

**О важности учета квантово-структурных элементов облаков при дистанционном зондировании атмосферы Земли и других планет**

А. А. Ганжа<sup>1,2</sup>, И.Е. Кузнецов<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Федеральное государственное автономное научное учреждение Институт сверхвысокочастотной полупроводниковой электроники имени В. Г. Мокерова Российской академии наук

117105, Россия, г. Москва, Нагорный проезд, д.7, стр.5.

E-mail: daoganzha@rambler.ru

<sup>2</sup> Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «МИРЭА – Российский технологический университет», (РТУ МИРЭА) 119454, Россия, г. Москва, проспект Вернадского, 78

<sup>3</sup> Военный учебно-научный центр Военно-воздушных сил «Военно-Воздушная академия имени профессора Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина»

394064, Россия, г. Воронеж, ул. Старых Большевиков, д.54а.

E-mail: vaiumet@mail.ru

*В статье показано, что квантово-структурные элементы облаков (КСЭО) формируют в атмосфере большие ансамбли нанокластеров (БАНК), которые способны кардинально изменять характеристики излучения атмосферы Земли и других планет. Дается объяснение уникальных способностей БАНК формировать потоки высокоэнергетических частиц, античастиц и гамма излучений (темная молния) в атмосфере. Теоретические исследования подкреплены результатами полигонных и лабораторных экспериментов с квантово-структурными нитями (КСН) [1 - 4].*

*Ключевые слова: большой ансамбль нанокластеров, дистанционное зондирование атмосферы, квантовая структура, квантово-структурная нить, квантово-структурные элементы облаков, нанокластер.*

*The article shows that quantum-structural elements of clouds (QSEC) form large ensembles of nanoclusters in the atmosphere (BANC), which are capable of radically changing the radiation characteristics of the atmosphere of the Earth and other planets. An explanation of the BANK unique abilities to form streams of high-energy particles, antiparticles and gamma rays (dark lightning) in the atmosphere is given. Theoretical studies are supported by the results of field and laboratory experiments with quantum-structured filaments (SCF) [1 - 4].*

*Key words: large ensemble of nanoclusters, nanocluster, remote sensing of the atmosphere, quantum structure, quantum structural elements of clouds, quantum structural filament.*

**1 Квантово-размерные свойства облаков и их элементов**

Как известно, земные облака представляют собой аэрозоли, которые формируются в результате конденсации и кристаллизации паров воды на мельчайших ядрах (зернах). Облака других планет формируются из аэрозолей другого химического состава, но рассмотренные ниже процессы и соответствующие им физико-химические эффекты аналогичны земным. Рост частиц аэрозолей обычно представляет собой процесс образования и объединения нанокластеров (НК) [5 – 11]. Частицы, достигшие макроразмеров, выпадают из облака в виде метеосадков (таблица 1) [7].

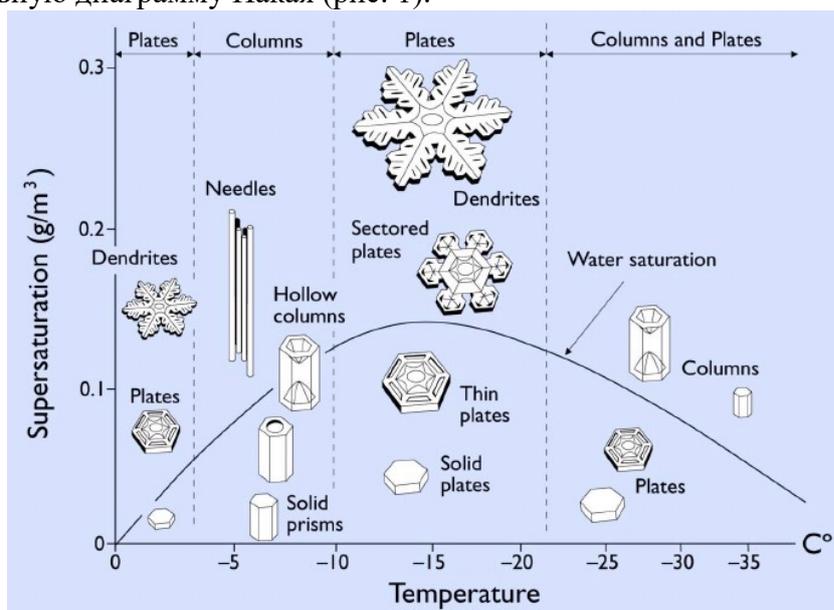
**Таблица 1. Геометрические сечения капель в облаках земной атмосферы**

Капли	Радиус капли min–max, м	Средний радиус капли, м
Ядра конденсации	$10^{-9}$ – $10^{-6}$	$10^{-7}$
Облачные частицы	$10^{-6}$ – $10^{-4}$	$10^{-5}$
Капли осадков	$10^{-4}$	$10^{-4}$

Поэтому, большая часть облачных элементов представляют собой жидкие и кристаллические нанокластеры, а осадки, выпавшие из облаков, существенно отличаются от облачных элементов. Принципиальным отличием нанокластеров от макроскопических элементов является проявление квантово-размерных эффектов (КРЭ), которые могут формироваться на поверхностях нанокластеров, внутри структур одиночных и локальных ансамблей нанокластеров, а также в больших ансамблях нанокластеров.

**Поверхностные эффекты нанокластеров.** Все снежинки и градины имеют нормальную для льда кристаллическую структуру с двумя гексагональными гранями, перпендикулярными к оси гексагональной симметрии, и шестью прямоугольными гранями. Рост кристаллов в облаках происходит за счет присоединения атомов, молекул и нанокластеров к какой-либо из граней, ребер или вершин формирующегося кристалла. В соответствии с законом Вульфа, скорость роста кристалла по направлениям пропорциональна свободной энергии соответствующих граней, ребер, вершин. В процессе роста облачных кристаллов, свободная энергия изменяется в соответствии с изменениями в составе и состоянии растущих поверхностей, например, за счет частичного расплавления растущих граней, формирования на них нано- и микроскопических дефектов и т.д., что, и определяет многообразие форм кристаллизующихся снежинок и градин.

Используя данные [8 – 11] можно следующим образом прокомментировать экспериментальную диаграмму Накая (рис. 1).



**Рис. 1 - Диаграмма Накая, демонстрирующая связь морфологии снежинок с условиями образования, изменяющими скорость роста кристаллитов льда по двум типам граней.**

При температурах выше 0 °С и высоком пересыщении паров на зернах происходит конденсация воды.

В диапазоне температур от 0 до -4 °С все грани формирующейся снежинки покрыты очень тонким квазизжидким слоем расплавленного льда, поэтому скорость роста на ребрах значительно превышает скорость роста на гранях. Что приводит к преимущественному образованию плоских, пластинчатых структур.

В диапазоне температур от -4 до -10 °С поверхности шестигранных граней, имеющие большую поверхностную энергию, перестают быть жидкими. В результате чего ускоряется рост кристаллитов вдоль гексагональной оси по отношению к другим направлениям роста, а градины обретают вид удлиненных иголок или призм.

В диапазоне температур от  $-10$  до  $-20$  °С оба типа граней вымораживаются достаточно быстро, и преимущественный рост происходит от ребер кристалла. В системе формируются снежинки в виде пластинок.

При температурах ниже  $-20$  °С криогенная кристаллизация ускоряется настолько, что поверхности граней не успевают релаксировать механические перенапряжения, которые вызывают наноскопические дефекты. Так как скорость образования дефектов на шестиреберных гранях выше, чем на четырехреберных, преимущественный рост происходит вдоль гексагональной оси кристалла. Соответственно снежинки обретают вид удлинённых иголок или призм.

Проведенный анализ показывает что, поверхностные эффекты нанокластеров самым существенным образом влияют на их размеры и структуру, а значит и на квантовые свойства отдельных НК и их ансамблей [10, 11].

**Квантовые эффекты одиночных и локальных ансамблей нанокластеров**, определяются структурами кластеров с размерами меньше критических, при которых проявляются квантово-размерные эффекты. Например, когда хотя бы один из геометрических размеров становится соизмеримым с длиной волны де Бройля электронов, в кластере (подобно атомам) возникают дискретные энергетические уровни. Добавление новых атомов в кластер увеличивает число валентных электронов системы, что ведет к перепополнению вырожденных энергетических уровней и «лишние» электроны переходят на более высокие энергетические уровни. Заполненные электронные оболочки создают устойчивые квантовые состояния, для которых характерны конкретные значения потенциала ионизации, сродства к электронам и т.п. Именно эти характеристики меняются скачком при переходе между элементами периодической таблицы Д.И. Менделеева. В том числе, по аналогии с атомным законом Г. Мозли, возрастают характеристические частоты нанокластеров (следует ожидать проявления радиоактивности).

Кроме того, согласно [10 – 12], КРЭ вызывают существенные изменения механических, электрических, оптических и магнитных характеристик нанокластеров, а также их спинов. В одиночных кластерах квантово-механические эффекты поддерживаются за счет перекрытия электронных орбиталей отдельных атомов, а также за счет косвенных обменных, дипольных, индукционных и других квазиконтактных взаимодействий.

**Квантовые эффекты больших ансамблей нанокластеров.** Долгое время считалось, что смешанные структуры (композитные материалы, коллоиды, аэрозоли) состоящие из отдельных нанокластеров, разделенных макроразмерными материалами, не обладают такими коллективными квантовыми свойствами, как: квантовая суперпозиция, квантовая когерентность, квантовая запутанность. Однако, в начале 2000-х гг. разработчики квантовых компьютерных систем выявили свойства квантового дискорта, обеспечивающие квантовый параллелизм в удаленных на большие расстояния нанокластерах [13 – 16]. Так, уже проведены успешные эксперименты по сохранению квантовой запутанности на расстояниях в несколько тысяч километров.

Это позволяет говорить о наличии квантовых эффектов в больших ансамблях нанокластеров с размерами в несколько сотен километров, а также о проявлении в них взаимодействий со световыми и сверхсветовыми скоростями типа: излучение – поле, излучение – вещество, туннелирование, квантовая запутанность.

В рамках настоящей статьи нас, прежде всего, интересуют атмосферные БАНК – а именно атмосферные облака. Вместе с тем, ансамбли нанокластеров километровых размеров не могут быть воссозданы в ограниченных пространствах лабораторий. Поэтому исследования квантовых процессов, происходящих в атмосферных облаках, целесообразно проводить в полигонных условиях с помощью квантово-структурных

нитей (КСН), представляющих собой очень длинные нити с нанокластерными покрытиями [1 – 4]. Несколько разрозненных экспериментов с КСН было проведено в период с 2004 по 2011 гг. под руководством автора.

## **2 Экспериментальные исследования**

Испытания на Ржевском полигоне подтвердили гипотезы об уникальных способностях КСН по многократному инициированию грозовых разрядов, и их способности инициировать молнии не только в грозовых облаках, но и в условиях хорошей погоды. Так в эксперименте 2005 г. зафиксирована 1 триггерная молния в грозовом облаке мощностью 11 км, и ещё 7 разрядов в той же ячейке при ее деградации до 2,7 км. Грозовая активность пост-грозовой ячейки, содержащей КСН, наблюдалась более 20 минут.

В 2009 г. с помощью КСН была инициирована триггерная молния в облаке мощностью 6 км. По показаниям системы АЛВЕС это была единственная молния за сутки в радиусе более 500 км от полигона.

В другом эксперименте 2009 г. (при слоистой облачности) были зафиксированы одновременные сбой всех восьми электронных приборов, обеспечивающих измерения и наблюдения при проведении экспериментов. В том числе, произошел трехминутный сбой работы специально предназначенных для наблюдений в условиях мощной грозовой активности метеорологической РЛС МРЛ-5 (на удалении 10 км) и флюксметра фирмы Vaisala (на удалении 3 км). Необходимо обратить внимание, что одновременно вышли из строя 8 приборов, аппаратура которых была защищена металлическими и пластиковыми корпусами. Это означает, что КСН сгенерировали излучения проникающих уровней, то есть более 100 кэВ, на удалении 10 км от источника излучения [17, 18]. Следовательно, с учетом ионизационных потерь в атмосфере, энергию первичных частиц можно оценить на уровне порядка 10 МэВ и более. Этот вывод подтверждается результатами зарубежных исследований. Например, в американских экспериментах по триггерному инициированию зафиксированы уровни излучений до 8 МэВ, а также потоки быстрых электронов и позитронов [19].

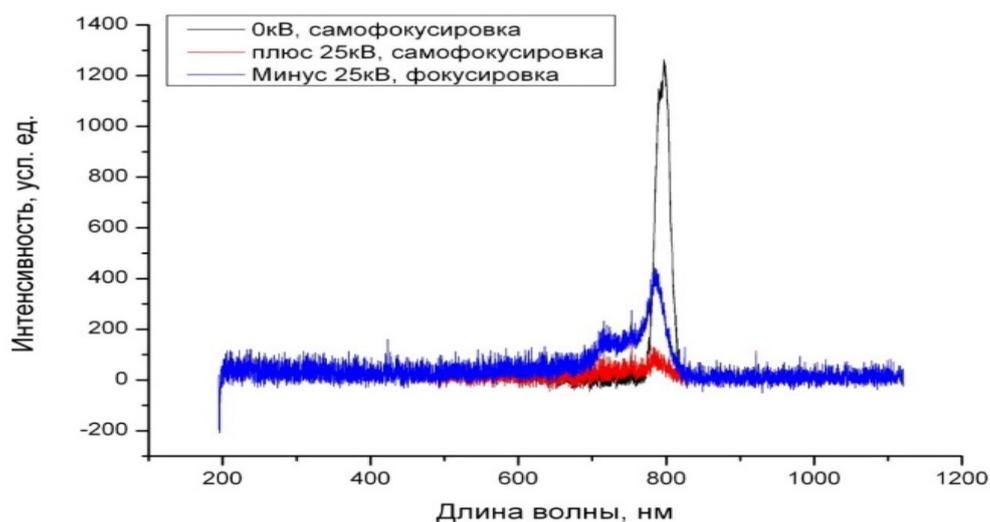
Излучения таких высоких уровней формируются за счет сочетания в конструкции КСН размерных эффектов, запускающих высокоэнергетические электронные и ядерные реакции. Так, испытания на атмосферно-оптическом стенде Института оптики атмосферы им. Зуева СО РАН (рис. 2) позволили выявить Комптоновское и анти-Комптоновское уширения спектра лазерного излучения с длиной волны 800 нм, возникающие при повышении электрического потенциала КСН. В эксперименте использовались нити длиной 10 м, а напряжение варьировалось в пределах  $\pm 25$  кВ, что соответствует максимальной напряженности поля 2,5 кВ/м. Это говорит об усилении интенсивности туннельной эмиссии электронов с острых краев квантовых структур КСН при повышении электрической напряженности в пределах атмосферных вариаций.

Следовательно, электрическое поле атмосферы способно вызвать интенсивную эмиссию электронов с поверхности КСН в пограничный слой воздуха. В относительно разреженной (по сравнению с водной и твердотельной средой) воздушной оболочке эмитированные электроны способны ускоряться внешним электрическим полем до релятивистских скоростей. Потоки быстрых электронов могут отклоняться в атмосферу, формируя ионизирующие излучения проникающего уровня. При столкновении потоков с атомами КСН, они будут возбуждать внутренние оболочки квантовых структур нитей.

Ионизация внутренних оболочек приводит к формированию рентгеновского характеристического излучения. При этом необходимо учесть, что в результате проявления закона Г.Мозли и эффекта магических чисел (рост количества

кристаллитов в особо устойчивых квантовых состояниях с замкнутыми оболочками), энергия характеристического излучения километровых КСН может многократно превысить энергию характеристических излучений одиночных и малых ансамблей нанокластеров.

Следует отметить, что Н.Жизган – руководитель эксперимента Белла 1997 г. по передаче квантовой запутанности на расстояние 10 км в окрестностях Женевы, - для объяснения эффекта преобразования частоты излучения лазера на квантовом кристалле использовал понятие «нелинейный кристалл»[16]. Такая аналогия с термином классической радиофизики не менее уместна и в ситуации с КСН, которые сами по себе являются преобразователями частоты облучающих фотонов, и подобно нелинейному элементу смесителя гетерогенного приемника, создают биения частот облучающих фотонов.



**Рис. 2. Исследования квантово-структурных нитей на атмосферно-оптическом стенде Института оптики атмосферы им. Зуева СО РАН. Черный график – до подачи напряжения на КСН спектр отраженного луча фемтосекундного лазера не изменяется. Красный и синий графики – после подачи напряжения на КСН, луч взаимодействует со свободными электронами высоких энергий, что приводит к Комптоновскому и анти-Комптоновскому уширению спектра отраженного сигнала.**

Суть эффекта заключается в том, что при взаимодействии атомов кристаллической решетки и свободных электронов с облучающими фотонами, частоты переизлученных фотонов должны соответствовать закону сохранения импульса. Важно напомнить, что частота фотона связана с величиной его импульса линейным соотношением Паули. Следовательно, частотный спектр фотонов, переизлученных от тяжелых атомов кристаллической решетки, будет соответствовать спектру биений на нелинейном элементе классической радиофизики. При взаимодействии со свободными электронами, спектр переизлученных фотонов снижается в низкочастотную область при взаимодействии с убегающими электронами (закон Комптона), и повышается в высокочастотную область при взаимодействии с набегающими электронами (закон анти-Комптона). Кроме того, как показали работы группы Н.Жизгана, преобразование частоты на кристаллах порождает квантовую запутанность и суперпозицию, по крайней мере, для одновременно переизлучаемых фотонов.

В рамках настоящей статьи нас, в первую очередь, интересуют способности КСН по формированию высокоэнергетических излучений. Можно констатировать, что в

максимальном случае импульс переизлученного фотона будет превосходить суммарную величину импульсов всех фотонов поступивших одновременно (с учетом принципа неопределенности Гейзенберга). Соответственно, его частота будет превосходить сумму частот облучающих фотонов.

Как следует из рис. 3 [20], высокоэнергетические излучения квантово-структурных кластеров способны запускать еще более энергичные квантовые реакции. При повышении энергии частиц выше 10 МэВ запускаются ядерные реакции, включая реакции ядерного синтеза (область II на рис.3).

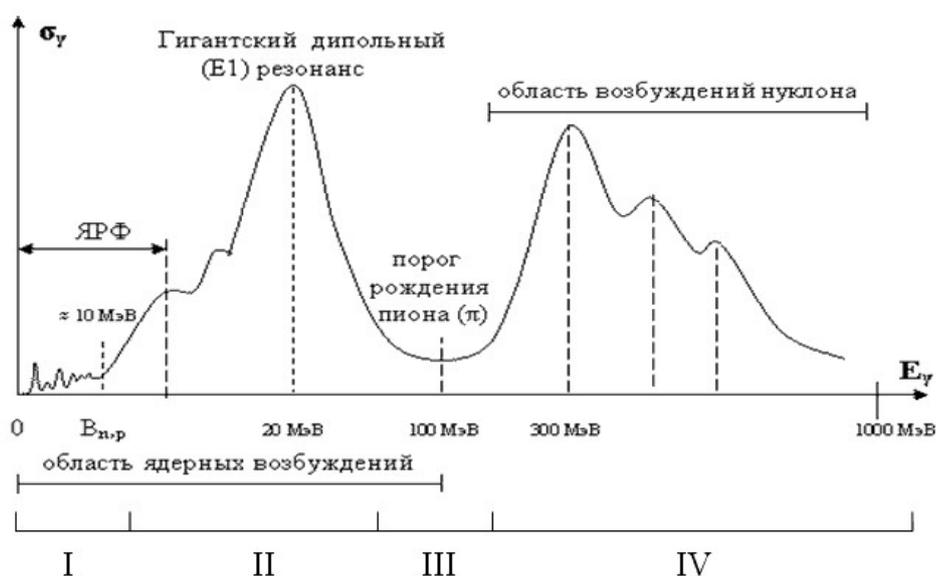


Рис. 3. Схематическое представление сечения фотопоглощения фотонов атомными ядрами в области энергий фотонов до  $E_\gamma \approx 1$  ГэВ [20].

### 3 Высокоэнергетические излучения квантово-структурных элементов облаков

Способность атмосферных облаков проявлять квантовые эффекты, с недоступно высокими для отдельных и небольших ансамблей нанокластеров, уровнями энергий, можно проиллюстрировать на примере темных молний (Dark Lightning – DL). Такое название НАСА присвоило исходящим из земной атмосферы пучкам позитронов, электронов и фотонов высокой энергии (до 20 МэВ), обнаруженным в 2006 г. орбитальной обсерваторией Fermi. По сообщениям Национальной научной лаборатории Армении (гора Арагац) зафиксированы DL с энергией частиц 100 МэВ. В ранних публикациях об атмосферных ионизирующих излучениях проникающего уровня их именовали «Земные всплески гамма-излучения» (Terrestrial Gamma-ray Flashes - TGF).

В рамках хорошо разработанной физики высоких энергий мне не удалось найти объяснений, как атмосферные облака могут формировать темные молнии, представляющие собой потоки высокоэнергетических частиц, античастиц и гамма излучений. Зато удалось выявить существенные подобию в структурах снежных и грозовых облаков с КСН. Во-первых, они представляют собой большие ансамбли нанокластеров. Во-вторых, нанокластеры КСН, также как и снежинки и градины, имеют в своей структуре большое количество одномерных наноразмерных элементов. Как известно [10 – 12], одномерные наноразмерные элементы обладают высокой способностью к туннельной эмиссии при малых напряженностях электрического поля. В результате туннельной эмиссии плотность свободных электронов в снежных и грозовых облаках возрастает, соответственно возрастают и магнитные моменты ионизированных кристаллов. В-третьих, при низких температурах (ниже температур

Кюри и Нееля соответствующих нанокластеров) возрастает спиновая когерентность и запутанность не только электронов, но и нанокристаллов. В результате запутанность и когерентность квантовых характеристик в облаках приближается к аналогичным свойствам КСН. Что позволяет говорить о способности низкотемпературных БАНК (снежные облака, градовые области грозных облаков) формировать высокоэнергетические ионизирующие излучения.

В грозных облаках ионизирующие излучения обеспечивают ионизационный принудительный пробой воздушных масс [21]. В снежных облаках из-за низких напряженностей электрического поля, ионизационный пробой не сопровождается электрическим пробоем, вспышки молнии не происходит.

Предложенная гипотеза косвенно подтверждается проведенными экспериментами с квантово-структурными нитями и отсутствием конкурентных объяснений таких природных явлений, как:

- низкие напряженности электрического поля, при которых возникают молнии (требуется для самостоятельного разряда 3000 кВ/м, а природные молнии формируются при напряженностях 2 – 40 кВ/м, что возможно только при ионизационном разряде);
- возникновение молний в ясную погоду (большая длина свободного пробега ионизирующих частиц в сухом воздухе приводит к инициированию молний вдали от источников ионизирующего излучения);
- формирование природных темных молний (большие ансамбли нанокристаллов способны формировать потоки высокоэнергетических частиц, античастиц и гамма излучений);
- повышенное количество повреждений и аварий самолетов, связанных с воздействием атмосферного электричества в снежную погоду при отсутствии грозовой активности.

Подтверждение или опровержение и уточнение предложенной гипотезы требует проведения более детальных исследований, в том числе:

- полигонных, стендовых, и лабораторных экспериментов по изучению квантово-механических атмосферных процессов с помощью квантово-структурных нитей;
- дистанционных (в том числе – космических) зондирований структур облачных элементов и вызванных ими электромагнитных процессов.

#### **4 Заключение**

Описанные механизмы конденсации и кристаллизации аэрозолей, с образованием жидких и кристаллических (реже – аморфных) нанокластеров и выпадением осадков из облака по мере роста частиц до макроскопических размеров, является общим для атмосфер различного химического состава. Их необходимо учитывать при дистанционном зондировании не только Земли, но и других планет, а также при изучении их атмосфер и облаков. В частности, следует отклонить такие модели, которые допускают перемешивание в одном слое облака кристаллов со значительно отличающимися температурами кристаллизации. Стратификация физико-химических структур слоев облачных элементов происходит, только, в соответствии с температурной стратификацией атмосферы.

Кроме того, при обработке и анализе результатов зондирования необходимо учитывать, что объединение атомов в нанокластеры смещает их характеристический спектр в высокочастотную область. Соответствующие изменения частотных характеристик следует ожидать при зондировании снежных и грозных облаков, а также при зондировании очень холодных атмосфер других планет.

Также следует учитывать, что выявляемые при дистанционных зондированиях потоки высокоэнергетических частиц, античастиц и гамма излучений, могут иметь атмосферную, а не внешнюю космическую или инопланетную природу.

В заключение необходимо отметить, что использование КСН позволяет:

1. Калибровать результаты дистанционных зондирований за счет полунатурного моделирования характеристических излучений облачных элементов, а также атмосферных потоков высокоэнергетических частиц, античастиц гамма излучений (темная молния);

2. Исследовать крупномасштабные квантовые процессы – других методов контролируемого воссоздания высокоинтенсивных квантово-структурных эффектов на километровых и больших расстояниях неизвестно;

3. Исследовать нетрадиционные технические направления, такие как: альтернативная энергетика, защищенность образцов космической и авиационной техники от воздействия атмосферных потоков высокоэнергетических частиц, античастиц и гамма излучений.

### **Литература:**

1. Ганжа А.А. Квантовые преобразования энергии атмосферы//Сборник трудов VIII Всероссийской конференции по атмосферному электричеству. – Нальчик. - 2019. С. 117 - 120.
2. Ганжа А.А. Новые техногенные факторы поражения авиационной и ракетной техники разрядами атмосферного электричества//Сборник трудов VI всероссийской научно-практической конференции «Методологические аспекты развития метеорологии специального назначения, экологии и систем аэрокосмического мониторинга». – Воронеж. - 2020. С. 40 - 43.
3. Ганжа А.А. Инициирование триггерных молний с помощью квантово-структурных нитей//Труды Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского, Санкт-Петербург, 2020. Вып. 674. - С. 23 - 27.
4. Ганжа А.А. Исследования атмосферного электричества с помощью квантово-структурных нитей//Материалы Восемнадцатой Всероссийской Открытой конференции с международным участием «Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 16–20 ноября. 2020. ИКИ РАН, 2020. С. 145. DOI 10.21046/18DZZconf-2020a
5. Мареев Е.А., Трахтенгерц В.Ю. Загадки атмосферного электричества// Природа. 2007. №3. С. 24 – 33.
6. Thomson J.J., Thomson G.P. Conduction of electricity through gases, 3rd ed. – Cambridge: Cambridge University Press, 1928. – 192 p.
7. Белый Т.А. Морфологическая стратификация облаков электрическим полем атмосферы в периоды активного и спокойного солнца// Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. 2016. Т. 327. № 9. 57–69.
8. Голубев В. Н. Зарождение и рост кристаллов льда в атмосфере. – Лед и снег, 2013, №21, с. 53-60.
9. Голубев В. Н. Роль аэрозольных частиц в зарождении атмосферного льда. – Метеорология и гидрология, 2015, №12, с. 19-28.
10. Пул Ч., Оуэнс Ф. Нанотехнологии. Издание 5-е исправленное и дополненное – М: Техносфера, 2010. - 336 с. ISBN 978-5-94836-236-7
11. Родунер Э. Размерные эффекты в наноматериалах. - М: Техносфера, 2010. – 252с.+15 с. цв. вклейки ISBN 978-5-94836-765-6
12. ЦаоГончжун, Ин Ван. Наноструктуры и наноматериалы. Синтез, свойства и применение/Пер. с англ. 2-го издания Ефимова А.И., Каргов С.И.; науч. ред. русс. Изд. Зайцев В.Б. – М.: Научный мир, 2012. – 520 с.
13. Вильчек Ф. Тонкая физика. – СПб.: Питер, 2018 – 336 с.

14. Борисенко В.Е., Данилюк А.Л., Мигас А.Е. Спинтроника. – М.: Лаборатория знаний, 2017. – 229 с.
15. Жизан Н. Квантовая случайность. Издание 3-е – М.: Альпина нон-фикшн, 2020 – 202 с.
16. Квантовый мир/под.ред. Джордж Э. – М.: АСТ, 2020. – 256 с.
17. Черняев А.П. Ионизирующие излучения. – М.: ИД КДУ, 2014. – 314 с.
18. Таперо К.И., Улимов В.Н., Членов А.М. Радиационные эффекты в кремниевых интегральных схемах космического применения. – М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2014. – 304 с.
19. Saleh Z. et al. Properties of the x-ray emission from rocket-triggered lightning as measured by the Thunderstorm Energetic Radiation Array (TERA), J. Geophys. Res. Vol. 114, D17210, doi:10.1029/2008/JD011618, 2009.
20. Велихов Е.П., Ковалев А.С., Рахимов А.Т. Физические явления в газоразрядной плазме: Учебное руководство. – М.: Наука. Гл. ред. физ. мат. лит. 1987. – 160 с.
21. Варламов В.В., Ишханов Б.С., Капитонов И.М. Фотоядерные реакции. Современный статус экспериментальных данных", М.: Университетская книга, 2008 – 304 с.