

С. Г. Басиладзе

**ОТ ФИЗИКИ
СИГНАЛА
ДО ИНФОРМАЦИИ
В ФИЗИКЕ**

**Реальные сигналы, состояния,
данные, информация**



URSS

МОСКВА

ББК 22.176 22.18 22.1п 22.336 32.811 32.97

Басиладзе Сергей Геннадьевич

От физики сигнала до информации в физике: Реальные сигналы, состояния, данные, информация. — М.: ЛЕНАНД, 2021. — 344 с.
(Классический учебник МГУ.)

В книге последовательно и подробно рассматривается единая цепочка: от сигнала, который является носителем состояний, до информации, которая является носителем смыслового содержания. Обсуждается неполнота классической теории, которая недостаточно учитывает физические законы генерации и восприятия сигналов. Введено понятие реальных сигналов с определенным порогом восприятия и пределом существования. Рассмотрены физические основы этих ограничений, которые определяют минимально возможное время перехода сигнала между состояниями и максимальную скорость передачи информации в природе. Анализируются последствия интегрирования части или всего спектра реальных сигналов передающей средой или медленным приемником. Показано, что плавность переходов между состояниями и появление шума «по действию» приводят к появлению виртуальных состояний. Последнее, в свою очередь, требует введения «алгебраической» логики, более общей, чем булева логика.

Принятый в книге стиль изложения ориентирован на широкий круг читателей: студентов, аспирантов и специалистов во всех областях, где необходимо получать информацию и обмениваться ею.

Формат 60×90/16. Печ. л. 21,5. Зак. № АТ-9704.

Отпечатано в ООО «ЛЕНАНД».

117312, Москва, проспект 60-летия Октября, 11А, стр. 11.

ISBN 978-5-9710-7354-3

© ЛЕНАНД, 2020



Все права защищены. Никакая часть настоящей книги не может быть воспроизведена или передана в какой бы то ни было форме и какими бы то ни было средствами, будь то электронные или механические, включая фотокопирование и запись на магнитный носитель, а также размещение в Интернете, если на то нет письменного разрешения владельца.

Оглавление

Предисловие	12
Глава 1. Введение	15
1.1. Сигнал как носитель состояний	16
1.1.1. Различимые состояния в сигнале.....	17
1.2. Ссылка на состояния в виде символа или знака	18
1.2.1. Ссылки на ссылки	21
1.3. Данные как иерархия ссылок на состояния.....	22
1.4. Информация как иерархия ссылок на интенсивность состояний	25
1.4.1. Количество знаков в иерархической ссылке	28
1.5. Информация как мера непредсказуемости	29
1.6. Информация как средство обобщения.....	30
1.6.1. Обобщение – тип и экземпляр	30
1.7. Выводы по структуре понятия информации.....	31
Глава 2. Классические сигналы.....	33
2.1. Классический сигнал и его параметры.....	33
2.1.1. Фурье-спектр сигнала	34
2.1.2. Виды классических сигналов	40
2.1.2.1. Ограничения по форме спектра.....	41
2.1.2.2. Модели «точечных» сигналов и их прообразы.....	44
2.1.3. Функция отсчетов, выделяющая «события» в сигнале.....	48
2.1.3.1. Функция отсчетов как элемент разложения	49
2.1.3.2. Интерференция в спектре элементов разложения.....	50
2.1.3.3. Опорные и пустые точки каузального сигнала.....	51
2.1.3.4. Порядок разложения и определенности сигнала	54

2.1.3.5. Теорема отсчетов в спектральной области.....	55
2.1.3.6. Сигналы и спектры, состоящие только из опорных точек.....	56
2.1.4. Классический сигнал – носитель трижды бесконечной информации.....	56
2.2. Классический шум	58
2.2.1. Классический шум в сигнале	58
2.2.1.1. Условие непрерывности шума и сигнала.....	59
2.2.2. Собственная информация шума.....	62
2.3. Выводы по классической теории сигналов	64
Глава 3. Реальные сигналы.....	67
3.1. Сложение и разложение реальных сигналов.....	67
3.1.1. Интерференция (сложение) реальных сигналов	68
3.1.1.1. Двухкомпонентные сигналы.....	69
3.1.2. Разложение (дифракция) однокомпонентных реальных сигналов	69
3.1.2.1. Колебания Гиббса при разложении сигналов	71
3.1.2.2. Локальный дисбаланс энергии	72
3.1.3. Физическое интегрирование сигналов и их сложение	73
3.2. Информационные ограничения реального сигнала	76
3.2.1. Пороговое ограничение по спектральной плотности.....	77
3.2.1.1. Пороговая и предельная асимптоты сигнала	78
3.2.1.2. Особенности реальных сигналов вблизи порога.....	80
3.2.2. Пороговые ограничения при детектировании сигналов	81
3.2.2.1. Определение чувствительности приемника	82
3.2.2.2. Функциональная схема дискриминатора сигналов.....	83

3.2.2.3. Интервал обнаружения порогового сигнала.....	85
3.2.2.4. «Невидимость» коротких биполярных сигналов.....	85
3.3. Выводы по свойствам реальных сигналов.....	87
Глава 4. Классические, реальные и виртуальные состояния в событиях.....	89
4.1. Порядок над хаосом – состояния сигнала с шумом	89
4.1.1. Информационные ограничения, создаваемые шумом	90
4.1.1.1. Быстрый чувствительный сенсор.....	90
4.1.1.2. Медленный чувствительный сенсор, граница классического шума	91
4.2. Состояния, порождаемые информационным порогом	93
4.2.1. «Быстрый» дискриминатор	93
4.2.2. «Медленный» дискриминатор.....	95
4.2.3. Пороговое соотношение неопределимости.....	95
4.2.3.1. Количество «пороговых» состояний.....	96
4.2.3.2. Информационная пропускная способность	96
4.2.3.3. Информация за пределами основной полосы среды передачи.....	97
4.3. Дискретные координаты и функция отображения	99
4.3.1. События и состояния как основа функции отображения	99
4.3.1.1. Дискретизация состояний.....	100
4.3.2. Информационный приоритет событий над состояниями.....	101
4.3.3. Многозначные состояния и их функции	105
4.3.3.1. Информационная емкость многозначных состояний	106
4.3.3.2. Информационная емкость многозначных функций отображения	107

4.3.4. Функция отображения нескольких переменных.....	108
4.3.4.1. Иерархическая дискретная переменная для отсчетов.....	109
4.4. Виртуальные (подпороговые) состояния	110
4.4.1. Классические комбинационные состояния	110
4.4.2. Комбинационные виртуальные состояния	112
4.4.2.1. Случайность виртуальных логических состояний	114
4.4.2.2. Классический и виртуальный регистры	119
4.4.3. Моделирование комбинационных виртуальных состояний	120
4.4.3.1. Разряд виртуального регистра	120
4.4.3.2. Оценка затрат на реализацию	122
4.5. Функции классических и виртуальных состояний	123
4.5.1. Табличное представление логических состояний	123
4.5.2. Функции иерархических переменных.....	124
4.5.3. Вычисления без компьютера	125
4.5.3.1. Антропогенные состояния и их погрешности	128
4.5.3.2. Информационные состояния в точных числах	130
4.5.4. Функции комбинационных виртуальных состояний	132
4.5.4.1. Ограничения вероятностных комбинационных функций.....	133
4.6. Состояния в нелинейной среде.....	133
4.6.1. Образование логических состояний	134
4.6.1.1. Помехоустойчивость состояний	135
4.6.2. Два критерия быстроты логических элементов	136
4.6.2.1. Медленный сигнал.....	136
4.6.2.2. Медленный приемник, порог по действию	136
4.6.2.3. Четная и нечетная обратная связь	139
4.6.3. Потребляемая мощность.....	140

4.7. Выводы по состояниям и переходам между ними	141
Глава 5. Данные – получение, кодирование и управление	143
5.1. Иерархии объектов, событий, и состояния состояний	143
5.1.1. Иерархия циклических сложений.....	143
5.1.1.1. Структуры, соответствующие уровням сложений	144
5.1.2. Виды иерархий	148
5.1.2.1. Информационная независимость уровней порогового дерева	150
5.1.3. Идентификаторы элементов и узлов иерархических структур	151
5.1.3.1. Упорядочивание иерархических имен	152
5.2. Данные измерения	153
5.2.1. Фантомы состояний при неполноте данных	154
5.2.2. Способы сокращения длины кода при измерении	155
5.3. Кодирование состояний	157
5.3.1. Возможные коды состояний	159
5.3.1.1. Неразграниченный код	159
5.3.1.2. Код априорно известной длины.....	160
5.3.1.3. Коды с указанием длины	161
5.3.1.4. Код заданной конфигурации.....	163
5.3.3. Выбор основания в иерархии знаков	164
5.3.3.1. Оптимизация количества знаков	165
5.3.3.2. Эффективность использования знакомест.....	167
5.4. Компактное представление функций и данных	168
5.4.1. Компактная форма функции отображения	168
5.4.1.1. Устранение неоднозначности от пустых полос	170
5.4.1.2. Резкие переходы реального сигнала.....	170
5.4.1.3. Оперативные данные для снижения числа знаков	173

5.4.2.	Компактное представление данных.....	174
5.4.2.1.	Язык описания данных.....	174
5.4.2.2.	Группирование однотипных действий управления.....	176
5.5.	Данные управления.....	177
5.5.1.	Основные типы данных управления.....	177
5.5.2.	Управление интерфейсом при обмене данными.....	178
5.5.2.1.	Локальные и глобальные интерфейсы.....	179
5.5.2.2.	Ожидание доступа к среде связи.....	181
5.5.2.3.	Мнемонический код операций в протоколах интерфейса.....	182
5.5.2.4.	Общий алгоритм взаимодействия объектов.....	184
5.5.2.5.	Виды объектов, участвующих во взаимодействии.....	187
5.5.2.6.	Режимы связи.....	190
5.6.	Выводы по кодированию и передаче данных.....	192
Глава 6.	Информация – минимизация кода.....	194
6.1.	Информация как носитель сведений.....	194
6.2.	Роль случайности в информации.....	196
6.2.1.	Случайность, непредсказуемость и шум.....	196
6.2.1.1.	Шум случайности и «случайность» незнания.....	197
6.2.2.	Вероятность и интенсивность.....	200
6.2.2.1.	Вероятность.....	200
6.2.2.2.	Интенсивность.....	202
6.2.3.	Ожидаемые и реализованные классические состояния.....	203
6.2.4.	Случайность и регистрация того, чего нет.....	204
6.2.4.1.	Просчеты и присчеты.....	206
6.3.	Информация при повторях состояний в событиях.....	208
6.3.1.	Кодирование интервалов повторения состояний.....	208
6.3.1.1.	Непрерывный повтор состояний.....	211
6.3.1.2.	Сравнение S-кодирования и L-кодирования.....	212

6.3.2.	Макро и микросостояния.....	213
6.3.3.	Информация как мера непредсказуемости поведения.....	214
6.3.3.1.	Локализация состояний в событиях.....	214
6.3.3.2.	Циклическое повторение состояний.....	216
6.4.	Практические приемы кодирования информации.....	218
6.4.1.	Гистограмма и количество информации.....	218
6.4.2.	Компрессия данных.....	220
6.4.2.1.	Коды Хаффмана.....	221
6.4.2.2.	Коды LZW.....	223
6.4.2.3.	Арифметическое кодирование.....	223
6.4.2.4.	Задача о факсе.....	225
6.4.2.5.	Телевизор будущего.....	227
6.4.3.	Подвергается ли случайность компрессии.....	229
6.5.	Информация и математика.....	231
6.5.1.	Бесконечные циклы действий в математике.....	232
6.5.2.	Разрешения проблемы бесконечностей в математике.....	233
6.5.2.1.	Переход от суммирования к интегрированию.....	234
6.5.2.2.	«Пустые» циклы.....	235
6.5.2.3.	Отсутствие информационного порога.....	235
6.5.2.4.	«Пустые» точки функций.....	237
6.5.2.5.	Отсутствие информационного предела.....	237
6.5.2.6.	Бесконечности, вытесняющие иерархии.....	238
6.5.3.	Не реализуемые математические действия.....	238
6.6.	Выводы по анализу информации и математики.....	240
Глава 7.	Информация и физика.....	242
7.1.	Физические особенности сложения и разложения сигналов.....	243
7.1.1.	Принудительная и свободная интерференция.....	243
7.1.1.1.	Встречные и попутные, правые и левые сигналы.....	244

7.1.2. Интерференция сигналов в кабелях.....	245
7.1.2.1. Короткий импульс (однократная интерференция)	246
7.1.2.2. Ступенчатый перепад (многократная интерференция)	248
7.1.3. Свободная интерференция гармонических сигналов.....	249
7.1.4. Свободная интерференция сигналов в пространстве.....	251
7.1.5. Дифракция частиц и теорема отсчетов.....	252
7.1.5.1. Дифракция волн.....	253
7.1.5.2. Дифракция микрочастиц.....	253
7.2. Процессы с тепловым шумом.....	254
7.2.1. Энтропия как максимум беспорядка	254
7.2.1.1. Натуральные распределения по энергии	255
7.2.1.2. Энтропия равномерного и экспоненциального распределений.....	259
7.2.1.2.1. <i>Парадокс Гиббса</i>	261
7.2.2. Условная энтропия по Шеннону и «негэнтропия»	262
7.3. Реальные сигналы в микромире	267
7.3.1. Оценка предельной скорости переключения сигналов	269
7.3.2. Порог для излучения в полости	271
7.3.2.1. Начальная неопределимость частоты	274
7.3.3. Энергия как сигнал.....	275
7.3.4. Неопределимость как следствие порога восприятия	277
7.3.4.1. Эволюция подпорогового сигнала	277
7.3.4.2. В чем проявляется порог восприятия	278
7.3.4.3. Причина появления туннельного эффекта.....	279
7.3.5. Неопределенность как следствие случайности – шума	281
7.3.5.1. Порядок в хаосе – характер шума в микромире	282
7.3.5.2. Эффективность измерений при виртуальном шуме.....	283

7.3.5.3. Связь вероятности с подпороговым действием.....	285
7.3.5.4. Вероятности совместных (суперпозиционных) состояний	287
7.3.6. Сравнение комбинационных и совместных состояний	288
7.4. Физическое проявление пороговых и предельных свойств	290
7.4.1. Пороговые интервалы при движении.....	290
7.4.2. Дискретизация энергии в пороговых точках ...	292
7.4.2.1. Порог как условие пространственной дискретности.....	293
7.4.3. Предельные постоянные центрально-симметричного поля.....	294
7.4.3.1. Предельные постоянные	295
7.4.3.2. Старение порогового сигнала.....	296
7.4.3.3. Достижимый темп переноса информации.....	301
7.4.4. Порог и предел как физическая основа иерархий	302
7.5. Вычисления на основе совместных состояний	305
7.5.1. Управление вероятностями совместных состояний	305
7.5.2. Функции состояний вероятности.....	307
7.5.2.1. Влияние интерференции на Set -состояния	308
7.5.3. Квантовый «компьютер».....	311
7.5.3.1. Случайность возможного и возможности случайного	312
7.5.4. Задача факторизации чисел	313
7.5.4.1. Особенности разложения Фурье	317
7.5.4.2. Цифровой метод нахождения периода.....	319
7.6. Приложение	320
7.6.1. Пороговые переменные в волновом уравнении КМ.....	320
7.6.1.1. Получение волновых уравнений КМ.....	321
7.7. Выводы по анализу информации и физики.....	324
Заключение	327
Литература.....	337