

## Рецензия на проект «Эксперимент БЕККЕРЕЛЬ на ускорительном комплексе НУКЛОТРОН/НИСА»

Явление диссоциации релятивистских ядер, наблюдаемое с высокой эффективностью в ядерной эмульсии (ЯЭ), позволяет изучать ансамбли нуклонов и легчайших ядер, представляющие интерес для ядерной физики и астрофизики. Особенности изучаемых ядер проявляются в вероятностях каналов диссоциации. Достоинства методики ЯЭ включают рекордное разрешение в определении углов вылета релятивистских фрагментов и возможность идентификации среди них изотопов He и H путем измерения многократного рассеяния. На этой основе в эксперименте БЕККЕРЕЛЬ на нуклотроне ОИЯИ изучается кластерная структура лёгких стабильных и радиоактивных изотопов. В частности, по инвариантной массе пар и троек релятивистских фрагментов He и H в диссоциации изотопов  ${}^9\text{Be}$ ,  ${}^{10}\text{B}$ ,  ${}^{10}\text{C}$  и  ${}^{11}\text{C}$  идентифицированы нестабильные ядра  ${}^8\text{Be}$  и  ${}^9\text{B}$ .

Мотивацией проекта является поиск метастабильных состояний ансамблей лёгких ядер и нуклонов. Такие состояния могут служить промежуточной субстанцией в астрофизических процессах нуклеосинтеза. Возможность такой фазы барионной материи, как предельно разреженной и холодной в ядерном масштабе, предсказывается теоретиками и имеет несомненное фундаментальное значение. Экспериментальное исследование такой фазы затруднительно и требует специализированной методики. В проекте показывается возможность её воспроизведения и наблюдения в узком конусе диссоциации релятивистских ядер. Продукты диссоциации регистрируются в ЯЭ.

Проект направлен на применение методики ЯЭ для исследования фрагментации средних и тяжёлых ядер. Её применение и развитие является логическим продолжением примерно 15-летнего цикла исследований по эксперименту БЕККЕРЕЛЬ на нуклотроне ОИЯИ, и еще более ранних работ по релятивистской ядерной физике. В основу проекта легла обоснованная экспериментально возможность наблюдения множественной фрагментации ядер с помощью ЯЭ. Эта техника остается единственным средством исследования, обеспечивающим высокое разрешение регистрации частиц в узком конусе диссоциации. Обеспечивается достаточная статистическая точность и надёжная идентификация лёгких ядер. Владение авторами методом не вызывает сомнений. В отношении анализа развит метод инвариантной массы на основе рекордного разрешения в применении к релятивистской фрагментации, позволивший идентифицировать нестабильные ядра  ${}^8\text{B}$  и  ${}^9\text{B}$ , а также группы  $\alpha$  частиц с близкими импульсами, называемыми состояниями Хойла. Демонстрируя разрешение метода, эти результаты становятся вехами к определению универсальной роли этих метастабильных объектов в диссоциации более тяжелых ядер и поиску более сложных состояний, соответствующих предсказанному альфа-частичному конденсату. Поиск таких состояний возможен в наиболее узких компонентах струй фрагментов. Сформулирована программа исследований. Имеется материал для немедленного начала исследований и предложения на перспективу. На этом пути есть возможность неожиданных открытий в ядерной физике.

Результаты проекта позволят обосновать новые предложения ядерно-физических исследований на ускорительном комплексе ЛФВЭ и в других центрах. Проект будет способствовать сохранению и развитию метода ЯЭ. Важное значение имеет подготовка молодых ученых, владеющих методикой ЯЭ и готовых к её применению в ядерных экспериментах, дозиметрии, радиационной медицине и экологии. Особенно важно применение этого метода в связи с перспективным развитием автоматических микроскопов и прогрессом программ распознавания изображений (искусственного интеллекта). Такое развитие будет актуальным продолжением классической техники ЯЭ. Таким образом, проект БЕККЕРЕЛЬ заслуживает поддержки.

*Виктор В.*

В. А. Никитин.

Главный научный сотрудник ЛФВЭ ОИЯИ.  
Доктор физико-математических наук.  
Профессор

## Project Review

### “BECQUEREL experiment at the NUCLOTRON / NICA accelerator complex”

The phenomenon of dissociation of relativistic nuclei observed with a unique completeness in the nuclear track emulsion (NTE) makes it possible to study ensembles of nucleons and lightest nuclei of interest to nuclear physics and nuclear astrophysics. Individual features of the nuclei under study are manifested in probabilities of dissociation channels. Advantages of the NTE technique include unsurpassed resolution in determining emission angles of relativistic fragments and possibility of identification of He and H isotopes among them by multiple scattering measurements.

The motivation of the project is the search for metastable states of multiple ensembles of the lightest nuclei and nucleons. Such states can serve as an intermediate substance in astrophysical processes of nucleosynthesis. The possibility of such a phase of baryonic matter as extremely rarefied and cold on a nuclear scale is predicted by theorists and has undoubted fundamental significance. Although at first glance, an experimental study of such a phase is impossible, a hypothesis has been put forward in the project about its reproduction in the narrow cone of dissociation of relativistic nuclei.

The project is aimed at the intensive application of this technique to study the fragmentation of medium and heavy nuclei in the unified approach. It is a logical development of the approximately 15-year cycle of research on the BECQUEREL experiment at the JINR Nuclotron, and even earlier work on relativistic nuclear physics. The project is based on the fact that, in relation to multiple fragmentation of relativistic nuclei, nuclear emulsion remains the only means of observation that provides not only observations that are unique in resolution and sensitivity, but also provide reasonable statistics and also identification of the lightest nuclei. Possession of the method by the authors in all aspects is not in doubt. In the respect of the analysis an invariant mass method based on record resolution is developed and tested widely enough in application to relativistic fragmentation, which made it possible to identify unstable  ${}^8\text{B}$  and  ${}^9\text{B}$  nuclei, as well as the Hoyle state. Demonstrating the resolution of the method, these results become milestones for determining the universal role of these metastable objects in the dissociation of heavier nuclei and the search for more complex states corresponding to the predicted alpha-particle condensate. The search for such states is possible in the narrowest components of fragment jets. All this is well described in the project. A clear research program has been formulated. There is material for the immediate start of research and suggestions for the future. On this path there is the prospect of unexpected discoveries in nuclear physics.

The project results will substantiate new proposals for nuclear physics research at the NICA complex. The project will contribute to the preservation of the method and the training of young scientists who own it, its use in nuclear experiments, dosimetry, radiation medicine and ecology. The active use of this method is particularly important in connection with the promising development of automatic microscopes and the progress of image recognition programs (artificial intelligence). Such a development will be at the forefront of today's time - the classic nuclear emulsion. Thus, the BECQUEREL project undoubtedly deserves full support.

*V.A. Nikitin*

V.A. Nikitin  
Chief Researcher, VBLHEP, JINR  
Doctor of Physical and Mathematical Sciences  
Professor