

КВАНТОВЫЕ КОРРЕЛЯЦИИ – НЕЭЛЕКТРОМАГНИТНОЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ КВАНТОВЫХ ОБЪЕКТОВ. СВЕРХТЕКУЧИЕ СПИНОВЫЕ ТОКИ

Л.Б. Болдырева

Государственный университет управления

boldyrev-m@yandex.ru

Приведены основные свойства квантовых корреляций: не зависят от расстояния, не потребляют энергии, происходят в физическом вакууме, имеют место для квантовых объектов как с нулевой, так и с ненулевой массой покоя. Рассмотрен физический процесс – сверхтекучий спиновый ток, осуществляющий квантовые корреляции в такой макросистеме как сверхтекучий $^3\text{He-B}$, и показана аналогия между свойствами сверхтекучих спиновых токов и приведенными выше свойствами квантовых корреляций между квантовыми объектами. Сверхтекучий спиновый ток в отличие от света не сопровождается возникновением массы (не обладает инерционными свойствами) и, следовательно, не является процессом в гравитационном поле. Таким образом, скорость сверхтекучего спинового тока может быть любой по отношению к гравитационному полю и может превышать скорость света в вакууме.

Введение

Квантовые корреляции относятся к классу явлений, носящему название «квантовая нелокальность»; суть этих явлений можно объяснить на следующем примере. Два квантовых объекта, например фотоны a и b , полученные на светоделителе, то есть описываемые одной волновой функцией, разлетаются в разные стороны: фотон a в зависимости от положения переключателя P [1 или 2] направляется на детектор A_1 или детектор A_2 ; фотон b , направляется на детектор B (рис. 1). При двух разных измерениях, произведённых над фотоном a , фотон b может оказаться в двух разных состояниях, то есть, свойства фотона b определяются результатом взаимодействия фотона a с детектирующей аппаратурой. Заметим, что в рамках классической физики никакие операции над одним из фотонов не должны приводить к изменению характеристик другого.

Эксперименты выявили следующие свойства квантовых корреляций.

1) Не зависят от расстояния между детекторами [1]; проверено на расстояниях до 10 км [2].

2) Имеют место для любого квантового объекта, как с нулевой (например, фотон), так и с ненулевой массой покоя [1, 3].

3) Осуществляются без потери энергии.

4) Имеют место не только между специально подготовленными фотонами [3], полученными из одного источника света (то есть описываемыми одной волновой функцией), но и между перекрывающимися фотонными пучками одинаковой частоты, испущенными разными источниками. Об этом свидетельствует тот факт, что интерферировать и, следовательно, быть когерентными могут фотонные пучки одинаковой частоты, испущенные разными лазерами [4].

5) Осуществляются не в процессе регистрации одновременно обоих квантовых объектов, а в момент регистрации одного из них; при разных расстояниях от источника квантовых объектов до детекторов квантовая корреляция будет происходить в момент регистрации того объекта, который пришёл раньше, а другой ещё «находится в пути» [5].

Характер процесса, обуславливающего квантовые корреляции, может быть проиллюстрирован на примере двухфотонной интерференции.

Двухфотонная интерференция. На рис. 2 приведена схема экспериментальной установки, в которой каждый из интерферируемых лучей света получает фазовую задержку [3]. Световые поля a_1 и a_2 , с частотой ω_a , а также b_1 и b_2 , с частотой ω_b , перемешиваются на светоделителях. Детекторы и схема совпадения измеряют корреляцию интенсивностей. Наблюдаемые антикорреляция и корреляция интенсивностей выходных полей a и b

периодически зависят от фазовых задержек θ_1 и θ_2 . В зависимости от статистики падающих полей возможны два вида интерференции: с фазой $\theta_1 - \theta_2$ и с фазой $\theta_1 + \theta_2$. Первая интерференция носит название «интерференция интенсивностей Брауна-Твисса» [6], вторая – «двухфотонная интерференция». При определённых условиях оба типа интерференции интенсивностей являются результатом преобразования светоделителями флуктуаций фаз входных полей во флуктуации интенсивностей выходных полей. Первый тип интерференции является «классической» интерференцией, вызванной температурными флуктуациями.

Рассмотрим второй тип интерференции. Пусть поля a_k и b_k ($k=1, 2$) имеют постоянные единичные амплитуды и дрейфующие во времени t фазы: $a_k(t) = \exp[-ix_k(t)]$, $b_k(t) = \exp[-iy_k(t)]$. Условие второго вида интерференции имеет вид: $x_1 + y_1 = x_2 + y_2$, или, введя обозначения $\Delta x = x_1 - x_2$ и $\Delta y = y_1 - y_2$,

$$\Delta x = -\Delta y. \quad (1)$$

Условие (1) можно назвать условием антикорреляции фаз.



Рис. 1. Фотон a в зависимости от положения переключателя P (1 или 2) поступает на детектор A_1 или A_2 . Фотон b поступает на детектор B .

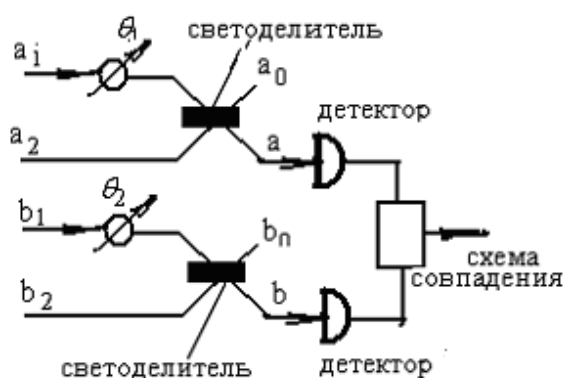


Рис. 2. Схема четырёхмодового интерферометра интенсивностей. a_1, a_2, b_1, b_2 - входные пучки света; θ_1 и θ_2 - фазы задержки световых пучков a и b - выходные пучки света.

При сохранении принципа причинности и классических представлений о времени результаты экспериментов по квантовым корреляциям могут быть интерпретированы следующими способами.

1) Отказом от возможности наделения квантовых объектов априорными свойствами («копенгагенская интерпретация»), в частности совместными вероятностями.

2) Введением неизвестных «сверхсветовых» сил, действующих в физическом вакууме между квантовыми объектами.

Заметим, что первая интерпретация не согласуется с приведённым выше третьим свойством квантовых корреляций: различные длины оптических путей, проходимых коррелируемыми квантовыми объектами до измерения. В этом случае квантовые корреляции имеют место, когда один объект поступает на детектор, а другой ещё не достиг детектора. Если следовать копенгагенской интерпретации, то квантовые корреляции в этом случае имеют место между детектируемым квантовым объектом и тем, что ещё не существует. Вторая интерпретация – введение «сверхсветовых» сил - противоречит теории относительности, согласно которой скорость передачи энергии (сигнала) не может превышать скорости света.

В данной статье показано, что, если физический вакуум обладает свойствами сверхтекучего $^3\text{He-B}$, то квантовые корреляции между квантовыми объектами могут осуществляться спиновыми токами, возникающими между спиновыми структурами, образованными виртуальными частицами, создаваемыми в физическом вакууме квантовыми

объектами. Свойства этих спиновых токов аналогичны свойствам сверхтекучих спиновых токов, возникающих между спиновыми структурами в сверхтекучем $^3\text{He-B}$.

Допустимость наделения физического вакуума свойствами сверхтекучего $^3\text{He-B}$ обосновывается во многих работах. Сверхтекучие свойства физического вакуума объясняют бездиссипативное движение небесных тел в космосе, а также аналогию между некоторыми свойствами сверхтекучего $^3\text{He-B}$ и гравитационными свойствами пространства [7-10]. Наделение физического вакуума свойствами сверхтекучего $^3\text{He-B}$ позволяет описать некоторые свойства сверхпроводников [11], действие сверхмалых доз биологически активных веществ и низкоинтенсивных физических факторов на биологические объекты [12-17].

Свойства сверхтекучего спинового тока в сверхтекучем $^3\text{He-B}$

Сверхтекучий $^3\text{He-B}$ состоит из атомов, имеющих спин. Углы ориентации спина относительно выделенных направлений: угол (фаза) прецессии и угол нутации определяют спиновую часть параметра порядка в сверхтекучем $^3\text{He-B}$. Существуют процессы, выравнивающие значение спиновой части параметра порядка во всём объёме жидкости, – сверхтекучие спиновые токи [18-20]. Теоретически сверхтекучие спиновые токи бездиссипативны и не зависят от расстояния.

Рассмотрим две области в сверхтекучем $^3\text{He-B}$, в которых происходит однородная прецессия спинов атомов ^3He , так называемые «однородно прецессирующие домены», $ОПД_1$ и $ОПД_2$, с частотами прецессии соответственно ω_1 и ω_2 , углами прецессии α_1 и α_2 , углами нутации β_1 и β_2 , спинами S и энергиями U_1 и U_2 (рис. 3). При малых углах нутации U_1 и U_2 определяются как:

$$U_1 = S\omega_1, U_2 = S\omega_2. \quad (2)$$

Частоты ω_1 и ω_2 направлены вдоль оси z . При $\beta_1 = \beta_2$ зависимость сверхтекучего спинового тока J_{1-2} , возникающего между этими областями, от разности $\alpha_1 - \alpha_2$ с определённой точностью может быть представлена линейной функцией:

$$J_{1-2} = k(\alpha_1 - \alpha_2), \quad (3)$$

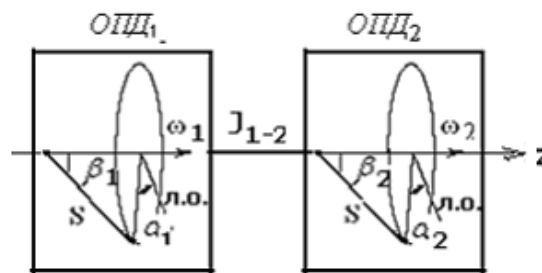


Рис. 3. Спиновые структуры $ОПД_1$ и $ОПД_2$; ω_1 и ω_2 - частоты прецессии; α_1 и α_2 - углы прецессии; β_1 и β_2 - углы нутации; S - спин; л.о. - линия отсчёта; J_{1-2} - сверхтекучий спиновый ток.

Углы прецессии α_1 и α_2 связаны с частотами прецессии (соответственно: ω_1 и ω_2), при условии независимости частот от времени t , следующими соотношениями:

$$\alpha_1 = \omega_1 t + \alpha_1^0, \quad \alpha_2 = \omega_2 t + \alpha_2^0, \quad (4)$$

где α_1^0 и α_2^0 - значения углов прецессии соответственно $ОПД_1$ и $ОПД_2$ при $t=0$. Если сверхтекучий спиновый ток J_{1-2} приводит к изменению углов прецессии α_1 и α_2 (эти изменения обозначим как $\Delta\alpha_1$ и $\Delta\alpha_2$), то в соответствии с уравнениями (4) происходит

изменение частот прецессии (соответственно на $\Delta\omega_1$ and $\Delta\omega_2$). Согласно (2) изменение энергии $ОПД_1$ и $ОПД_2$ (соответственно ΔU_1 и ΔU_2) определяется как:

$$\Delta U_1 = S \cdot \Delta\omega_1, \Delta U_2 = S \cdot \Delta\omega_2. \quad (5)$$

Так как в сверхтекучем $^3\text{He-B}$ справедлив закон сохранения энергии, а сверхтекучий спиновый ток является бездиссипативным процессом, в результате выравнивания соответствующих характеристик взаимодействующих спиновых структур имеет место:

$$\Delta U_1 = -\Delta U_2. \quad (6)$$

Тогда согласно (4)-(6):

$$\Delta\omega_1 = -\Delta\omega_2, \Delta\alpha_1 = -\Delta\alpha_2. \quad (7)$$

Взаимодействие между спиновыми структурами в СФВ наиболее эффективно, то есть происходит выравнивание соответствующих углов прецессии и углов нутации взаимодействующих спиновых структур, если разность между их частотами прецессии $\Delta\omega$ удовлетворяет условию [11]:

$$\Delta\omega \rightarrow 0. \quad (8)$$

Характеристики волновой функции квантового объекта

Согласно постулатам квантовой механики квантовые объекты (включая фотон) создают в физическом вакууме виртуальные частицы. Спин виртуальных частиц имеет такие же характеристики, как и спин реальных частиц. Это означает, что спин виртуальных частиц не имеет определённого направления в пространстве и величина его, как и спина реальных частиц, равна величине проекции спина на выделенное направление, что позволяет ввести прецессионное движение спина относительно выделенного направления в пространстве. Таким образом, квантовый объект создаёт в физическом вакууме спиновую структуру, которую можно характеризовать суммарным спином S_s , углами прецессии и нутации, частотой прецессии ω_s . При малых углах прецессии энергия такой структуры U_s определяется выражением:

$$U_s = S_s \omega_s. \quad (9)$$

Экспериментально доказано [21], что пара виртуальных частиц, образованная фотоном в физическом вакууме, конвертируется в пару реальных частиц (электрон-позитрон, протон-антипротон, и т.д.), если энергия фотона U_{ph} равна суммарной энергии этих реальных частиц. Это означает, что образование фотоном пары виртуальных частиц происходит без потери энергии, и выполняется равенство:

$$(U_s)_{ph} = U_{ph}, \quad (10)$$

где $(U_s)_{ph}$ - энергия пары виртуальных частиц, образованной фотоном в физическом вакууме. Эта пара имеет спин, $(S_s)_{ph}$, равный \hbar :

$$(S_s)_{ph} = \hbar. \quad (11)$$

Сопоставляя уравнения (9)-(11) с известным соотношением между энергией U_{ph} и частотой фотона ω_{ph} , $U_{ph} = \hbar\omega_{ph}$, получаем:

$$(\omega_s)_{ph} = \omega_{ph}. \quad (12)$$

Отметим, что частота фотона является и частотой его волновой функции.

Допустим, что уравнение, аналогичное (10), справедливо для энергии U_q любого квантового объекта:

$$(U_s)_q = U_q, \quad (13)$$

где $(U_s)_q$ - энергия спиновой структуры, создаваемой квантовым объектом в физическом вакууме. Согласно квантовой теории, электрические взаимодействия электрически заряженных реальных частиц передаются виртуальными частицами, образующими виртуальные фотоны. Это означает, что, по крайней мере, для спина $(S_s)_q$ спиновых структур, создаваемых электрически заряженными частицами, справедливо:

$$(S_s)_q = \hbar. \quad (14)$$

Сопоставляя уравнения (9) и (13)-(14) с известным соотношением между энергией U_q и частотой волновой функции Шрёдингера квантового объекта [21] $\omega_{Sh}: U_q = \hbar\omega_{Sh}$, получаем:

$$(\omega_s)_q = \omega_{Sh}. \quad (15)$$

Таким образом, согласно уравнениям (12) и (15), частота волновой функции квантового объекта (для фотона – это частота фотона, а для частиц, имеющих массу, – это частота волновой функции Шрёдингера) равна частоте прецессии спина в спиновой структуре, создаваемой квантовым объектом в физическом вакууме, имеющем свойства сверхтекучего $^3\text{He-B}$.

Сравнение свойств квантовых корреляций и сверхтекучего спинового тока в сверхтекучем $^3\text{He-B}$

Если свойства спиновых токов, возникающих между спиновыми структурами, составленными из виртуальных частиц, аналогичны свойствам сверхтекучего спинового тока в сверхтекучем $^3\text{He-B}$, то перечисленные во Введении свойства квантовых корреляций можно объяснить, базируясь на свойствах сверхтекучих спиновых токов, возникающих между спиновыми структурами в сверхтекучем $^3\text{He-B}$.

1) Сверхтекучие спиновые токи могут возникать между любыми спиновыми структурами независимо от расстояния между ними, что объясняет первое свойство квантовых корреляций: *независимость от расстояния*.

2) Сверхтекучие спиновые токи могут возникать между любыми спиновыми структурами независимо от их размеров и характеристик (при наличии разницы в значениях этих характеристик). Следовательно, сверхтекучие спиновые токи могут возникать между спиновыми структурами, образованными любыми квантовыми объектами, имеющими как нулевую (например, фотон), так и ненулевую массу покоя. Это объясняет второе свойство квантовых корреляций: *квантовые корреляции осуществляются между любыми квантовыми объектами как с нулевой, так и с ненулевой массой покоя*.

3) Сверхтекучие спиновые токи являются бездиссипативным процессом, и это объясняет третье свойство квантовых корреляций: *квантовые корреляции осуществляются без потери энергии*.

4) Согласно (8) эффективность сверхтекучих спиновых токов максимальна, если взаимодействующие спиновые структуры имеют одинаковые по величине и направлению частоты прецессии. Принимая во внимание (12) и (15), это условие объясняет четвертое свойство квантовых корреляций: *квантовые корреляции могут осуществляться между фотонами одинаковой частоты, но испущенными разными источниками*.

5) Сверхтекучий спиновый ток возникает между спиновыми структурами при наличии градиентов в значениях характеристик прецессии спинов этих структур, и он не

зависит от того, подвергаются ли спиновые структуры в это время внешнему воздействию. Это определяет пятое свойство квантовых корреляций: *квантовые корреляции имеют место между фотонами не только в момент их одновременной регистрации.*

Действие сверхтекучих спиновых токов направлено на выравнивание значений характеристик спиновых структур, между которыми они возникают. Равенства (6)-(7) показывают, что изменения в значениях идентичных характеристик взаимодействующих структур – энергии, частоты прецессии, фазы прецессии – одинаковы по величине, но противоположны по знаку. Это свойство объясняет соотношение (1) – изменение фаз (и частоты) световых волн при двухфотонной интерференции.

Примечание. Характер распространения сверхтекучего спинового тока принципиально отличается от характера распространения света.

Так как фотон создаёт в физическом вакууме пару виртуальных частиц, то есть спиновую структуру, движение фотона сопровождается процессом создания в физическом вакууме спиновых структур. Так как виртуальные частицы обладают массой, движение фотона является процессом и в гравитационном поле, и, следовательно, его скорость определяется свойствами гравитационного поля. Аналогичный вывод можно сделать относительно максимальной скорости любого квантового объекта, имеющего ненулевую массу покоя, так как любой квантовый объект при движении относительно физического вакуума создаёт в нём виртуальные частицы, то есть спиновые структуры.

Сверхтекучий спиновый ток возникает между спиновыми структурами, а сам их не производит, то есть сверхтекучий спиновый ток не сопровождается возникновением массы (не обладает инерционными свойствами) и, следовательно, не является процессом в гравитационном поле. Таким образом, скорость сверхтекучего спинового тока может быть любой по отношению к гравитационному полю и может превышать скорость света в вакууме.

Заключение

I. Квантовые корреляции между квантовыми объектами могут осуществляться сверхтекучими спиновыми токами, возникающими между спиновыми структурами, создаваемыми квантовыми объектами в физическом вакууме. Свойства этих сверхтекучих спиновых токов аналогичны свойствам сверхтекучих спиновых токов, возникающих между спиновыми структурами в сверхтекучем $^3\text{He-B}$.

II. Сверхтекучие спиновые токи могут возникать между спиновыми структурами, создаваемыми квантовыми объектами любого типа, как имеющими массу покоя, так и не имеющими. Следовательно, возможны квантовые корреляции, то есть неэлектромагнитное взаимодействие фотона с квантовыми объектами, имеющими массу покоя.

III. Эффективность взаимодействия квантовых объектов посредством сверхтекучих спиновых токов максимальна, если частоты прецессии спинов в спиновых структурах, создаваемых взаимодействующими объектами в физическом вакууме, одинаковы по величине и направлению. Так как частота прецессии спина в спиновой структуре, создаваемой квантовым объектом в физическом вакууме, равна частоте волновой функции квантового объекта, условие эффективности взаимодействия квантовых объектов согласуется с условием корреляции квантовых объектов: описание их одной волновой функцией.

IV. Скорость сверхтекучего спинового тока как безынерционного процесса может превышать скорость света в вакууме.

V. Сверхтекучий спиновый ток, возникающий между спиновыми структурами, создаваемыми квантовыми объектами в физическом вакууме, распространяется в более «тонкой» среде, чем молекулярная – в физическом вакууме – и, следовательно, не экранируется молекулярными веществами.

Литература

1. A.R. Wilson, J. Lowe, D.K. Butt. Measurement of the relative planes of polarization of annihilation quanta as a function of separation distance // *J. Phys. Ser. G*, 2, p. 613, 1976.
2. W. Tittel, J. Brendel, B. Gisin, T. Herzog, H. Zbinden, N. Gisin. Experimental demonstration of quantum-correlations over more than 10 kilometers // *Physical Review A*, 57, p.3229, 1998.
3. Д.Н. Клышко. Квантовая оптика: квантовые, классические и метафизические аспекты // *Успехи физических наук* 164, №11, стр. 1187–1214, 1994.
4. R.L. Pfleeger, L. Mandel. Further Experiments on Interference of Independent Photon Beams at Low Light Levels // *J. Opt. Soc. Am.* 58, pp. 946-950, 1968.
5. А.В. Белинский. Квантовая нелокальность и отсутствие априорных значений измеряемых величин в экспериментах с фотонами // *Успехи физических наук*, 173, № 8. стр. 905-909, 2003.
6. R.H. Brown, R.Q. Twiss. A new type of interferometer for use in radio astronomy // *Philos. Mag.*, 45, pp. 663–682, 1954.
7. C. Bauerle, Yu.M. Bunkov, S.N Fisher, H. Godfrin, G.R. Pickett. Laboratory simulation of cosmic string formation in the early Universe using superfluid ^3He // *Nature*, 382, p. 332, 1996.
8. G.E. Ruutu, V.B. Eltsov, A.J. Gill, T.W.B. Kibble, M. Krusius, Yu.G. Makhlin, B. Plocais, G.E. Volovic, Xu Wen. Vortex formation in neutron-irradiated superfluid ^3He as an analog of cosmological defect formation // *Nature*, 382, p. 334, 1996.
9. G.E. Volovik. *The Universe in a Helium Droplet*. Oxford, Clarendon Press. 2003. 526 p.
10. С.В. Winkelmann, J. Elbs, Yu.M. Bunkov, H. Godfrin. Probing “cosmological” defects in superfluid $^3\text{He-B}$ with a vibrating-wire resonator // *Physical Review Letters*, 96(20), p. 205301 2006.
11. Л.Б. Болдырева. Что даёт физике наделение физического вакуума свойствами сверхтекучего $^3\text{He-B}$. Москва, «ЛИБРОКОМ», 2012.
12. L.B. Boldyreva. An analogy between effects of ultra low doses of biologically active substances on biological objects and properties of spin supercurrents in superfluid $^3\text{He-B}$ // *Homeopathy*, 100, issue 3, pp. 187-193, 2011.
13. L.B. Boldyreva, E.M. Boldyreva. The Model of Superfluid Physical Vacuum as a Basis for Explanation of Efficacy of Highly Diluted Homeopathic Remedies // *J. Homeopathy & Ayurvedic Medicine*, 1, issue 2, 1000109 (6 pp.), 2012, <http://dx.doi.org/10.4172/2167-1206.1000109>.
14. L.B. Boldyreva. The Physical Aspect of Action of Biologically Active Substances in Ultra-Low Doses and Low-Intensity Physical Factors on Biological Objects: Spin Supercurrents // *Alternative and Integrative Medicine*, 2, issue 2, 1000110 (6 pp.), 2013, <http://dx.doi.org/10.4172/2327-5162.1000110>.
15. Л.Б. Болдырева. Аналогия между особенностями действия сверхмалых доз биологически активных веществ и низкоинтенсивных физических факторов на биологические объекты и свойствами сверхтекучих спиновых токов в сверхтекучем $^3\text{He-B}$ // *Сложные системы. Междисциплинарный научный журнал* №1(6), стр. 70-89, 2013.
16. L.B. Boldyreva. The cavity structure effect in medicine: the physical aspect // *Forschende Komplementärmedizin / Research in Complementary Medicine*, 20, pp. 322-326, 2013.
17. L.B. Boldyreva. The Physical Aspect of the Effects of Metal Nanoparticles on Biological Systems. Spin Supercurrents // *Nanomaterials and Nanosciences*, 2, issue 1, 2014.
18. А.С. Боровик-Романов, Ю.М. Буньков, В.В. Дмитриев, Ю.М. Мухарский. Исследования долгоживущего сигнала индукции в сверхтекучем $^3\text{He-B}$ // *Письма в ЖЭТФ*, 40, вып. 6, стр. 256-259, 1984.
19. Yu.M. Bunkov. Spin Superfluidity and Coherent Spin Precession // *Journal of Physics: Condensed Matter*, 21(16), 164201 (6pp), 2009.
20. V.V. Dmitriev, I.A.Fomin. Homogeneously precessing domain in $^3\text{He-B}$: formation and properties // *Journal of Physics: Condensed Matter*, 21(16), 164202 (9pp), 2009.
21. E.H. Wichmann. *Quantum Physics*. Berkeley physics course, vol. IV. McGraw-Hill Book company, 1971.

QUANTUM CORRELATIONS – THE NON-ELECTROMAGNETIC INTERACTION BETWEEN QUANTUM ENTITIES. SPIN SUPERCURRENTS

Liudmila Boldyreva

The State University of Management (Moscow)

e-mail: boldyrev-m@yandex.ru

The main properties of quantum correlations are as follows: they do not depend on the distance, do not consume energy, take place for quantum entities both with zero and with nonzero rest mass, take place in the physical vacuum, that is, it is not necessary for the quantum entities to be detected simultaneously. A physical process is discussed which is responsible for quantum correlations in such macrosystem as superfluid $^3\text{He-B}$. An analogy is shown between the properties of spin supercurrents in superfluid $^3\text{He-B}$ and the above properties of quantum correlations for quantum entities. In contrast with light, spin supercurrent is not accompanied by the birth of a mass (that is, it does not have inertial properties) and therefore it is not a process in a gravitational field. Thus the speed of spin supercurrent may have any magnitude relative to the gravitational field and may exceed the speed of light in vacuum.