КОМПАКТНЫЙ ЛАЗЕРНО-ИНТЕРФЕРОМЕТРИЧЕСКИЙ КОМПЛЕКС (КЛИК) – ПЕРСПЕКТИВНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ В СФЕРЕ ГРАВИТАЦИОННОЙ ФИЗИКИ

COMPACT LASER-INTERFEROMETRIC COMPLEX (CLIC) – PROMISING RESEARCH IN FIELD OF GRAVITATIONAL PHYSICS

DOI: 10.22184/1993-8578.2018.84.5.296.310

Под эгидой Нанотехнологического общества России (НОР) при содействии Российской академии наук и Академии наук Республики Татарстан 14 июня 2018 года в Казани прошел научно-технический семинар "Создание компактного лазерно-интерферометрического комплекса на принципе гравитационно-индуцированного сдвига частоты генерации". Инициаторами проведения и основным докладчиком стали участники временного творческого коллектива (ВТК), созданного под руководством Б.П.Павлова в 2014 году. ВТК стал продолжателем научных и прикладных работ, проводимых в Казани НЦ ГВИ "Дулкын". Руководил работой семинара председатель программного комитета, академик РАН С.Н.Багаев (Институт лазерной физики СО РАН).

Under the aegis of the Nanotechnological Society of Russia (NSR) with the assistance of the Russian Academy of Sciences and the Academy of Sciences of the Republic of Tatarstan, a scientific and technical seminar "Creation of a compact laser-interferometric complex based on the principle of gravitationally induced frequency shift" was held in Kazan on June 14, 2018. The initiators of the seminar and keynote speakers were the participants of the temporary creative team (TCT), created in 2014 under the leadership of B.Pavlov. TCT has become a continuer of scientific and applied research, conducted in Kazan by the scientific center of gravity-wave research Dulkyn. The work of the seminar was led by the chairman of the program committee, academician of the Russian Academy of Sciences S.N.Bagaev (Institute of Laser Physics, SB RAS).

Целью семинара являлось рассмотрение современных научных, технологических и технических основ фундаментальных и прикладных исследований в сфере гравитационной физики. В рамках семинара были представлены пять пленарных докладов: "О концепции создания компактного лазерно-интерферометрического комплекса" (Б.П.Павлов); "Теоретические основы отклика материальных сред на вариации гравитационного поля" (Р.А.Даишев); "Лазерно-интерферометрический комплекс "Дулкын-1" и тестирование эйнштейновского принципа эквивалентности" (А.Ф.Скочиллов); "Измерение гравитационного потенциала с помощью лазерной системы на основе стабилизации средней, периодически изменяющей частоты лазера" (Г.И.Ильин); "О возможности использования квантового метода отпечатков и самоконтролируемых измерений при создании

лазерно-интерферометрического комплекса" (С.Н.Андрианов).

В семинаре приняли участие более 50 представителей ведущих научно-образовательных центров Российской Федерации и Республики Татарстан, в том числе Института лазерной физики СО РАН, Государственного астрономического института имени П.К.Штернберга МГУ имени М.В.Ломоносова, Института общей физики РАН, Академии наук Республики Татарстан, НПО ГИПО, ДФЦРП и ряд других, в том числе 19 докторов наук и 8 кандидатов наук.

Редакция "НАНОИНДУСТРИИ" обратилась к председателю организационного комитета семинара, руководителю ВТК "Гравитационная физика" Борису Петровичу Павлову с предложением рассказать о проекте над которым работает ВТК, сопроводив интервью подборкой мнений участников семинара.

Борис Петрович, в Вашем докладе была представлена концепция инновационного проекта по созданию компактного лазерно-интерферометрического комплекса. Что может дать его реализация для российской науки и страны в целом?

Уже в ближайшем будущем изучение физической гравитации и использование полученных научно-технических результатов будет ведущим направлением мировой фундаментальной и прикладной наук, что предопределено всеобъемлющей физической природой гравитации, которая пронизывает всю вселенную, формирует и обеспечивает взаимодействие живой и неживой природы.

Предложенный ВТК "Гравитационная физика" инновационный проект "Создание компактного лазерно-интерферометрического комплекса (КЛИК) на принципе гравитационно-индуцированного сдвига частоты генерации" позволяет проводить фундаментальные исследования в разных направлениях гравитационной физики, создавать на их основе методы и технологии с последующей их конверсией в интересах развития наукоемкой экономики. В частности, КЛИК может применяться для исследования пространственных и временных вариаций гравитационного поля, детектирования гравитационных волн, тестирования основ общей теории относительности и альтернативных теорий гравитации, а также создания гравиметрических приборов нового поколения для задач, которые раньше решать было невозможно или крайне затруднительно.

Реализуемые на основе КЛИК технологии позволят на наш взгляд решать следующие актуальные

Б.П.Павлов, Заслуженный экономист Российской Федерации и Республики Татарстан, Почетный машиностроитель Российской Федерации, вице-президент Нанотехнологического общества России, профессор КНИТУ-КАИ им. А.Н.Туполева

B.P.Pavlov, Honored economist of Russian Federation and Republic of Tatarstan, Honored mechanical engineer of Russian Federation, Vice-President of Nanotechnological Society of Russia, Professor of KNRTU-KAI

The purpose of the seminar was to examine the modern scientific and technical foundations of fundamental and applied research in the field of gravitational physics. Within the framework of the seminar five plenary reports were presented: "On the concept of creating a compact laser-interferometric complex" (B.P.Pavlov); "Theoretical basis of the response of material media to variations in the gravitational field" (R.A.Daishev); "Laser-interferometric complex Dulkyn-1 and testing of Einstein's equivalence principle" (A.F.Skochilov);

"Measurement of the gravitational potential by means of a laser system based on the stabilization of an average, periodically changing laser frequency" (G.I.Ilyin); "On the possibility of using the quantum imprints and self-controlled measurements when creating a laser-interferometric complex" (S.N.Andrianov).

More than 50 representatives of leading scientific and educational centers of the Russian Federation and the Republic of Tatarstan took part in the seminar, including the Institute of Laser Physics of the SB RAS, the Sternberg Astronomical

Institute of MSU, Prokhorov General Physics Institute of the RAS, the Academy of Sciences of the Republic of Tatarstan, State Institute of Applied Optics and a number of others, including 19 doctors of science and 8 PhDs.

The editorial staff of the NANOINDUSTRY journal addressed the chairman of the organizing committee of the seminar and the head of the Gravity Physics TCT Boris Pavlov with a proposal to explain about the project the TCT is working on, adding to the interview the opinions of the seminar participants.

Сводная смета инновационного стратегического проекта "Создание многофункционального комплекса на принципах гравитационной физики для космических исследований"

Consolidated estimates of the innovative strategic project "Creation of a multifunctional complex based on the principles of gravitational physics for space research"

Номер этапа Number of stage	Состав работ List of works	Сумма, млн.руб. Amount, million rub.
1	Создание компактного лазерно-интерферометрического комплекса (ЛИК) с чувствительностью до 10^{-15} – 10^{-18} Creation of a compact laser-interferometric complex (LIC) with sensitivity up to 10^{-15} – 10^{-18}	130–150
2	Создание гравиметрических приборов на основе ЛИК для измерения как первых, так и высших производных (горизонтальных и вертикальных) гравитационного потенциала, их временных и пространственных вариаций Creation of gravimetric instruments based on LIC for measuring both the first and higher derivatives (horizontal and vertical) of the gravitational potential, their temporal and spatial variations	450–500
3	Создание опытного производства гравиметрических приборов на основе ЛИК Creation of pilot production of gravimetric instruments based on LIC	19000–20000
4	Создание гравиметрической сети (не менее 10 пунктов, оборудованных приборами сейсмо-, грави- и магниторазведки) для оценки природных ресурсов за счет получаемой информации о гравитационном потенциале и его производных, а также плотности и динамики пород, подстилающих поверхность Земли и других планет Creation of a gravimetric network (no less than 10 stations equipped with seismic, gravity and magnetic exploring devices) for the estimation of natural resources using the obtained information on the gravitational potential and its derivatives, as well as on the density and dynamics of rocks underlying the surface of the Earth and other planets	6500–7000
5	Создание интегрированной комплексной системы сбора и оценки информации. Разработка теоретических моделей и их экспериментальная проверка, что позволит судить о состоянии литосферы и оценивать вероятность катастрофических выбросов энергии Creation of an integrated complex information system. The development of theoretical models and their experimental verification, which will allow to judge the state of the lithosphere and to assess the probability of catastrophic energy releases	9500–10000
6	Создание системы космического мониторинга гравитационного потенциала околоземного пространства Creation of a space monitoring system for the gravitational potential of near-Earth space	235000–250000
7	Создание в метрологии специальных эталонов и проверочных схем для сертификации средств измерений в сфере гравитационной физики Creation of special metrological standards and verification schemes for certification of measuring instruments in the field of gravitational physics	130–150
8	Создание гравитационного детектора для регистрации высоко- и низкочастотных гравитационных волн, проведения исследований возможной анизотропии пространства-времени и проверки возможного нарушения принципа эквивалентности Creation of a gravimetric detector for recording high- and low-frequency gravitational waves, conducting studies of possible space-time anisotropy, and verifying a possible violation of the equivalence principle	1300–1500
Итого Total		272010–289300

для мировой и российской науки фундаментальные и прикладные задачи:

- измерять горизонтальные производные гравитационного потенциала, а также высшие

производные (горизонтальные и вертикальные) гравитационного потенциала космических объектов, их временные и пространственные вариации;

- осуществлять гравиметрическую оценку природных ресурсов на основе ранее недоступной информации о гравитационном потенциале и его производных, что позволит судить о плотности и динамике подстилающих пород на поверхность земли и других планет;
- создавать в целях космической навигации пространственные карты гравитационного потенциала небесных объектов и космического пространства и получать дополнительную информацию о положении объектов;
- осуществлять мониторинг состояния литосферы, что позволит оценивать вероятность катастрофических выбросов энергии;
- создать в метрологии специальный эталон и поверочную схему для средств измерений относительной диэлектрической проницаемости жидких, твердых и газообразных диэлектриков в диапазоне частот выше 10 ГГц, который сегодня не обеспечен государственными поверочными схемами;
- осуществить в гравитационной астрономии регистрацию высоко- и низкочастотных высокоамплитудных гравитационных волн, провести исследование возможной анизотропии пространства-времени.

Проведенные теоретические и экспериментальные работы сформировали основу для создания детектора, который позволит обнаружить возможные нарушения принципа эквивалентности Эйнштейна.

Кроме того, как вице-президент Нанотехнологического общества России, обращаю ваше внимание на то, что данный комплекс можно

Двухрезонаторная лазерная система: 1 – He-Ne-трубка; 2 – фазовый модулятор; 3 – светоделительная пластинка; 4 – He-Ne/CH₄-лазер; 5, 6 – фотодетекторы; 7 – блок фазовой автоподстройки частоты; 8 – блок обработки сигналов; 9 – система пороговой подстройки частоты; R₁–R₆ – зеркала; P₁, P₂ – поляризационные призмы

Two-resonator laser system: 1 – He-Ne-tube; 2 – phase modulator; 3 – beam splitter; 4 – He-Ne/CH₄-laser; 5, 6 – photodetectors; 7 – phase locked loop; 8 – signal processing unit; 9 – frequency thresholding system; R₁–R₆ – mirrors; P₁, P₂ – polarization prisms

Mr. Pavlov, you have presented the concept of an innovative project to create a compact laser-interferometric complex. What can its implementation provide for Russian science and the country as a whole?

In the future, the study of physical gravity and the use of obtained scientific and technical results will become the leading area in the world fundamental and applied sciences, which is predetermined by the all-encompassing physical nature of gravity, which permeates the entire universe, forms and provides interaction of animate and inanimate nature.

The innovative project "Creation of a compact laser-interferometric complex (CLIC) based on the principle of gravitationally induced frequency shift" proposed by the Gravity Physics TCT allows fundamental research in various areas of gravitational physics, the use of developed methods for specific process solutions and their conversion in the interests of other industries. In particular, the complex can be used to investigate spatial and temporal variations of the gravitational field, to detect gravity waves, to test the foundations of general relativity and alternative theories of gravity, and to

create new-generation gravimetric devices for tasks that previously could not be solved or were extremely difficult.

Technologies implemented on the basis of CLIC will allow solving the following fundamental and applied problems:

- to measure horizontal derivatives of the gravitational potential, as well as higher derivatives (horizontal and vertical) of the gravitational potential of space objects, their temporal and spatial variations;
- to carry out a gravimetric assessment of natural resources on the basis of information on the

использовать для контроля положения объектов при позиционировании наноструктур и нанoeлементов в технологическом процессе их сборки и изготовления, диагностики наноструктурных изменений в материалах нового поколения, а также проведения научных исследований в области физики материалов и нанотехнологий.

В целом, доклады и выступления участников семинара позволили показать актуальность и значимость гравитационной физики в современной науке, обсудить полученные результаты по экспериментальной проверке ряда положений в гравитационной и лазерной физике, а также в смежных областях теоретической и математической физики. Материалы научно-технического семинара в полном объеме представлены в печатных изданиях и их интернет-версиях.

Из концепции видно, что в основе инновационного проекта лежат лазерные технологии. Какова их суть и каких результатов они позволяют достичь?

Действительно, в основе КЛИК лежат лазерные технологии, созданные в рамках проекта "Дулкын", в том числе детектор, состоящий из независимых компактных лазерных систем, которые построены в рамках одной концепции, но в разных вариантах (с трех- или пятиугольной конфигурацией резонаторов, с генерацией стоячих или бегущих волн). Каждая антенна – это двухрезонаторная (с неэквивалентной геометрией резонаторов) лазерная система (ДЛС) с общими, жестко связанными на едином основании зеркалами и активной средой, обеспечивающей генерацию в резо-

наторах оптического излучения при взаимно ортогональных линейных поляризациях.

Совокупность всех технологий, в том числе лазерных, позволили создать детектор первого уровня "Дулкын-1", на котором впервые в нашей стране проведен многомесячный эксперимент "Лунный тест", позволивший достигнуть чувствительности 10^{-12} – $8 \cdot 10^{-16}$ в диапазоне частот 10^5 – 1 Гц и который для данного диапазона инфранизких частот является единственным в мире (до запуска международного космического проекта LISA).

Эксперимент "Лунный тест" позволил проверить принцип эквивалентности Эйнштейна в части универсальности закона гравитационного "красного" смещения для часов разной физической природы на уровне 0,9% , что почти вдвое улучшило прежнее мировое достижение (1,7% – США, 1983г.), а также подтвердить правильность концепции построения детектора "Дулкын-1" и использование в расчете эластодинамического отклика подхода Ж.Можена, соответствующего значению феноменологического параметра $\xi = 1$, в отличие от альтернативного подхода Дж. Вебера ($\xi = 0$), поскольку экспериментальное значение, полученное при проверке принципа эквивалентности, составило $\xi = 1 \pm 0,009$.

Важнейшая научно-технологическая задача, решаемая в проекте КЛИК – повышение отношения сигнал к шуму. Сегодня, основным способом улучшения этой характеристики является накопление сигналов на длительном интервале времени, что создает проблемы, связанные с приемом гравитационных сигналов в реальном масштабе времени. В целях

gravitational potential and its derivatives, which will allow us to assess the density and dynamics of underlying rocks on the surface of the Earth and other planets;

- to create spatial maps of the gravitational potential of celestial objects and outer space for space navigation purposes and to obtain additional information on the position of objects;
- to monitor the state of the lithosphere, which will allow us to assess the probability of catastrophic energy releases;
- to create a special standard in metrology and a verification

circuit for measuring the relative permittivity of liquid, solid and gaseous dielectrics in the frequency range above 10 GHz, which is not yet provided with state verification schemes;

- to carry out registration of high- and low-frequency high-amplitude gravitational waves in gravitational astronomy, to study the possible anisotropy of space-time.

The theoretical and experimental work done will create the basis for creating a detector that will detect a violation of the Einstein equivalence principle.

In addition, as vice-president of the Nanotechnological Society of Russia, I would like to draw your attention to the fact that this complex can be used to monitor the position of objects when positioning nanostructures and nanoelements in the process of their assembly and manufacturing, to diagnose nanostructural changes in new generation materials, to conduct scientific research in the field of physics of materials and nanotechnologies.

Taking into account the importance of the problems, the program of the seminar included reports and discussions on the

experimental verification of the theory of gravitation, the latest achievements in gravitational and laser physics, as well as in related fields of theoretical and mathematical physics. Materials of the seminar are fully presented in printed publications and their Internet versions.

From the concept it is clear that the innovative project is based on laser technology. What is their essence and what results can they achieve?

Indeed, CLIC is based on laser technologies created within the framework of the Dulkyn project,

including a detector consisting of independent compact laser systems that are built within the same concept, but in different versions with a three- or pentagonal configuration of resonators, with generation of standing or traveling waves. Each antenna is a two-resonator (with nonequivalent resonator geometry) laser system (TLS) with common mirrors fixed on a single base and an active medium that ensures the generation of optical radiation in resonators with mutually orthogonal linear polarizations.

The combination of all technologies, including laser, allowed the

creation of the first level detector Dulkyn-1, with the help of which for the first time in Russia a multi-month experiment Lunar test was carried out that made it possible to achieve a sensitivity of $10^{-12}-8 \cdot 10^{-16}$ in the frequency range $10^{-5}-1$ Hz. Prior to the launch of the international space project eLISA (Evolved Laser Interferometer Space Antenna), it is the only detector in the world for this range of infrared frequencies.

The Lunar test made it possible to test the Einstein equivalence principle with respect to the universality of the law of gravitational redshift for watches of different

ВТК "Гравитационная физика" и участники семинара. Слева направо: Даишев Р.А.(ВТК), Ильин Г.И. (ВТК), Андreyuk Д.С. (НОР), Ивашкин П.И. (ИОФ РАН); Павлов Б.П. (ВТК); Багаев С.Н. (РАН); Иванов В.П. (АО "НПО ГИПО"); Калачев А.А. (КФТИ КазНЦ РАН); Левин С.Ф. (МИЭИ); Андриянов С.Н. (ВТК); Скочилов А.Ф. (ВТК); Козырев С.М. (ВТК) Gravity Physics TCT and participants of seminar. From left to right: Daishev R.A. (TCT), Ilyin G.I. (TCT), Andreyuk D.S. (NSR), Ivashkin P.I. (Prokhorov General Physics Institute); Pavlov B.P. (TCT); Bagaev S.N. (RAS); Ivanov V.P. (State Institute of Applied Optics); Kalachev A.A. (ZPhTI); Levin S.F. (Moscow Institute of Expertise and Testing); Andrianov S.N. (TCT); Skochilov A.F. (TCT); Kozyrev S.M. (TCT)

эффективной борьбы с фликкер-шумами в проекте КЛИК применяется модуляционный способ приема низкочастотных сигналов. При этом, полезный низкочастотный сигнал переносится на частоту, которая намного превосходит высшую частоту информационного сигнала. Также для решения проблемы фликкер-шумов в лазерных детекторах мы будем использовать метод преобразования одночастотного лазерного излучения в двухчастотное (метод Ильина – Морозова).

Представленные на семинаре доклады отражают научно-практические работы, проводимые в Казани. Будут ли участвовать в реализации КЛИК партнеры из других регионов России?

Одна из главных целей семинара – привлечение коллег из других отечественных и зарубежных научных центров к сотрудничеству в рамках создания КЛИК. Сегодня в рабочем порядке мы развиваем взаимодействие с российскими и зарубежными потенциальными партнерами.

Что же касается Казани, то история экспериментальных гравитационных исследований в столице Республики Татарстан насчитывает более 40 лет. Основатель казанской гравитационной школы Алексей Зиновьевич Петров занимался вопросами экспериментального обоснования и подтверждения общей теории относительности, организовал экспериментальную лабораторию при кафедре теории относительности и гравитации, а впоследствии, во время своей деятельности в Институте теоретической физики АН УССР, руководил совместно с проф.

physical nature at 0.9%, which almost doubled the previous world achievement (1.7%, USA, 1983). The experiment confirmed the correctness of the concept of constructing the Dulkyn detector and the use of the G.Mauguin's approach, which corresponds to the value of the phenomenological parameter $\xi = 1$, for the elastodynamic response calculation, in contrast to J.Weber's alternative approach ($\xi = 0$), since the experimental value obtained by testing the principle equivalence was $\xi = 1 \pm 0,009$.

The most important scientific and technological problem solved in the CLIC project is an increase

in the signal-to-noise ratio. Today, the main way to improve this feature is the accumulation of signals over a long time interval, which creates problems associated with receiving real-time gravitational signals. An effective way to combat flicker noise in gravitational laser detectors is to use modulation methods for receiving low-frequency signals. In this case, the useful low-frequency signal is transferred to a frequency that is much higher than the highest frequency of the information signal. Also, to solve the problem of flicker noise in gravitational laser detectors, we

will use the method of converting single-frequency laser radiation into a two-frequency one (the Ilyin-Morozov method).

Presented reports reflect the scientific and practical work carried out in Kazan. Partners in other regions of Russia will participate in the creation of CLIC?

One of the main objectives of the seminar is to attract colleagues from other domestic and foreign research centers to cooperate in the creation of CLIC. Today we are working in an orderly manner to work with Russian and foreign potential partners.

В.Б.Брагинским (МГУ) экспериментами по обнаружению гравитационного излучения. По настоянию А.З.Петрова при строительстве физического корпуса в цокольном этаже была оборудована специальная площадка для проведения экспериментов по гравитации.

В дальнейшем на основе новой концепции, предложенной казанскими физиками и математиками, был разработан проект "Дулкын", который поддержало Правительство Республики Татарстан. С 1991 году он приобрел официальный статус и осуществлялся под эгидой Академии наук Республики Татарстан.

Теоретическую основу экспериментальной работы научного коллектива заложили выпускник кафедры теоретической физики А.Ф.Скочиллов, сотрудники кафедры теории относительности Казанского университета А.Б.Балакин, Р.А.Даишев. Активное участие в этой работе принимал заведующий кафедрой теории относительности и гравитации Казанского университета профессор В.Р.Кайгородов.

В разработке лазерных технологий в рамках проекта "Дулкын" принимали участие сотрудники КНИТУ-КАИ им. А.Н.Туполева Г.И.Ильин и В.И.Воронов. Созданная в КАИ научная школа позволяет осуществлять глубокие исследования в области квантовой физики и создавать современную измерительную аппаратуру для исследований в сфере гравитационной физики.

Важнейшее значение для проведения экспериментальных работ по проекту "Дулкын" имело создание в АО "НПО ГИПО" по решению генерального директора В.П.Иванова "Объединенной экспериментальной лаборатории гравитационно-оптических измерений" (ОЭЛГОИ). Наличие специализированных кабин с

термо- и вибростабилизацией на глубине 12 м от поверхности земли и высокотехнологичного лазерно-интерферометрического оборудования позволило проводить прецизионные экспериментальные исследования в области гравитационной физики.

Руководитель ОЭЛГОИ А.Ф.Скочиллов, группа специалистов в составе С.В.Маврина, Ю.П.Чугунова, А.Р.Агачева, О.П.Шиняева, а также сотрудников КАИ им. А.Н.Туполева Г.И.Ильина и В.И.Воронова сконструировали и изготовили аппаратуру и впервые в нашей стране провели уникальный эксперимент по проверке принципа эквивалентности на часах разной физической природы.

Уникальные научно-экспериментальные результаты, полученные в рамках проекта "Дулкын", были достигнуты благодаря поддержке первого Президента Республики Татарстан М.Ш.Шаймиева и действующего Президента Р.Н.Минниханова, что позволило получить из бюджета республики 17,4 млн руб.

Сколько будет стоить создание КЛИК и каковы сроки его реализации?

Основные этапы работ по инновационному стратегическому проекту "Создание многофункционального комплекса на принципах гравитационной физики для космических исследований" были представлены и обсуждены на семинаре и в целом были одобрены его участниками. По предварительной оценке общий бюджет проекта КЛИК до 2020 года составит 150 млн руб.

Для любого проекта важно видеть его отдаленную перспективу развития, поэтому нами проработана

As for Kazan, the history of experimental gravitational research in the capital of the Republic of Tatarstan is more than 40 years old. The founder of the Kazan gravitational school, Aleksey Z. Petrov, was engaged in questions of experimental substantiation and confirmation of the general theory of relativity, organized an experimental laboratory at the Department of Theory of Relativity and Gravitation, and later, during his activity at the Institute of Theoretical Physics of the Academy of Sciences of the Ukrainian SSR, he directed

together with prof. V. Braginsky (Moscow State University) experiments on the detection of gravitational radiation. At the insistence of A. Petrov during the construction of the building, the basement was equipped with a special platform for conducting experiments on gravity. Later on, based on the new concept proposed by physicists from Kazan, the Dulkyn project was developed, which was supported by the government of the Republic of Tatarstan. In 1991, it acquired an official status and was carried out under the auspices of the Academy of Sciences of the Republic of Tatarstan.

The theoretical basis of the experimental work of the scientific team was laid by the graduate of the Department of Theoretical Physics, A. Skochilov, employees of the Department of Theory of Relativity of Kazan University, A. Balakin and R. Daishev. Active participation in the Dulkyn project, was accepted by the head of the department of the theory of relativity and gravitation of Kazan University, professor V. Kaigorodov. Also it should be noted the participation in the development of laser technologies of G. Ilyin and V. Voronov from the KNRTU-KAI. The scientific school created in

концепция стратегического инновационного проекта "Создание многофункционального комплекса на принципах гравитационной физики для космических исследований" с прогнозным бюджетом около 290 млрд руб и со сроком исполнения до 2025 года, в который в качестве первого этапа включен инновационный проект по созданию КЛИК.

Что сегодня самое главное в работе по реализации инновационного проекта КЛИК?

Главное – это слаженная, творческая работа всех участников проектной деятельности, которая объединяет компетенции каждого в единую, эффективную систему разработки и продвижения инновационного проекта от идеи до ее реализации, модернизации и утилизации.

Разрабатываемая мною и апробируемая на проектах реального сектора экономики система управления полным жизненным циклом инновационного проекта SMFLIP (System of Manage Full Lifecycle Innovative Project) реализуется на основе цифровой экономики, включает соответствующую подготовку кадров и охватывает все основные этапы разработки и реализации высокотехнологичных инновационных проектов, в том числе:

- генерирование идей, базирующихся на достижениях фундаментальной науки и современных технологий в интересах существующих и прогнозируемых потребностей;
- отбор и анализ поступивших на рассмотрение идей совместно со всеми участниками инновационного процесса;

- разработка концепции инновации и ее проверка;
- разработка стратегии маркетинга, исследование рынка и выбор перспективного рыночного сегмента для нововведений;
- составление технико-экономического обоснования проекта на базе технической части инновационного предложения;
- определение объема затрат всех видов ресурсов, численности работников, сроков выполнения работ по проекту и экономической эффективности инновационного проекта;
- разработка конструкторской и проектной документации;
- сопровождение трансфера проекта на инвестиционной фазе и при опытной эксплуатации;
- сопровождение на стадиях промышленной эксплуатации, модернизации и утилизации проекта;
- организация финансирования на всех этапах полного жизненного цикла инновационного проекта;
- взаимодействие с органами государственной власти всех уровней по совершенствованию законодательства в целях повышения эффективности управления инновационной экономикой.

В заключение хочу отметить, что ВТК "Физическая гравитация" состоялся как проектный офис, который способен в инициативном порядке и даже за счет собственных ресурсов вести творческую работу в приоритетном направлении современной науки и стать совместно с нашими партнерами катализатором реализации проектов в сфере физической гравитации.

KAI allows to carry out profound research in the field of quantum physics and to create modern measuring equipment for research in the field of gravitational physics.

The most important for carrying out experimental work on the Dulkyn project was the creation in NGO GIPO by decision of the General Director V.Ivanov of the Joint Experimental Laboratory of Gravitational-Optical Measurements. The presence of specialized cabs with thermal and vibration stabilization at a depth of 12 m from the ground surface and high-tech laser-interferometric equipment made it possible to

carry out precise experimental studies in the field of gravitational physics.

Head of laboratory A.Skochilov, a group of specialists including S.Mavrin, Yu.Chugunov, A.Agachev, O.Shinyaev, as well as employees of the KAI G.Ilyin and V.Voronov designed, manufactured and for the first time in Russia conducted a unique experiment to test the principle of equivalence on watches of different physical nature.

Unique scientific and experimental results were obtained within the framework of the Dulkyn project thanks to the

support of the first president of the Republic of Tatarstan, M.Shaimiev and acting president R.Minnikhanov, which made it possible to get 17.4 million rubles from the republic's budget.

How much will the creation of the CLIC cost and what are the terms of the project?

The main stages of the work The main stages of the work were presented and discussed at the seminar, and were generally approved by its participants. According to preliminary estimates, the total budget of the project until 2020 will be from 130 to 150 million rubles.

С.Н.Багаев
академик РАН, член Президиума
СО РАН, Институт лазерной
физики СО РАН

Хочу подчеркнуть, что представленный инновационный проект нацелен на создание нового направления научно-исследовательской деятельности, включая разработку сверхчувствительной прецизионной лазерно-интерферометрической аппаратуры для проведения экспериментов в области теории гравитации. Однако, помимо признания значимости фундаментальной составляющей в предлагаемых экспериментальных поисковых работах в области гравитационной физики, необходимо отметить важность прикладных аспектов и путей их реализации.

Представленные сообщения тем более интересны, что сейчас развиваются атомные гравиметры, которые основаны на интерференции атомов и выигрывают ощутимо в своих возможностях. Вместе с тем, предложенные идеи, должны быть подтверждены экспериментально.

Интересна навигационная составляющая проекта, так как важно иметь карту гравитационного поля Земли. На Луне и Марсе нет ГЛОНАСС и для них тоже необходимо создавать карты гравитационного поля.

Сейчас обсуждается проект создания в России нового поколения лазерного детектора гравитационных волн, который по своей чувствительности будет превосходить LIGO. Возможно, этот проект будет реализовываться в кооперации с итальянцами, им тоже нужна вторая система, которой пока у них нет. Создание такой системы в России позволит нам сделать очень большой шаг вперед, принимая во внимание геофизическую и астрофизическую составляющие.

В последние годы активность в Республике Татарстан высока – мы проводим здесь международные конференции, симпозиумы самого высокого уровня, принимаем гостей из Европы и Азии. Эта тенденция очень важна и должна быть сохранена. Я очень рад видеть участников семинара в Казани, многих из которых я знаю и желаю хорошей работы ВТК "Физическая гравитация" по реализации представленного инновационного проекта.

М.Х.Салахов
президент Академии наук Респу-
блики Татарстан

У данного семинара две задачи: первая – обсуждение конкретных вопросов, связанных с тео-

For any project, it is important to see its long-term development perspective. Therefore, we have worked out the concept of a strategic innovation project "Creation of a multifunctional complex on the principles of gravitational physics for space research", with a projected budget of about 290 billion rubles and with a deadline of execution until 2025 in which the innovative project for the creation of CLIC is included as the first stage.

What is the most important thing today in the work on the

implementation of the innovative project?

The main thing today, and always – is a well-coordinated, creative work of all participants, so that their competencies are integrated into an effective system of developing and promoting an innovative project from the idea to its implementation, modernization and utilization. The system of management of the full life cycle of the innovative project SMFLIP (System of Manage Full Lifecycle Innovational Project), developed by me and tested on projects of the real sector of the economy, is realized on

the basis of the digital economy, includes training and covers all the main stages of development and implementation of high-tech innovations:

- generating ideas based on the achievements of fundamental science and modern technologies in the interests of existing and foreseeable needs;
- selection and analysis of ideas received for consideration together with all participants of the innovation process;
- development of the concept of innovation and its verification;
- development of marketing strategy, market research and

рией гравитации, гравитационной, лазерной и математической физикой; вторая – оценка результатов деятельности временного творческого коллектива "Гравитационная физика" по созданию КЛИК. Уместно вспомнить историю НЦ ГВИ "Дулкын", когда в самые сложные годы, период безденежья наша республика все-таки находила средства и помогала этому проекту. Поэтому, когда будем вновь обращаться к руководству Республики Татарстан, можно напомнить о целесообразности поддержки этого направления. Хочу подчеркнуть, что проект родился из фундаментальной науки и рекордная точность метода делает его востребованным в реальном секторе экономики, в приборах, которые сейчас создаются.

В.Н.Руденко

заведующий отделом гравитационных измерений, Государственный астрономический институт им. П.К.Штернберга МГУ

Разработка и реализация данного инновационного проекта позволит проводить фундаментальные исследования пространственных и временных вариаций гравитационного поля, тестирование основных принципов теории относительности, проверку принципа

локальной пространственной инвариантности с использованием квантовых неразрушающих измерений в лазерно-интерферометрическом комплексе, исследование возможности детектирования низкочастотного гравитационного излучения.

Создаваемые в рамках инновационного проекта технологии позволяют решать актуальные прикладные задачи по созданию гравиметрической прецизионной карты околоземного и космического пространства, мониторинга геологической среды, организации службы постоянного слежения за вариацией гравитационного потенциала в любой точке земной поверхности, внутри скважин и т.д., гравиметрической оценке природных ресурсов, созданию гравиметрических сетей, космической и наземной навигации на основе прецизионных измерений гравитационных полей, контролю положения объектов для нанолитографии, позиционирования наноструктур и нанoeлементов в технологическом процессе их сборки и изготовления.

В целях дальнейшего продвижения инновационного проекта "Создание компактного лазерно-интерферометрического комплекса (КЛИК) на принципе гравитационно-индуцированного сдвига частоты генерации" считаю целесообразным представить данный инновационный проект для получения финансирования в РАН и ГК "Роскосмос" и просить федеральные и региональные органы власти,

selection of a promising market segment for innovations;

- drawing up a feasibility study on the basis of the technical part of the innovation proposal;
- determination of the volume of costs of all types of resources, the number of employees, the timing of work performance and the economic efficiency of the innovation project;
- development of design and project documentation;
- support for the transfer of the project in the investment phase and in pilot operation;
- maintenance at the stage of industrial operation,

modernization and utilization of the project;

- organization of financing at all stages of the full life cycle of the innovation project;
- interaction with public authorities at all levels to improve legislation in order to improve the management of innovation economy.

In conclusion, I want to note that VTK "Physical Gravitation" was held as a project office, which is capable of initiating creative work in the priority direction of modern science and even with its own resources, and together with our partners, it is a catalyst for the

implementation of projects in the field of physical gravity.

S.N.Bagaev

academician of the RAS, member of the Presidium of the SB RAS, Institute of Laser Physics, SB RAS

I want to emphasize that the presented innovative project is aimed at creating a new direction of scientific research activity, including the development of super sensitive high-precision laser-interferometric apparatus for conducting experiments in the theory of gravity. However, in addition to recognizing

государственные научно-производственные корпорации (объединения), коммерческие структуры оказать содействие в финансировании, принять участие в реализации и продвижении данного инновационного проекта.

В.П.Иванов

первый заместитель генерального директора НПО "Государственный институт прикладной оптики"

Этот проект не случайно создавался на базе НПО ГИПО, потому что одним из важных направлений нашей работы в течение многих десятилетий были лазерные интерферометры и связанные с ними прикладные задачи. С другой стороны, для навигации существует три физических поля: наше небо, электромагнитное поле и гравитация, которую нельзя ни забить, ни заглушить, что может быть востребовано в "час Ч". В 1976 году ГИПО было определено головной организацией по метрологии в астрокоррекции и астронавигации, и навигация всегда была одним из главных наших направлений.

На первом этапе предыдущего проекта были хорошие, но неструктурированные цели, и конечная цель как бы

затуманивалась. Работа ВТК "Физическая гравитация" привела к тому, что результаты предыдущих исследований были структурированы и стало понятно, где мы находимся, и куда идти. Борис Петрович применил современные методы управления проектами, и приятно было увидеть поэтапный план работ, в котором указано практическое применение результатов и предложено построение гравиметрической сети, а это серьезный вызов. С целью снижения расходов можно предложить интегрировать создаваемую систему с уже существующей сетью станций наблюдения за спутниками.

Стоимость реализации предлагаемой программы фундаментальных поисковых работ в области обеспечения обороноспособности составляет 60–90 млрд руб. Пугает ли эта цифра? Напомню, что на санацию только четырех банков за один год затрачено около трех триллионов рублей. Запрашиваемые средства – это деньги небольшого концерна, и они в стране есть. Надо правильно увязать проект с потребностями страны и, главное, обосновать практическое применение. Сегодня такие дорогостоящие исследования, как правило, реализуются международными консорциумами.

Поскольку у обсуждаемого проекта появились реальные контуры – обрисована даже отдаленная перспектива, его можно выносить на обсуждение на всех уровнях.

the importance of the fundamental component in experimental search works in the field of gravitational physics, it is necessary to discuss the applied aspects and the ways of their implementation.

The presented messages are all the more interesting because now atomic gravimeters are developing which are based on the interference of atoms and noticeably benefit in their capabilities. At the same time, the proposed ideas should, of course, be worked out experimentally.

The navigation component of the project is interesting, since it is important to have a map of the Earth's gravitational field. On

the Moon and Mars there is no GLONASS, and for them, too, it is necessary to create maps of the gravitational field.

Now the project of creation in Russia of a new generation of the laser detector of gravitational waves, which by its sensitivity will exceed the system LIGO (Laser Interferometer Gravitational-Wave Observatory) is being discussed. It is possible that this project will be implemented in cooperation with the Italians. The creation of such a system in Russia will allow us to make a very big step forward, taking into account the geophysical and astrophysical components.

In recent years, activity in the Republic of Tatarstan has been high – we hold international conferences, symposia of the highest level here with guests from Europe and Asia. This trend is very important and should be maintained. I wish good work to Gravity Physics TCT on the implementation of the presented innovative project.

М.Н.Салахов

president of Academy of Sciences of Republic of Tatarstan

This seminar has two tasks: the first is to discuss specific issues

А.А.Калачев
руководитель Казанского
физико-технического института
им. Е.К.Завойского ФИЦ
КазНЦ РАН

Тема проекта представляет огромный интерес как с фундаментальной, так и с прикладной точек зрения. И если удастся создать консорциум организаций и объединить их усилия для решения перечисленных сегодня задач и создания устройств по измерению различных гравитационных эффектов, то это будет здорово. Казанский физико-технический институт с большим энтузиазмом примет в этом участие в плане использования неклассических состояний света для повышения точности измерений.

Хочу сказать о том, чего, на мой взгляд, не хватило в представлении проекта, и что бы интересовало меня, если бы я решал вопрос о выделении денег. Был проект "Дулкын-1", и мы подробно познакомились с его результатами. Сейчас планируется в течение трех лет создать КЛИК – компактный прибор, который можно размещать на спутниках и который должен иметь повышенную по сравнению с предыдущей установкой чувствительность. Более того, предполагается, что данные на новом приборе не будут копиться

годами, то есть измерения будут выполняться за меньшие промежутки времени. Таким образом, по сравнению с предыдущим комплексом планируется грандиозное продвижение вперед сразу по нескольким направлениям. В основе такого проекта должна стоять какая-то прорывная идея, или комплекс технических решений. Но об этом сегодня в докладах ничего не говорилось. Если создавать устройство через три года, то уже сейчас должна быть обозначена идея, желательно опубликованная в хорошем журнале, которая лежит в основе новой схемы. Поскольку проект будет оцениваться экспертами, надо сформулировать конкретно, что сделано со времени предыдущих экспериментов, какие идеи появились, и, если они обещают такой прорыв в измерительной аппаратуре, то однозначно должны быть опубликованы. Думаю, что без этого сложно будет получить поддержку.

С.Ф.Левин
проректор по учебной и научной
работе Московского института
экспертизы и испытаний

С участниками инновационного проекта КЛИК я познакомился 20 лет назад на одной из

related to the theory of gravitation, gravitational, laser, and mathematical physics; the second is the evaluation of the results of the activities of Gravity Physics TCT on the creation of CLIC. It is pertinent to recall the history of the Dulkyn center, when in the most difficult years, the period of lack of money our republic still found the funds and helped this project. Therefore, when we again appeal to the leadership of the Republic of Tatarstan, we can recall the advisability of supporting this direction. I want to emphasize that the project was born from fundamental science and the record accuracy of the

method makes it in demand in the real sector of the economy, in the devices that are being created.

V.N.Rudenko
head of the department of gravity
measurements at Sternberg
Astronomical Institute of MSU

Creation of CLIC will allow to carry out fundamental studies of spatial and temporal variations of the gravitational field, testing the basic principles of the theory of relativity, testing the principle of local spatial invariance using quantum non-destructive measurements in a

laser-interferometric complex, and investigating the possibility of detecting low-frequency gravitational radiation. The technologies developed within the framework of the innovative project will make it possible to solve topical applied problems for the creation of a gravimetric precision map of near-Earth and outer space, monitoring of the geological environment, the organization of a constant tracking of the variation of the gravitational potential at any point of the earth's surface (including inside wells), gravimetric evaluation of natural resources, the creation of gravity networks, space and

конференций, посвященных проблемам исследования гравитации. Для того чтобы создать средство измерения, нужна математика, а когда мы доходим до эксперимента, появляется статистическая обработка данных. Как лицо заинтересованное, хочу подчеркнуть, что мы постараемся приложить максимум усилий для решения проблемы метрологического обеспечения проекта.

А.В.Аминова
профессор Казанского
(Приволжского) федерального
университета

В Казани очень богатые традиции гравитационных исследований. В 1960-х годах Алексей Зиновьевич Петров по хоздоговору с Куйбышевским совнархозом решал задачу детектирования гравитационных волн. А когда строился физфак, по просьбе Алексея Зиновьевича, стремившегося расширить эти исследования, была зацементирована специальная площадка под зданием, чтобы разместить приборы для гравитационных исследований. Потом появился "Дулкын". Сегодня несколько человек говорило об энтузиастах. Я

согласна, здесь действительно работают настоящие энтузиасты, и возникновение проекта было бы невозможно без замечательного изобретателя Зуфара Газизовича Мурзаханова, который приложил огромные усилия к тому, чтобы образовался этот коллектив. К сожалению, был период, когда работы прервались. Что касается нового проекта, то тут двух мнений быть не может: он без сомнений заслуживает поддержки!

Ш.М.Чабдаров
академик, член Президиума
Академии наук Республики
Татарстан

Хочу отметить, что инновационный проект представлен крепким коллективом, который проделал колоссальную работу в неблагоприятных условиях. Надо оказать серьезную поддержку решениям семинара, связанным с практическим проведением работ. Может быть это чрезвычайно смело, но надеюсь вы согласитесь, что данный проект открывает перспективу создания новых технологий для исследования вселенной от большого взрыва до нашего времени. ■

ground navigation based on precision measurements of gravity fields first, control the position of objects in nanolithography and nanostructures nanoelements positioning in the process of assembling and manufacturing.

I consider it expedient to present an innovative project for obtaining funding from the Russian Academy of Sciences and Roscosmos State Corporation and to ask federal and regional authorities, state research and production corporations and commercial structures to assist in financing, and also participate in its implementation and promotion.

V.P.Ivanov
first deputy general director of State
Institute of Applied Optics

This project was not accidentally created on the basis of NGO GIPO, because one of the important areas of our work for many decades were laser interferometers and related applications. On the other hand, for navigation, there are three physical fields: our sky, the electromagnetic field and gravity, which can not be hampered or drowned. In 1976 GIPO was defined as the head organization for metrology in astrocorrection and astronavigation, and

navigation has always been one of our main directions.

At the first stage of the previous project, there were good, but unstructured goals, and the final goal seemed to be clouded. The work of Gravity Physics TCT led to the fact that the results of previous studies were structured and it became clear where we are and where to go. Mr. Pavlov applied modern methods of project management, and it was nice to see a phased work plan, which indicated the practical application of the results and proposed the construction of a gravimetric network, and this is a serious challenge. In order to reduce costs, you can offer

to integrate the system with the existing network of satellite monitoring stations.

The cost of implementing the proposed program of fundamental research in the field of defense capability is 60–90 billion rubles. Does this figure frighten? Let me remind you that for the rehabilitation of only four banks in one year, about three trillion rubles was spent. The requested funds are the money of a small concern, and they are in the country. It is necessary to correctly link the project with the needs of the country and, most importantly, justify the practical application. Today, such expensive studies, as a rule, are implemented by international consortia.

Since the project under discussion has real contours - even a distant perspective is outlined, it can be brought to discussion at all levels.

A. A. Kalachev

head of Zavoisky Physical-Technical Institute (ZPhTI) of Kazan Scientific Center of RAS

The theme of the project is of great interest from both the fundamental and applied points of view. And if it is possible to create a consortium of organizations and unite their efforts to solve the tasks listed today and create devices to measure the various gravitational effects, it will be great. The Kazan Institute of Physics and Technology will enthusiastically take part in this in terms of using nonclassical states of light to improve the accuracy of measurements.

I want to say about what in my opinion was not enough in the presentation of the project, and that would interest me if I decided on the issue of allocating money. There was a Dulkyn-1 project, and

we thoroughly acquainted with its results. Now it is planned to create CLIC for three years - a compact device that can be placed on satellites and which should have a higher sensitivity in comparison with the previous setting. Moreover, it is assumed that the data on the new device will not be copied for years, that is, measurements will be performed at shorter intervals. Thus, in comparison with the previous complex, it is planned a grandiose advance forward in several directions at once. At the heart of such a project should be some kind of breakthrough idea, or a set of technical solutions. But nothing was said about this today in the reports. If you create a device in three years, then now an idea should be indicated, preferably published in a good journal, which underlies the new scheme. Since the project will be evaluated by experts, it is necessary to formulate specifically what has been done since previous experiments, what ideas have appeared, and if they promise such a breakthrough in measuring equipment, then they must definitely be published. I think that without this it will be difficult to get support.

S. F. Levin

vice-rector for academic and scientific work of Moscow Institute of Expertise and Testing

I met the participants of the innovative project CLIC 20 years ago at a conference devoted to the problems of gravity research. In order to create a measurement tool, we need mathematics, and when we get to the experiment, statistical processing of the data appears. As an interested person I want to emphasize that we will try our best to solve the problem of metrological support of the project.

A. V. Aminova

professor of the Kazan University

Kazan has very rich traditions of gravity research. In the 1960s, Aleksey Z. Petrov, in accordance with the economic contract with the Kuibyshev Economic Council, solved the problem of detecting gravitational waves. And when the physics department was being built, at the request of Alexei Petrov, who was striving to expand these studies, a special site under the building was cemented to accommodate instruments for gravity research. Then came Dulkyn. Today, several people talked about enthusiasts. I agree, real enthusiasts really work here, and the emergence of the project would have been impossible without the remarkable inventor Zufar G. Murzakhanov, who made great efforts to create this team. Unfortunately, there was a period when the work was interrupted. As for the new project, there can be no two opinions: he undoubtedly deserves support!

Sh. M. Chabdarov

academician, member of Presidium of Academy of Sciences of Republic of Tatarstan

I want to note that the innovative project is represented by a strong team, which has done colossal work in unfavorable conditions. We need to give serious support to the solutions of the seminar, related to practical work. Maybe this is extremely bold, but I hope you will agree that this project opens the prospect of creating new technologies for exploring the universe from a big bang to our time. ■