

**Л. ДЕ БРОЙЛЬ**

Непременный почетный секретарь Академии  
наук Франции, лауреат Нобелевской премии

**СОТНОШЕНИЯ  
НЕОПРЕДЕЛЕННОСТЕЙ  
ГЕЙЗЕНБЕРГА**

**И ВЕРОЯТНОСТНАЯ  
ИНТЕРПРЕТАЦИЯ  
ВОЛНОВОЙ МЕХАНИКИ**

**(С критическими замечаниями автора)**

**Предисловие  
и дополняющие замечания Ж. ЛОШАКА**

Перевод с французского  
канд. физ.-мат. наук Н. В. САМСОНЕНКО  
под редакцией  
д-ра физ.-мат. наук Г. З. ЗАЙЦЕВА



**МОСКВА «МИР» 1986**

ББК 22.314  
Б88  
УДК 530.145/539.1

Бройль де Л.

Б88 Соотношения неопределенностей Гейзенберга и вероятностная интерпретация волновой механики. (С критическими замечаниями автора.) Предисл. и дополняющие замечания Ж. Лошака. Пер. с франц. — М.: Мир, 1986. — 344 с., ил.

Книга представляет собой обработку курса лекций известного французского ученого, иностранного члена АН СССР Л. де Бройля по квантовой механике, прочитанных им в 1951—1952 гг. Автор в оригинальной и доступной форме излагает основные понятия квантовой теории, одним из создателей которой он сам является. В примечаниях по ходу изложения принятой «копенгагенской» интерпретации квантовой механики автор приводит свои интересные и малоизвестные у нас идеи относительно интерпретации квантовой механики и возможных путей ее дальнейшего развития.

Рассчитана на широкий круг читателей — физиков, философов и других научных работников.

Б  $\frac{1704020000-001}{041(01)-86}$  49—86, ч. 1

ББК 22.314

*Редакция литературы по физике*

© Bordas, Paris, 1982  
© перевод на русский язык, «Мир», 1986

# Оглавление

Предисловие редактора перевода .....	5
Вместо предисловия автора. Необходимость свободы научного творчества .....	8
Предисловие редактора французского издания. Эволюция идей Луи де Бройля относительно интерпретации волновой механики (Ж. Лошак) ...	9
Об истинных идейных основаниях волновой механики (Л. де Бройль) ....	30

## ПЕРВАЯ ЧАСТЬ

(1950—1951)

### О СООТНОШЕНИИ НЕОПРЕДЕЛЕННОСТЕЙ ГЕЙЗЕНБЕРГА И О ВЕРОЯТНОСТНОЙ ИНТЕРПРЕТАЦИИ ВОЛНОВОЙ МЕХАНИКИ

<i>Глава I.</i>	ПРИНЦИПЫ ВОЛНОВОЙ МЕХАНИКИ .....	34
	1. Классическая динамика материальной точки. Теория Якоби .....	34
	2. Распространение волн в изотропной среде .....	38
	3. Переход от классической механики к волновой механике ..	41
	4. Общее уравнение волновой механики для материальной точки .....	44
	5. Автоматический вывод волнового уравнения .....	45
<i>Глава II.</i>	ВЕРОЯТНОСТНАЯ ИНТЕРПРЕТАЦИЯ ВОЛНОВОЙ МЕХАНИКИ .....	46
	1. Интерпретация волны $\psi$ .....	46
	2. Принцип интерференции .....	47
	3. Точная формулировка принципа интерференции. Жидкость вероятности .....	48
	4. Соотношение неопределенностей Гейзенберга .....	50
	5. Принцип спектрального разложения (Борн) .....	52
	6. Новые представления, связанные с изложенными принципами .....	53
	7. Переход от волновой механики к классической. Теорема Эренфеста, групповая скорость .....	54
<i>Глава III.</i>	ВОЛНОВАЯ МЕХАНИКА СИСТЕМ ЧАСТИЦ .....	60
	1. Классическая динамика систем материальных точек .....	60
	2. Волновая механика для систем частиц .....	62
	3. Интерпретация волновой механики для систем частиц .....	64

<i>Глава IV.</i>	<b>ОБЩИЙ ФОРМАЛИЗМ ВОЛНОВОЙ МЕХАНИКИ</b> .....	67
	1. Новое представление величин, сопоставляемых с частицей (или системой частиц) .....	67
	2. Собственные значения и собственные функции линейного эрмитова оператора .....	69
	3. Непрерывный спектр гамильтониана свободной частицы. $\delta$ -функция Дирака .....	72
<i>Глава V.</i>	<b>ОБЩИЕ ПРИНЦИПЫ ВЕРОЯТНОСТНОЙ ИНТЕРПРЕТАЦИИ ВОЛНОВОЙ МЕХАНИКИ</b> .....	75
	1. Общие идеи .....	75
	2. Алгебраические матрицы и их свойства .....	78
	3. Операторы и матрицы в волновой механике .....	81
	4. Средние значения и дисперсии в волновой механике .....	83
	5. Интегралы движения в волновой механике .....	84
	6. Угловой момент в волновой механике .....	86
<i>Глава VI.</i>	<b>КОММУТИРУЕМОСТЬ КВАНТОМЕХАНИЧЕСКИХ ОПЕРАТОРОВ</b> .....	89
	1. Общие теоремы .....	89
	2. Следствия доказанных теорем .....	95
	3. Одновременное измерение двух величин в волновой механике .....	98
	4. Примеры величин, которые не могут быть измерены одновременно. Два вида некоммутируемости .....	101
<i>Глава VII.</i>	<b>ФИЗИЧЕСКАЯ НЕВОЗМОЖНОСТЬ ОДНОВРЕМЕННОГО ИЗМЕРЕНИЯ КАНОНИЧЕСКИ СОПРЯЖЕННЫХ ВЕЛИЧИН</b> .....	104
	1. Значение вопроса о невозможности одновременного точного измерения двух канонически сопряженных величин ...	104
	2. Микроскоп Гейзенберга .....	105
	3. Измерение скорости электрона по эффекту Доплера .....	107
	4. Прохождение частицы через прямоугольную диафрагму ..	109
	5. Важное замечание об измерении скорости .....	112
	6. Случай двух наблюдаемых, коммутатор которых есть ненулевой оператор .....	113
	7. Принцип дополнительности Бора .....	115
	8. Боровское объяснение опыта Юнга .....	118
<i>Глава VIII.</i>	<b>ТОЧНАЯ ФОРМА СООТНОШЕНИЙ НЕОПРЕДЕЛЕННОСТЕЙ</b> .....	122
	1. Теорема о дисперсиях некоммутирующих величин .....	122
	2. Оптимальность гауссова волнового пакета .....	128
	3. Сравнение теоремы о дисперсиях с качественными соотношениями неопределенностей Гейзенберга (Паули, Робертсон) .....	131
	4. Различные замечания о неопределенностях. Неопределенности с «резкими границами» .....	132

<i>Глава IX.</i>	<b>ЧЕТВЕРТОЕ СООТНОШЕНИЕ НЕОПРЕДЕЛЕННОСТЕЙ ГЕЙЗЕНБЕРГА</b> .....	141
	1. Отсутствие симметрии между пространством и временем в волновой механике .....	141
	2. Правильная интерпретация четвертого соотношения неопределенностей .....	143
	3. Иллюстрация к предложенной интерпретации .....	144
	4. Замечания о четвертом соотношении неопределенностей ..	146
	5. Метод вариации постоянных и вероятность перехода .....	149
	6. Вероятности переходов .....	153
	7. Соотношения неопределенностей и теория относительности .....	156
	8. Формулы Мандельштама и Тамма .....	160
<i>Глава X.</i>	<b>НЕКОТОРЫЕ ТРУДНЫЕ ВОПРОСЫ ВОЛНОВОЙ МЕХАНИКИ</b> .....	164
	1. Редукция пакета вероятностей в результате измерения ....	164
	2. Невозможность определения состояния, предшествовавшего измерению, по состоянию после измерения. Размывание фаз в результате измерения .....	165
	3. Возможность восстановления прошлого по данным измерения в момент $t$ (поствидение) .....	167
	4. Интерференция вероятностей .....	169
	5. Некоторые следствия, к которым приводит отсутствие понятия траектории .....	172
	6. Дискуссии о «коррелированных» системах .....	177
	7. Дополнения к дискуссии между Эйнштейном и Бором .....	185
 <b>ВТОРАЯ ЧАСТЬ</b> (1951—1952)		
<b>О ВЕРОЯТНОСТНОЙ ИНТЕРПРЕТАЦИИ ВОЛНОВОЙ МЕХАНИКИ И О СВЯЗАННЫХ С ЭТИМ ПРОБЛЕМАХ</b>		
<i>Глава XI.</i>	<b>ОСНОВНЫЕ СВЕДЕНИЯ ИЗ ТЕОРИИ ВЕРОЯТНОСТЕЙ</b> .....	193
	1. Распределение вероятностей в случае одной переменной. Функция распределения .....	193
	2. Распределение вероятностей двух переменных .....	199
	3. Очень важное замечание по поводу полученных результатов .....	208
<i>Глава XII.</i>	<b>ОБЗОР ОСНОВНЫХ ПРЕДСТАВЛЕНИЙ ВОЛНОВОЙ МЕХАНИКИ</b> .....	211
	1. Принцип интерференции. Теория волны-пилота .....	214
<i>Глава XIII.</i>	<b>ВВЕДЕНИЕ ХАРАКТЕРИСТИЧЕСКОЙ ФУНКЦИИ В ВЕРОЯТНОСТНОМ ФОРМАЛИЗМЕ ВОЛНОВОЙ МЕХАНИКИ</b> .....	222
	1. Характеристическая функция в случае одной переменной ..	222
	2. Характеристическая функция в случае двух коммутирующих величин .....	228

	3. Коэффициент корреляции, маргинальные распределения ...	230
	4. Общие теоремы волновой механики и характеристическая функция .....	233
	5. Случай двух некоммутирующих величин .....	240
<b>Глава XIV.</b>	<b>ТЕОРИЯ СМЕШАННЫХ СОСТОЯНИЙ И ТЕОРИЯ ИЗМЕРЕНИЙ ФОН НЕЙМАНА .....</b>	<b>264</b>
	1. Чистые и смешанные состояния .....	264
	2. Статистическая матрица фон Неймана для чистого состояния .....	267
	3. Статистическая матрица для смешанного состояния .....	270
	4. Неприводимость чистых состояний .....	273
	5. Невозможность объяснения законов волновой механики скрытой детерминированностью (фон Нейман) .....	275
<b>Глава XV.</b>	<b>ТЕОРИЯ ИЗМЕРЕНИЙ В ВОЛНОВОЙ МЕХАНИКЕ .....</b>	<b>281</b>
	1. Общие соображения .....	281
	2. Статистика двух взаимодействующих систем .....	283
	3. Коэффициенты корреляции при взаимодействии между двумя квантовыми системами .....	286
	4. Измерение физической величины .....	287
	5. Пример экспериментального измерения физической величины .....	292
	6. Отдельные замечания по поводу измерения .....	296
	7. Термодинамический подход фон Неймана .....	302
	8. Обратимая и необратимая эволюция .....	305
	9. Статистическая матрица $P_0$ .....	308
<b>Глава XVI.</b>	<b>РОЛЬ ВРЕМЕНИ В ВОЛНОВОЙ МЕХАНИКЕ .....</b>	<b>310</b>
	1. Поствидение в понимании Коста де Боргара [42, 43]. Вероятность результатов измерения .....	310
	2. Особая роль времени в квантовой механике. Четвертое соотношение неопределенностей .....	314
	3. Правильная интерпретация четвертого соотношения неопределенностей .....	317
	4. Четвертое соотношение неопределенностей и теория возмущений .....	317
	5. Операторы $H$ и $(h/2\pi i)(\partial/\partial t)$ .....	320
	6. Применение метода характеристической функции к операторам, действующим на время .....	321
	7. Многовременная теория. Криволинейные многообразия в пространстве-времени .....	323
	<b>ЛИТЕРАТУРА .....</b>	<b>325</b>
	<b>НАУЧНЫЕ ТРУДЫ ЛУИ ДЕ БРОЙЛЯ .....</b>	<b>327</b>
	I. Журнальные статьи .....	327
	II. Монографии и сборники статей .....	332
	III. Работы по философии естествознания .....	333
	IV. Речи и выступления в Академии наук .....	334
	V. Выступления на конференциях и работы по общим вопросам .....	334