

Л. Бриллюэн

Наука и теория информации

**Москва
«Книга по Требованию»**

УДК 53
ББК 22.3
Л11

Л11 **Л. Бриллюэн**
Наука и теория информации / Л. Бриллюэн – М.: Книга по Требованию, 2021. – 390 с.

ISBN 978-5-458-31203-5

Эта книга, написанная видным физиком, посвящена применениям идей и методов теории информации в ряде областей науки, в особенности же в физике. Одной из главных тем книги является рассмотрение взаимосвязи теории информации и термодинамики, приводящее к формулировке неэнтропийного принципа информации.

ISBN 978-5-458-31203-5

© Издание на русском языке, оформление
«YOYO Media», 2021

© Издание на русском языке, оцифровка,
«Книга по Требованию», 2021

Эта книга является репринтом оригинала, который мы создали специально для Вас, используя запатентованные технологии производства репринтных книг и печати по требованию.

Сначала мы отсканировали каждую страницу оригинала этой редкой книги на профессиональном оборудовании. Затем с помощью специально разработанных программ мы произвели очистку изображения от пятен, клякс, перегибов и попытались отбелить и выровнять каждую страницу книги. К сожалению, некоторые страницы нельзя вернуть в изначальное состояние, и если их было трудно читать в оригинале, то даже при цифровой реставрации их невозможно улучшить.

Разумеется, автоматизированная программная обработка репринтных книг – не самое лучшее решение для восстановления текста в его первозданном виде, однако, наша цель – вернуть читателю точную копию книги, которой может быть несколько веков.

Поэтому мы предупреждаем о возможных погрешностях восстановленного репринтного издания. В издании могут отсутствовать одна или несколько страниц текста, могут встретиться невыводимые пятна и кляксы, надписи на полях или подчеркивания в тексте, нечитаемые фрагменты текста или загибы страниц. Покупать или не покупать подобные издания – решать Вам, мы же делаем все возможное, чтобы редкие и ценные книги, еще недавно утраченные и несправедливо забытые, вновь стали доступными для всех читателей.

5. Соотношение неопределенности для времени и частоты	125
6. Степени свободы сообщения	130
7. Метод отсчетов Шеннона	134
8. Информационные ячейки Гэйбора	137
9. Автокорреляция и спектр; формула Винера—Хинчина	139
10. Линейные преобразования и фильтры	141
11. Анализ Фурье и метод отсчетов в трех измерениях	144
12. Исследование кристаллов рентгеновыми лучами	150
Приложение	153
Глава 9. Основы термодинамики	154
1. Введение	154
2. Два начала термодинамики; энтропия и негэнтропия . .	154
3. Невозможность вечного движения; тепловые машины . .	157
4. Статистическое толкование энтропии	160
5. Примеры статистических рассуждений	162
6. Флуктуации энергии; формула Гиббса	164
7. Квантованный осциллятор	166
8. Флуктуации	168
Глава 10. Тепловое движение и броуново движение	171
1. Тепловое движение	171
2. Случайное блуждание	172
3. Дробовой эффект	176
4. Броуново движение	179
5. Тепловое движение в электрической цепи	183
Приложение	185
Глава 11. Тепловой шум в электрической цепи; формула Найквиста	187
1. Модель со случайными импульсами	187
2. Метод Найквиста	189
3. Обсуждение и приложения	192
4. Обобщения формулы Найквиста	193
5. Тепловое движение в выпрямителе	196
Глава 12. Негэнтропийный принцип информации	200
1. Связь между информацией и энтропией	200
2. Негэнтропийный принцип информации; обобщение принципа Карно	202
3. Несколько типичных физических примеров	205
4. Несколько общих замечаний	210

Глава 13. Демон Максвелла и негэнтропийный принцип информации	213
1. Демон Максвелла; исторический обзор	213
2. Изгнание демона	216
3. Обсуждение	219
4. Действие демона как преобразование информации в негэнтропию	221
5. Негэнтропия, требуемая при наблюдении	226
6. Задача Силарда: полностью информированная тепловая машина	232
7. Рассуждение Гэйбора	236
Приложение I	239
Приложение II	240
Глава 14. Негэнтропийный принцип информации в общей физике	242
1. Проблема измерения в физике	242
2. Наблюдения над осциллятором	244
3. Высокочастотный резонатор и цена наблюдения	247
4. Эксперименты, требующие многих одновременных наблюдений при низких частотах	249
5. Проблемы, требующие высокой надежности	254
6. Более подробное обсуждение экспериментов с высокими частотами	257
7. Пример, показывающий наименьшую негэнтропию, необходимую для наблюдения	260
Глава 15. Наблюдение и информация	264
1. Экспериментальные ошибки и информация	264
2. Измерения длины с низкой точностью	266
3. Измерения длины с высокой точностью	269
4. Эффективность наблюдения	273
5. Измерение расстояния с помощью интерферометра	274
6. Другая схема для измерения расстояния	278
7. Измерение промежутков времени	283
8. Наблюдения под микроскопом	286
9. Рассуждение о фокусе в волноводе	291
10. Примеры и обсуждение	294
11. Заключение	296

Глава 16. Теория информации, принцип неопределенности и физические пределы наблюдаемости	299
1. Общие замечания	299
2. Наблюдение есть необратимый процесс	301
3. Общие ограничения точности физических измерений	303
4. Пределы евклидовой геометрии	306
5. Возможность использования тяжелых частиц вместо фотонов	309
6. Соотношения неопределенности в экспериментах с микроскопом	310
7. Измерение импульса	314
8. Неопределенность в измерении поля	317
Глава 17. Негэнтропийный принцип информации в применении к связи	319
1. Анализ сигналов с конечной шириной полосы	319
2. Сигналы и тепловой шум: представление в многомерном пространстве	320
3. Пропускная способность канала с шумом	322
4. Обсуждение формулы Таллера—Шеннона	324
5. Практический пример	328
6. Негэнтропийный принцип в применении к каналу с шумом	331
7. Видоизмененная формула Гэйбора и роль биений	334
Глава 18. Письмо, печать и чтение	337
1. Передача информации: живая информация	337
2. Проблема чтения и письма	338
3. Мертвая информация и как ее оживить	339
4. Письмо и печать	342
5. Обсуждение специального примера	343
6. Новая информация и избыточность	344
Глава 19. Проблема вычисления	346
1. Вычислительные машины	346
2. Вычислительная машина как математический элемент	349
3. Вычислительная машина как элемент схемы; отсчитывание и восстановление	353
4. Вычисление по отсчетам в момент t	356
5. Коэффициент передачи вычислительной машины	358
6. Схемы, содержащие вычислительную машину; проблема устойчивости	360

7. Обсуждение устойчивости программы	362
8. Несколько примеров	365
Глава 20. Информация, организация и другие проблемы	370
1. Информация и организация	370
2. Информация, содержащаяся в физическом законе	373
3. Информация, содержащаяся в числовой таблице	376
4. Общие замечания	377
5. Примеры проблем, выходящих за рамки данной теории	379
6. Проблемы семантической информации	384
Предметный указатель	390

ИЗ ПРЕДИСЛОВИЯ АВТОРА

За последние годы родилась новая научная теория — теория информации. Она немедленно привлекла большой интерес и быстро распространилась. Эта новая теория возникла первоначально в результате практического и утилитарного обсуждения некоторых основных проблем: Каким образом возможно определить количество информации, содержащейся в передаваемом сообщении или телеграмме? Как измерить количество информации, сообщаемой при помощи телеграфных сигналов? Как сравнить эти две величины ¹⁾ и оценить эффективность кодирующих устройств? Все эти вопросы и многие другие подобные заботят инженера связи и могут теперь обсуждаться с количественной точки зрения.

Из этого обсуждения возникла новая теория, имеющая как практический, так и математический характер. Теория основана на вероятностных соотношениях. Точно сформулированная, она может применяться во многих основных научных рассуждениях. Она позволяет решить проблему демона Максвелла и показать непосредственную связь между информацией и энтропией. Термодинамическая энтропия есть мера недостатка информации о некоторой физической системе. Когда в лаборатории производится какой-либо эксперимент, он оплачивается увеличением энтропии, и обобщенный принцип Карно устанавливает, что цена, уплаченная в виде

¹⁾ То есть количество информации и объем сигнала. (*Прим. перев.*)

увеличения энтропии, всегда больше, чем полученное количество информации. Информация соответствует отрицательной энтропии, для которой автор ввел термин *негэнтропия*. Обобщенный принцип Карно может также быть назван *негэнтропийным принципом информации*. Этот принцип накладывает новые ограничения на физические эксперименты и не зависит от известного соотношения неопределенности квантовой механики.

Настоящая книга основана на лекциях, читанных инженерам фирмы International Business Machine Corporation, а позднее в различных университетах, в частности в Калифорнийском университете в Беркли.

Январь 1956 г.

Леон Бриллюэн

ВВЕДЕНИЕ

Новая территория была завоевана для науки с появлением в недавнее время теории информации. Это открытие создало новую область, немедленно привлечшую разведчиков и исследователей. Это интересное явление в истории науки, и такое внезапное расширение области научного исследования заслуживает более пристального рассмотрения. Как это случилось? Как далеко это идет? И где оно может продолжать распространяться? Означает ли это вторжение науки на территорию, принадлежащую по традиции философии, или это есть открытие новой страны, своего рода «ничейной земли», которая ускользала от прежних исследований? ¹⁾. Мы разберем все эти вопросы и дадим на них ответ.

Прежде всего, что такое *информация*? Заглянем в словарь Вебстера: «Сообщение, или получение знаний или сведений. Факты, приготовленные для сообщения, в отличие от тех, которые воплощены в мысли или знаниях. Данные, новости, сведения, знания, полученные путем изучения или наблюдения...». Мы можем установить, что информация есть сырой материал и состоит из простого собрания данных, тогда как знание предполагает некоторое размышление и рассуждение, организующее данные путем их сравнения и классификации. Следующий шаг приводит к научному знанию и формулировке научных законов.

Каким образом можно сформулировать научную теорию информации? Прежде всего, нужно начать с точного определения. Наука начинается, когда значения слов четко разграничены. Слова могут быть выбраны из существующего словаря, либо могут быть созданы новые слова, но все они

¹⁾ Едва ли автор не относит философию к области науки. Просто он употребляет слово «наука» в смысле, соответствующем нашему термину «точные науки». (Прим. перев.)

должны получить новое определение, исключающее недоразумения и двусмысленность в пределах того раздела науки, где они применяются.

Может случиться, что одно и то же слово имеет различные значения в двух различных отраслях науки: слово *корень* имеет одно ясно определенное значение для изучающего алгебру и другое столь же специфическое значение для ботаника. Однако опасность смешения при столь удаленных областях невелика. Алгебраические корни не растут, а корни ботаника никогда не бывают мнимыми. Эта единственность значения слов характерна для научного метода. Так как сходные определения введены учеными всех стран, то перевод облегчается однозначным соответствием научных словарей. Если бы такое положение преобладало в повседневной практике, то международное взаимопонимание было бы много легче осуществить!

Рядовой человек испытывает беспокойство, когда обычные слова применяются в новом научном определении, и он склонен называть эту практику научным жаргоном. Но жаргоны применяются, как правило, в любой специальной области — в богословии и в философии так же, как и в технике. Рядовой читатель не может понять язык специалистов, так как он недостаточно знаком с обсуждаемыми вопросами.

Точное определение слов в научном языке обычно основано на двух различных методах. В математике определение начинается с некоторого числа тщательно отобранных и сформулированных постулатов; более сложные сущности выводятся из этих постулатов и выражаются через них. Новые определения равносильны словесному переводу формул, данных в символической форме и основанных на постулатах. Экспериментальные науки ввели другой тип определения, часто называемый *операционным* (operational). Сила, масса, скорость и т. д. определяются кратким описанием эксперимента, необходимого для измерения этих величин. Операционная точка зрения в экспериментальных науках настойчиво рекомендуется многими выдающимися учеными, и имя П. Бриджмена часто упоминается в этой связи. Как правило, считается целесообразным вводить в научный язык только те величины, которые могут быть определены операционно. Слова, не поддающиеся операционному определению, обычно в конце концов признаются не заслуживающими доверия и исключаются

из научного словаря. Вспомним, например, *эфир*, и как теория относительности лишила этот термин смысла.

Возвращаясь к теории информации, мы должны начать с точного определения слова *информация*. Мы рассматриваем задачу с некоторым числом возможных ответов, если мы не имеем специальной информации о действительном положении. Если окажется, что мы располагаем некоторой информацией о задаче, то число возможных ответов уменьшается, а полная информация может даже оставить нам лишь единственный возможный ответ. Информация есть функция отношения числа возможных ответов до и после (получения информации), и мы выбираем логарифмический закон для обеспечения аддитивности информации, содержащейся в независимых ситуациях. Эти задачи и определения обсуждаются в главе I и составляют основу новой теории.

Методы этой теории могут с успехом применяться ко всем техническим проблемам, касающимся информации, как-то: кодирование, связь, вычислительные устройства и т. д. Во всех этих проблемах мы фактически перерабатываем информацию, или передаем ее из одного места в другое, и данная теория очень полезна для формулировки правил и установления точных пределов того, что может быть, а что не может быть сделано.

Но мы не в состоянии исследовать процесс мышления, и мы не можем в настоящее время ввести в нашу теорию какой-либо элемент, включающий человеческую оценку информации. Это исключение человеческого элемента является очень серьезным ограничением, но это есть та цена, которую мы должны были уплатить за возможность построения этой области научного знания. Введенные ограничения позволяют нам дать количественное определение информации и трактовать информацию как физически измеримую величину. Определение не может делать различия между очень важной информацией и новостью, не имеющей большой ценности для того, кто ее узнает.

Определение может показаться на первый взгляд искусственным, но в действительности оно практично и научно. Оно основано на собрании статистических данных о каждой обсуждаемой проблеме, и эти данные, поскольку они доступны, одинаковы для всех наблюдателей. Поэтому наше определение информации есть абсолютно объективное определение,

не зависящее от наблюдателя. С другой стороны, *ценность* информации является, очевидно, субъективным элементом, относящимся к наблюдателю. Информация, содержащаяся в некотором предложении, может иметь очень большое значение для меня и быть совершенно неинтересной для моего соседа. Заметка в газете может быть прочитана с некоторым интересом многими читателями, но теорема Эйнштейна не имеет ценности для рядового человека, тогда как она привлекает большое внимание физика.

Все эти элементы человеческой оценки игнорируются в настоящей теории. Это не означает, что они должны игнорироваться всегда, но в настоящее время они еще не исследованы и не классифицированы. По всей вероятности эти проблемы будут очередными в программе научных исследований, и можно надеяться, что они смогут обсуждаться с применением научных методов.

Теперешняя теория простирается на «ничейную землю» абсолютной информации, на проблемы, которые до сих пор не обсуждали ни ученые, ни философы. Когда мы дойдем до проблем ценности, то мы начнем уже вторгаться на территорию, принадлежащую философии. Сможем ли мы пересечь эту границу и раздвинуть пределы науки в этом направлении? Будущее ответит на этот вопрос ¹⁾.

Определение абсолютной информации имеет большое практическое значение. Исключение человеческого элемента как раз дает возможность ответить на целый ряд вопросов. Инженера, который конструирует телефонную систему, не интересует, будет ли она использована для передачи сплетен, биржевых цен или дипломатических сообщений. Техническая задача всегда одна и та же: передать информацию, какова бы она ни была, правильно и точно. Конструктор вычислительной машины не знает, будет она применяться для составления астрономических таблиц или для коммерческих расчетов. Исключение человеческой оценки информации — это как раз путь к ее научному обсуждению, не подверженному влиянию предвзятых мнений и эмоций.

Физика вступает в игру, когда мы обнаруживаем примечательное сходство между информацией и энтропией. Это сходство давно уже было отмечено Л. Силардом в его старой

¹⁾ См. предыдущую сноску.