

# ОГЛАВЛЕНИЕ

---

Предисловие . . . . .	10
Благодарности . . . . .	14
Читателю . . . . .	17
Пролог . . . . .	20

## Часть I. ПОЧЕМУ ДЛЯ ПОНИМАНИЯ РАЗУМА НЕОБХОДИМА НОВАЯ ФИЗИКА?

### Невычислимость сознательного мышления

ГЛАВА I. Сознание и вычисление . . . . .	27
1.1. Разум и наука . . . . .	27
1.2. Спасут ли роботы этот безумный мир? . . . . .	29
1.3. Вычисление и сознательное мышление . . . . .	34
1.4. Физикализм и ментализм . . . . .	41
1.5. Вычисление: нисходящие и восходящие процедуры . . . . .	42
1.6. Противоречит ли точка зрения $\mathcal{C}$ тезису Черча— Тьюринга? . . . . .	47
1.7. Хаос . . . . .	48
1.8. Аналоговые вычисления . . . . .	52
1.9. Невычислительные процессы . . . . .	56
1.10. Завтрашний день . . . . .	66
1.11. Обладают ли компьютеры правами и несут ли от- ветственность? . . . . .	69
1.12. «Осознание», «понимание», «сознание», «интел- лект» . . . . .	71
1.13. Доказательство Джона Серла . . . . .	77
1.14. Некоторые проблемы вычислительной модели . . . . .	78
1.15. Свидетельствуют ли ограниченные возможности сегодняшнего ИИ в пользу $\mathcal{C}$ ? . . . . .	82

1.16.	Доказательство на основании теоремы Гёделя . . . . .	88
1.17.	Платонизм или мистицизм? . . . . .	90
1.18.	Почему именно математическое понимание? . . . . .	92
1.19.	Какое отношение имеет теорема Гёделя к «бытовым» действиям? . . . . .	95
1.20.	Мысленная визуализация и виртуальная реальность	101
1.21.	Является ли невычислимым математическое воображение? . . . . .	104
<b>ГЛАВА 2. Гёделевское доказательство . . . . .</b>		<b>111</b>
2.1.	Теорема Гёделя и машины Тьюринга . . . . .	111
2.2.	Вычисления . . . . .	114
2.3.	Незавершающиеся вычисления . . . . .	116
2.4.	Как убедиться в невозможности завершить вычисление? . . . . .	117
2.5.	Семейства вычислений; следствие Гёделя — Тьюринга $\mathcal{G}$ . . . . .	123
2.6.	Возможные формальные возражения против $\mathcal{G}$ . . . . .	129
2.7.	Некоторые более глубокие математические соображения . . . . .	147
2.8.	Условие $\omega$ -непротиворечивости . . . . .	151
2.9.	Формальные системы и алгоритмическое доказательство . . . . .	154
2.10.	Возможные формальные возражения против $\mathcal{G}$ (продолжение) . . . . .	158
<b>Приложение А: Гёделизирующая машина Тьюринга . . . . .</b>		<b>193</b>
<b>ГЛАВА 3. О невычислимости в математическом мышлении . . . . .</b>		<b>206</b>
3.1.	Гёдель и Тьюринг . . . . .	206
3.2.	Способен ли необоснованный алгоритм познаваемым образом моделировать математическое понимание? . . . . .	211
3.3.	Способен ли познаваемый алгоритм непознаваемым образом моделировать математическое понимание? . . . . .	214
3.4.	Не действуют ли математики, сами того не осознавая, в соответствии с необоснованным алгоритмом? . . . . .	224
3.5.	Может ли алгоритм быть непознаваемым? . . . . .	230
3.6.	Естественный отбор или промысел Господень? . . . . .	234

3.7.	Алгоритм или алгоритмы? . . . . .	236
3.8.	Эзотерические математики не от мира сего как результат естественного отбора . . . . .	238
3.9.	Алгоритмы обучения . . . . .	243
3.10.	Может ли окружение вносить неалгоритмический внешний фактор? . . . . .	246
3.11.	Как обучаются роботы? . . . . .	249
3.12.	Способен ли робот на «твердые математические убеждения»? . . . . .	253
3.13.	Механизмы математического поведения робота . . . . .	257
3.14.	Фундаментальное противоречие . . . . .	261
3.15.	Способы устранения фундаментального противоречия . . . . .	264
3.16.	Необходимо ли роботу верить в механизмы $M$ ? . . . . .	266
3.17.	Робот ошибается и робот «имеет в виду»? . . . . .	270
3.18.	Введение случайности: ансамбли всех возможных роботов . . . . .	273
3.19.	Исключение ошибочных ☆-утверждений . . . . .	275
3.20.	Возможность ограничиться конечным числом ☆ $M$ -утверждений . . . . .	279
3.21.	Окончателен ли приговор? . . . . .	284
3.22.	Спасет ли вычислительную модель разума хаос? . . . . .	286
3.23.	<i>Reductio ad absurdum</i> — воображаемый диалог . . . . .	288
3.24.	Не парадоксальны ли наши рассуждения? . . . . .	304
3.25.	Сложность в математических доказательствах . . . . .	309
3.26.	Разрыв вычислительных петель . . . . .	313
3.27.	Вычислительная математика: процедуры нисходящие или восходящие? . . . . .	319
3.28.	Заключение . . . . .	322

## Часть II. НОВАЯ ФИЗИКА, НЕОБХОДИМАЯ ДЛЯ ПОНИМАНИЯ РАЗУМА

### В поисках невычислительной физики разума

ГЛАВА 4.	Есть ли в классической физике место разуму? 339	
4.1.	Разум и физические законы . . . . .	339
4.2.	Вычислимость и хаос в современной физике . . . . .	342
4.3.	Сознание: новая физика или «эмергентный феномен»? . . . . .	344

4.4.	Эйнштейнов <i>наклон</i> . . . . .	345
4.5.	Вычисления и физика . . . . .	360
<b>ГЛАВА 5.</b>	<b>Структура квантового мира</b> . . . . .	<b>373</b>
5.1.	Квантовая теория: головоломки и парадоксы . . . . .	373
5.2.	Задача Элитцура — Вайдмана об испытании бомб . . . . .	376
5.3.	Магические додекаэдры . . . . .	378
5.4.	<b>Z</b> -загадки ЭПР-типа: экспериментальный статус . . . . .	386
5.5.	Фундамент квантовой теории: исторический экскурс . . . . .	391
5.6.	Основные правила квантовой теории . . . . .	402
5.7.	Унитарная эволюция <b>U</b> . . . . .	405
5.8.	Редукция <b>R</b> вектора состояния . . . . .	410
5.9.	Решение задачи Элитцура — Вайдмана об испытании бомб . . . . .	417
5.10.	Квантовая теория спина. Сфера Римана . . . . .	421
5.11.	Местонахождение частицы и ее количество движения . . . . .	431
5.12.	Гильбертово пространство . . . . .	433
5.13.	Описание редукции <b>R</b> в терминах гильбертова пространства . . . . .	439
5.14.	Коммутирующие измерения . . . . .	444
5.15.	Квантовомеханическое «И» . . . . .	445
5.16.	Ортогональность произведений состояний . . . . .	448
5.17.	Квантовая сцепленность . . . . .	450
5.18.	Объяснение загадки магических додекаэдров . . . . .	458
<b>Приложение В:</b>	<b>Нераскрашиваемость додекаэдра</b> . . . . .	<b>467</b>
<b>Приложение С:</b>	<b>Ортогональность общих спиновых состояний</b> . . . . .	<b>468</b>
<b>ГЛАВА 6.</b>	<b>Квантовая теория и реальность</b> . . . . .	<b>474</b>
6.1.	Является ли <b>R</b> реальным процессом? . . . . .	474
6.2.	О множественности миров . . . . .	479
6.3.	Не принимая вектор $ \psi\rangle$ всерьез . . . . .	482
6.4.	Матрица плотности . . . . .	488
6.5.	Матрицы плотности для ЭПР-пар . . . . .	496
6.6.	FAPP-объяснение процедуры <b>R</b> . . . . .	499
6.7.	FAPP-объяснение правила квадратов модулей . . . . .	506
6.8.	О редукции вектора состояния посредством сознания . . . . .	508



6.9.	А теперь попробуем принять $ \psi\rangle$ действительно всерьез . . . . .	510
6.10.	Гравитационная редукция вектора состояния . . . . .	515
6.11.	Абсолютные единицы . . . . .	519
6.12.	Новый критерий . . . . .	521
<b>ГЛАВА 7.</b>	<b>Квантовая теория и мозг . . . . .</b>	<b>534</b>
7.1.	Макроскопическая квантовая процедура в работе мозга . . . . .	534
7.2.	Нейроны, синапсы и компьютеры . . . . .	540
7.3.	Квантовые вычисления . . . . .	544
7.4.	Цитоскелет и микротрубочки . . . . .	547
7.5.	Квантовая когерентность внутри микротрубочек . . . . .	561
7.6.	Микротрубочки и сознание . . . . .	564
7.7.	Модель разума . . . . .	567
7.8.	Невычислимость в квантовой гравитации (1) . . . . .	575
7.9.	Машины с оракулом и физические законы . . . . .	578
7.10.	Невычислимость в квантовой гравитации (2) . . . . .	581
7.11.	Время и сознательное восприятие . . . . .	584
7.12.	ЭПР-феномены и время: необходимость в новом мировоззрении . . . . .	591
<b>ГЛАВА 8.</b>	<b>Возможные последствия . . . . .</b>	<b>598</b>
8.1.	Искусственные разумные «устройства» . . . . .	598
8.2.	Что компьютеры умеют делать хорошо... и что не очень . . . . .	602
8.3.	Эстетика и т. д. . . . .	607
8.4.	Опасности компьютерных технологий . . . . .	610
8.5.	Неправильные выборы . . . . .	613
8.6.	Физический феномен сознания . . . . .	617
8.7.	Три мира и три загадки . . . . .	625
	Эпилог . . . . .	640
	Литература . . . . .	641
	Предметный указатель . . . . .	673