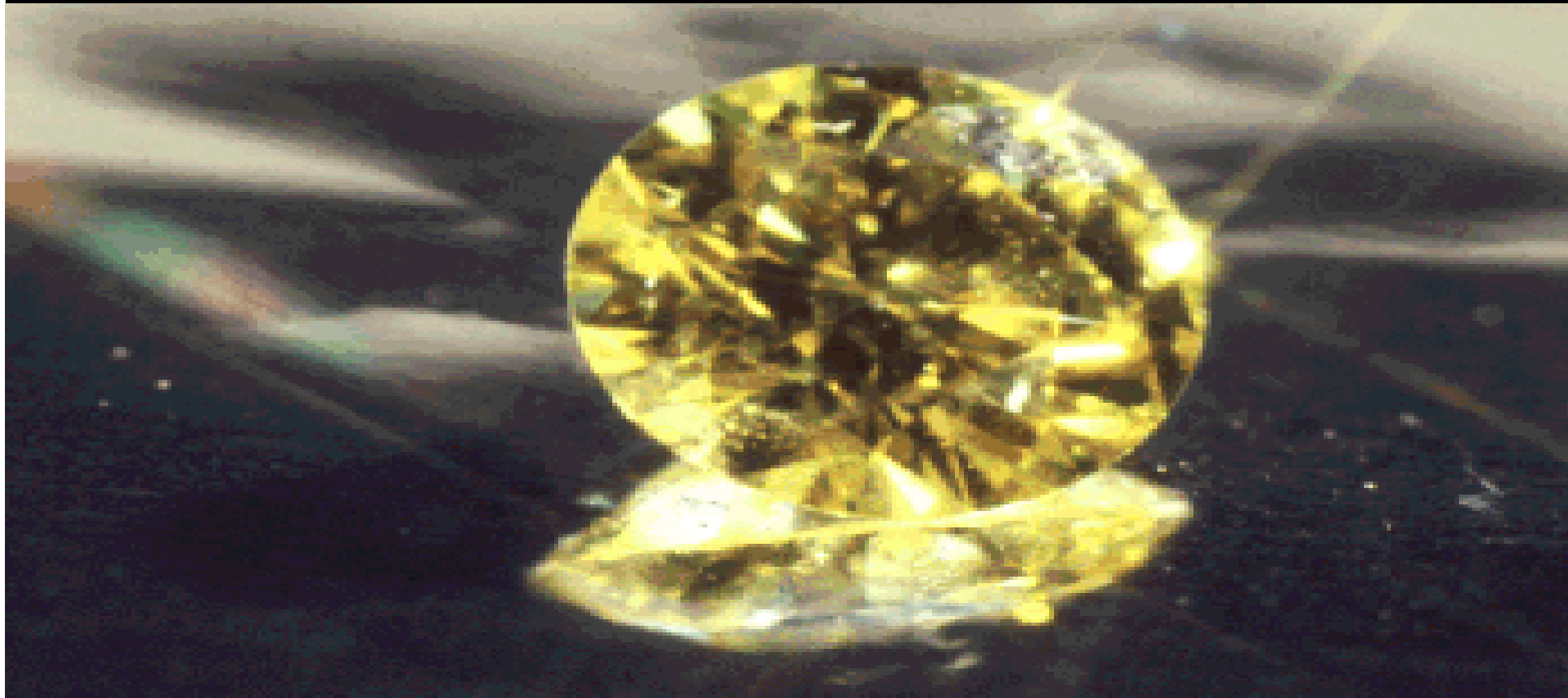


**Квантовые информационные технологии --
перспективное направление, поддерживаемое ЕС.
Проект EQUIND в 6-й РП: опыт организации,
корректировки и выполнения**

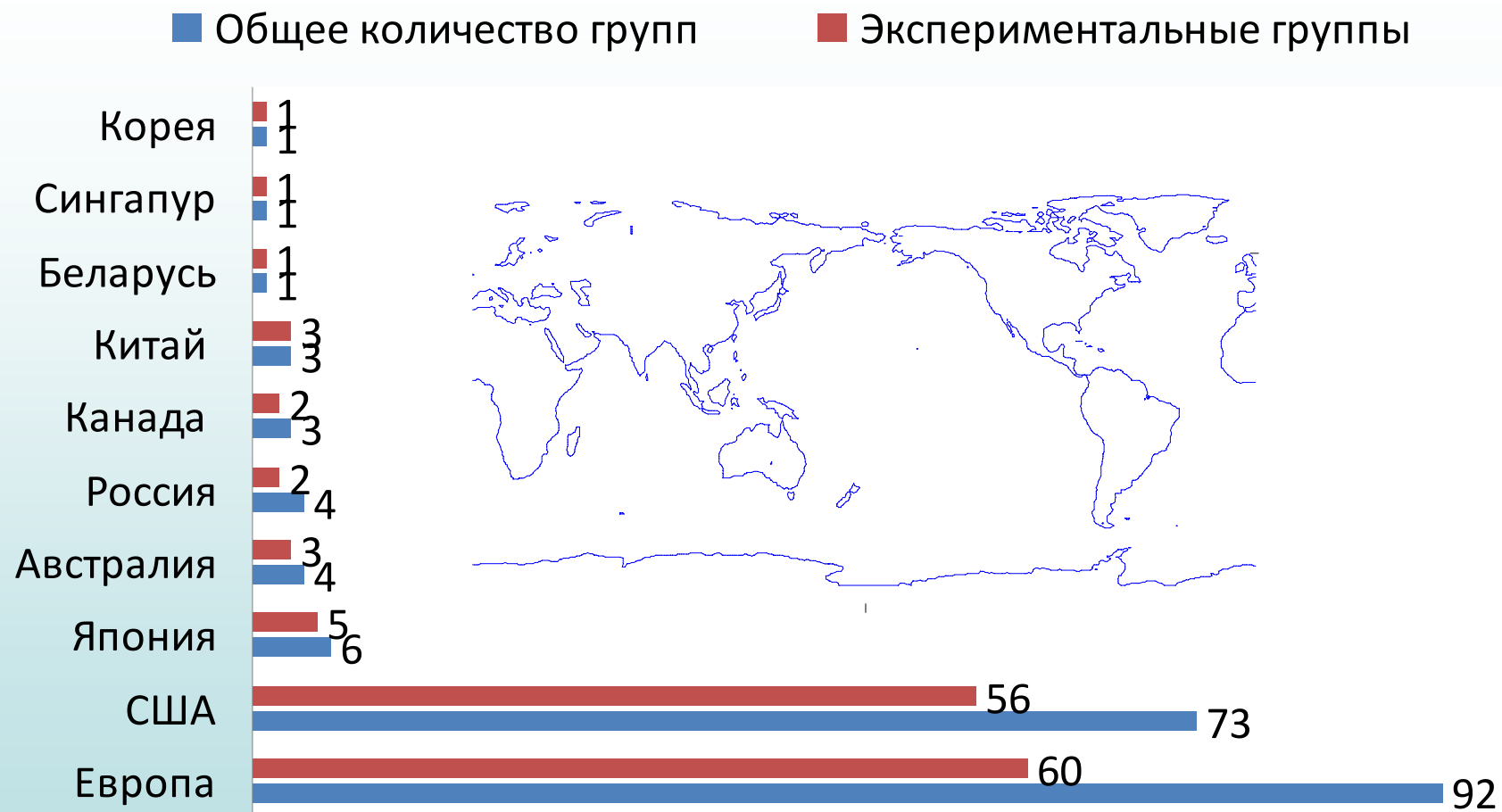


**Килин С.Я.
Лаборатория квантовой оптики,
Институт физики им. Б.И.Степанова, НАН Беларуси**

**Квантовые информационные технологии –
перспективное направление,
поддерживаемое ЕС**

Цифры и факты

Распределение КИ-центров по странам и континентам



Научные центры по КИ-направлениям исследований в мире



215 научных центров

Финансирование исследований по КИ

Европа: 6-я рамочная программа (РП6)

Основные проекты (FET QIPC Proactive Initiative)	Объем финансирования, (млн. евро)
Размерно-инвариантные КВ со светом и атомами (SCALA) <small>(Scalable Quantum Computing with Light and Atoms) Philippe Grangier</small>	9.4
Применения кубитов (QAP) <small>Ian Walmsley and Martin Plenio</small>	9.9
Европейский сверхпроводящий квантово-информационный процессор (EuroSQIP) <small>European Superconducting Quantum Information Processor</small>	6

Финансирование дополнительных проектов (FET Open Scheme) по КИ в РПБ (13.6 млн. евро)

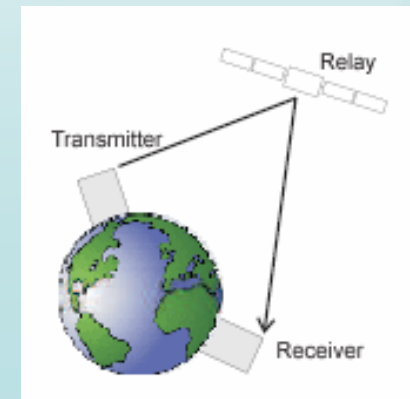
- Квантовая информация на непрерывных переменных со светом и атомами
- Контроль кубитов на джозефсоновских контактах
- Оптические решетки и квантовая информация
- Акустоэлектронный однофотонный детектор
- Развитие общеевропейских технологий микроловушек для использования ионов в ловушках в квантовой информатике
- Основы квантовой информатики и вычислений
- **С 2007 года – проект EQUIND (Конструируемая квантовая информация в наноструктурированном алмазе) [2.34 млн. евро] – участвует Институт физики им. Б.И.Степанова**

Финансирование исследований по КИ в мире

■ Финансирование КИ, млн. евро в год



+ Европейское космическое агентство - 500 млн.евро

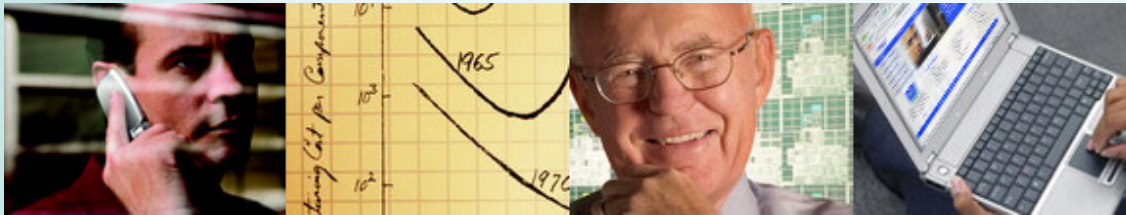


**Квантовые информационные технологии –
перспективное направление,
поддерживаемое ЕС**

**Причины, цели
и способы достижения**

КВАНТОВАЯ ФИЗИКА – ОСНОВА БУДУЩИХ ТЕХНОЛОГИЙ

Квантовые нанотехнологии



Квантовые компьютеры

Мур, 1965

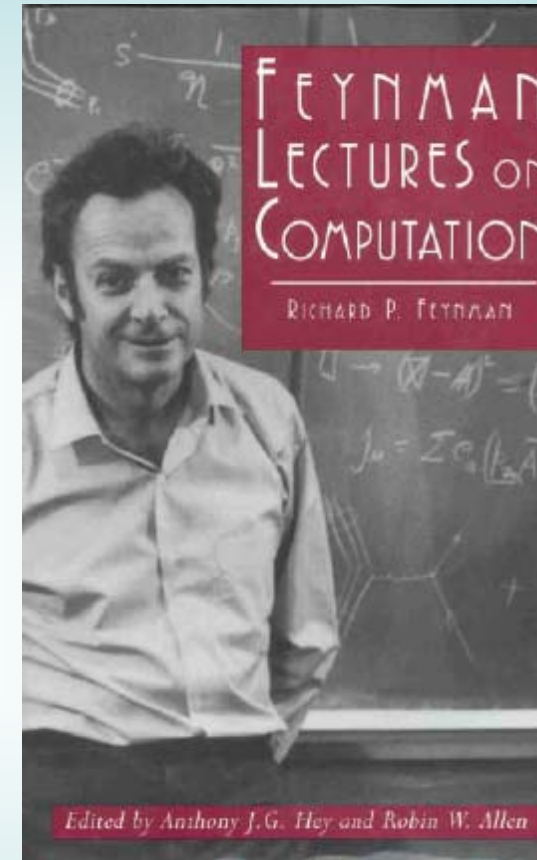
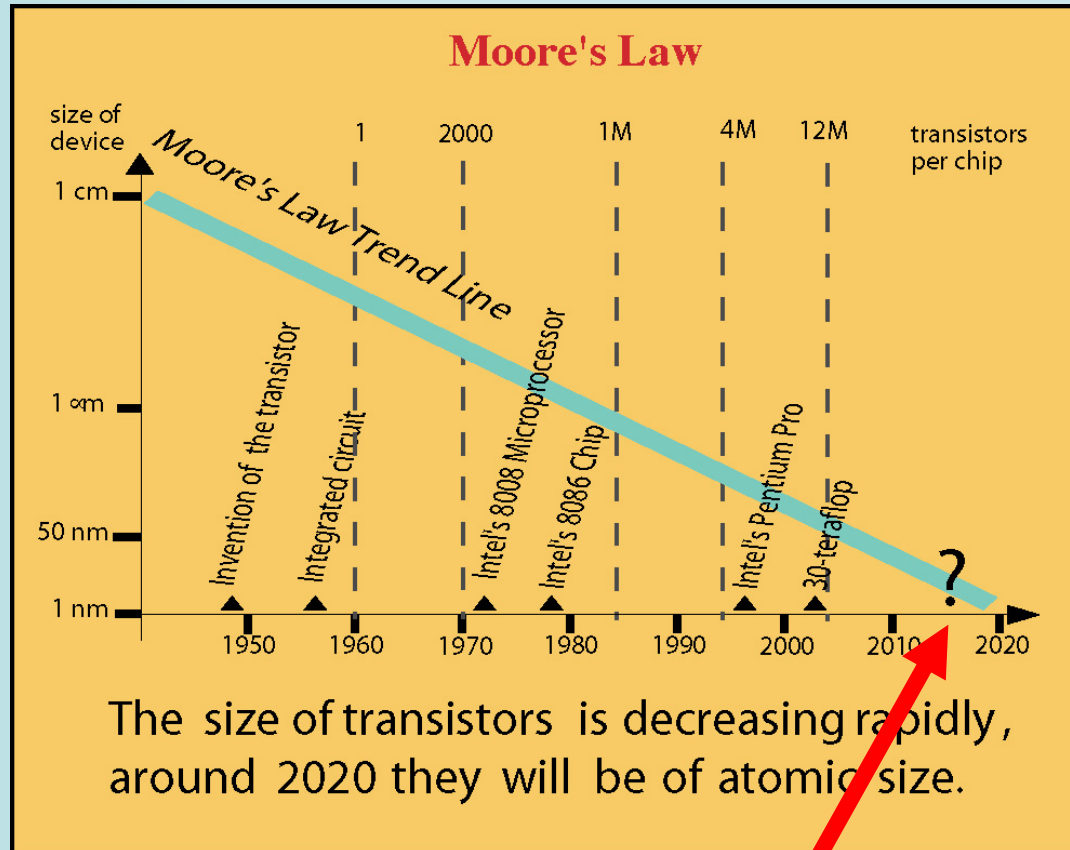


2015-20

45нм → 10нм

Квантовая криптография

Квантовые компьютеры



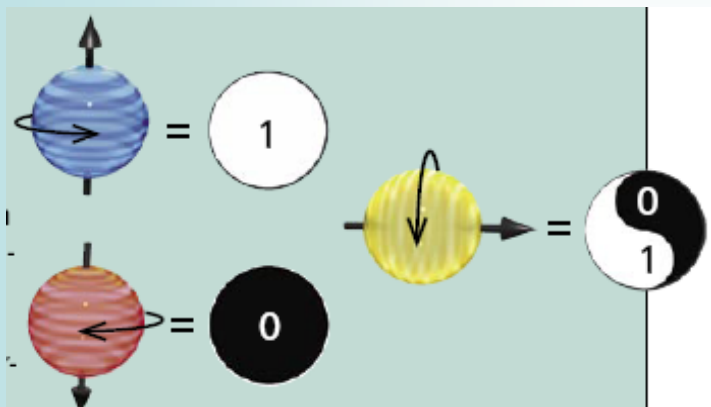
Конец закона Мура ?

“... законы физики не препятствуют уменьшению размера элементов компьютеров до размеров атомов и тогда особенности квантового поведения становятся принципиально важными...”

Р. Фейнман (1985)

Квантовая информация, квантовые компьютеры, кубиты...

Квантовая механика обеспечивает возможность параллельной обработки информации со скоростями, недоступными в классических компьютерах, и, за счет этого, - продолжение закона Мура



$$|\psi\rangle = a|0\rangle + b|1\rangle$$

Для создания КК необходимо:

- инициирование, управление и считывания квантовых состояний фотонов, атомов, молекул, ионов, спинов, квантовых точек и т.п.
- масштабирование системы кубитов,
- сохранение когерентности.

**Квантовые информационные технологии –
перспективное направление,
поддерживаемое ЕС**

**Междисциплинарный характер
исследований в области КИ.
Прогнозы развития
(дорожные карты)**

Кластер проектов в области КИ
QIPC
**(Quantum Information Processing
& Communications)**

**Собрания (конференции) кластерных
проектов: (QIPC → Март 3-7, 2008, Париж)**

Прогнозы развития:
**Strategic report on current status,
vision and goals for research in Europe
(version 1.3 March 2007)**
ARDA -04 (США)

Перспективы развития квантовых компьютеров (прогноз QIPС)

Цели на 5 лет (к 2012 году)	<ul style="list-style-type: none">I. Квантовые процессоры на десятке кубитовII. Помехоустойчивые вычисления и коррекция ошибок для систем с малым числом кубитовIII. Пространственно распределенный квантовый алгоритмIV. Различные типы перепутанных состояний размеров до 10 кубитовV. Квантовое моделирование, не воспроизводимое классически
Цели на 10 лет (к 2017 году)	<ul style="list-style-type: none">I. Квантовая память большого размераII. Квантовые алгоритмы до 50 кубитовIII. Квантовое моделирование важнейших научных проблемIV. Квантовые алгоритмы с помехоустойчивой коррекцией ошибок

Специализированные краткосрочные цели создания КК

Системы	Основные задачи на период 2008-2012
<p>ЯМР</p> 	<ol style="list-style-type: none">1. Длительное хранение квантовой информации2. Точное приготовление состояний GHZ, операции SWAP3. Оптика для управления сверхтонкими взаимодействиями
<p>Ионные ловушки</p> 	<ol style="list-style-type: none">1. Интегрирование оптики2. Коррекция ошибок, создание квантовых регистров, масштабирование3. Идентификация наиболее перспективного иона
<p>Нейтральные атомы</p> 	<ol style="list-style-type: none">1. Простой протокол коррекции ошибок, полная коррекция ошибок для нескольких кубитов, обновление вспомогательного кубита2. Дополнительное охлаждение помимо инициализации3. Начало полного интегрирования системы

Системы	Основные задачи на период 2008-2012
<p>Резонаторная квантовая электродинамика</p> 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Развитие детерминистического источника перепутанных фотонов 2. Демонстрация условных логических элементов, масштабируемости 3. Когерентный обмен информацией между атомом и модой поля
<p>Системы линейной оптики</p> 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Источник одиночных фотонов, многофотонных перепутанных состояний 2. Демонстрация квантовой памяти 3. Развитие гибридной опто-электронной обработки информации
<p>Твердотельные КК</p> 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Классификация источников декогеренции 2. Интегрированное, полностью электрическое считывание 3. Масштабирование от 10 до 100 кубитов
<p>Сверхпроводящие КК</p> 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Демонстрация сверхпроводящей электроники на чипе 2. Масштабирование до 100 физических кубитов 3. Быстрые схемы управления и измерения

Оценка текущего состояния разработки физических систем для КК (критерии Ди Винченцо)

1. Масштабируемость



2. Инициализация начального состояния



3. Минимальность времени декогеренции

$$t \ll T$$


4. Универсальный набор квантовой логики





5. Измерение кубитов



Сравнительное состояние технологий КК

Технология квантового компьютера	Критерии Ди Винченцо				
			$t \ll T$		
Ядерный магнитный резонанс 					
Ионы в ловушках 					
Нейтральные атомы 					
Резонаторы 					
Оптические схемы 					
Твердотельные системы 					
Сверхпроводники 					

 - перспективный метод, реализованный экспериментально

 - метод предложен, но еще не реализован

Главные направления современных исследований КК

- **Физические системы для КК и архитектура процессоров**
- **Квантовое моделирование**
- **Квантовое исправление ошибок и устойчивые к ошибкам КВ**
- **Квантовые алгоритмы и сложность (в т.ч. геометрические и топологические методы)**
- **Теория перепутывания**

**Квантовые информационные технологии –
перспективное направление,
поддерживаемое ЕС**

**EQUIND: старт
в алмазную эру в спинтронике**



SIXTH FRAMEWORK PROGRAMME

Раздел: Information Society Technologies

Тип проекта: SPECIFIC TARGETED RESEARCH
OR INNOVATION PROJECT (STREP)

Полное название проекта:

Engineered
Quantum
Information in
Nanostructured
Diamond

(Конструируемая квантовая информация в
наноструктурированном алмазе)

Proposal/Contract no.: IST-034368

Operative commencement date of contract: 1 January 2007

6-я ЕВРОПЕЙСКАЯ
РАМОЧНАЯ ПРОГРАММА



ТЕХНОЛОГИИ ИНФОРМАЦИОННОГО
ОБЩЕСТВА



ПРОЕКТ :
КВАНТОВАЯ ИНФОРМАЦИЯ В
НАНОСТРУКТУРИРОВАННОМ АЛМАЗЕ



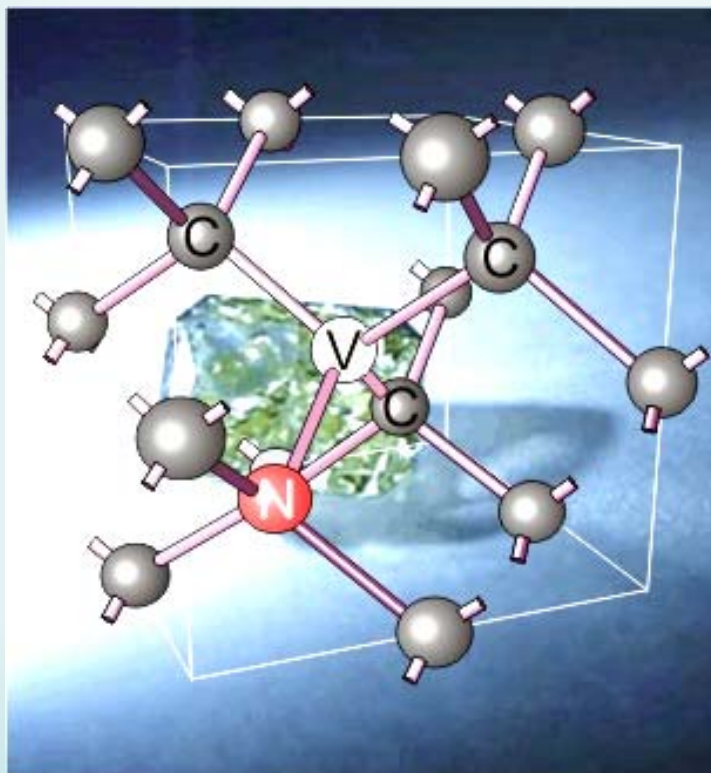
UNIVERSITY



STUTT GART



University of
Bristol



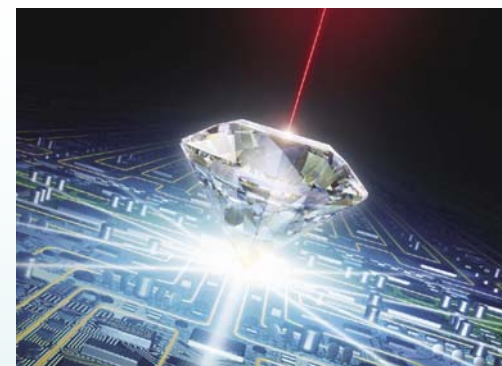
КВАНТОВЫЙ ПРОЦЕССОР НА СПИНОВЫХ
СОСТОЯНИЯХ NV- ЦЕНТРА В АЛМАЗЕ



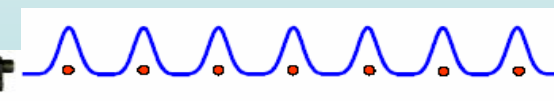
Цели проекта



- РАЗРАБОТКА И СОЗДАНИЕ МАСШТАБИРУЕМОГО ПРОЦЕССОРА КВАНТОВОГО КОМПЬЮТЕРА НА ОСНОВЕ ОДИНОЧНЫХ ЦЕНТРОВ (ДЕФЕКТОВ) В НАНОСТРУКТУРИРОВАННОМ АЛМАЗЕ С ОПТИЧЕСКИМ ИНИЦИИРОВАНИЕМ И СЧИТЫВАНИЕМ СОСТОЯНИЯ ПРОЦЕССОРА



- РАЗРАБОТКА И СОЗДАНИЕ ЭФФЕКТИВНЫХ ИСТОЧНИКОВ ОДИНОЧНЫХ ФОТОНОВ ДЛЯ КВАНТОВОЙ КРИПТОГРАФИИ НА ОСНОВЕ ОДИНОЧНЫХ ЦЕНТРОВ В НАНОСТРУКТУРИРОВАННОМ АЛМАЗЕ



Фотонный
пистолет



THE DIAMOND AGE OF SPINTRONICS

Quantum electronic devices that harness the spins of electrons might one day enable room-temperature quantum computers—made of diamond

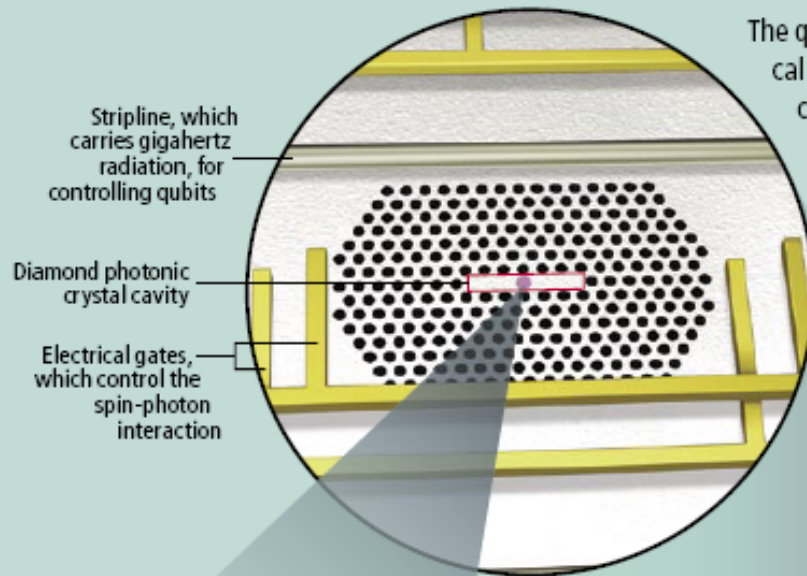
By David D. Awschalom,
Ryan Epstein
and Ronald Hanson



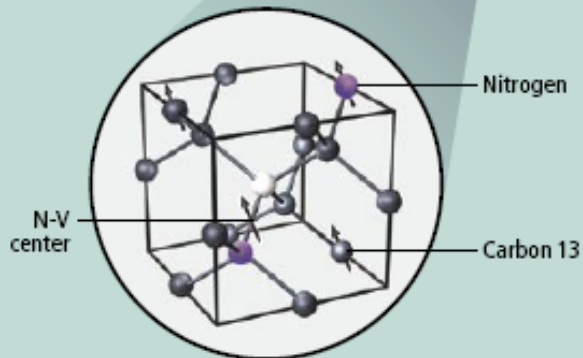
БУДУЩЕЕ КВАНТОВЫХ ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ – СИНЕРГИЯ КВАНТОВЫХ НАНОТЕХНОЛОГИЙ

DIAMOND MICROPROCESSOR

In the future, people wishing to carry out certain specialized tasks may use quantum computers based on diamond spintronics.



The quantum chip that drives the computer's unique abilities contains millions of optical cavities, each one consisting of an array of holes etched into the diamond. These cavities enhance the interaction between spins implanted at the center of the cavity (purple dot) and photons that carry quantum information to elsewhere on the chip. Voltages on electrodes control this interaction. Gigahertz radio waves sent along "striplines" manipulate individual spin states (qubits).



A variety of spins in each cavity perform different functions: N-V centers and nitrogen spins process data, the N-V centers interact with photons, and carbon 13 spins store data for as long as seconds.



**Квантовые информационные технологии –
перспективное направление,
поддерживаемое ЕС**

**EQUIND:
апостериорный взгляд на историю
формирования проекта и вхождения в него**

История

1991 г. – первые работы по спектроскопии одиночных молекул

Наше участие

- 1994-1996 гг. - Проект «Квантовая оптика одиночных молекул и изолированных атомов и молекулярная компьютерная память», грант БРФФИ Ф18-203;
- 1995-1996 гг. - Проект «Спектроскопия одиночных молекул», грант ННФ США РНУ-9414515, проф. П.Берман, университет Мичигана, Анн-Арбор, США;
- 1996-1997 гг. – Проект «Двухуровневые системы в спектроскопии одиночных молекул: экспериментальные и теоретические аспекты», грант Фонда «Фольксваген» проф. Фон Борцисковски, Технический Университет Кемница, Кемниц, Германия; (объект – эталонная система СОМ – примесные молекулы Пц в ПТФ)

1997 г. – в Кемнице впервые в мире были выполнены эксперименты на одиночных NV центрах в алмазе!!!

1999 г. -- в фонд Фольксвагена был заявлен совместный проект «Квантовые вычисления с одиночными ядерными спинами», который не прошел...

2001 г. – Предложена идея квантового компьютера на одиночных спинах NV центров в алмазе [Й.Врахтруп, С.Я.Килин, А.П.Низовцев, Оптика и Спектроскопия, 91 (2001) 429]

Позже - совместные гранты НАТО, ИНТАС...

*Организация или участие в организации
международных конференций*

ICQO'2006

Minsk 2006



*ICQO - серия международных конференций по квантовой оптике,
организуемых и проводимых в Минске вот уже 20 лет.*



Минск, Международная конференция по квантовой оптике (ICQO'2006) 26-31 Мая 2006

Поддержка и перспективы развития квантовых вычислений в Беларуси

В настоящее время по квантово-информационной тематике выполняется 8 проектов, финансируемых из бюджета союзного государства, республиканского бюджета, БРФФИ



РОССИЙСКАЯ АКАДЕМИЯ НАУК

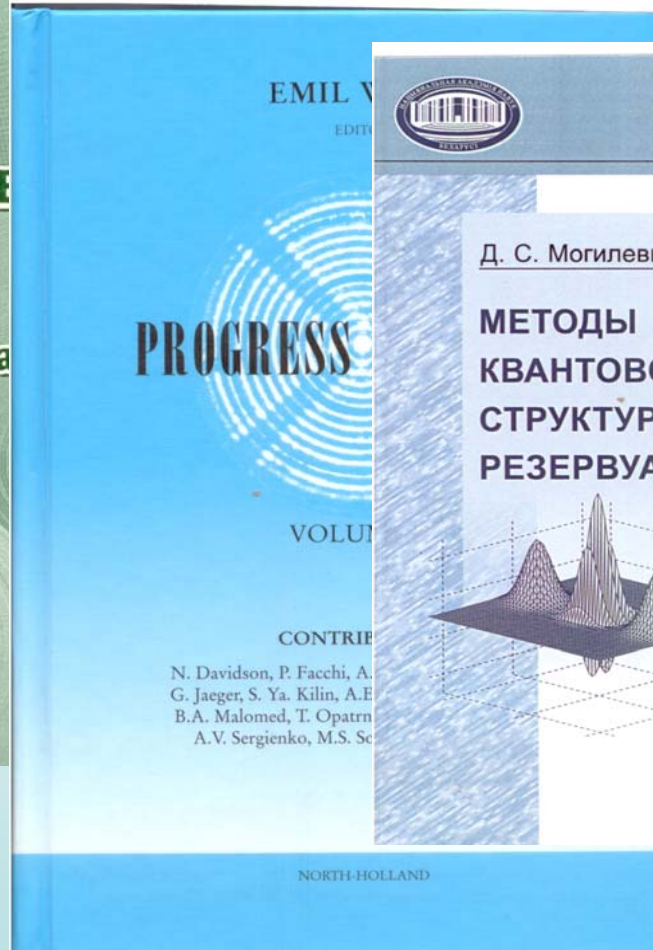
Успехи физических наук

ISSN 0042-1394

С. Я. Килин 18 г.



**Квантовая
оптика**
Поля и их
детектирование



PROGRESS

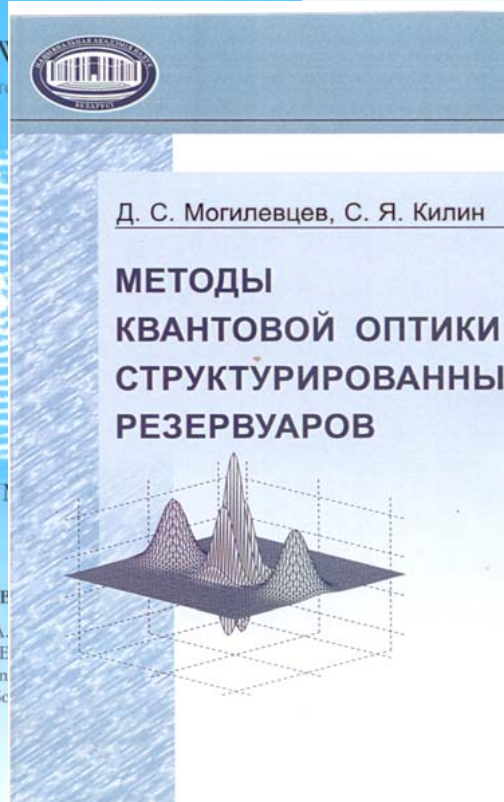
VOLUME

CONTRIBUTORS

N. Davidson, P. Facchi, A.
G. Jaeger, S. Ya. Kilin, A.E.
B.A. Malomed, T. Opatrny,
A.V. Sergienko, M.S. Scully

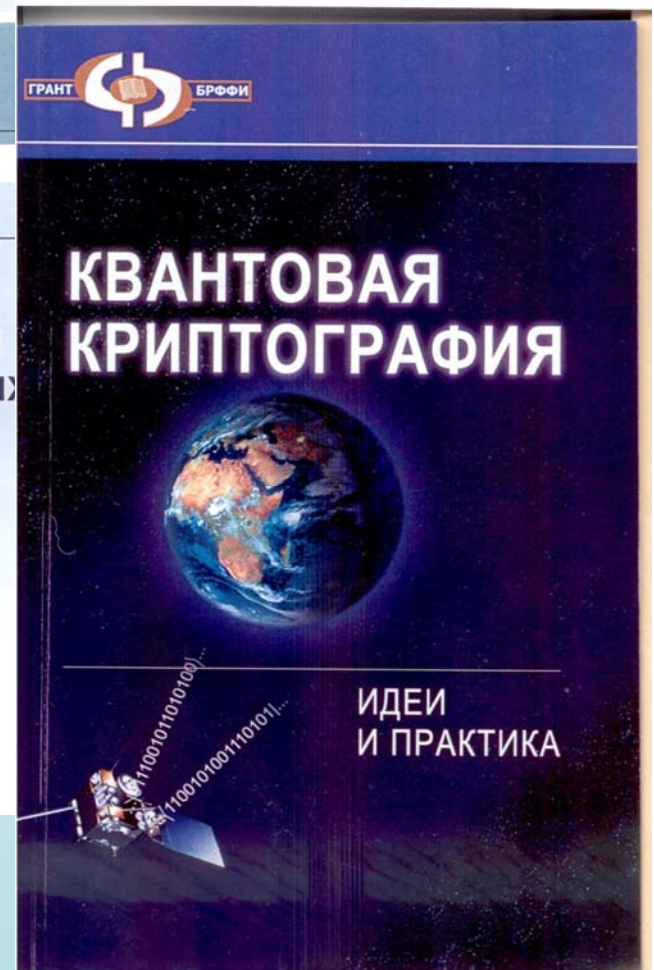
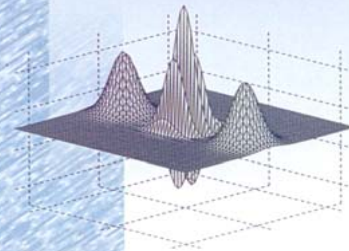
NORTH-HOLLAND

Информационное сопровождение
направления исследований в РБ



Д. С. Могилевцев, С. Я. Килин

МЕТОДЫ
КВАНТОВОЙ ОПТИКИ
СТРУКТУРИРОВАННЫХ
РЕЗЕРВУАРОВ



ГРАНТ БРФИ

КВАНТОВАЯ
КРИПТОГРАФИЯ

ИДЕИ
И ПРАКТИКА

Резюме

Составляющие успеха и вхождения в европейские рамочные программы:

- активная многолетняя работа в перспективном направлении
- наличие международных связей, по возможности подтвержденных совместными проектами
- организация или участие в организации международных конференций
- поддержка тематики в Беларуси (финансовая и информационная)

Спасибо за внимание!

