношение электрических векторов внутри диэлектриков будет подобно только одному из соотношений – соотношению магнитных векторов для диамагнетиков (рис. 1). Только вместо вектора \vec{H} будет присутствовать вектор \vec{D} , вместо

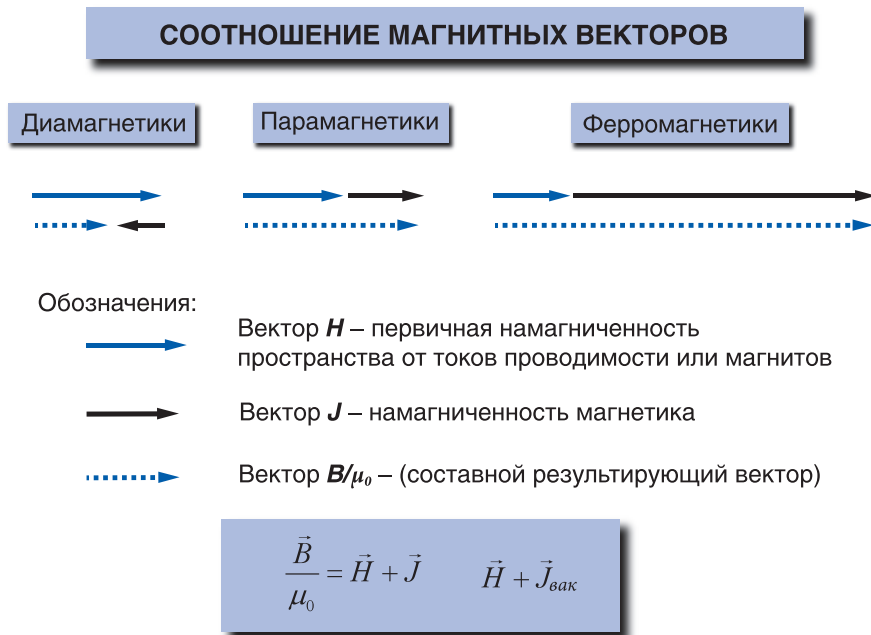


Рис. 1. Соотношения магнитных векторных величин

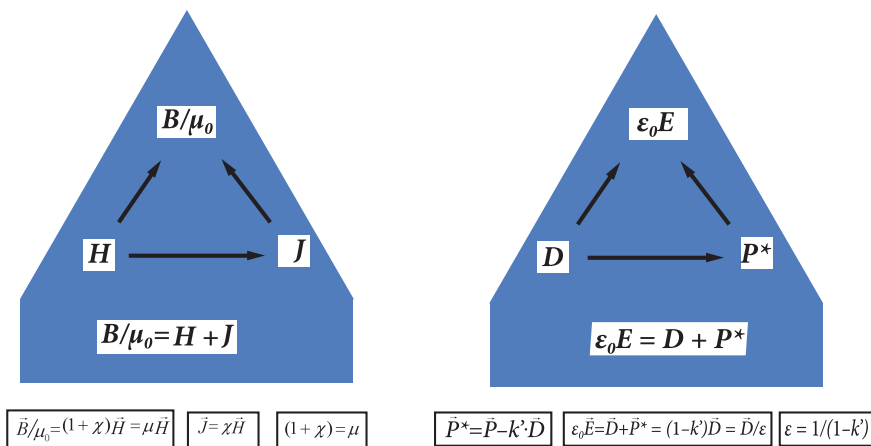


Рис. 2. Архитектура магнитных и электрических векторных величин

вектора намагниченности \vec{J} будет присутствовать модифицированный (автором) вектор поляризованности \vec{P}' , отличающийся от общепринятого вектора \vec{P} противоположной направленностью, а вместо вектора \vec{B}/μ_0 будет присутствовать вектор $\epsilon_0 \vec{E}$.

С физической точки зрения изменение направления у штрихованного вектора \vec{P}' оправдано тем, что диэлектрики подобно диамагнетикам ослабляют внутри себя внешнее электрическое поле, а пара- и «ферроэлектриков» в природе не существует или их пока не создали. Таким образом, правильные, по мнению автора, формульные соотношения для магнитных и электрических векторов должны выглядеть так:

$$\frac{\vec{B}}{\mu_0} = \vec{H} + \vec{J}, \quad (5)$$

$$\epsilon_0 \vec{E} = \vec{D} + \vec{P}'. \quad (6)$$

В данных выражениях суммируются физические величины, имеющие одинаковые размерности и не относящиеся к полевым [5, 6]. Составными и вспомогательными величинами оказываются полевые, которые вещественного («материального») воплощения и даже модельного представления не имеют и которые связаны для соблюдения размерностей с электрической или магнитной постоянной.

В правильности выражения (5) не может быть сомнений, поскольку оно не отличается от общепринято-

го выражения (1), за исключением введенной трактовки вектора \vec{H} первичным. Первичное поле вектора \vec{H} вызывает появление в вещественных средах поля вектора \vec{J} , которое вызывает усиление или ослабление первичного поля, в том числе и вне вещества магнетика, создавая в результате поле, описываемое вспомогательным расчетным вектором \vec{B}/μ_0 . Физический смысл векторов \vec{H} и \vec{J} , а также расчетного вектора \vec{B}/μ_0 – объемная плотность магнитных дипольных моментов, присущих, по мнению автора, как вещественным средам, так и вакууму. Иные представления о соотношении магнитных векторов и их физическом смысле не выдерживают проверки элементарной логикой.

Выражение (6) аналогично выражению (5). В скалярной форме оно вообще идентично выражению (1) для электричества:

$$\epsilon_0 E = D - P'. \quad (7)$$

Первичность вектора \vec{D} в выражениях (6) и (7) обосновывается чисто логически следующим образом: поскольку вектор \vec{P} (\vec{P}' тоже) характеризует ослабление диэлектриком внешнего поля (а пара- и «ферроэлектриков» нет), то по модулю этот вектор никак не может быть больше первичного вектора, характеризующего внешнее поле. Значит ослабляемый вектор заведомо больше вектора \vec{P} , а этим качеством обладает только вектор \vec{D} . Таким образом, вспомогательный и расчетный характер вектора $\epsilon_0 \vec{E}$ и, соответственно, вектора \vec{E} логически доказан.

На рис. 2 представлены архитектурные модели приводимых здесь соотношений электрических и магнитных векторных величин. По техническим причинам штрихованный вектор \vec{P}' на рисунках изображен с другим значком (со звездочкой). Стрелки, соединяющие векторные величины, приводимые на рисунках, показывают направление перехода от первичных величин к последующим величинам, от них зависящим.

Полевые величины оказываются в числе составных результирующих величин, то есть они – вспомогательные.

Рассмотрим теперь вопрос о возможном изменении привычных значений величин *диэлектрическая восприимчивость* κ и *относительная диэлектрическая проницаемость* ε , если пользоваться соотношением электрических векторов согласно выражений (6) и (7). Необходимость изменений диктуется тем, что вектор \vec{P}' следует определять, по аналогии с магнетизмом, от первичного вектора \vec{D} , а не от вспомогательного и составного вектора $\varepsilon_0 \vec{E}$.

Диэлектрическая восприимчивость, если ее определять по аналогии с *магнитной восприимчивостью*, должна определяться соотношением первичного вектора \vec{D} и нашего нового вектора *поляризованности* \vec{P}' , направленного против внешнего поля:

$$\vec{P}' = \kappa \vec{D}, \quad (8)$$

где: κ' – определяемая по-новому *диэлектрическая восприимчивость*, значения которой, учитываемая противоположную направленность векторов, могут быть приняты отрицательными.

Очевидно, что значения κ' будут отличаться от значений привычной *диэлектрической восприимчивости* и по своему размеру. Значения κ' будут располагаться в пределах от 0 до 1, причем единичное значение будет соответствовать проводникам, внутри которых внешнее электрическое поле компенсируется полностью, а малые или близкие к нулю значения κ' будут соответствовать

диэлектрикам, имеющим малую поляризуемость.

Если исходить из соотношения (7), в котором наличие отрицательных значений κ' уже учтено, то с учетом (8) и известного соотношения

$$\vec{D} = \varepsilon \varepsilon_0 \vec{E} \quad (9)$$

можно определить:

$$\varepsilon_0 \vec{E} = \vec{D} - \vec{P}' = \vec{D} - \kappa \vec{D} = (1 - \kappa) \vec{D}, \quad (10)$$

$$\varepsilon_0 \vec{E} = (1 - \kappa') \varepsilon \varepsilon_0 \vec{E}, \quad (11)$$

$$\varepsilon = \frac{1}{(1 - \kappa')}. \quad (12)$$

Численное значение ε для проводников будет бесконечно большим, а для диэлектриков со слабой поляризуемостью близко к единице. Как видим, эти значения равны значениям ε действующей теории. Неизменность величин ε будет и внутри крайних значений. В крайних значениях для ε есть определенный смысл. Потенциальное электрическое поле внутри проводников беспрепятственно распространяется по всем направлениям (потенциал проводника един), а в диэлектриках распространение электрического поля качественно совсем иное и мало отличается от распространения поля в вакууме.

Сравнением нового выражения для *относительной диэлектрической проницаемости* ε с известным выражением, используемым в системе СИ, можно определить соотношение значений *диэлектрической восприимчивости* κ' и κ . Принимая выражение (10) равным обычному соотношению величин κ и ε .

$$\varepsilon = \frac{1}{(1 - \kappa')} = (1 + \kappa), \quad (13)$$

можно определить

$$\kappa' = \frac{\kappa}{(1 + \kappa)}, \quad (14)$$

$$\kappa = \frac{\kappa'}{(1 - \kappa')}. \quad (15)$$

При малых значениях κ' и κ не сильно отличаются по величине, а при сравнительно больших значениях κ отличие будет существенным. Например, для воды известная диэлектрическая восприимчивость к постоянному электрическому полю равна 80 (непонятно только относительно чего это значение 80 и где верхний предел). Новое значение κ' для воды будет близко к единице, а это максимальное значение, соответствующее проводникам.

ВЫВОДЫ

1. Физические свойства восприимчивость веществ к магнитному и электрическому полям определяются не совсем одинаковым образом.
2. Причина различий – в неадекватном определении первичных и вторичных векторных величин, а также в путанице с отнесением их к полевым или не полевым величинам.
3. С целью достижения единства в определении восприимчивости веществ к электрическому и магнитному полям предложен новый вариант определения диэлектрической восприимчивости, позволяющий устранить имеющееся несоответствие.

ЛИТЕРАТУРА

1. Иродов И. Е. *Электромагнетизм. Основные законы*. Изд. 4-е испр. – М.: БИНОМ. Лаборатория знаний. – 2003. – 320 с.
2. Савельев И. В. *Курс общей физики: в 5 кн.: Кн. 2: Электричество и магнетизм: Учеб. пособие для вузов*. – М.: «Издательство АСТ». – 2004. – 334 с.
3. Чуев А. С. *Магнитное поле – какие векторы первичны и что мы измеряем? // Законодательная Дата принятия ????.2013*
- и прикладная метрология. – 2012. – № 6. – С. 45–48.
4. Чуев А. С. *О формульном и наглядном соотношении электрических векторных величин и изображении их полей. // Научно-техническая библиотека SciTecLibrary™. URL: http://www.sciteclibrary.ru/rus/catalog/pages/12150.html дата: 29.07.2012.*
5. Чуев А. С. *Системный подход в физическом образовании ин-*

женеров. // Наука и образование. МГТУ им. Н. Э. Баумана. Электрон. журн. – 2012. – № 2. URL: http://technomag.edu.ru/doc/299700.html дата 02.02.2012.

6. Чуев А. С. *Полевые электромагнитные величины – фантом или реальность? // Законодательная и прикладная метрология. – 2012. – № 3. – С. 71–75.*

