

УДК 548.12; 537.633.2

СИММЕТРИЙНАЯ ОБЩНОСТЬ ЭФФЕКТОВ МАГНУСА И ХОЛЛА

О.В. Грицунова, О.Д. Третьяков
Тверской государственный университет,
кафедра прикладной физики

Проведено сравнение симметрии эффектов Холла и Магнуса.

Эффект Магнуса состоит в следующем. Вращающийся бесконечно длинный цилиндр обтекается безвихревым потоком, направление которого перпендикулярно образующим цилиндра. В связи с вязкостью обтекающей среды при совпадении скоростей потока \vec{v} и вращения цилиндра $\vec{\omega}$ скорость потока увеличивается, при несовпадении уменьшается. В результате возникает поперечная сила \vec{R} . Она зависит от плотности потока, скорости и циркуляции. Постулат Жуковского – Чаплыгина дает возможность вычислить циркуляцию. В ряде экспериментов теория удовлетворительно совпала с опытом. В этом случае имеем дело с тройкой взаимно перпендикулярных векторов (двух полярных – \vec{v} и \vec{R} и аксиального $\vec{\omega}$).

В эффекте Холла полярный вектор \vec{j} (плотность тока) взаимодействует с магнитным полем \vec{H} . В результате возникает поперечное поле \vec{E}_H . Здесь тоже имеется тройка взаимно перпендикулярных векторов (два полярных и один аксиальный). Объяснение эффекта – в появлении силы Лоренца при взаимодействии магнитного поля \vec{H} с полярным вектором \vec{j} . Иногда эффект объясняется взаимодействием магнитного поля электрического тока и наложенного магнитного поля, что, по существу, тождественно первому объяснению.

В эффектах ясно проявляется симметричная общность. Обе системы описываются кристаллофизическим уравнением $p \times a \Rightarrow p$. Симметрия эффектов с позиций обычной симметрии m , с позиций полной симметрии [1] – mmm .

В работе [1] указано, что эффект Холла может быть описан антисимметричной частью тензора второго ранга. Хотя ряд тензоров может быть разложен на симметричные и антисимметричные части, но более строгим является определение истинной тензорной принадлежности эффекта. Кроме того, в работе [2] (приложение 5) относительно антисимметричных частей тензоров типа V^2 сделана оговорка, что они «в качестве самостоятельных материальных тензоров, практически, по-видимому, не применяются».

С учётом работы У. Вустера оказалось возможным найти простое решение. По Вустеру, эффект Холла описывается выражением:

$$R_H = \frac{V_H \omega}{Hj}, \quad (1)$$

где V_H – поперечное напряжение в эффекте Холла, j – ток через проводник в виде бруска толщиной ω , H – напряженность магнитного поля. Выражение записывается иначе:

$$\frac{V_H}{j} = \frac{1}{\omega} R_H H. \quad (2)$$

В левой части выражения – полярный тензор электрического сопротивления второго ранга, в правой – искомая величина R_H , умноженная на аксиальный вектор, дуальный псевдотензору второго ранга. Тензорные соответствия левой и правой частей позволяют считать, что коэффициент Холла – псевдотензор третьего ранга. Проверка сверткой двух псевдотензоров в правой части приводит к истинному тензору второго ранга, получаемому в итоге.

Таким образом, постоянная Холла должна рассматриваться как четная тензорная величина, а ее тензорная принадлежность аналогична тензорной принадлежности коэффициентов ряда других гальваномагнитных и термомагнитных эффектов, что соответствует детальному рассмотрению этих эффектов в работе [4].

Псевдотензор третьего ранга дуален скаляру. Все перечисленные применительно к постоянной Холла тензоры – скаляр, антисимметричный тензор второго ранга, псевдотензор третьего ранга являются, по Ю.И. Сиротину, тензорами четного типа. Они инвариантны относительно операции инверсии и в рассмотренном случае описывают одну и ту же физическую величину.

Работа выполнена по тематике проекта "Фундаментальное и теоретическое исследование нелинейных свойств полупроводниковых, магнито- и сегнетоэлектрических материалов для микро- и наноэлектроники", поддержанного Федеральным агентством по образованию.

Список литературы

1. Желудев И.С. Симметрия и ее приложения. М.: Атомиздат, 1976.
2. Сиротин Ю.И., Шаскольская М.П. Основы кристаллофизики. М.: Наука, 1975.
3. Вустер У. Применение тензоров к теории групп для описания физических свойств кристаллов. М.: Мир, 1977.
4. Современная кристаллография. Т. 4: Физические свойства кристаллов. М.: Наука, 1981.