

В пределах неопределенности измерений расчетные значения совпадают с экспериментальными. Значения  $R$ , рассчитанные по формуле (8) для приведенных в таблице углов скрещивания осей поляризаторов, получились равными удвоенным значениям данных углов. Таким образом, их значения совпадают со значениями углов поворота для компонентов векторов Стокса при преобразованиях вращения. Авторы благодарят Е.А. Толкачева за полезные замечания.

### Литература

1. Бикватернионы и матрицы Мюллера / Богуш А.А. [и др.] // Доклады НАН Беларуси. – 2007. – Т. 51, № 5. – С. 71–76.
2. Длугунович, В.А. Векторная параметризация преобразований Лоренца и полярное разложение матриц Мюллера / В.А. Длугунович, Ю.А. Курочкин // Оптика и спектроскопия. – 2009. – Т. 107, № 2. – С. 312–317.
3. Dlugunovich, V.A. The Polar Decomposition and Vector Parametrization of the Mueller Matrices / V.A. Dlugunovich, Yu.A. Kurochkin // The Sun, The Stars, The Universe and General Relativity: Int. Conf. in Honor of Ya.B. Zeldovich's 95th Anniversary, AIP Conference Proceedings. – 2010. – Vol. 1205. – P. 65–71.
4. Федоров, Ф.И. О композиции параметров группы Лоренца / Ф.И. Федоров // Докл. АН СССР. – 1962. – Т. 143, № 1. – С. 56–59.
5. Федоров, Ф.И. Группа Лоренца / Ф.И. Федоров. – М.: УРСС, 2003. – 380 с.
6. Lu, Sh.-Y. Interpretation of Mueller matrices based on polar decomposition / Sh.-Y. Lu, R.A. Chipman // J. Opt. Soc. Am. A. – 1996. – Vol. 13, № 5. – P. 1106–1113.
7. Ищенко, Е.Ф. Поляризационная оптика / Е.Ф. Ищенко, А.Л. Соколов. – М.: Издательство МЭИ, 2005. – 335 с.

**Т.П. Желонкина, С.А. Лукашевич, В.Ф. Шолох**

**УО «Гомельский государственный университет  
имени Франциска Скорины», Беларусь**

### ИНВАРИАНТНОСТЬ И ЗАКОНЫ СОХРАНЕНИЯ

Один из виднейших физиков-теоретиков нашего времени Е. Вигнер в своей известной лекции по случаю вручения ему Нобелевской премии развивает концепцию о трех уровнях физического по-

знания. Первый – отдельные факты (события), второй – законы природы, устанавливающие связи между фактами, и третий – принципы инвариантности, устанавливающие связи уже между законами природы. Если законы природы указывают, какие события возможны и какие нет, и позволяют продемонстрировать новые события, то принципы инвариантности служат пробным камнем для проверки истинности законов природы и позволяют отыскивать новые законы. Величайшим примером является открытие теории относительности.

Значение открытых законов природы в исследовании физического мира определяется тем, что они позволяют предвидеть одни события на основе того, что мы знаем о других событиях, играющих роль *начальных условий*. Начальными условиями Вигнер называет элементы поведения предметов (переменные свойства, определяющие состояние предмета), т. е. события, порождаемые предметом или системой, не определяемые законами природы. На основе этого необходимо четко разделить законы природы и начальные условия, что впервые было открыто в механике Ньютона.

Законы природы являются концентрированными выражениями порядка в явлении, регулярного и правильного, что имеется в поведении системы. Начальные условия выражают нерегулярность в элементах поведения системы. Выбор начальных условий не менее сложен, чем открытие закона. Из бесчисленного множества переменных свойств (элементов поведения) системы необходимо правильно выбрать подмножество переменных свойств, называемое *минимальным набором начальных условий*. Этот выбор затрудняется случайным характером элементов минимального набора, обусловленным множеством внешних взаимодействий. И если это множество внешних взаимодействий учесть невозможно, то тогда исключается возможность установить единый закон природы. Поэтому из всех возможных взаимодействий необходимо выделить то множество, которое в большей степени изменяет состояние системы и тем самым делает более определенным минимальный набор начальных условий. Множеству этих возможных взаимодействий отвечает определенное множество законов природы, открытие которых является целью физики.

Как выявить эти законы? Каким критериям должны удовлетворять эти законы? Существуют ли сверхзаконы, которым эти законы подчиняются?

На эти вопросы Вигнер отвечает: существуют такие сверхзаконы, которые относятся к законам также, как законы относятся к событиям. Эти сверхзаконы называются *принципами инвариантности*.

Принцип инвариантности требует, чтобы при минимальном набо-

ре начальных условий *сохранились некоторые постоянные отношения, составляющие законы природы*. Принципы инвариантности применимы к законам природы, т. е. к корреляциям (соотношениям) между событиями, а не к самим событиям (к событиям применимы законы). Они позволяют установить новые корреляции между событиями на основании уже установленных.

Если установлено, что события  $A, B, C, \dots$  влекут за собой событие  $X$ , то события  $A', B', C', \dots$  с необходимостью влекут за собой событие  $X'$  при условии, что  $A', B', C', \dots$  и  $X'$  получаются из  $A, B, C, \dots$  и  $X$  при действии одного из преобразований симметрии (инвариантности).

Существуют три категории таких преобразований симметрии.

1. *Евклидовы преобразования*. Явления  $A', B', C', \dots X'$  происходят в различных точках пространства, но находятся в том же отношении друг к другу, что и события  $A, B, C, \dots$  и  $X$ .

2. *Сдвиги во времени*. События  $A', B', C', \dots X'$  происходят в разное время, но отделены друг от друга такими же интервалами времени, как события  $A, B, C, \dots$  и  $X$ .

3. *Равномерное прямолинейное движение*. В системе координат, движущейся равномерно и прямолинейно, события  $A', B', C', \dots$  и  $X'$  происходят также, как и события  $A, B, C, \dots X$  [1].

Евклидовы преобразования образуют группу движения пространства, сдвиги (трансляции) и повороты (вращения). Сдвиги пространства эквивалентны переносу начала системы координат без изменения их направления, а повороты – вращению осей координат без изменения начала. Эти преобразования основываются на постулатах *однородности и изотропности* пространства. Однородность пространства означает, что параллельный перенос замкнутой физической системы как целого не изменяет ее свойства, а изотропность – это такое свойство, благодаря которому свойства замкнутой физической системы не изменяются при любых ее поворотах как целого. Распространение света в однородном и изотропном пространстве происходит прямолинейно и с постоянной скоростью.

Преобразования движения пространства носят название преобразования симметрии пространства. А сохранение постоянства отношения между событиями при преобразованиях возводится в ранг *принципа симметрии пространства*. Если при преобразовании симметрии пространства физические величины (например, импульс, момент импульса), характеризующие систему не изменяются, то говорят об их *инвариантности* относительно преобразований. Инвариантность физических величин относительно преобразований симметрии обобщается в *принцип инвариантности*.

Преобразование сдвига во времени или преобразование симметрии времени основано на постулате *однородности времени*: сдвиг во времени сохраняет отношение между событиями неизменным. Если события А, В, С, ... произошли в моменты времени  $t_1, t_2, t_3, \dots$ , то промежутки времени между ними  $\Delta t_{12}, \Delta t_{23}, \dots$  не изменятся при изменении начала отсчета времени, т.е. и в моменты времени  $t_1 + \Delta t; t_2 + \Delta t, \dots$ , где  $\Delta t$  – произвольный промежуток времени. В этом случае отношения между событиями удовлетворяют *принципу симметрии времени*. Физические величины (например, энергия), сохраняющиеся при преобразованиях сдвига во времени, удовлетворяют соответствующему принципу инвариантности.

Третий вид преобразования состоит в переходе от одной системы отсчета, движущейся равномерно прямолинейно, к другой системе отсчета, движущейся относительно первой также равномерно прямолинейно. С этими преобразованиями связан *постулат независимости протекания событий от скорости равномерного прямолинейного движения*. В данном случае – это *принцип симметрии равномерного прямолинейного движения системы отсчета*.

Имеются физические величины (скорость света, интервал, собственное время и др.), инвариантные относительно преобразования инерциальных систем отсчета, которые удовлетворяют некоторому *принципу инвариантности*.

Если бы мы перенесли рассмотрение всех трех категорий преобразований пространство–время, то они оказались бы частными случаями преобразований системы координат пространство–время, т.е. преобразований движения псевдоевклидова пространства. Их можно назвать *псевдоевклидовыми преобразованиями*.

Существуют физические величины (геометрические и физические), инвариантные относительно псевдоевклидовых преобразований, т.е. подчиняющихся соответствующим принципам инвариантности. Эти принципы инвариантности Вигнер назвал *геометрическими, или классическими, принципами инвариантности*.

Характерной особенностью геометрических принципов инвариантности является то, что «соответствующие преобразования симметрии изменяют не события, а «лишь их положение в пространстве и времени».

Кроме этих геометрических принципов, в современной физике известны *неклассические, или динамические*, как их называет Вигнер, *принципы инвариантности*. Каждый динамический принцип инвариантности непосредственно относится к определенному типу взаимодействий. Например, электрический заряд сохраняется при электро-

магнитных взаимодействиях, т. е. закон сохранения электрического заряда есть следствие *градиентной, или калибровочной, инвариантности* потенциалов электромагнитного поля.

Самые общие и важные законы физики – это законы сохранения. Законы сохранения являются формой выражения принципов инвариантности. Закон сохранения энергии выражает инвариантность к смещению системы отсчета во времени (однородность времени). Закон сохранения импульса выражает инвариантность по отношению к сдвигу системы отсчета в пространстве (однородность пространства). Закон сохранения момента количества движения выражает инвариантность по отношению к вращению в пространстве (изотропность пространства). Инвариантность к преобразованиям симметрии физики склонны формулировать как законы сохранения особых физических величин, получивших название *четностей*.

Исходя из сказанного, можно сделать следующие выводы:

- каждому типу инвариантности в природе соответствует определенный класс законов сохранения;
- закон природы считается правильным, если постулируемые им корреляции событий согласуются с принятыми принципами инвариантности, играющими роль пробного камня при проверке предполагаемого закона [1].

### Литература

1. Вигнер, Е. Этюды о симметрии / Е. Вигнер. – М.: Мир, 1971. – 318 с.

**В.А. Зыкунов**

**УО «Белорусский государственный университет транспорта»,  
Беларусь**

### **МЁЛЛЕРОВСКОЕ РАССЕЯНИЕ ОТ ЭНЕРГИЙ JLab ДО ILC**

В этой работе сделан обзор современного состояния прецизионных измерений в экспериментах по поляризационному мёллеровскому рассеянию

$$e^- + e^- \rightarrow e^- + e^- (+\gamma),$$

которое по многим причинам представляет интерес для физиков, как с