



DOI: <https://doi.org/10.15688/mpcm.jvolsu.2019.2.6>

УДК 517.5, 514.8, 53.06, 53.08
ББК 22.161, 22.151, 22.311, 22.314

Дата поступления статьи: 25.02.2019
Дата принятия статьи: 18.03.2019

СОГЛАСОВАНИЕ ОРИЕНТАЦИИ УДАЛЕННЫХ ПРИБОРОВ¹

Владимир Антонович Зорич

Доктор физико-математических наук, профессор кафедры математического анализа,
Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова
vzor@mcme.ru
Ленинские горы, 1, 119991 ГСП-1 г. Москва, Российская Федерация

Аннотация. Хорошо известно свойство прибора Штерна — Герлаха ориентировать вдоль вертикальной оси и разделять в два противоположно поляризованные пучка квантовые частицы спина $1/2$.

Мы показываем, как можно использовать этот эффект для согласования ориентации удаленных приборов. Мы обсуждаем здесь только математическую сторону дела, не затрагивая технические аспекты реализации, которые могут быть принципиальными.

Ключевые слова: квантовая частица, спин, прибор Штерна — Герлаха, ориентация.

Имеется прибор Штерна — Герлаха S , ориентация которого задана ортогональным репером (x, y, z) с вертикальным направлением вдоль оси z . Имеется другой такой же, но удаленный от первого, прибор S' , ориентация которого описывается репером (x', y', z') . Нам надо ориентировать (расположить) удаленный прибор S' согласованно с прибором S .

Можно следующим образом воспользоваться свойством прибора Штерна — Герлаха ориентировать вдоль вертикальной оси и разделять в два противоположно поляризованные пучка квантовые частицы спина $1/2$.

Хорошо известно (см., например, [1; 2]), что если в приборе S такую частицу приготовить в состоянии $+S$ (спин в направлении оси z прибора S), то измерение ее на приборе S' может дать как состояние $+S'$ (спин в направлении оси z'), так и состояние $-S'$ с вероятностями $p_+ = \cos^2 \frac{\alpha}{2}$ и $p_- = \sin^2 \frac{\alpha}{2}$ соответственно, где α — угол между осями z и z' приборов S и S' .

Если мы можем прибором S готовить частицы в состоянии $+S$ и без помех отправлять их в этом состоянии на удаленный прибор S' , то, проделав репрезентативную серию пусков таких частиц, по статистике состояний, принятых прибором S' , можно подсчитать вероятности p_+ , p_- . По любому из чисел p_+ , p_- , если оно определено достаточно надежно, теперь можно найти угол $\alpha = \alpha_z$ отклонения оси z' прибора S' от оси z прибора S .

Зная угол $\alpha = \alpha_z$, имеем коническую поверхность возможных направлений оси z прибора S относительно оси z' прибора S' . Сместим ось z' прибора S' в положение z'' произвольной образующей этой поверхности и проделаем повторно эксперимент. Получим новую коническую поверхность. Теперь в пересечении конических поверхностей в общем случае только два возможных направления оси z прибора S . Повторным экспериментом выберем из них одно.

Теперь надо ориентировать ось x' прибора S' в направлении оси x прибора S . Повернем прибор S так, чтобы его ось z пошла в направлении исходной оси x . Затем повернем прибор S' так, чтобы его уже найденная ось z' , параллельная оси z , пошла в каком-либо направлении, перпендикулярном z' . Проделаем эксперимент с этим расположением приборов и найдем направление оси x'' , параллельное направлению оси x прибора S . Если считать, что оба репера имеют одинаковую левую или правую ориентацию, то все закончено. Но и проверку согласованности левой или правой ориентации реперов, если это нужно, конечно, тоже можно осуществить тем же методом.

Заметим, что, поворачивая прибор S по циклу $(x, y, z) \mapsto (z, x, y) \mapsto (y, z, x)$, можно найти углы $\alpha_x, \alpha_y, \alpha_z$ между осью z' прибора S' и осями x, y, z прибора S . Теперь репер (x, y, z) уже восстанавливается в системе прибора S' с точностью до вращения вокруг оси z' .

Если поток частиц идет от прибора S непрерывно, то, разумеется, ориентацию вертикальной оси прибора S' можно подгонять без вычислений, смещая ее и добиваясь полной корреляции.

Схема работает и тогда, когда некоторый источник частиц, находясь между приборами, создает ЭПР пары (пары Эйнштейна — Подольского — Розена, находящиеся в зацепленном или, как говорят, в запутанном состоянии). При этом первым измерение своей частицы должен делать прибор S . Разумеется, в этой реализации приборами S, S' уже могут быть просто пассивные измерители, но на прибор S' надо сообщать, в каком из двух возможных состояний ($-S, +S$) прибор S фиксировал принятую им компоненту ЭПР пары.

ПРИМЕЧАНИЕ

¹ Работа выполнена при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований, грант № 17-01-00592-а.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ландау, Л. Д. Квантовая механика. Краткий курс теоретической физики. Кн. 2 / Л. Д. Ландау, Е. М. Лифшиц. — М. : Наука, 1972. — 368 с.
2. Фейнман, Р. Фейнмановские лекции по физике. 8 (квантовая механика I) / Р. Фейнман, Р. Лейтон, М. Сэндс. — М. : Мир, 1966. — 271 с.

REFERENCES

1. Landau L.D., Lifshits E.M. *Kvantovaya mekhanika. Kratkiy kurs teoreticheskoy fiziki. Kn. 2* [Quantum Mechanics. Short Course on Theoretical Physics. Book 2]. Moscow, Nauka Publ., 1972. 368 p.
2. Feynman R., Leighton R., Sands M. *Feynmanovskie lektsii po fizike. 8 (kvantovaya mekhanika I)* [The Feynman Lectures on Physics. Volume 3]. Moscow, Mir Publ., 1966. 271 p.

ADJUSTMENT THE ORIENTATION OF REMOTE DEVICES

Vladimir Antonovich Zorich

Doctor of Physical and Mathematical Sciences, Professor,
 Department of Mathematical Analysis,
 Lomonosov Moscow State University
 vzor@mccme.ru
 Leninskie Gory, 1, 119991 GSP-1 Moscow, Russian Federation

Abstract. It is well known that the Stern — Gerlach device orients the quantum particles of spin $1/2$ along the vertical axis arranging them into two beams of opposite polarizations.

We show how one can use this phenomenon to adjust the orientation of remote devices. We discuss only the mathematical concept without the technical aspects of the implementation that might be essential.

The main idea is as follows.

Use device S to put the particle in state $+S$ (spin in the direction of the z axis of device S) and send it to device S' .

The measurement of the received particle on device S' can give either the $+S'$ state (spin in the direction of the z' axis) or the $-S'$ state with probabilities $p_+ = \cos^2 \frac{\alpha}{2}$ and $p_- = \sin^2 \frac{\alpha}{2}$ respectively, where α is the angle between the z and z' axes of devices S and S' .

If we can use the S device to put particles in the $+S$ state and in that state send them to the remote device S' without interference, then, after performing a representative series of launches of such particles, according to the statistics of the states observed on device S' , one can calculate probabilities p_+ and p_- .

By either of values p_+ or p_- , (if they are calculated or measured reliably enough) one can find angle $\alpha = \alpha_z$ of the deviation of the z' axis of device S' from the z axis of device S .

Key words: quantum particle, spin, Stern — Gerlach device, orientation.