

## EDUCACIÓN Y FORMACIÓN EN UNA INSTITUCIÓN CIENTÍFICA INTERNACIONAL: EXPERIENCIA DEL INSTITUTO UNIFICADO DE INVESTIGACIONES NUCLEARES

### EDUCATION AND TRAINING IN AN INTERNATIONAL RESEARCH ORGANIZATION: THE JINR EXPERIENCE

Autora: Katherin Shtejer Díaz, [kshtejer@jinr.ru](mailto:kshtejer@jinr.ru), Dr. C., Instituto Unificado de Investigaciones Nucleares, Dubna, Federación de Rusia

Author: Katherin Shtejer Diac z. [kshtejer@jinr.ru](mailto:kshtejer@jinr.ru), PhD, Joint Institute for Nuclear Research Dubna, Russian Federation.

#### Resumen

El Instituto Unificado de Investigaciones Nucleares<sup>1</sup> (IUN), [www.jinr.ru](http://www.jinr.ru), es una organización intergubernamental, establecida en 1956 con el objetivo de integrar esfuerzos, así como potencial científico y material de los estados miembros para el desarrollo de la física nuclear y de partículas, materia condensada, y ciencias de los materiales, biológicas y ambientales.

El IUN reúne 16 estados miembros, 5 países miembros asociados, y 2 estados con mecanismos establecidos para la coordinación de la cooperación a nivel gubernamental. La red global de cooperación incluye unos 1000 centros de investigación y universidades en 70 países.

El IUN desarrolla varias instalaciones de gran infraestructura para la investigación: complejo de aceleradores superconductores con haces de iones pesados de alta intensidad – el acelerador-colisionador NICA; complejo de ciclotrones DRIBS, incluyendo la primera fábrica de elementos superpesados; reactor pulsado de investigación IBR-2M equipado con espectrómetros; telescopio de neutrinos en aguas profundas superando 0.5 km<sup>3</sup> de volumen efectivo en el lago Baikal; centro de computación de alto rendimiento; instrumentación para radiobiología y nanotecnologías.

Esta ponencia examina las valiosas oportunidades disponibles para la educación y formación en una institución internacional de investigaciones científicas, a partir del ejemplo del IUN, cuyo programa educacional se presenta en detalle. Sobre la larga experiencia adquirida, se discuten las principales dificultades para usar grandes infraestructuras investigativas con propósitos educacionales y las vías para superarlas. Se analizan las peculiaridades de la internacionalización del equipo de científicos e ingenieros y la organización de los trabajos dentro del marco de colaboración internacional de muchas universidades y centros de investigación.

**Palabras claves:** *institución científica internacional, IUN, infraestructura de investigación a gran escala, centro universitario, educación y formación*

---

<sup>1</sup> IUN: Conocido como **JINR** por sus siglas en inglés: **J**oint **I**nstitute for **N**uclear **R**esearch

## Abstract

The Joint Institute for Nuclear Research (JINR), [www.jinr.ru](http://www.jinr.ru), is an international intergovernmental organization, established in 1956 with an aim to integrate efforts, scientific and material potential of the Member States in the pursuit of studies of particle and nuclear physics, condensed matter research, as well as related applied research in life, environmental, and material sciences.

Today JINR unites 16 Member States, 5 Associated Member countries, and 2 states with established mechanism for coordination of cooperation at governmental level. The overall JINR partnership network includes about 1000 research centres and universities in about 70 countries around the world.

JINR develops several large research infrastructure facilities: a complex of superconducting accelerators with high-intensity heavy ion beams – NICA collider; DRIBS cyclotron complex, including the world's first Factory of Super-Heavy Elements; IBR-2M research pulsed reactor equipped with a set of spectrometers; BAIKAL-GVD deep-underwater neutrino telescope exceeding efficient volume of 0.5 km<sup>3</sup> in lake Baikal; a high performance computing centre, instrumentation for radiation biology research and nanotechnologies.

The report examines the rich opportunities available for education and training in an international research organization on the example of JINR. The JINR educational program is presented in detail. Based on the long-term experience of its implementation, the main difficulties in using large research infrastructures for educational purposes and ways to overcome them, as well as the peculiarities related to internationalization of the team of scientists and engineers and organization of works within the framework of international collaboration of many universities and research centers are discussed.

**Keywords:** *international research organization, JINR, large research infrastructure, university center, education and training*

## Introducción

Durante el último decenio, en el desarrollo de la ciencia mundial, el rol de la interdisciplinariedad en la investigación de las ciencias naturales ha crecido significativamente, contribuyendo a integrar en términos de objetos y métodos de investigación, y en combinaciones diversas, áreas de la ciencia fundamental tales como la astronomía, la física, la química, las ciencias biológicas y la ecología. El fortalecimiento de esta tendencia está relacionado, tanto con los logros decisivos de ciertas áreas de la ciencia fundamental que han abierto nuevas perspectivas para la interacción interdisciplinaria, como con el crecimiento de la infraestructura necesaria para la investigación, y lo que es más importante, con el rápido y revolucionario desarrollo de la tecnología de la información. La interacción interdisciplinaria en las ciencias naturales abre nuevas oportunidades para impulsar las ciencias aplicadas, muy apreciadas por la trayectoria innovadora de las tareas que surgen del propio desarrollo socio-económico, a lo cual se suman las estrategias de desarrollo de los estados que son líderes científicos y tecnológicos mundiales.

La naturaleza interdisciplinaria de la investigación científica impone requerimientos particularmente rigurosos sobre el nivel de colectivización de los esfuerzos de un gran

número de científicos y especialistas científico-técnicos que son expertos en ciertas áreas de un amplio espectro de direcciones científicas y direcciones técnicas. Al mismo tiempo, lograr el éxito en la solución de problemas complejos y a gran escala de la física moderna, necesariamente supone la activa cooperación científica y tecnológica internacional.

## Educación y formación en el IUIIN

El Instituto Unificado de Investigaciones Nucleares es una organización internacional e intergubernamental para la investigación científica. Se localiza en la ciudad de Dubná, de la Federación de Rusia. El acuerdo sobre la creación del IUIIN fue firmado el 26 de marzo de 1956 por once Estados fundadores con el objetivo de aunar el potencial científico y material de los estados miembros para estudiar las propiedades fundamentales de la materia. Actualmente hay 16 estados miembros del IUIIN: Armenia, Azerbaiyán, Bielarus, Bulgaria, Cuba, la República Popular Democrática de Corea, Egipto, Georgia, Kazajstán, Moldavia, Mongolia, Rumanía, Rusia, Eslovaquia, Uzbekistán y Vietnam. Además, se han suscrito convenios de cooperación a nivel gubernamental con Alemania, Hungría, Italia, la República de Sudáfrica, Serbia, México y China. Desde el momento de su fundación el Instituto Unificado de Investigaciones Nucleares fue formado como un centro de investigación científica internacional multidisciplinaria, integrando los esfuerzos de los científicos de muchos países en diversas áreas fundamentales, tanto de las ciencias básicas como de las investigaciones aplicadas.

En la última década, la infraestructura científica se ha desarrollado activamente. Asimismo, se ha emprendido la investigación científica productiva y a gran escala en el campo de la astrofísica y la física de partículas elementales, la física de iones pesados relativistas, la física nuclear, la física de la materia condensada, la radiobiología, las tecnologías de computación e información, así como la física matemática y teórica. Los proyectos más importantes de infraestructura científica se complementan armoniosamente con el panorama global de la denominada infraestructura de *megaciencia* y, conjuntamente con los principales objetivos en el campo de las ciencias básicas, asumen la consecución de algunas metas de desarrollo sostenible.

El IUIIN tiene un conjunto único de instalaciones experimentales para la investigación:

- el acelerador superconductor de iones y núcleos pesados, Nuclotron, el cual es un elemento básico del acelerador colisionador de partículas, denominado por sus siglas en inglés NICA<sup>2</sup>, que en este momento se encuentra en construcción (Sissakian, 2009).
- los ciclotrones U-400, U-400M con parámetros de haz sin precedentes en la historia (Oganessian, 2007).
- el reactor pulsado de alto flujo IBR-2 para la investigación en el campo de la física nuclear de neutrones y física de materia condensada (Aksenov, 2016).
- La instalación IREN<sup>3</sup> para investigación de física nuclear usando la técnica de tiempo de vuelo (Belozarov, 2010).

El instituto está implementando un proyecto de megaciencia – la creación del acelerador colisionador superconductor de iones pesados, NICA, que contiene el acelerador modernizado Nuclotron-M, un potenciador<sup>4</sup> y el colisionador de partículas polarizadas e

<sup>2</sup> NICA: Nuclotron-based Ion Collider fAcility

<sup>3</sup> IREN: Intense Resonance Neutron Source

<sup>4</sup> Habitualmente utilizado en la literatura por su denominación en inglés: *booster*.

iones pesados. En los marcos de este gran proyecto también se están desarrollando tres instalaciones experimentales, dos de las cuales se están construyendo en los puntos de colisión del acelerador: – el detector multipropósito denominado MPD<sup>5</sup> y el detector para experimentos con haces polarizados denominado SPD<sup>6</sup>, y la tercera es el detector de blanco fijo BM@N<sup>7</sup> (Abgaryan, 2022, Guskov, 2021, Kapishin, 2017). El proyecto NICA tiene como objetivo recrear y estudiar la materia nuclear bajo las condiciones extremas que surgieron en las etapas tempranas de la evolución del universo y en el interior de las estrellas de neutrones.

Un proyecto de gran envergadura del instituto es el telescopio de neutrinos de aguas profundas en el lago Baikal, denominado Baikal-GVD<sup>8</sup>, con dimensiones de la escala de un kilómetro cúbico y constituye uno de los tres mayores telescopios en el mundo en términos de área efectiva y volumen, para la observación de los flujos de neutrinos de la naturaleza y el más grande en el hemisferio norte (Malyshkin, 2023). En este momento el telescopio de neutrinos Baikal tiene un volumen efectivo de 0.6 km<sup>3</sup>.

En el IUIN han sido descubiertos diez nuevos elementos químicos. En reconocimiento a la importante contribución de los científicos del IUIN a la síntesis de nuevos elementos superpesados, la Unión Internacional de Química Pura y Aplicada, que por sus siglas en inglés se denomina IUPAC<sup>9</sup>, decidió asignar el nombre de *Dubnium* al elemento 105 de la tabla periódica, el nombre *Flerovium* al elemento 114 en honor al Laboratorio de Reacciones Nucleares del IUIN y su fundador el académico G. N. Flerov, *Moscovium* al elemento 115 en honor a la región de Moscú donde se encuentra ubicado el instituto, y el nombre de *Oganesson* al elemento 118 en honor al académico Yury. Ts. Oganessian por su contribución fundamental al estudio de los elementos transactínidos (Dmitriev, 2020).

El desarrollo de los trabajos en el campo de la síntesis y estudio de propiedades de los elementos superpesados está asociado con la creación de un nuevo complejo acelerador de partículas al que se ha dado en llamar “fábrica de elementos superpesados”<sup>10</sup>, teniendo como base un ciclotrón especializado DC-280. El principal objetivo de este complejo experimental es la síntesis de nuevos elementos químicos con números atómicos 119, 120 y superiores, así como un estudio detallado de las propiedades nucleares y químicas de los elementos superpesados previamente sintetizados.

La extraordinaria supercomputadora “GOVORUN” creada en el IUIN es una plataforma informática heterogénea para la aceleración cardinal de los complejos estudios teóricos y experimentales en el terreno de la física nuclear y física de materia condensada realizados en el IUIN, incluyendo el complejo NICA (Podgainy, 2021).

Las potentes facilidades informáticas de alto rendimiento en el instituto, están integradas en las redes informáticas mundiales usando canales de comunicación de alta velocidad (100 Gbits/s). El centro de computación distribuida TIER-1, creado en el IUIN para asistir tanto al instituto como a sus estados miembros en las investigaciones vinculadas al experimento CMS del gran acelerador de partículas LHC<sup>11</sup>, constituye uno de los mejores

---

<sup>5</sup> MPD: **M**ulti-**p**urpose **D**etector (detector multipropósito)

<sup>6</sup> SPD: **S**pin **P**hysics **D**etector (detector para la física del spin)

<sup>7</sup> BM@N: **B**aryonic **m**atter research at the **N**uclotron (investigación de la materia bariónica en el Nuclotrón)

<sup>8</sup> Baikal-GVD: **B**aikal **G**igaton **V**olume **D**etector o Baikal Deep Underwater Neutrino Telescope

<sup>9</sup> IUPAC: **I**nternational **U**ion of **P**ure and **A**ppplied **C**hemistry

<sup>10</sup> Por sus siglas en inglés se le conoce como SHE Factory: **S**uper **H**eavy **E**lement **F**actory

<sup>11</sup> LHC: **L**arge **H**adron **C**ollider

centros en la infraestructura de computación distribuida global, también conocida como GRID.

En el marco del proyecto del Centro de Innovación Internacional del IUIN, encaminado a consolidar estudios en los campos de la medicina nuclear, radiobiología, educación, ciencia de materiales y otras áreas avanzadas, se está construyendo el nuevo complejo acelerador DC-140, el cual tiene entre sus objetivos fundamentales el desarrollo de tecnologías para la ciencia de materiales, y en particular materiales de radiación y membranas de trazas nucleares. El trabajo de diseño comenzó a partir de la creación del ciclotrón superconductor especializado de protones MSC-230 con una energía del haz de protones de hasta 230 MeV y una corriente de hasta 10  $\mu$ A, que asegurará el uso de los métodos más avanzados de la radioterapia con protones, incluyendo la modalidad de terapia denominada “flash” basada en la tecnología de liberaciones pulsadas ultracortas de dosis de radiación al área de interés, y también la modalidad de haz estrecho conocido como “pencil”. Ambas modalidades han probado tener una alta efectividad en la reducción del impacto de la radiación en el tejido sano.

Las grandes instalaciones de investigación modernas y objetos de infraestructura de investigación, a los que, por supuesto, se refieren las instalaciones del IUIN anteriormente mencionadas, se caracterizan por poseer un equipamiento de alta complejidad y precisión, amplia aplicación de nuevos materiales y tecnologías para su procesamiento, un alto grado de automatización, un gran volumen de datos obtenidos y la necesidad de procesamiento y análisis con ayuda de computadoras. El diseño, creación y operación de tales instalaciones requiere esfuerzos de grandes equipos de científicos, ingenieros dedicados a la investigación y personal técnico (desde varios cientos a más de mil personas). En las últimas décadas ha habido una clara tendencia hacia la internacionalización de los equipos de científicos e ingenieros y la organización de trabajos en el marco de colaboración internacional de muchas universidades y centros de investigación. Lo anterior se aplica, en primer lugar, a la física de altas energías, la física nuclear, la energía de fusión, la astronomía y la astrofísica, la geofísica y ciencias climáticas, y la investigación espacial. Además, algunas de las principales instalaciones de investigación se están creando como centros de colaboración para usar sus capacidades en aplicaciones de ciencias de los materiales, ciencias biológicas y medioambientales.

Para trabajar de forma efectiva en esos campos, los científicos y los ingenieros dedicados a la investigación deben tener, además, un profundo conocimiento de disciplinas de ingenierías clásicas y fundamentos de electrónica y automatización, una buena formación básica en telecomunicaciones, tecnología de la información y técnicas de aprendizaje automático<sup>12</sup>, la habilidad de trabajar con nuevas tecnologías, materiales y equipamiento, así como una amplia visión en la labor de la investigación y habilidades de comunicación en equipos internacionales.

Sin embargo, actualmente el entrenamiento de especialistas con semejante combinación de habilidades no es usualmente una prioridad en las universidades, las cuales están enfocadas primariamente en satisfacer las demandas de la industria.

Esta es la razón por lo que la estructura del IUIN contempla el Centro Universitario (CU), que por más de 30 años implementa con éxito el programa educacional de la institución, con el objetivo de formar un personal altamente calificado para los laboratorios tanto del

---

<sup>12</sup> Técnicas conocidas por su denominación en inglés: Machine Learning

IUIN como de los centros de investigación de los estados miembros. Gracias a ello, el IUIN ha creado excelentes condiciones para formar especialistas jóvenes talentosos. Cada año, más de 700 estudiantes de pregrado y postgrado, e investigadores jóvenes procedentes de las universidades de los estados miembros del IUIN y sus países asociados pasan por un período de formación y práctica en los laboratorios del instituto bajo la orientación de científicos líderes.

La máxima prioridad del Centro Universitario es entregar un servicio de alta calidad a los estudiantes y postgraduados de los estados miembros del IUIN que llegan a los laboratorios del instituto para preparar sus trabajos de tesis de diploma, de maestría y de doctorado. El Centro Universitario ayuda a los estudiantes a encontrar supervisores y proporciona el apoyo necesario en la organización de su llegada y estancia en el instituto. El CU coordina el trabajo de los departamentos básicos de las universidades asociadas en el instituto, participa en los programas educacionales en red y concretamente organiza cursos especiales de conferencias y prácticas de acuerdo con los planes curriculares de las organizaciones educacionales asociadas. En esta dirección se lleva a cabo un trabajo efectivo en cooperación con escuelas, universidades y centros de investigación de los estados miembros del IUIN. Gracias a la profunda integración del IUIN en proyectos de investigación internacionales, las capacidades de las universidades y centros científicos de otros países (primariamente aquellos de los estados miembros del IUIN) pueden ser utilizados en la capacitación del personal mediante la implementación de programas educativos en red y pasantías/prácticas.

El IUIN tiene creadas seis comisiones de grado para la defensa de tesis doctorales. El Centro Universitario trabaja para atraer estudiantes graduados y jóvenes científicos de instituciones educacionales y científicas asociadas para defender tesis de doctorado ante las comisiones creadas para esos fines en el IUIN.

Otra tarea de alta importancia para el Centro Universitario es la organización de programas educacionales para estudiantes. Esto abarca programas de corta duración (Práctica Estudiantil Internacional) y programas de larga duración para estudiantes de pregrado y graduados, más precisamente, el programa estudiantil a tiempo completo denominado START y el programa de formación en línea denominado INTEREST para estudiantes del mundo entero. La finalidad de esos eventos es familiarizar los estudiantes con el instituto para ofrecerles una oportunidad de tomar parte en el trabajo diario de los grupos de investigación en los laboratorios del IUIN, sumergirse por sí mismos en la vida científica del instituto, establecer contacto con otros estudiantes y postgraduados, ajustar sus intereses científicos, y encontrar tutores científicos para llevar a cabo sus trabajos para la obtención de títulos académicos.

Con la finalidad de intensificar los programas de formación y capacitación de especialistas técnicos e ingenieros para el IUIN y sus países miembros, el Centro Universitario del instituto ha desarrollado un taller de ingeniería cuya característica clave es el trabajo con equipamiento real.

En particular, se crearon talleres sobre electrónica, conceptos básicos de física nuclear y detectores de partículas elementales, tecnología de microondas y vacío, y automatización de instalaciones físicas. Todo este trabajo continuará; nuevos cursos están siendo desarrollados junto con la actualización correspondiente de las herramientas e instrumentos. Una importante tarea está siendo la de desarrollar cursos de entrenamiento práctico en canales específicos del acelerador lineal de 200 MeV. Esto les permitirá a los estudiantes profundizar en sus conocimientos y adquirir nuevas habilidades, además de

ganar personalmente experiencia práctica en el uso de equipamiento y tecnologías modernas.

Los programas de divulgación del IUIN, orientados a los niños en edad escolar, estudiantes y profesores de los países miembros son una parte importante de las actividades del Centro Universitario para aumentar el interés en áreas de ciencias naturales. En estos momentos, el CU tiene las siguientes herramientas para trabajar con niños escolares: conferencias en línea y presenciales impartidas por el personal del instituto y excursiones a algunas instalaciones relevantes del instituto y laboratorios virtuales en física nuclear experimental. Cada año el CU celebra una Escuela Científica para maestros de física provenientes de los países miembros del IUIN.

## **Conclusión**

El Instituto Unificado de Investigaciones Nucleares es una organización intergubernamental creada para integrar los esfuerzos, potencial científico y material de los países que participan en la realización de investigaciones en física de partículas, estudios de materia condensada, así como investigaciones aplicadas vinculadas a las ciencias de la vida, el medio ambiente, y los materiales. El IUIN tiene una infraestructura desarrollada para la investigación, y pone en marcha proyectos científicos de relevancia. Además de la propia investigación científica, abre prometedoras oportunidades para la educación y los períodos de prácticas, acumulando así muchos años de una experiencia exitosa en la implementación de su programa educacional. Este programa supone una cooperación estrecha con las universidades líderes de los países miembros, así como sus propios programas estudiantiles, pasantías y proyectos de divulgación científica. Esto permite llevar adelante de forma exitosa la educación y formación de estudiantes con diferentes niveles de capacitación básica y con una gran diversidad geográfica. Permanecer en las condiciones de organización internacional permite a los estudiantes no solo ampliar su conocimiento vinculado a la investigación científica, sino también desarrollar habilidades de comunicación relacionadas con el trabajo en un verdadero equipo internacional.

## Referencias bibliográficas

- Abgaryan, V. & MPD Collaboration. (2022). Status and initial physics performance studies of the MPD experiment at NICA. *The European Physical Journal A*. 58(7), 140 – 190.
- Aksenov, V.L., Balagurov, A.M. & Kozlenko, D.P. (2016). Condensed matter research at the modernized IBR-2 reactor: from functional materials to nanobiotechnologies. *Physics of Particles and Nuclei*. 47(4), 627 – 646.
- Belozerov, A.V., Becher, Yu., Bulycheva, Yu.K., Zamriy, V.N., Kayukov, A.C., Kobets, V.V., Meshkov, I.N., Minashkin, V.F., Petrov, V.A., Pyataev, V.G., Sedyshev, P.V., Skrypnik, A.V., Sumbaev, A.P., Ufimtsev, A.B., Shabratov, V.G., Shvets, B.A., Shvetsov, B.N. & Fateev, A.A. (2010). Physical Startup of the IREN Facility, *Physics of Elementary Particles and Atomic Nuclei*. 7(163), 923 – 932.
- Dmitriev, S.N., Oganessian, Yu.Ts., Gubelkian, G.G., Kalagin, I.V., Gikal, B.N., Bogomolov, S.L., Ivanenko, I.A., Kazariniv, N.Yu., Ivanov, G.N., Osipov, N.F., Pashchenko, S.V., Khabarov, M.V., Semin, V.A., Yeremin, A.V. & Utyonkov, V.K. (2020). SHE Factory: Cyclotron Facility for Super Heavy Elements Research. *22<sup>nd</sup> International Conference on Cyclotrons and their Applications (CYC2019)*, THC01.
- Guskov, A. (2021). Spin Physics Detector project at JINR. *Proceedings of Science. Particles and Nuclei International Conference - PANIC2021*, 344 – 348.
- Kapishin, M.N. & BM@N Collaboration. (2017). The Fixed Target Experiment for Studies of Baryonic Matter at the Nuclotron (BM@N). *Physics of Atomic Nuclei*. 80(10), 1613 – 1619.
- Malyshkin, Yu. & Baikal-GVD Collaboration. (2023). Baikal-GVD neutrino telescope: Design reference 2022. *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research – section A*. 1050, 168117.
- Oganessian, Yu.Ts., Gubelkian, G.G., Mitrofanov, S.V., Denisov, S.V. & Tarasov, O.B. (2007). Radioactive Ion Beam Monitoring System and Simulation of DRIB's Complex Target – Catcher Unit. *AIP Conference Proceedings*, 912(1), 322 – 331.
- Podgainy, D., Belyakov, D., Nechaevsky, A., Strelkova, O. & Vorontsov, A. (2021). IT Solutions for JINR Tasks on the “GOVORUN” Supercomputer. *Proceedings of the 9<sup>th</sup> International Conference on Distributed Computing and Grid Technologies in Science and Education (GRID 2021)*. 612 – 618.
- Sissakian, A., Kekelidze, V.D., Sorin A.S. & NICA Collaboration. (2009). The Nuclotron-Based Ion Collider fAcility at the Joint Institute for Nuclear Research. *Nuclear Physics A*, 827(1-4), 630c - 637c.