



UNIVERSITY OF LEEDS

This is a repository copy of *Interpretation of wave function by coherent ensembles of trajectories*.

White Rose Research Online URL for this paper:

<https://eprints.whiterose.ac.uk/225946/>

Version: Preprint

Preprint:

Kisil, V.V. orcid.org/0000-0002-6593-6147 (2024) Interpretation of wave function by coherent ensembles of trajectories. [Preprint - arXiv]

<https://doi.org/10.48550/arxiv.2407.09277>

Reuse

Items deposited in White Rose Research Online are protected by copyright, with all rights reserved unless indicated otherwise. They may be downloaded and/or printed for private study, or other acts as permitted by national copyright laws. The publisher or other rights holders may allow further reproduction and re-use of the full text version. This is indicated by the licence information on the White Rose Research Online record for the item.

Takedown

If you consider content in White Rose Research Online to be in breach of UK law, please notify us by emailing eprints@whiterose.ac.uk including the URL of the record and the reason for the withdrawal request.



eprints@whiterose.ac.uk
<https://eprints.whiterose.ac.uk/>

Interpretation of wave function by coherent ensembles of trajectories

Vladimir V. Kisil^{1,*}

¹*School of Mathematics, University of Leeds, Leeds LS2 9JT, England*

We re-use some original ideas of de Broglie, Schrödinger, Dirac and Feynman to revise the ensemble interpretation of wave function in quantum mechanics. To this end we introduce coherence (auto-concordance) of ensembles of quantum trajectories in the space-time. The coherence condition accounts phases proportional to classical action, which are in foundation of the Feynman path integral technique. Therefore, our interpretation is entirely based on well-known and tested concepts and methods of wave mechanics. Similarly to other ensemble interpretations our approach allows us to avoid all problems and paradoxes related to wave function collapse during a measurement process. Another consequence is that no quantum computation or quantum cryptography method will ever work if it assumes that a particular q-bit represents the entire wave function.

History of science is not a cemetery with tombs over ideas buried forever, instead it is a collection of unfinished architectural ensembles, many of them were not completed not for deficiencies of the project but because of a lack of technical or economical demands.

A.A. Lyubischev

I. INTRODUCTION

Recently we passed centennial of few short papers of Louis de Broglie, which invented *wave mechanics*—also known as *quantum* theory. This opposition of names reflects the *wave-particle duality* proposed by de Broglie—a fundamental property generally accepted since then. The discovery of wave properties of matter opens the door for unprecedentedly rapid development of theory, in particular paved the way for the Schrödinger *wave equation* [1]. However, rereading de Broglie’s papers we may spot some ideas which were abandoned in the past even by their author himself. However, those guesses deserves to be revised and may be even rehabilitated.

Mathematical foundations of quantum mechanics—the theory of operators in Hilbert spaces—were extensively studied and firmly

placed in physical research. Yet, there are continuing discussion of interpretations of the wave function and related issues like a *wave function collapse* during a measurement process. Corresponding questions remain a topic of on-going (although not so central now) debates. The discontent provokes some radical constructions like the many-world interpretation [2]. Since such remedies are not better than the disease itself, many scientists choose to marginalise interpretation questions under the slogan “shut up and calculate!” [3]. For example, textbook [4] dedicates its main 11 chapters to mathematical content of quantum theory and only the final Ch. 12 considers measurements, (non-)locality, causality, Einstein–Podolsky–Rosen paradox, Schrödinger cat and other controversial topics.

One of the route to avoid issues created by the wave function collapse is an *ensemble interpretation*, which is often attributed to Einstein [5] or other physicists [6, 33]. However, let us read the final paragraph of de Broglie’s 1922 paper [7]:

Au point de vue des quanta de lumière, les phénomènes d’interférences paraissent liés à l’existence d’agglomérations d’atomes de lumière dont les mouvements ne sont pas indépendants, sont cohérents. Dès lors, il est naturel de supposer que si la théorie des quanta de lumière parvient un jour à interpréter les interférences, elle devra faire intervenir de telles agglomérations de quanta.

Clearly, de Broglie connects wave phenomena of matter with a group behaviour of coherent en-

* E-mail: V.Kisil@leeds.ac.uk; Home page: <http://v-v-kisil.scienceontheweb.net/>. On leave from the Odessa University.

Paper is accepted in *Physics of Particles and Nuclei Letters*, ©2025 <http://pleiades.online/>.

semble of particles few years before the wave function was invented. This ensemble (aka *statistical*) interpretation was often reinvented and revised, cf. [9, 10] and already cited surveys [5, 6, 33]. However, the presented arguments often leave a space for relentless attacks from the position of Copenhagen dogma, in particular, by such notable physicists as V.A. Fock [11–13]. The weakest place was the definition of quantum ensemble itself and its property to be coherent. We are addressing these topics below.

II. QUANTUM ENSAMBLER

We start from clarifications based from earlier guesses of founding fathers:

1. Initially in [14] de Broglie deduced wave properties of quanta from the assumption that each of them possesses some *inner periodic process*. A similar theme with individual “stopwatch” was used by Feynman in the popular lectures on path integrals [15]. A careful consideration [16, 17] shows that it is the periodicity of the function e^{it} produces quantum mechanics—regardless of the Dirac postulate on “noncommutativity of quantum observables” [18].
2. The same de Broglie’s paper [14] introduces a *fictional* spatial wave such that its phase at every point coincides with the phase of the above inner periodic process of a quantum located there. This assumption on *stability* (saying differently *coherence*) allowed de Broglie to deduce Bohr’s quantisation rules for the first time.
3. From the above coherence condition between the phase of the fictional wave and the inner periodic process we can conclude that any two coherent quanta arrived to the same point of space-time shall share the same phase. Similarly, any two quanta departing from a same point in different directions start their voyages with a common phase.

4. De Broglie’s ideas were used by Schrödinger in [1] to justify his wave equation using the Hamilton optic-mechanical analogy [19] between ray optics and classical mechanics¹: Schrödinger assumed that quantum theory is similar to more physical undulatory optics. This correspondence suggests that the frequency of inner periodic process is changing over the time and its time derivative is proportional to the Lagrangian function of the particle.
5. If the frequency is proportional to the Lagrangian L then the change of the phase over a path γ shall be proportional to the action function $S = \int_{\gamma} L dt$. It was explicitly written by Dirac in [21] and later becomes the foundation of the Feynman path integral method [15, 22]. Notably, Feynman’s approach initially got a cool reception from Copenhagen adepts for the usage of tabooed concept of “trajectory”. The denial was softened later under the agreement that a single trajectory is only an imaginary computational device and “in reality” every quantum is passing over all paths simultaneously. Obviously, the authoritative textbook [22] may not say that the phase $S/\hbar$ is assigned to some inner periodic process of a particle travelling along its individual path. However, exactly such image is read from “we have a stopwatch that can time a photon as it moves” [15] while the author is less locked within the official dogma.

The coherence condition in item 3 may be too restrictive. In practice the exact match of phases may be relaxed till their *sufficient* closedness. Correspondingly, one may define a measure of a decoherence of an ensemble adding up all phase

¹ Having the excellent textbook [20, § 46] it is hard to believe today that Schrödinger called that analogy “nearly forgotten”. However, we shall not be too much surprised because the Schrödinger own justification of the wave equation is now missing from textbooks as well: the equation is either simply declared or referred to the similarly declared “quantisation rules”.

difference in the intersection points of different trajectories. It may be possible to introduce an interaction between collating quanta which leads to increasing coherence of the entire ensemble, similarly to a physical body dynamics towards its thermostatic equilibrium.

Therefore, we are arriving to:

Definition 1. A *quantum ensemble* consists of particles' trajectories in a certain region of space-time. To every point of a trajectory we assign a *phase* proportional to the physical action. In a sufficiently *coherent ensemble* phases of all trajectories passing a particular point of space-time are about the same.

Our discussion in terms of particles' trajectories rather than just their position at a specific moment of time is similar to ensembles of *quantum processes* of K.V. Nikolsky [34, §3, §12].

It is well-known that the Feynman path integral produces the wave function of a particle coinciding with one obtained from the Schrödinger equation or the Heisenberg–Dirac quantisation [22, §3.4]. Furthermore, the vast majority of trajectories do not contribute towards the wave function because they are arriving to a point with almost opposite phases. Thus, we are obtaining the same wave function if all such mutually cancelling paths will be dropped from our consideration. The remaining paths shall have phases which are close to the resulting wave function, thus those paths will form a sufficient coherent ensemble. Thereafter, we conclude that *for every wave function there is a sufficiently coherent ensemble which produces this wave function by Feynman integration*.

It is common to object the ensemble interpretation by consideration of a *very sparse ensemble*. For example, considering two slits interference one observes electrons travelling “one-by-one”: the source does not emit a new electron until the previous one will not be absorbed by the detector [23]. Indeed, there is no path intersections in this case and there is no necessity (and possibility) to coordinate phases of electrons. However, in such an experiment we also have the device causing interference. It interacts with all participating electrons and serves as a

media for phase coordination. A principal possibility to model wave-type effects for such sparse ensembles was demonstrated in [24–26].

III. DISCUSSION AND APPLICATIONS

Wave-particle duality of the matter remains a disputed topic in quantum theory. Among various treatments of the issue there exist some rather radical, e.g. to cancel corpuscular properties of light from the physical reality and shelve the notion of *photon* next to obsolete XIX century *ether* [27].

In this paper we revise the ensemble interpretation of the wave function with some original suggestions of de Broglie reinforcing them with the later technique from the Feynman path integral. Here are few immediate consequences of the proposed interpretation:

1. An observation of wave-type behaviour among quantum (discrete) object has statistical nature and, therefore, is group property of coherent ensembles. Wave effects cannot be demonstrated by a single particle or by a group of completely disconnected particles. Similarly, the velocity of a single gas molecule does not tell the whole heat distribution in the considered volume, although the molecule makes its contribution to the picture. This analogy may turn to be not so superficial if we consider the Schrödinger equation as the heat equation with complexified time.
2. The wave function corresponds to an ensemble of coherent quanta: its magnitude depends on the spatial-temporal density of localised particles. The phase of the wave function at a particular point of the extended configurational space indicates the phase of any quantum localised there and effectively serves as the de Broglie's “fictional wave” [14].
3. An observation/measurement act on a single particle returns its specific physical parameters, e.g. spatial-temporal localisation. This may cause a small perturbation of the containing ensemble. However,

there is no a wave function collapse as a result of a single measurement since the wave function describes the whole coherent ensemble [35, §14].

4. Therefore, the interpretation removes a ground for Einstein–Podolsky–Rosen paradox, the Schrödinger cat’s dilemma, etc. [36, p.364].
5. There is some physical reality behind phases (e.g. through some inner periodic processes) of individual quanta travelling along definite paths. In a contrast, the wave function is only integral quantity of all such individual phases within a coherent ensemble. Thereafter, there is no need to search for a physical media which conveys the wave function, cf. the analogy with the concept of heat distribution within a physical body mentioned above.
6. Similarly, we do not need any additional “pilot waves” which will allow a particle to have a trajectory agreed with the wave function. “Double solutions” of this type [28] were considered by de Broglie once Copenhagen folks forced him to abandon his initial approach [29, Ch.6].

Clearly, our discussion uses only traditional tools of quantum theory: the Schrödinger wave equation and Feynman path integrals ignited by some earlier guesses of de Broglie. Therefore, there is no need for a separate detailed verification that our interpretation does agree with the established mathematical methods of wave mechanics.

Notably, the present consideration is similar to A. Khrennikov’s approach to the ensemble interpretation [5]: first a certain causal and deterministic pre-quantum model is invented and then stochastic quantum picture is obtained by a reduction to a wave function. However, we do not (in contrast to [5]) introduce a new pre-quantum theory; instead, we recombine well-known elements already present in place.

Despite of our discussion being on “just the interpretation question”, some very practical conclusions may be deduced. Quantum comput-

ing and quantum cryptography are actively researched now, often the proposals assume that a single q-bit can hold the entire wave function of a quantum state. These studies are generously funded for a substantial period of time due to prospective financial and military applications. Therefore, the absence of any practically working devices of this type may be considered as *experimental evidences* of various theoretical objections expressed earlier [26, 30–32]. In particular, such technology will not be ever implemented if the correct interpretation of the wave function is based on the group behaviour of a coherent ensemble. In other words, the failure to build a much anticipated quantum computer is a confirmation of the ensemble interpretation just like we learnt the energy conservation through all (often very clever) attempts to invent a perpetuum mobile.

Finally, we observe from the history of de Broglie’s ideas that the list of reasons of incomplete scientific developments in the paper’s epigraph shall be extended: often projects are abandoned for subjective reasons only.

ACKNOWLEDGMENTS

The author is grateful to the anonymous referee for useful suggestions which helped to improve the text. Prof. Pechenkin directed our attention to several relevant sources.

Интерпретация волновой функции и согласованные ансамбли траекторий

В.В. Кисиль ²

Отделение математики, Университет г. Лидса, Англия

Мы используем некоторые изначальные идеи де Бройля, Шрёдингера, Дирака и Фейнмана для уточнения ансамблевой интерпретации волновой функции в квантовой механике. Для этого рассматриваются согласованные ансамбли квантовых траекторий в пространстве-времени. Условие согласования основано на фазах пропорциональных классическому действию, знакомым всем из интеграла по траекториям Фейнмана. Таким образом, предложенная интерпретация в существенном использует только проверенные и хорошо зарекомендовавшие себя понятия и методы волновой механики. Как и другие ансамблевые интерпретации данный подход позволяет избежать всех парадоксов связанных с редукцией волновой функции в процессе измерений. Ещё одно следствие, упоминаемое нами, это ожидаемая бесплодность всех попыток произвести квантовые вычисления или квантовое шифрование на методах предполагающих, что состояние отдельного кубита описывается полной волновой функцией.

Прошлое науки—не кладбище с надгробными плитами над навеки похороненными идеями, а собрание недостроенных архитектурных ансамблей, многие из которых не были закончены не из-за несовершенства замысла, а из-за технической или экономической невосприимчивости.

А.А. Любичев

I. ВВЕДЕНИЕ

Недавно прошло столетие с публикации нескольких коротких работ де Бройля, которые открыли эру *волновой механики*—одного из наименований *квантовой* теории. Эта двойственность названий отражает предложенный де Бройлем корпускулярно-волновой дуализм материи—фундаментальное свойство прочно утвердившееся с тех пор. Декларация волновых свойств материи было важным рубежом и послужило дальнейшему беспрецедентно быстрому развитию теории, в частно-

сти, стимулировало появление *волнового* уравнения Шрёдингера [1]. Однако, перечитывая работы де Бройля по юбилейному поводу можно заметить некоторые идеи, которые были оставлены в прошлом даже самим их автором. Тем не менее, эти догадки заслуживают быть вновь рассмотренными и, возможно, реабилитированными.

Фундаментальный математический аппарат квантовой механики—теория операторов в гильбертовых пространствах—хорошо разработан математически и занял прочное место в физических исследованиях. Однако, остаётся очень спорный вопрос интерпретации волновой функции и связанных с этим различных допущений вроде *редукции волновой функции* в процессе измерений. Сопутствующие этому сложности продолжают быть предметом неукротимых (хотя и немного периферийных теперь) обсуждений. Эта неустроенность временами порождает весьма экзотические построения вроде многомировой модели [2]. Так как такое лечение хуже самой болезни, то ответная реакция низводит вопросы интерпретации до второстепенных, дескать «не болтай, а вычисляй!» (“shut up and calculate!” [3]). Например, в учебнике [4] основные 11 глав посвящены математическому аппарату квантовой механики и только заключительная двенадцатая глава касается вопросов связанных

² Емэйл: V.Kisil@leeds.ac.uk

Домашняя страница: <http://v-v-kisil.scienceontheweb.net/>. В отъезде из Одесского университета.

Статья принята для публикации в «Письма в журнал Физика элементарных частиц и атомного ядра. Теория», ©2025 <http://pleiades.online/>.

с измерениями, локальностью, причинностью, парадоксом Эйнштейна–Подольского–Розена, котом Шрёдингера и другими весьма неоднозначными темами.

Одним из способов избежать проблем редукции волновой функции является её *ансамблевая интерпретация*, которую часто отсылают к Эйнштейну [5] или другим физикам, см. [6, 33]. Обратимся, однако, к заключительному пассажиру статьи де Бройля 1922 года [7, 8]:

С точки зрения квантов света явления интерференции кажутся связанными с существованием совокупностей атомов света, движущихся не независимо, а когерентно. Отсюда естественно предположить, что если когда-нибудь теория квантов света сможет объяснить интерференцию, она должна будет ввести в рассмотрение подобные объединения квантов.

Легко заметить, что де Бройль связывает волновые свойства материи с групповым поведением согласованного (когерентного) ансамбля частиц ещё за несколько лет до появления волновой функции. Такая ансамблевая (или *статистическая*) интерпретация в дальнейшем многократно переоткрывалось и переосмысливалось многими авторами, см. [9, 10] и ранее упомянутые обзоры [5, 6, 33]. Однако, предлагаемые формулировки зачастую оставляли пространство для неустанной критики с позиции копенгагенской интерпретации квантовой механики, в частности, и такими видными физиками как В.А. Фок [11–13]. Наиболее уязвимым звеном оставалось само понятие квантового ансамбля и то, каким образом определялась его согласованность. Этот момент мы и рассмотрим ниже.

II. КВАНТОВЫЕ АНСАМБЛИ

Начнём прояснять имеющиеся затруднения используя некоторые наблюдения из работ первооткрывателей:

1. Изначально в [14] де Бройль выводил волновые свойства квантов из наличия

у каждого из них *внутреннего периодического процесса*. Этот же мотив с индивидуальными «часами» использовался Фейнманом в популярном изложении интегралов по траекториям [15]. Дополнительное рассмотрение [16, 17] показывает, что именно *периодичность* функции $\exp(i\omega t)$ лежит в основе квантовой механики, а вовсе не некоторая «некоммутативность квантовых наблюдаемых», как было постулировано Дираком в [18].

2. В той же работе [14] де Бройль рассматривает *фиктивную* пространственную волну такую, что в каждой точке пространства-времени её фаза совпадает с фазой внутреннего периодического процесса каждого кванта находящегося в этой точке. Это предположение *стабильности* (также можно сказать *согласованности* или *когерентности*) позволило де Бройлю впервые вывести правила квантования Бора, которые до этого приходилось постулировать.
3. Из предыдущего правила согласования фиктивной волны и внутреннего периодического процесса мы также можем заключить, что два кванта из согласованного ансамбля прибывшие в одну пространственно-временную точку разными траекториями должны иметь там одну и ту же фазу. Сходным образом, два кванта расходящиеся из одной точки по разным траекториям начинают свои пути с общей для них фазой.
4. Идеи де Бройля были использованы Шрёдингером в [1] для обоснования волнового уравнения носящего его имя. Основываясь на оптико-механической аналогии Гамильтона [8, 19], которая связывает классическую механику с геометрической оптикой лучей³, Шрёдингер предположил, что квантовая меха-

³ Для нас, обучавшихся по прекрасной книге Арнольда [20, § 46] может быть несколько неожиданным, что Шрёдингер называет вывод формализма Га-

ника аналогична более физической волновой оптике. Обсуждение этой аналогии в [1] подсказывает, что частота внутреннего периодического процесса кванта является функцией времени и её производная по времени пропорциональна Лагранжиану частицы.

5. Если частота колебаний пропорциональна Лагранжиану L , то изменение фазы вдоль траектории γ будет пропорционально функции действия $S = \int_{\gamma} L dt$. В явном виде это уже высказано Дираком в работе [21] и впоследствии стало основой метода интегралов по траекториям Фейнмана [15, 22]. Хорошо известно, что первоначально подход Фейнмана был холодно встречен сторонниками копенгагенской интерпретации из-за использования запрещённого понятия «траектория». Неприятия было ослаблено только в рамках соглашения, что отдельные траектории являются лишь вычислительными фикциями и «в действительности» каждый квант путешествует по ним всем одновременно. Конечно, в академическом издании [22] не могло быть и речи, что фаза $S/\hbar$ может быть приписана какому-либо внутреннему периодическому процессу отдельного кванта проходящему конкретную траекторию. Тем не менее, именно такой образ создают «вымышленные часы, запускаемые на время, пока летит фотон» в популярном изложении [15], которое было не так сильно сковано официальными рамками.

Введённое в п.3 условие согласования квантового ансамбля является достаточно жёстким. В реальной ситуации точное совпадение фаз может быть ослаблено до всего лишь

их *достаточной* близости. Соответственно, можно ввести меру рассогласования ансамбля суммируя все различия фаз в точках пересечения траекторий. Также возможно рассмотреть взаимодействие квантов при столкновениях, которое будет приводить к увеличению согласованности всего ансамбля подобно движению физического тела к термодинамическому равновесию.

Таким образом мы приходим к

Определение 1. *Квантовый ансамбль* состоит из траекторий проходящих через некоторую область пространства-времени. Каждой точке траектории соответствует *фаза* пропорциональная функции действия. В достаточно *согласованном ансамбле* фазы любых двух траекторий встречающихся в какой-либо точке пространства-времени должны быть достаточно близки.

Наше использование квантовых траекторий вместо локализации частицы в пространстве-времени сходно с рассмотрением ансамблей *квантовых процессов* в книге Никольского [34, §3.3, §12].

Хорошо известно, что интегрирование по траекториям позволяет вычислить волновую функцию квантового объекта совпадающую с результатами квантования по Шрёдингеру или Гейзенбергу–Дираку [22, §3.4]. Более того, подавляющее число траекторий взаимно уничтожают свои вклады в волновую функцию потому, что они прибывают в одну и ту же точку пространства-времени с практически противоположными фазами. Таким образом, та же самая волновая функция получается, если такие взаимно компенсирующие пути будут совместно исключены из рассмотрения. Оставшиеся пути в каждой точке будут иметь фазы близкие к фазе результирующей волновой функции и, поэтому, ансамбль будет достаточно согласован. Это рассуждение показывает, что *для любой волновой функции существует достаточно согласованный ансамбль, который производит эту волновую функцию суммированием по Фейнману.*

Противники ансамблевой интерпретации часто приводят пример *сильно разреженных* ансамблей. Например, для интерферен-

милтона из оптической аналогии «почти забытым в наше время». Однако, мы не будем этому сильно удивляться, если заметим, что обоснование волнового уравнения, сделанное Шрёдингером, сейчас также отсутствует в учебниках—оно или сразу постулируется, или обосновывается такими же постулируемыми «правилами квантования».

ции электрона на двух щелях обсуждают прохождение электронов «по одному»: источник не испускает очередной электрон до тех пор пока не будет поглощён предыдущий [23]. Действительно, в этом случае отсутствуют пересечения путей квантов между собой и нет необходимости (да и возможности) согласовывать их напрямую. Однако, в таком опыте всегда присутствует экспериментальная установка, в частности, её часть вызывающая интерференцию. Её мировая линия пересекает траектории всех квантов и, потому, должна быть частью условия согласования ансамбля. Концептуальная возможность возникновения волновых эффектов для разреженных ансамблей помещённых в такой экспериментальный *контекст* была показана в работах [24–26].

III. ОБСУЖДЕНИЕ И ПРИЛОЖЕНИЯ

Корпускулярно-волновой дуализм материи остаётся камнем преткновения различных подходов к квантовой механике. Среди предлагаемых решений можно найти достаточно радикальные, например, вообще отказать корпускулярным свойствам света в физическом существовании и объявить «фотон» неудачной фикцией на вроде «эфира» XIX века [27].

В этой заметке мы предложили наполнить ансамблевую интерпретацию волновой функции некоторыми изначальными догадками де Бройля и усилить их более поздними методами из фейнмановского интеграла по путям. Перечислим некоторые непосредственные следствия предположенного подхода:

1. Наблюдение волновых явлений у квантовых (дискретных) объектов всегда носит статистический характер и, потому, оно есть совокупное свойство согласованных ансамблей. Волновые свойства никак не могут быть проявлены одной частицей или группой совсем никак не согласованных частиц. Сходным образом, скорость одной молекулы газа не содержит информации о тепловом распределении в рассматриваемом объеме, хотя такая молекула и вносит свой вклад в общую картину. Эта аналогия
2. Волновая функция соответствует согласованному ансамблю квантовых объектов, а именно её амплитуда определяется плотностью пространство-временной локализации объектов. Фаза волновой функции совпадает с фазой кванта в данной точке расширенного конфигурационного пространства и, по сути, совпадает с «фиктивной волной» де Бройля из [14].
3. Акт наблюдения (измерения) одного квантового объекта выявляет его отдельные физические характеристики, например, пространственно-временную локализацию. Это может привести к незначительному возмущению в ансамбле, но никакой полной редукции волновой функции (соответствующей всему ансамблю) при единичном измерении не происходит [35, §14].
4. Из интерпретации исчезают такие парадоксы, как мгновенная передача информации в эксперименте Эйнштейна–Подольского–Розена [36, р.364] и дилемма «жив ли кот Шрёдингера или он скорее мёртв»?
5. Физический смысл имеют фазы (например, как соответствующие каким-то внутренним периодическим процессам) отдельных квантов продвигающихся своим путём. Напротив, волновая функция является всего лишь интегральным показателем всех таких фаз в согласованном ансамбле. Поэтому, нет нужды вводить некий физический носитель вроде поля, который представляет волновую функцию, см. упомянутую выше аналогию с тепловым распределением в физическом теле.
6. Так же нет необходимости в каких-либо дополнительных «пилотных волнах» чтобы сделать обратный переход

от волновой функции к индивидуальной траектории отдельного кванта. Такие конструкции «двойных решений» [28] потребовались де Бройлю после того, как он был вынужден отказаться от своих первоначальных идей под давлением сторонников копенгагенской интерпретации [29, гл. 6], [8, гл. I.6].

Легко заметить, что все предложенные рассуждения базируются на традиционных методах квантовой механики: волновом уравнении Шрёдингера и интеграла по траекториям Фейнмана подсвеченных некоторыми ранними предложениями де Бройля. Это избавляет нас от необходимости делать здесь тщательную проверку на соответствие нашей интерпретации устоявшемуся математическому формализму волновой механики.

Заметим также, что в главном наше рассмотрение переключается с подходом А. Хренникова к ансамблевой интерпретации, см. [5]: вначале ввести некоторую базовую «доквантовую» теорию обладающую реализмом и детерминизмом, а потом получить вероятностное описание процесса путём редукции к волновой функции. Однако, мы (в отличие от [5]) не вводим какой-либо новой доквантовой теории, а вместо этого пытаемся пересобрать конструкцию из элементов, уже давно присутствующих в теме.

Несмотря на то, что мы обсуждаем здесь «всего лишь» вопросы интерпретации, это имеет непосредственное практическое значение. Сейчас активно исследуются возможности квантового шифрования или квантовых вычислений, которые существенно базируются

на предположении, что единичный квантовый объект (кубит) способен вместить в себя всю полноту волновой функции. На эти исследования, учитывая их анонсированные приложения в финансовых и военных сферах, были уже (вы)брошены огромные ресурсы. Поэтому, отсутствие каких-либо осязаемых результатов воплощенных в практических устройствах уже можно засчитать *экспериментальной проверкой* различных теоретических возражений высказанных ранее [26, 30–32]. В частности, такие технологии в принципе не будут работоспособны, если окажется, что волновая функция действительно является только совокупным свойством целого согласованного ансамбля. Поэтому, отсутствие функционального квантового компьютера косвенно подтверждает ансамблевую интерпретацию подобно тому, как закон сохранения энергии выводится из многочисленных (зачастую остроумных, но) бесплодных попыток построить вечный двигатель.

Заключительное наблюдение, которое мы можем сделать из истории с идеями де Бройля, расширяет список причин научного недостроения, указанных в эпиграфе к этой заметке: некоторые элементы не находят подобающего им места ещё и по вполне субъективным обстоятельствам.

БЛАГОДАРНОСТИ

Автор выражает благодарность анонимному рецензенту за полезные замечания, направленные на улучшение текста статьи. Проф. Печенкин указал нам несколько важных источников по теме.

-
- [1] E. Schrödinger, Undulatory theory of the mechanics of atoms and molecules, *Phys. Rev., II. Ser.* **28**, 1049 (1926) .
 - [2] H. Everett, “Relative state” formulation of quantum mechanics, *Rev. Mod. Phys.* **29**, 454 (1957) .
 - [3] N. D. Mermin, Could Feynman Have Said This?, *Physics Today* **57**, 10 (2004), https://pubs.aip.org/physicstoday/article-pdf/57/5/10/8317097/10_1_main.pdf.
 - [4] D. J. Griffiths and D. F. Schroeter, *Introduction to Quantum Mechanics*, 3rd ed. (Cambridge University Press, Cambridge, 2018) .
 - [5] A. Khrennikov, Växjö interpretation of wave function: 2012, *AIP Conference Proceedings* **1508**, 244 (2012), [arXiv:1210.2390](https://arxiv.org/abs/1210.2390) .
 - [6] А.А. Печенкин, Ансамблевые интерпретации квантовой механики в США и СССР, *Вест-*

- ник Московского университета. Серия 7. Философия **6**, 103 (2004) .
- [7] L. de Broglie, Sur les interférences et la théorie des quanta de lumière, *Compt. Rend.* **1975**, 811 (1922) .
 - [8] Л. де Бройль, *Избранные научные труды*, т. 1 (Логос, Москва, 2010) Становление квантовой физики. Работы 1921–1934 годов .
 - [9] Д.И. Блохинцев, Критика идеалистического понимания квантовой теории, *Усп. физ. наук* **45**, 195 (1951) .
 - [10] L. E. Ballentine, The statistical interpretation of quantum mechanics, *Rev. Mod. Phys.* **42**, 358 (1970) .
 - [11] В.А. Фок, К статье Никольского “Принципы квантовой механики”, *Усп. физ. наук* **17**, 552 (1937) .
 - [12] В.А. Фок, О так называемых ансамблях в квантовой механике, *Вопр. философии* **4**, 170 (1952) .
 - [13] В.А. Фок, Об интерпретации квантовой механики, *Усп. физ. наук* **62**, 461 (1957) .
 - [14] L. de Broglie, Ondes et quanta, *Comptes rendus* **177**, 507 (1923) .
 - [15] Р. Фейнман, *КЭД — странная теория света и вещества* (Наука, Москва, 1988) стр. 144 .
 - [16] В.В. Кисиль, Является ли коммутация наблюдаемых главным отличием классической механики от квантовой?, *Известия Коми научного центра УрО РАН. Физико-математические науки* **3(11)**, 4 (2012), [arXiv:1204.1858](#) .
 - [17] V. V. Kisil, Symmetry, geometry and quantization with hypercomplex numbers, in *Geometry, Integrability and Quantization XVIII*, edited by I. M. Mladenov, G. Meng, and A. Yoshioka (Bulgar. Acad. Sci., Sofia, 2017) pp. 11–76, [arXiv:1611.05650](#) .
 - [18] P. A. M. Dirac, On the theory of quantum mechanics, *Proceedings of the Royal Society of London. Series A* **112**, 661 (1926) .
 - [19] L. de Broglie, Sur le Parallélisme entre la Dynamique du Point Matériel et l’Optique Géométrique, *Journal de Physique et le Radium* **7**, 1 (1926) .
 - [20] В.И. Арнольд, *Математические методы классической механики*, 3 изд. (Наука, 1989) .
 - [21] P. A. M. Dirac, The Lagrangian in quantum mechanics, *Phys. Z. Sowjetunion* **3**, 64 (1933) .
 - [22] R. P. Feynman and A. R. Hibbs, *Quantum Mechanics and Path Integral*, (McGraw-Hill Book Company, New York, 1965) .
 - [23] A. Aspect and P. Grangier, Wave-particle duality for single photons, *Hyperfine Interactions* **37**, 1 (1987) .
 - [24] V. V. Kisil, Two slits interference is compatible with particles’ trajectories, in *Quantum Theory: Reconsideration of Foundations*, Mathematical Modelling in Physics, Engineering and Cognitive Science, Vol. 2, edited by A. Khrennikov (Växjö University Press, 2002) pp. 215–226, [arXiv:quant-ph/0111094](#) .
 - [25] A. Y. Khrennikov and Y. I. Volovich, Numerical experiment on interference for macroscopic particles, (2001), [arXiv:quant-ph/0111159](#) .
 - [26] D. R. Hodgson and V. V. Kisil, Deterministic actions on stochastic ensembles of particles can replicate wavelike behaviour of quantum mechanics: Does it matter?, in *Algorithms as a Basis of Modern Applied Mathematics*, edited by Š. Hošková-Mayerová, C. Flaut, and F. Mauro (Springer International Publishing, Cham, 2021) pp. 293–304, [arXiv:1811.05240](#) .
 - [27] W. E. Lamb, Anti-photon, *Applied Physics B* **60**, 77 (1995) .
 - [28] L. de Broglie, The reinterpretation of wave mechanics, *Foundations of Physics* **1**, 5 (1970) .
 - [29] G. Lochak, *Louis de Broglie. Un Prince de la Science* (Flammarion, 1999) .
 - [30] V. V. Kisil, Computation and dynamics: Classical and quantum, *AIP Conference Proceedings* **1232**, 306 (2010), [arXiv:0909.1594](#) .
 - [31] M. I. Dyakonov, State of the art and prospects for quantum computing, in *Future Trends in Microelectronics* (Wiley-Blackwell, 2013) pp. 266–285, [arXiv:1212.3562](#) .
 - [32] М.И. Дьяконов, Будет ли у нас когда-нибудь квантовый компьютер?, в *В защиту науки. Бюллетень*, Комиссия РАН по борьбе с лженаукой и фальсификацией научных исследований No. 21, ред. Е.Б. Александров (ПРОБЕЛ-2000, Москва, 2018) стр. 90–99.
 - [33] A. Pechenkin, The statistical (ensemble) interpretation of quantum mechanics, in *The Oxford Handbook of the History of Quantum Interpretations* (Oxford University Press, 2022) pp. 1223–1246, [on-line](#) .
 - [34] К.В. Никольский, *Квантовые процессы (Quantum Processes)* (ГТТИ, Москва, 1941) (in Russian).
 - [35] Д.И. Блохинцев, *Основы квантовой механики (Foundation of Quantum theory)*, 6th ed., Учебники для вузов. Специальная литература (Наука, Москва, 1983).
 - [36] Л.И. Мандельштам, *Лекции по оптике, теории относительности и квантовой механике (Lectures on optics, relativity and quantum mechanics)* (Наука, Москва, 1972).