

УДК 621.311.019.3

**ИНФОРМАЦИОННЫЕ ВОЗМОЖНОСТИ И ЭНТРОПИЯ КВАНТОВЫХ
ИЗМЕРЕНИЙ**
**INFORMATION CAPABILITIES AND ENTROPY OF QUANTUM
MEASUREMENTS**

Траскевич Д.И.

Научный руководитель – Е.Н. Савкова, к.т.н., доцент
Белорусский национальный технический университет
г. Минск, Республика Беларусь
savkova@bntu.by

D. Traskevich

Supervisor – Y.N. Saukova, Candidate of Technical Sciences, Docent
Belarusian national technical university,
Minsk, Belarus

***Аннотация:** В данной работе описывается возможность использования квантовых измерений и квантовых компьютеров, а также проблемы информационной энтропии.*

***Ключевые слова:** квантовые измерения, информационная энтропия, квантовые компьютеры.*

***Abstract:** This paper describes the possibility of using quantum measurements and quantum computers, as well as problems of information entropy.*

***Keywords:** quantum measurements, information entropy, quantum computers.*

Четвертая Индустриальная революция ужесточила требования к точности контроля параметров продукции и послужила стимулом для развития квантовых измерений. Анализ работ [1-7] позволил сделать вывод, что квантовые измерения реализуются при помощи квантовых компьютеров и точек. Квантовый компьютер обрабатывает информацию иначе, чем обычный или «классический» компьютер в двух фундаментальных аспектах. Квантовая точка – это нанокристал неорганического полупроводникового материала (кремния, фосфида индия, селенида кадмия) [2]. Квантовые вычисления предоставляют новую парадигму для решения сложных задач оптимизации.

Метеорология. Квантовые компьютеры используются для картографирования чрезвычайно сложных погодных условий, предоставлять прогнозы для небольших, более конкретных регионов, в отличие от «стандартных» погодных систем, они могут [2]. Так, на выставке CES 2019 генеральный директор IBM Джинни Рометти представила новую систему прогнозирования погоды, разработанную компанией совместно с The Weather Company. Чтобы повысить точность прогноза в регионах, где нет специализированных метеорологических установок, в IBM собираются впервые использовать данные с датчиков атмосферы, установленных на самолетах [3].

Кибербезопасность. Квантовые компьютеры могут осуществлять взлом алгоритмов шифрования, защищающих инфраструктуру Интернета и конфиденциальные данные. Квантовобезопасные алгоритмы выполняют шифрование финансовых и банковских операций, военной и

правительственной связи, корпоративных сетей, медицинских записей и личных данных в облаке [2].

Аккумуляторы нового поколения. В своем исследовании IBM и Daimler симулировали основное состояние и дипольный момент молекул, используемых в литий-серной батарее: гидрид лития (LiH), сероводород (H₂S), гидросульфида лития (LiSH) и сульфида лития (Li₂S). Вычисления совершались с использованием четырех кубитов квантового компьютера IBM Q Valencia. Исследователи Daimler считают, что квантовые компьютеры способны с высокой точностью симулировать и вычислять поведение молекул в литий-серных батареях. Цель молекулярной симуляции — найти основное квантовое состояние элемента, его наиболее стабильную конфигурацию [4].

Солнечная энергия. Австралийские исследователи из Университета Квинсленда уже разработали гибкие и печатаемые квантовые точки, обеспечивающие эффективность преобразования энергии более чем на 16 % [5].

Оптимизация дорожных магистралей и трафиков. В 2018 г. На технической конференции Web Summit в Лиссабоне (Португалия) автоконцерн Volkswagen Group анонсировал систему управления дорожным трафиком на основе квантовых вычислений [2]. Группа ИТ-специалистов Volkswagen разработала алгоритм для регулирования транспортного потока, используя возможности высокопроизводительных квантовых компьютеров. Для реализации проекта Volkswagen воспользовалась мощностями квантовых компьютеров компании D-Wave. С помощью новой технологии «управляющие общественным транспортом организации, таксопарки и поставщики транспортных услуг смогут еще более эффективно использовать свои автопарки [1].

Медицина (диагностика заболеваний на ранних стадиях). Корпорация Microsoft, исследователи которой совместно с учеными из Университета Кейс Вестерн Резерв (Case Western Reserve University) в Кливленде успешно применили квантовые алгоритмы к методу медицинской визуализации - магнитно-резонансной дактилоскопии (MRF). В то время как традиционная магнитно-резонансная томография может идентифицировать только светлые или темные области, MRF способна точно различать типы тканей, позволяя получать более подробные и интерпретируемые изображения [6].

Физика элементарных частиц. На Большом адронном коллайдере в ЦЕРНе (Европейская организация по ядерным исследованиям) дают данные по одному петабайту в секунду от миллиарда столкновений частиц каждую секунду. Анализ выполняется на одном миллионе процессорных ядер, работающих в 170 центрах обработки данных по всему миру. К 2027 году вычислительная мощность, необходимая для обработки и анализа данных ЦЕРН, увеличится в 50-100 раз. ЦЕРН уже начал работать с IBM над квантовыми компьютерами. Исследователи использовали «квантовую машину опорных векторов», чтобы увидеть, как контролируемое квантовое машинное обучение может быть использовано для идентификации событий бозона Хиггса в данных о столкновениях. Другая группа исследователей успешно смоделировала решеточные калибровочные теории на квантовом компьютере [2].

Другие области применения квантовых точек - защита документов и изделий от фальсификации, изготовление и идентификация маркеров в медицинских и биологических исследованиях, производство современных дисплеев, лазерные технологии, энергетика [5].

В последние несколько лет правительства по всему миру и крупные технологические компании, такие как Google, IBM, Microsoft, Alibaba и многие другие, инвестируют средства в квантовые вычисления. Примеры включают в себя европейский флагман квантовых технологий стоимостью 2 миллиарда евро, квантовый центр Китая стоимостью 10 миллиардов долларов США и счет за квантовые вычисления в размере 1,2 миллиарда долларов США. Ученые из Корнелльского университета провели систематическое исследование квантовых вычислений для задач оптимизации энергетических систем, выявив новые перспективы. Так, в январе 2019 года крупная газовая компания ExxonMobil подписала соглашение с IBM о разработке энергетических и производственных технологий нового поколения с использованием квантовых вычислений [8].

В таблице 1 показаны среды выполнения одного ядра процессора и квантового процессора D-wave для различного количества объектов. Таблица показывает, что вычислительное время для первого растет экспоненциально с количеством объектов: для 14 объектов одно ядро процессора работает более 11 часов, в то время как процессор Dwave занимает всего 16 минут [8].

Таблица 1 – Среда выполнения одного ядра процессора и квантового процессора D-wave для различного количества объектов

No. facilities	Best known solution	Gurobi solver (single CPU core)		Quantum solver (D-wave 2000Q)	
		time(s)	obj. fun.	time (s)	obj. fun.
3	24	1.33	24	0.024	24
4	32	1.48	32	0.062	32
5	58	1.5	58	0.066	58
6	94	1.35	94	0.043	94
8	214	1.96	214	0.127	214
9	264	2.01	264	445.23	264
12	578	325.68	578	1946.12	578
14	1014	42,010.42	1014	1008.7	1026
15	1150	— ^a	1160	986.19	1160
17	1732	— ^a	1750	921.71	1786
20	2570	— ^a	2674	744.76	2640

В некоторых трактовках статистической термодинамики, человек связывает физическую энтропию со статистической «информацией». Трудность этого подхода заключается в том, что информационная энтропия S не всегда просто связана с термодинамическим теплом [7]:

$$d'Q = -f_k dx^k \tag{1}$$

При этом статистическая энтропия квантового измерения считается возрастающей, однако фрикционный нагрев (т.е. увеличение

термодинамической энтропии $d'Q/T$) в низкоскоростном при проективном измерении практически равен нулю [7].

Парадокс может быть разрешен, если понять, что во время развития унитарного времени в уравнении [7]:

$$ih \left(\frac{\partial \rho}{\partial t}\right) = [H, \rho], \quad (2)$$

где:

i - мнимое число;

h - постоянная Планка;

H – оператор Гамильтона;

ρ - матрица плотности.

на самом деле строго верно, что статистическая энтропия уравнения [7]:

$$S = -k_B \text{Tr}(\rho \ln \rho), \quad (3)$$

не увеличивается вообще, т.е. [7]:

$$\frac{dS}{dt} = -k_B \frac{d}{dt} \text{Tr}(\rho \ln \rho), \quad (4)$$

Только благодаря самому постулату проекции можно показать, что статистическая энтропия увеличивается [7]:

$$d'Q = T dS, \quad (72)$$

и тогда нет большой разницы между статистической энтропией и термодинамической [7]:

$$S = k_B \ln \Omega \quad (5)$$

где:

k_B - постоянная Больцмана;

Ω – статический вес макросостояния с энтропией S .

Если квантовый объект имеет бесконечное число степеней свободы, то разумно сослаться на неединичное развитие времени между гильбертовыми пространствами, которые не являются унитарно эквивалентными. Для этой ситуации представляется разумным, что эквивалентность между статистической энтропией и термодинамической энтропией может быть установлена во время необратимой динамики. Обсуждение, представленное в данной работе, является точным и описывает проблему понимания связи между квантовыми измерениями и вторым термодинамическим законом увеличения энтропии [7].

Литература

1. Volkswagen начала использовать квантовый компьютер для управления трафиком на дорогах [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://www.tadviser.ru>.
2. 12 лучших применений квантовых вычислений дорогах [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://new-science.ru/12-luchshih-primenenij-kvantovyh-vychislenij/>.

3. IBM представила новую систему прогнозирования погоды GRAF - InfoCity [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://infocity.az/2019/01/ibm-sistema-graf/>.
4. IBM и Daimler разрабатывают аккумулятор нового поколения для автомобилей [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://vc.ru/future/100858-ibm-i-daimler-razrabatyvayut-akkumulyator-novogo-pokoleniya-dlya-avtomobiley>.
5. Квантовые точки: полиграфия и другие области применения дорогах [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://pechatnick.com/articles/kvantovie-tochki-poligrafiya-i-drygie-oblasti-primeneniya>.
6. Таблетка от смерти: как квантовые алгоритмы меняют медицину [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://trends.rbc.ru/trends/industry/611b66af9a79471c0b131f3b>
7. Quantum Measurements, Information and Entropy Production [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://arxiv.org/abs/quant-ph/9810095>.
8. Use cases of quantum computing in the energy industry | by Jirawat Tangpanitanon | QTFT | Medium [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://medium.com/qtft/use-cases-of-quantum-computing-in-the-energy-industry-2974705d379a>