

Философски алтернативи Philosophical alternatives

1/2012

ГОДИНА XXI

VOL. XXI

СПИСАНИЕ НА ИНСТИТУТА

ЗА ИЗСЛЕДВАНЕ НА ОБЩЕСТВАТА

И ЗНАНИЕТО ПРИ БАН

Редакционна колегия

Нонка Богомилова (главен редактор), Нина Димитрова (зам.-главен редактор),
Ивайло Димитров, Ина Димитрова, Емилия Маринова, Николай Обрешков,
Добрин Тодоров

Международен редакционен съвет

Рудолф Зиберт (САЩ), Александър Неклеса (Русия), Нейтън Хаузър (Канада,
САЩ), Аксел Хонет (Германия), Кристофър Хукуей (Великобритания)

Editorial Board

Nonka Bogomilova (Editor in Chief), Nina Dimitrova (Deputy Editor in Chief),
Emilia Marinova, Ina Dimitrova, Ivaylo Dimitrov, Nikolay Obreshkov

International Advisory Board

Axel Hohneth (Germany), Christopher Hookway (Great Britain), Nathan Houser
(Canada, USA), Alexander Neklessa (Russia), Nicholas Rescher (USA), Rudolph
Siebert (USA)

ФИЛОСОФСКИ ПОГЛЕД КЪМ ВЪВЕЖДАНЕТО НА ОТРИЦАТЕЛНА И КОМПЛЕКСНА ВЕРОЯТНОСТ В КВАНТОВАТА ИНФОРМАЦИЯ

Abstract:

„Negative probability“ in practice: quantum communication. Very small phase space regions turn out to be thermodynamically analogical to those of superconductor. Macro-bodies or signals might exist in coherent or entangled state. Such physical objects having shockingly extraordinary properties could be in the base of quantum communicative channels or even „material“ ones ... Questions and a few answers about negative probability: Why does it appear in quantum mechanics? It appears in phase-space formulated quantum mechanics; next, in quantum correlations ... and for wave-corpusecular dualism. Its meaning, mathematically: a ratio of two measures (of sets), which *are not collinear*; physically: of the ratio of the measuring of two physical quantities, which *are not simultaneously measurable*. The main innovation is about the mapping between phase and Hilbert space since both are sums. Phase space is a sum of cells, and Hilbert space is a sum of qubits. The mapping is reduced to the mapping of a cell into a qubit and vice versa. Negative probability helps quantum mechanics to be represented quasi-statistically by quasi-probabilistic distributions. The states of negative probability cannot happen, but they, where they are, decrease the sum probability of the integrally positive regions of the distributions. They reflect the immediate interaction (interference) of probabilities in quantum mechanics.

Key words: negative probability, quantum correlation, phase space, transformation between phase and Hilbert space, entanglement, Bell's inequalities

All text in English: <http://vasil7penchev.files.wordpress.com/2010/05/n5.pdf>; <http://vasil7penchev.files.wordpress.com/2010/06/n6.pdf>; (a larger file containing also the audio); <http://vasil7penchev.files.wordpress.com/2010/06/portfolio1.pdf> (a very large file containing the literature, besides).

Главните акценти в тази статия са следните:

1. Отрицателна или комплексна вероятност се появява там, където мерките на две „части“ или на една „част“ и на „цялото“ сключват някакъв ъгъл. Това може да се случи, когато вероятността е геометрична.
2. Отрицателната или комплексната вероятност не може да се изключи от разглеждане в квантовата механика, тъй като всеки квантов обект се състои от две части – вълнова и корпускулярна.
3. Ето защо ефектите на относително „завъртени“ мерки се наблюдават във всеки отделен квантов обект, както и в системи от квантови обекти. Те отразяват непосредственото взаимодействие на вероятности без каквито и да било „скрити“ параметри.

1. Защо се появяват отрицателни вероятности в квантовата механика?

Ето един въпрос и няколко отговора относно отрицателната и комплексната вероятност. Защо се появява в квантовата механика? Появява се при формулирането \square чрез фазово пространство, вместо по обичайния начин чрез хилбертово, после при квантовите корелации и най-сетне – заради вълново-корпускулярия дуализъм. Смесът на отрицателната вероятност, изразен математически, е следният: отношение на две мерки (на множества), които *не са коллинеарни*, ако бъдат разгледани като вектори (очевидно двумерни); или физически: отношението при измерване на две физически величини, които *не са едновременно измерими*.

Може да се даде пример чрез съотношението за неопределеност на Хайзенберг: $\Delta x \Delta p^x \geq \frac{\hbar}{4\pi}$. Негово определение чрез отрицателна вероятност би могло да бъде, че реалната ос на мярката или на x , или на p^x е била завъртяна между двете двойки от измервания, определени чрез $\Delta x = |x_1 - x_2|$ и $\Delta p^x = |p_1^x - p_2^x|$:

II. Появата на отрицателна вероятност във формализма на квантовата механика, използващ фазово пространство, може да се представи схематично посредством съответствие с нейния обичаен формализъм чрез хилбертово пространство или чрез подобно съответствие между техните „атоми“: клетката на фазовото пространство и кубитът на хилбертовото пространство (еквивалентен на една, и то коя да е от неговите безкраен брой „оси“ в общия случай).

Проблемът е преобразуването между двуизмерната клетка на фазовото пространство и кубитът на хилбертовото. Тъй като x и p са едновременно измерими, то клетка може да се преобразува в кубит. Преобразованието на точка в хилбертовото пространство във функция на фазовото пространство е тъкмо функцията на Вигнер (Wigner 1932: 750). Обратното преобразоване на Вигнер е преобразованието на Вайл. Работата на Херман Вайл (Weyl 1927) е исторически първата. Той разглежда абстрактно и математически преобразованието между елемента на хилбертовото пространство и функция от фазовото пространство, но не интерпретира последната като вероятност (както прави Вигнер в работата си пет години по-късно) и не обсъжда факта, че може да получава отрицателни стойности. Преобразуването на Вайл се оказва, че е отчасти аналогична на Дираковата δ -функция (на разпределенията на Шварц).

Сега ще разгледаме време-честотното (= време-енергетичното) преформулиране на функцията на Вигнер, осъществено от Вил (1948):

„Пренасянето на комуникационни сигнали се осъществява посредством пренасянето на енергия, изобщо на електромагнитна или акустична енергия. ... Не самата енергия представлява интерес, а по-скоро промените в тази енергия в хода на времето. Колкото по-сложна е функцията, която представя, като функция на времето, промяната в напрежението, тока, налягането или някакъв друг носител, толкова по-голямо е количеството на информацията, носено от предаваната енергия“ (Ville 1948: 63).

Това е особено важно, що се отнася до квантовата информация, гледаща на всички физически процеси като на информационни не само пренасящи, но бидейки самите те сигнали. Необходимото условие на такава гледна точка е реципрочността на време и енергия (координати и импулси), предполагаема от съотношението за неопределеност на Хайзенберг и следователно от квантовия, дискретен характер на механичното движение.

Ще обсъждаме Ψ -функцията като особен вид комплексен сигнал, все едно два пъти модулиран:

„Комплексните сигнали... могат да се разглеждат като резултат от модулацията на тяхната обвивка чрез носител, който е сам честотно модулиран“ (Ville 1948: 67).

Много важен за нас е следният извод, направен от Вил:

„Всеки сигнал модулиран чрез достатъчно висока честота може да се разглежда като комплексен“ (Ville 1948: 68). Следователно, всеки високо енергетичен физически обект като едно макротяло може да се разглежда като такъв комплексен сигнал, „два пъти модулиран“.

Склонни сме да разгледаме Ψ -функцията в квантовата механика аналогично, а именно като сумата от безкрайна последователност на енергетични константи. Всеки сигнал с достатъчно висока честота и следователно такъв, който може да се обсъжда

като комплексен, два пъти модулиран, е в действителност достатъчно апериодичен. Една определяща част от него се случва, или може е по-добре да се каже, се случва в момента, в даден времеви интервал, който може да се обозначи като „тук и сега“. Следователно, време-честотният анализ, от една страна, и Ψ -функцията, от друга, но в тясна връзка с първата, произтича от „материалната частица“ на класическия анализ, при това също така помагаща да се изясни нейният смисъл вътре в много по-широки граници, онези на квантовото обобщение. Материалната частица все още остава локализирана, но вече единствено отчасти сама, посредством дуалността гладко превръщайки се във вълна и също така – от изолирана и определена част в самата и единствена тоталност. По този начин и напълно по гибсовски цялото като множество от своите неадитивни части вече еквивалентно се мисли като единството на съответните възможни състояния на цялото, или „света“, евентуално корелиращи помежду си.

Естествен е въпросът, ако сигналът е комплексен, то къде трябва да се разположи „границата“ между двете модуляции и от какво се детерминира тя. С други думи, къде е границата между частта от сигнала, пренасяна от амплитудата и амплитудната модулация и нейната алтернативна част, пренасяна от честотата или фазата чрез съответната модулация. Посоката на отговор, следвайки Вил, е следната:

„Пропозицията, която ще следва да се използва, е самата тя непосредствено следствие от факта, че комплексен сигнал се характеризира чрез особеността да има спектър, чиято амплитуда е нула за отрицателни честоти“ (Ville 1948: 68–69).

Посредством вълново-корпускуларните „очила“, предопределящи съответна перспектива, такъв тип отговори има очевидна и проста интерпретация: амплитудата и амплитудната модулация кодира свойствата на частица на един квантов обект, докато честотата и фазата (честотната или фазовата модулация) кодира нейните вълнови свойства. Така се подсказва обобщението на Кохен на функцията на Вигнер:

„Сега питаме какво прави аналитичната процедура в термините на избиране на особена амплитуда и фаза, т.е. какво е особеното относно амплитудата и фазата, което прави един сигнал комплексен? Говорейки общо, отговорът е, че спектралното съдържание на амплитудата е по-ниско от спектралното съдържание на $e^{j\varphi(t)}$ “ (Cohen 1995: 35). Тогава можем да ограничим спектъра на амплитудата вътре във фиксиран честотен интервал, съответстващ на въведеното по-горе „сега“.

Разделянето, характерно за всеки комплексен сигнал между част, пренасяща чрез амплитудата, и част, пренасяща чрез честотата и фазата предлага една нова идея и даже по-решително обобщение, както и произлизаща от нея интерпретация. Осъществено е разделяне между „крайно“ и „безкрайно“ в аритметичен, теоретико-множествен и метаматематически смисъл или между „синтактично“ и „семантично“ в логически аспект. Например числото на амплитудата е третирано като сигнал и следователно като кодирана информация на някакъв краен синтаксис или аксиоматично-дедуктивното ядро на определено множество от тавтологии, т.е. като логика (независимо дали в абсолютен или в относителен смисъл, т.е. като „логиката на А“, логиката на определена тематична област). По-подробно развитие на подобни идеи ще се направи с следваща статия.

Намекнатата широка генерализация и интерпретация ни помага да се насочим към обобщението на Кохен чрез философския му смисъл да се управлява разделянето между ниски и високи честоти:

„Следователно това, което аналитичната процедура прави... е да постави нискочестотното съдържание в амплитудата, а високочестотното съдържание – в члена $e^{j\varphi(t)}$ “ (Cohen 1995: 36).

Математически такова управление се осъществява чрез „функцията ядро“ [kernel function]:

„Походът характеризира време-честотни разпределения чрез допълнителна функция, функцията ядро. Свойствата на едно разпределение се отразяват чрез прости ограничения на ядрото, а чрез изследване на ядрото лесно могат да се получат свойствата на разпределението. Това позволява да се вземат и изберат онези ядра, които пораждат разпределения с предписани, желани свойства. Този общ клас може да се изведе по метода на характеристичните функции“ (Cohen 1995: 136).

Това ядро може да се тълкува като филтър, позволяващ да се разделят амплитудата (или времето) и честотно-фазовият компонент помежду им. Обаче може също така да се тълкува като външно влияние на друг квантов обект, т.е. представящ сдвояване или неговата степен в духа на квантовата информация.

Методът и степента на разделяне между времевите моменти се регулира от фундаменталната константа на скоростта на светлината във вакуум. От такава гледна точка пространството на Минковски представя областта на автокорелации, т.е. на възможно физическо взаимодействие. Чрез дуалност тя се представя по два алтернативни начина: без корелации, т.е. чрез дифеоморфизми според принципа на относителност на Айнщайн, и също така с корелации, т.е. по стандартния начин на квантовата механика, при което функцията на Кохен се свежда до тази на Вигнер, тъй като ядрото е константата 1.

По-нататък е очевидно, че ако „правата“ функция на Вигнер може да се обобщи, то аналогично може и обратната, т.е. преобразованието на Вайл, и това е направено от Кохен в по-късна работа (Cohen 2008: 260).

Начинът на мислене на Кохен е добре да се има предвид, обсъждайки статистически идеи на Груневолд (Groenewold 1946). Същността им е резюмирана от него самия както следва:

„Проблемите ни са относно:

➤ α съответствието a – a между физически величини a и квантови оператори a (квантуване)

➤ β възможността за разбиране на статистическия характер на квантовата механика чрез осредняване по еднозначно детерминирани процеси както в статистическата класическа механика (интерпретация)“ (Groenewold 1946: 405).

α , съответствието a – a (квантуването) в действителност поражда два вида проблеми относно физическите величини a :

➤ a не е непрекъснатата функция (или е прекъснатата, или е обобщена, т.е. е разпределение);

➤ съществуват величини a , чието произведение не е комутативно.

Трудностите с α (квантуването на физически величини) се отразяват в същата степен в β (статистическото описание). Появява се отрицателна вероятност за някои състояния, но те се интерпретират лесно физически чрез региони на частично припокриване между ортогонални вероятностни разпределения.

Главните идеи на статистическия подход на Моял (Moyal 1949) биха били представени чрез няколко значими цитата:

„Класическата статистическа механика е, обаче, само специален случай в общата теория на динамичните статистически (стохастични) процеси. В общия случай, има възможност за ‘дифузия’ на вероятността ‘флуид’, така че преобразованието с времето на вероятностното разпределение няма нужда да бъде детерминистично в класически смисъл. В тази работа, ще опитаме да интерпретираме квантовата механика като форма на такава обща статистическа динамика“ (Moyal 1949: 99).

Отрицателната вероятност се появява „ефективно“, т.е. ограничаване на степените на свобода (СС) на всеки от всеки квантов обект, ако помежду им има корелация. Механизмът на такова преобразование се обсъжда по-надолу.

Квантовата алегория на живата-и-мъртва котка ни помага да разберем действителното състояние като ограничаване степените на свобода на всички възможни състояния и следователно обратно, квантови корелации да се предположат между състоянията, образуващи коя да е квантова суперпозиция и отгук, като механизма на мистичния „колапс“ на вълновия пакет в течение на реалния процес на измерване.

Теоремата на фон Нойман (1932) относно отсъствието на скрити параметри в квантовата механика лежи в основата и на квантовите корелации, и на квантовата суперпозиция. Нейният извод е: „Няма ансамбли, които да са свободни от дисперсия. Има хомогенни ансамбли...“ (Neumann 1932: 170). Следователно, няма хомогенни ансамбли, т.е. например такива от една отделна бездисперсна величина. Всяка величина има дисперсия, която не се дължи на някаква причина, на някакъв скрит параметър. Предпоставките на теоремата, обяснена от самия фон Нойман са шест (Neumann 1932: 165–167).

Би трябвало да подчертаем съответствието „едно-към-едно“ между такава математическа същност като хипермаксимален оператор и физическа същност като величината. „За всяка величина от една квантово-механична система има съответствие с един-единствен хипермаксимален оператор, както знаем... и е удачно да се приеме, че това съответствие е едно-еднозначно, т.е. че действително всеки хипермаксимален оператор съответства на физическа величина“ (Neumann 1932: 167).

Каква е връзката между теоремата на фон Нойман и отрицателната вероятност? Чрез въвеждане на отрицателна вероятност очакването е неадитивно в общия случай, предпоставките на теоремата не са изпълнени и дедукцията не е валидна.

Ето няколко еквивалентни израза за границите на валидност на теоремата на фон Нойман:

1. Неотрицателна вероятност
2. Ортогонални възможни състояния
3. Отделени „светове“
4. Изолирана квантова система
5. Адитивност на очакването

Критиката на Бел (1966) относно теоремата на фон Нойман отчасти преоткрива възраженията на Грете Херман (1935) и е изключително важна за изясняване на връзката между причинност, квантова корелация и отрицателна вероятност: „Преразглеждат се доказателствата на фон Нойман и други, че квантовата механика не позволява интерпретация чрез скрити параметри. Показва се, че техни съществени аксиоми са необосновани. Подчертава се, че при по-нататъшно изследване на този проблем интересна аксиома би била, че взаимно отдалечени системи са независими помежду си“ (Bell 1966: 447). „Неговото съществено допускане е: *Всяка реална комбинация на кои да е два ермитови оператора представлява наблюдаема и същата линейна комбинация на очакваните стойности е очакваната стойност на тяхната комбинация.* Това е вярно за квантово-механични състояния; то се изисква от фон Нойман също така и за хипотетичните бездисперсни състояния“ (Bell 1966: 448–449).

Идеята на неравенствата на Бел (1964) може да се изрази чрез отрицателна вероятност. Тъй като теоремата на фон Нойман е валидна само за неотрицателна вероятност (адитивност на очакването), а квантовата механика позволява отрицателна вероятност, идеята е областта на валидност на теоремата да се описва чрез неравенство за общото

очакване на две величини (спинът на две частици) чрез отделните очаквания за всяка от величините според условията АПР (Bell 1964: 198).

В светлината на теоремата на фон Нойман, работата на Бел (1966) разкрива, че едно евентуално нарушение на неравенствата по-горе би изисквало обобщение на понятието за скрит параметър, въвеждайки нелокални скрити параметри. Главните стъпки са:

1. Теоремата на фон Нойман – също като теориите за скрити параметри – ги интерпретира като локални само имплицитно.

2. Неравенствата на Бел обсъждат разграничението между локални и нелокални скрити параметри, защото квантовата механика позволява нелокални скрити параметри.

Понятието за нелокални скрити параметри предполага понятието за външност на система, разглеждайки я като нестандартна, а именно външна част от „околната среда“ на системата: не всяка външна околност, а само малка (от порядъка на няколко \hbar), при това съответно, само във фазовото пространство. В съответна малка околност на пространството на Минковски лоренцовата инвариантност не е валидна. Следните три фигури изясняват това:

Темата може да бъде илюстрирана чрез понятието за абсолютно неподвижно тяло: неопределеността на Хайзенберг изключва всяко абсолютно неподвижно тяло както и всеки точно постоянен фазов обем. Едно тяло е очертано по-скоро от неопределена „аура“ или „ореол“, отколкото чрез рязък контур. Аура е очертана вътре във фазовото пространство и нейната величина е сравнима с константата на Планк. Тя обхваща състояния с отрицателна вероятност, които „изблъскват“ състоянията на всички други тела отвъд областта на контура:

Понятието за ефективна вероятност ни помага да прехвърлим мост между физическото 'взаимодействие' и математическата 'вероятност'. Именно ефективната вероятност оказва влияние от дадена вероятност върху друга. Ефективната вероятност е една вероятностна „сила“, посредством която взаимодействат две или повече вероятности. Още с Дирак (Dirac 1942: 8) отрицателната вероятност се мисли тъкмо по-скоро като ефективна вероятност, отколкото като „реалната“ вероятност на каквото и да е:

Отрицателната вероятност се уподобява на „отрицателни пари“, доколкото те са конструируеми да се изчисли „балансът“, но без при това да съществуват реално. Следвайки Мермин (Mermin 1998), най-малкото бихме могли да поставим въпроса за съществуване на отрицателната вероятност или на вероятността изобщо като нова, нестандартна, но може би вездесеща, универсална и всеобхватна субстанция, включваща материята и енергията, които са обичайните и общоприети субстанции във физиката.

Двата аспекта се символизируют от аргумента АПР и „котката на Шрьодингер“, съответно на две или повече „вероятностно“ взаимодействащи системи и на суперпозицията на състоянията на една-единствена и изолирана система, и предполагат скулемовски тип относителност, изолираност и взаимодействие, както и едно разширяване на теоремата на фон Нойман: нейно следствие след обобщаването \square от една към две или повече взаимодействащи системи и непосредственото взаимодействие на вероятности:

Необходимото и достатъчно условие за непосредствено вероятностно взаимодействие е да се споделят общи възможни състояния с ненулева вероятност. Същата еквивалентност се отнася до суперпозицията на всички състояния на една изолирана система. Понятието за „ефективна вероятност“, или по-частното, но оставащо тясно свързано понятие за „отрицателна вероятност“, открива общата субстанция на това „единосъщие“ в споменаваната както по-горе, така и надолу скулемовска относителност:

Обаче ореолът от отрицателна вероятност също така „изблъсква“ всяка от двете системи към състоянията с отрицателна вероятност. Те стават относително по-вероятни.

Следователно, относителността (както скулемовска, така и айнщайновска) посредством отрицателната вероятност открива интимния механизъм на всяко физическо взаимодействие, винаги проявяващо се в крайна сметка чрез ограничаване степените на свобода на всяка система, участваща във въпросното взаимодействие.

Имаме два вида описание – статистическо и стандартно, които са еквивалентни.

Отрицателната вероятност е единият от двата начина да се представи физическата реалност, която съответства по-скоро на болцмановско статистическо разглеждане, отколкото на гибсовско. Съответно, съществуват два вида техни онтологически проекции:

Онтологично сравнение на статистическия и стандартния формализъм



Фиг. 2. Статистическият срещу стандартния формализъм

Статистическият формализъм позволява да се изчисляват заедно едновременно неизмерими величини според стандартния формализъм. Теоремата на Кохен и Шпекер показва, че еднородните величини имат дисперсия даже и при величини, едновременно измерими в математически смисъл и съответно, не може да има „скрити параметри“.

Теоремата на Кохен и Шпекер може да се обсъжда също и като едно обобщение на теоремата на фон Нойман по следния начин:

- Теоремата на фон Нойман (Neumann 1932: 157-173) се отнася до изолирани системи и едновременно неизмерими величини.
- Теоремата на Бел изяснява влиянието на отсъствието на скрити параметри във взаимодействащи системи.
- Теоремата на Кохен и Шпекер се отнася до изолирани системи и едновременно измерими величини; дисперсията на еднородни величини се обуславя от квантовите „скокове“.

Двамата автори формализират понятието за едновременна измеримост: Кохен и Шпекер (Kochen, Specker 1967: 63) интерпретират едновременната измеримост като наличност на обща мярка, което изисква мярката на множеството от точките на прекъсване (квантовите скокове) да бъде нула, т.е. едновременно измеримите величини да не са непрекъснати, а *почти* непрекъснати. Те доказват при такова условие, че хомогенните величини имат необходима дисперсия, т.е. няма скрити параметри.

По-нататък, няма никакъв хомоморфизъм на алгебрата на твърденията относно комутиращи квантови величини в булева алгебра. Следва непосредствен извод: няма изображение на кубит даже от две едновременно измерими величини в бит. Съществува формула от пропозиции, която е класическа формула, но която не е истина след заместване с квантови пропозиции.

Теоремата на Кохен и Шпекер е свързана със скулемовската относителност на дискретно и непрекъснато (@). В § 5 на своята работа се конструира модел със скрити параметри в хилбертово пространство с две измерения за частица със плуцъл; обаче няма такъв модел според теоремата на фон Нойман (Kochen, Specker 1967: 74–75). Този модел със скрити параметри е изоморфен в действителност на изображението на кубит в бит. Непосредственият извод е: има изображение на кубит от две едновременно измерими величини. Обяснение би било, че понятието за едновременна измеримост неявно въвежда скулемовска относителност.

Фактически вълново-корпускуларният дуализъм в квантовата механика е форма на скулемовска относителност на дискретно (в квантовата механика) и непрекъснато (в класическата физика). Т.е. скулемовски тип относителност се появява също така и между наличието и отсъствието на скрити параметри. Един кубит може и не може (по скулемовски) да се представи като бит (Kochen, Specker 1967: 70, esp. „Remark“).

IV. Отрицателна вероятност поради вълново-корпускуларния дуализъм

Би трябвало да се върнем към работата на Айнщайн (Einstein 1905) относно масата и енергията:

„Ако тяло отдаде енергия L под формата на излъчване, то неговата маса намалява с L/V^2 . При това очевидно е несъществено, че отделената от тялото енергия преминава именно в енергия на излъчването, така че достигаме до общия извод: масата на едно тяло е мярка за неговото енергийно съдържание; ако се промени енергията с L , то се променя масата в същия смисъл с $L/9.10^{20}$, ако енергията се измерва в ергове, а масата в грамове“ (Einstein 1905I: 641)².

По-нататък ще съпоставим казаното по-горе с не по-малко известната работа от същата година (Einstein: 1905Ü) относно квантите и енергията, посредством което ще търсим връзка между маса и енергия:

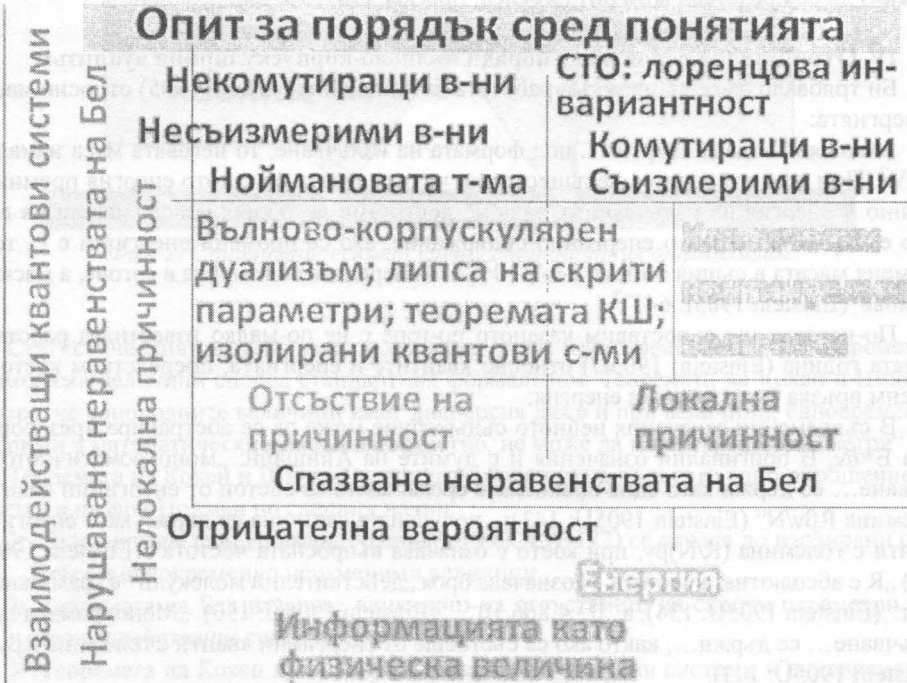
В съвременни означения нейното съдържание може да се абстрахира чрез формулата $E=\hbar\nu$. В оригинални означения и с думите на Айнщайн: „монохроматичното излъчване... се държи като една прекъсната среда, която се състои от енергийни кванти с големина $R\beta\nu/N$ “ (Einstein 1905Ü: 143); „получената светлина се държи като енергийни кванти с големина $(R/N)\beta\nu$, при което ν означава въпросната честота“ (Einstein 1905Ü: 144) „ R е абсолютната честота, N означава броя „действителни молекули“ в грам-еквивалент“ (Einstein 1905Ü: 134), а „ $\beta=4.866.10^{-11}$ “ (Einstein 1905Ü: 136). „Монохроматичното излъчване... се държи..., както ако се състоеше от енергийни кванти с големина $R\beta\nu/N$ “ (Einstein 1905Ü: 143).

² $V=3.1010$ [cm/s] е скоростта на електромагнитна радиация във вакуум.

Светлината е дискретна (корпускуларна) в своето взаимодействие с материята, но е непрекъснатата (вълна) като среда „сама по себе си“, която се разпространява в пространството. Квантовата механика пренася отначало това свойство, формулирано за електромагнитната радиация, за всички кванти, и всъщност за всички физически обекти. След това отделянето в различни отношения се изоставя, заместено от описание с Ψ -функции. Хипотезата за скритите параметри от такава гледна точка съхранява първоначалното и вече ясно формулирано мнение на Айнщайн (Einstein 1905) да бъдат отделени двата противоречащи аспекта на непрекъснатост и дискретност и следователно *да се отделят в различни отношения*.

Следователно, енергията по Айнщайн е вече определена по два несъвместими начина: като непрекъснатата величина на масата и като дискретен брой кванти. Механичната енергия в класическата физика е сумата от кинетична и потенциална енергия: $E = E_k(p) + E_p(x)$. Пренесено в квантовата механика, тя е сума от функции на импулса и положението, които са едновременно неизмерими. Сумата се измерва по трети начин, чрез честотата (Neumann 1932: 256, Anm. 164). Фон Нойман (1932: 164) вече е посочил, че некомутируемостта вече се отнася до умножението, не до събирането на оператори и е дал примера (точно по-горе) за енергията като сума от едновременно неизмерими величини. Едно възможно решение е появата на дискретност (кванти) в квантовата механика да се припише на сумата или наличието на некомутиращи (едновременно неизмерими) величини.

Преди да преминем към Айнщайновия принцип на обща относителност, нека се опитаме да „подредим“ понятията:



Фиг. 3. Опит за подреждане на понятията

Айнщайн (Einstein 1918) формулира двата първи принципа на общата относителност както следва: „а) *Принцип на относителността*: Законите на природата са само израз за време-пространствени съвпадения; затова те намират своя единствен естествен израз във всеобщо-ковариантни уравнения. б) *Принцип на еквивалентността*: Инерция и тежест са едносъщностни“ (Einstein 1918: 241).

Айнщайн преформулира принципа на относителност на математически език като инвариантност на физическите закони спрямо дифеоморфизми, следователно преместванията в пространството могат да бъдат само плавни, т.е. дори не просто непрекъснати, да не говорим за дискретни, и затова инвариантност спрямо дискретни преобразования няма нужда да се търси, тъй като била само излишно украшение. Оттук величината скорост е винаги определена, а ненадвишаването на скоростта на светлина във вакуум – универсален закон.

По същество по такъв начин дискретните трансформации са изключени. Те обаче са същественият предмет на квантовата механика. Следователно, обединяването на квантовата механика и теорията на относителността може да се изследва като обобщение на инвариантността спрямо по-широк клас от морфизми, който би трябвало да включва дискретните.

Вълново-корпускуларният дуализъм, разгледан като определен тип обобщение по отношение на принципа на относителността, въвежда отрицателни вероятности. Може да се предложи следната хипотеза: че всяко релевантно обобщение на принципа на относителността, което включва дискретни морфизми, би трябвало да въвежда отрицателни вероятности.

Принципът на общата относителност (1918): Първоначалният вариант (Einstein 1918: 243) на основното уравнение е: $G_{\mu\nu} = -k (T_{\mu\nu} - \frac{1}{2} g_{\mu\nu} T)$. Поправеният вариант (Einstein 1918: 243) с космологичната константа λ е: $G_{\mu\nu} - \lambda g_{\mu\nu} = -k (T_{\mu\nu} - \frac{1}{2} g_{\mu\nu} T)$. Ето едно възможно обобщение на принципа на относителността и въвеждане на отрицателна вероятност. Неговите три последователни равнища са както следва:

1. $\lambda = 0$ ($\lambda g_{\mu\nu} = 0$)

2. $\lambda g_{\mu\nu} = \lambda (g_{\mu\nu})$

3. $\lambda g_{\mu\nu} = f(g_{\mu\nu})$

Съществува връзка между всяко възможно обобщение на относителността и отхвърлянето (или обобщението) на така наречения (от Айнщайн) принцип на Мах:

„с) *Принцип на Мах*: G-полето е *напълно* определено чрез масите на телата. Тъй като масата и енергията според резултатите на специалната теория на относителността са равни и енергията се описва формално чрез симетричния енергиен тензор ($T_{\mu\nu}$), то това значи, че материята е обусловена и определена от енергийния тензор“ (Einstein 1918: 241–242).

Изглежда че разширяването на принципа на обща относителност по Айнщайн (въвеждайки отрицателни вероятности) води до ограничаване валидността или до обобщаване на принципа на Мах. Породеното от отрицателните вероятности ограничение на степените на свобода на една система може да бъде еквивалентно приравнено на енергия и оттук на маса. Заради формулата $E = \hbar \nu$ честотата ν би трябвало да се тълкува като плътност на информационния обмен между частите на системата (т.е. битове за единица време).

Некомутируемостта, вълново-корпускуларният дуализъм (и чрез него, отхвърлящата принципа на Мах материална или физическа информация) и „скритите параметри“ могат да бъдат съпоставени, и то не твърде трудно:

➤ Некомутируемостта е достатъчно, но не необходимо условие за дискретност (кванти) и оттук, за вълново-корпускуларния дуализъм.

- Вълново-корпускулярният дуализъм е необходимо и достатъчно условие за отсъствието на локални скрити параметри, както и за нелокални.
- Въвеждането на нелокални скрити параметри по Бел влече нарушаване на вълново-корпускулярния дуализъм: т.е. вече не е всеобщо валидно неговото изискване, или само „вълни“, или само „частици“.
- Математическата некомутируемост се интерпретира като едновременна несъизмеримост на съответните величини.
- Съизмеримостта на физическите величини се интерпретира като математическа съизмеримост, т.е. като наличие на обща мярка.
- Бидейки интерпретирана, наличността на обща мярка покрива случаите както на непрекъснати величини, така и на техни дискретни скокове.

Връщайки се сега обратно към фиг. 3 и към нашия опит за подреждане на понятията, бихме могли вече да погледнем към теоремата на Кохен и Шпекер като обобщение на теоремата на фон Нойман:

Опит за порядък сред понятията

	Некомутиращи в-ни	СТО: лоренцова инвариантност
	Несъизмерими в-ни	Комутиращи в-ни
причинност	Ноймановата т-ма	Съизмерими в-ни
	Вълново-корпускулярен дуализъм; липса на скрити параметри; теоремата КШ; изолирани квантови с-ми	

Фиг. 4. Теоремата на фон Нойман и теоремата на Кохен и Шпекер

Ясно се вижда една скулемовска относителност на „скритите параметри“. Ако теоремата на Кохен и Шпекер е еквивалентна на вълново-корпускулярен дуализъм, то самото отсъствие на скрити параметри в квантовата механика би трябвало да се разглежда като еквивалентно на една скулемовска относителност на континуално и дискретно. Техният контрапример, който обаче е контрапример и на собствената им теорема, показва, че даже самото отсъствие на скрити параметри е относително. Следователно, дори самата относителност на континуално и дискретно е също така относителна, което представлява своеобразна „суперскулемовска“ относителност.

Можем да въведем термина „контрамоция“, зает от романа на А. и Б. Стругацки „Понеделник започва в събота“ (1965), за да илюстрираме противоположните посоки на дискретно и континуално от вълново-корпускулярен дуализъм:

Романът представя един двулик образ, недвусмислено наречен Янус. Всяко негово лице обаче е отделено в изолирано тяло и те никога не са заедно на едно и също

място и по едно и също време. Всяко тяло е различен човек, съответно Янус-Администратор (А-Янус) и Янус-Учен (У-Янус). В един отдалечен момент от бъдещето Янус ще успее (гледната точка на А-Янус) или е успял (тази на У-Янус) да се обърне по отношение на стрелата на времето. На рамото му неговият папагал Фотон ще стои (е стоял) в онзи момент, ето защо той ще се трансформира (се е трансформирал) също в „контрамот“.

Така А-Янус с целия останал свят се движи „правилно“ по посоката на времето, но У-Янус и Фотончо, бидейки контрамоти, се движат „обратно“ спрямо стрелката на времето. Обаче има още едно обстоятелство: контрамоцията е прекъсната. Точно в полунощ У-Янус взема папагала със себе си, остава сам в дълбок в покой и... и двамата прескачат в предния ден, вместо да преминат в следващия ден като всички нормални хора, включително А-Янус.

Следователно, героят на Янус с неговите две лица, възплътени в два персонажа, може да бъде интерпретиран като алегория на вълново-корпускулярен дуализъм, посочвайки възможността двата аспекта да бъдат алтернативно отделени напред и назад във времето.

От прекъснатата контрамоция следва отрицателна вероятност, тъй като двете мерки, съответно на дискретното и непрекъснатото движение, са насочени противоположно.

В рамките на шегата, по този начин можем да съчиним нова, и то квантова басня, „Папагал и котка“, съчетавайки папагала на Стругацки и котката на Шрьодингер. Условието на нейната поука е: контрамоцията е достатъчно, но необходимо условие за кохерентна суперпозиция. Нашата алегория би била следната: Шрьодингеровата котка е изяла Фотончо, папагала – контрамот (доста черен хумор).

Концепцията на П. Дирак (Dirac 1942) ни помага да поставим въпроса относно онтологичния статус на отрицателната вероятност или, фигуративно казано, дали отрицателната вероятност може да бъде „изядена“, и по такъв начин „пренесена“, бидейки по-скоро свойство на материално нещо (като папагала „Фотончо“), отколкото отношение между две или повече неща:

„Отрицателните енергии и вероятности не би трябвало да се разглеждат като безсмислица. Те са добре дефинирани математически понятия като отрицателна сума пари, тъй като уравненията, които изразяват важните свойства на енергиите и вероятностите, все пак могат да се използват, когато те са отрицателни. Следователно, отрицателните енергии и вероятности би трябвало да се разглеждат като неща, които не се появяват в експерименталните резултати“ (Dirac 1942: 8). Що се отнася до бозоните „има допълнителната трудност, че състоянията с отрицателна енергия се случват с отрицателна вероятност“ (Dirac 1942: 1). Очевидно, позицията на Дирак е в полза на единствено относителната природа на отрицателната вероятност, или с неговите думи – само „като отрицателна сума пари“ в техния баланс.

Бих споменал статията на Файнман (Feynman 1991), която е често цитирана. Той не отива отвъд подхода на Дирак за въвеждане на отрицателните вероятности само конвенционално, в хода на изчисленията, по подобие на „отрицателните пари“, които имат смисъл по отношение на обичайните, съществуващи пари, но не и сами по себе си. Той дава много примери от класическата и квантовата физика. В тях отрицателната вероятност означава, че случването на едно събитие намалява от осъществяването на друго: т.е. отрицателната вероятност би могла да има само относителен характер.

Много по-интересно е разглеждането на отрицателната вероятност от Паули (Pauli 2000: 71–72) относно. Във връзка с теорията на Гупта-Блърер Паули обсъжда въведенията от нея формализъм с „отрицателни вероятности“. Нормата и очакването са обобщени.

Подходът на теоремата на Рис за представянето може да се използва за много важни заключения относно операторната мярка η и нейната физическа интерпретация. Тази теорема установява твърде съществена връзка между хилбертовото пространство и неговото (непрекъснато) дуално пространство: ако базовото математическо поле е на комплексните числа, както е в квантовата механика, двете пространства са изометрично анти-изоморфни.

Всички физически величини могат да се тълкуват като такива операторни мерки, както означената с η , ограничавайки ги до множеството от ермитови оператори. Целият видим свят от много различни и разделени неща е това множество, т.е. ясно ограничен клас от трансформации на цялото върху и вътре в себе си. Естествен въпрос е относно интерпретацията на пълния, а не на ограничени клас от трансформации на цялото. Отговорът е: техните състояния, т.е. всички Ψ -функции, самото цяло, са представени от хилбертовото пространство. Нещо повече, то е именно онова множество, чиито трансформации изцяло го представят, следователно го образуват. То е самодостатъчно и пълно в следния философски смисъл: неговите изменения се съдържат изцяло вътре в него самото и поради това неговата цялост не имплицира своя външност, спрямо която да е цяло, а то е цяло отвътре, т.е. само по себе си, то е онтологична, същностна цялост. Говорейки математически, неговите трансформации са изоморфни на самото него. Че това е случаят, може да се демонстрира чрез следното изображение:

Изобщо, едно-еднозначно съответствие е валидно между всеки оператор в хилбертовото пространство и точка в него. Тензор от всяка крайна валентност може да се представи като оператор в хилбертовото пространство и следователно, като точка в него.

Необходимостта да се интерпретира физическата еднородност на имагинерния член ни връща обратно към Айнщайновите две „несъвместими“ гледни точки и за дискретни кванти, и за диференцируеми, следователно непрекъснати, механични движения (морфизми), бидейки все пак свързани от енергията – Янус с две лица: потенциалната енергия, зависеща само от координатите и по този начин предполагаща дискретно понятие за телата, и освен това кинетична енергия, зависеща само от скоростите и така предполагаща непрекъснатост за движението на тези тела. Би трябвало да се подчертаят две иновативни и даже революционни точки:

1. Вълново-корпускулярият дуализъм на квантовата механика вече съществува имплицитно в класическата механика като двата аспекта на тяло или на неговото движение; или на неговата потенциална или кинетична енергия. Именно константата на Планк и Хайзенберговата неопределеност принуждават двата аспекта да се преобразуват един в друг, без да е възможно да се дадат отделно и после да се събират, както е в класическата механика и физика. Случаят е такъв, че посочва скрита обща същност зад макро-видимото като тяло и негово движение. Сякаш квантовата механика поради константата на Планк се концентрира на границата помежду им, която се оказва, че е по-скоро област, отколкото контур, вътре в която корпускулярият тяло и неговото непрекъснато (като вълна) движение са едно и също, а именно един-единствен квантов обект. Отрицателната вероятност описва непосредственото взаимодействие на вероятности, което превръща тяхното отношение, каквото е информацията, във физическа реалност.

2. Изтъкнатата по-горе физическа еднородност на имагинерния член поради физическата величина енергия подсказва, че не само масата и енергията, но също така и времето споделят обща същност и следователно едно тяхно взаимно превръщане, подобно на това между първите две, би могло или даже би трябвало да се допусне.

В духа на една скулемовска относителност (Skolem 1970: 138; Пенчев 2009: 307–325) всяка система от две или повече сдвоени е възможно еквивалентно да се представи и като

независима, изолирана, неделима, и като произволен оператор (една операторна мярка η), преобразуващ точка на хилбертовото пространство в такава от това на друга система.

Заклучението, направено по-горе, влече в частност (сдвояване = 0), че всяка измерена стойност на величина в системата 'апарат – квантов обект' е 'обективната стойност' на величината на квантовия обект: няма скрит параметър, който да определя детерминистично сред нейните случайни стойности. Ермитовият характер на всяка физическа величина обобщава изискването, че стойността е в точно даден момент от времето също и за дискретните функции.

Ψ -функцията показва, че една квантова величина може да получи крайни ненулеви стойности само върху област, чиято обща мярка е нула. Отсъствието на скрит параметър се дължи в крайна сметка на нулевата мярка на всяка област с ненулеви стойности. Нулевата мярка на всяка област с ненулеви стойности е математическият път да се представи съотношението за неопределеност. Всяка Ψ -функция може да се интерпретира като операторната мярка η на квантов обект, сдвоен със своето външно обкръжение.

Вместо изводи (тъй като необходимите бяха споменати още в началото и в резюмето), няколко въпроса:

1. Дали отрицателната вероятност е само математическо построение или съществуват физически обекти с отрицателна вероятност?

2. Дали отрицателните вероятности и чистите отношения (т.е. онези, които не могат да се сведат до предикации) еквивалентно изразяват едно и също нещо по различен начин?

3. Дали отрицателните вероятности влекат физическото съществуване на вероятностите?

4. Може ли вероятности да взаимодействат непосредствено (т.е. без каквото и да било физическо взаимодействие на неща, явления, събития, притежаващи тези вероятности)?

5. Дали физически съществуващата информация е еквивалентна на взаимодействието на вероятности?

ЛИТЕРАТУРА

- Пенчев, В. 2009. *Философия на квантовата информация. Айнщайн и Гьодел*. София: ИФИ-БАН.
- Bell, J. 1964. On the Einstein – Podolsky – Rosen paradox. *Physics* (New York), 1, 195–200. Also in: Bell, J. *Speakable and unspeakable in quantum mechanics: collected papers in quantum mechanics*. Cambridge: University Press, 1987, 14–21.
- Bell, J. 1966. On the Problem of Hidden Variables in Quantum Mechanics. *Reviews of Modern Physics*. Vol. 38, No 3 (July), 447–452. Also in: Bell, J. *Speakable and unspeakable in quantum mechanics: collected papers in quantum mechanics*. Cambridge: University Press, 1987, 1–13.
- Cohen, L. 1966. Generalized phase-space distribution functions. *Journal of Mathematical Physics*. Vol. 7, № 5, 781–786.
- Cohen, L. 1989. Time-Frequency Distributions – A Review. *Proceedings of the IEEE*. Vol. 77. № 7, 941–981, 1989.
- Cohen, L. 1995. *Time-Frequency Analysis*. New York: Prentice-Hall.
- Cohen, L. 2008. The Weyl transformation and its generalization. *Rendiconti del Seminario Matematico. Università Politecnico di Torino*, Vol. 66, № 4, 259–270.
- Dirac, P. 1942. Bakerian Lecture. The Physical Interpretation of Quantum Mechanics. *Proceedings of the Royal Society of London, A*, vol. 180 (1942; March 18 1942), 1–40.

- Einstein, A. 1905. Ist die Trägheit eines Körpers von seinem Energieinhalt abhängig? *Annalen der Physik*. Bd. 18, № 13, 639–641.
- Einstein, A. 1905. Über einen die Erzeugung und Verwandlung des Lichtes betreffenden heuristischen Gesichtspunkt. *Annalen der Physik*. Bd. 17, № 6, 132–148.
- Einstein, A. 1918. Prinzipielles zur allgemeinen Relativitätstheorie. *Annalen der Physik*. Bd. 55, № 4, 241–244.
- Einstein, A., B. Podolsky and N. Rosen. 1935. Can Quantum-Mechanical Description of Physical Reality Be Considered Complete? *Physical Review*, 1935, 47, 777–780.
- Feynman, R. 1991. „Negative Probability“: – In: *Quantum Implications: Essays in Honour of David Bohm* (eds. B.Hiley, D. Bohm, D. Peat). London – New York: Routledge, 235–248.
- Groenewold, H. 1946. On the Principles of Elementary Quantum Mechanics. *Physica*. Vol. XII, № 7 (Oct 1946), 405–460.
- Hermann, G. 1935. The circularity in von Neumann's proof. (Translation by Michiel Seevinck of „Der Zirkel in NEUMANNs Beweis“, section 7 from the essay by Grete Hermann, *Die Naturphilosophischen Grundlagen der Quantenmechanik*. Abhandlungen der fries'schen Schule, 6, 1935 – <http://www.phys.uu.nl/igg/seevinck/trans.pdf> .
- Kochen, S., E. Specker. 1967. The problem of hidden variables in quantum mechanics. *Physical Review A*. Vol. 17, № 1, 59–87.
- Mermin, D. 1998. What Is Quantum Mechanics Trying to Tell Us? *American Journal of Physics*. Vol. 66, № 9, 753–767.
- Moyal, J. 1949. Quantum mechanics as a statistical theory. *Proceedings of the Cambridge Philosophical Society*. Vol. 45, № 1, 99–124.
- Neumann, J. von. 1932. *Mathematische Grundlagen der Quantenmechanik*. Berlin: Verlag von Julius Springer.
- Pauli, W. 2000. *Pauli lectures on physics. Vol. 6. Selected topics in field quantization*. (ed. C. Enz.) New York: Courier Dover Publications, 71–73.
- Schrödinger, E. 1935. Die gegenwärtige situation in der Quantenmechanik. *Die Naturwissenschaften*, Bd. 48, 807–812; Bd. 49, 823–828, Bd. 50, 844–849.
- Skolem, T. 1970. „Einige Bemerkungen zur axiomatischen Begründung der Mengenlehre“. – In: *Selected works in logic* (ed. E. Fenstad), Oslo etc: Univforlaget, 137–152.
- Ville, J. 1948. Théorie et Applications de la Notion de Signal Analytique. *Cables et Transmission*, 2A (janvier), 61–74.
- Weyl, H. 1927. Quantenmechanik und Gruppentheorie. *Zeitschrift für Physik*. Bd. 46, № 1–2. (Nov 1927), 1–46.
- Wigner, E. 1932. On the Quantum Correction For Thermodynamic Equilibrium. *Physical Review*. Vol. 40, № 5 (June 1932), 749–759.