

В. Ю. Батусов, А. Гонгадзе

Новое малое колесо эксперимента ATLAS к пилотному сеансу готово!

10 августа 2021 г. произошло знаменательное событие для эксперимента ATLAS на LHC (ЦЕРН). Несмотря на различные трудности, сопровождавшие проект, особенно в период пандемии, новое малое колесо (НМК) эксперимента ATLAS было вовремя установлено и подключено в рабочем положении в ходе подготовки к тестовому запуску LHC и детектора ATLAS. Этому событию предшествовал спуск 12 июля НМК в экспериментальную шахту детектора ATLAS с одного торца. Спуск в октябре второго НМК, которое было собрано 27 сентября, с другого торца ознаменовал окончание первой фазы модернизации мюонного спектрометра детектора ATLAS. Новое малое колесо в данной фазе является самым масштабным проектом по модернизации ATLAS. В создание, становление и развитие проекта огромный вклад внес его первый руководитель С. Циммерманн. В настоящее время проектом руководит М. Антонелли (INFN).

Многоцелевые детекторы ATLAS и CMS на LHC были созданы прежде всего для открытия бозона Хиггса и исследования его свойств, а также для поиска новой физики за пределами Стандартной

V. Yu. Batusov, A. Gongadze

The New Small Wheel of the ATLAS Detector Is Ready for the Pilot Test Run!

On 10 August, a significant event happened for the ATLAS experiment at the LHC (CERN, Switzerland) — despite different difficulties that accompanied the project from the beginning and especially during the pandemic period — the New Small Wheel (NSW) of the ATLAS experiment was installed and connected right in time during the preparation for the pilot test run of the LHC and the ATLAS detector. This event was preceded by the descent of the NSW on 12 July into the cavern of the ATLAS detector from one end-cap side. The descent in October of the second NSW, which was assembled on 27 September, from the other end-cap side marked the end of Phase I of the Muon spectrometer of the ATLAS detector upgrade. The New Small Wheel in this phase is the largest ATLAS modernization project. The first NSW project leader, S. Zimmermann, had significantly contributed to the project creation and development. M. Antonelli (INFN, Italy) is the current project leader.

The ATLAS and the CMS multipurpose detectors at the LHC were created primarily for the discovery of the Higgs boson and the study of its properties, as well as for the search for New Physics beyond the Standard

модели. Первая задача была успешно выполнена: бозон Хиггса был открыт в 2012 г., но для исследования его свойств, а также поиска новой физики требуется в сотни раз больше данных. Для этого было запланировано два этапа модернизации ЛHC и детектора ATLAS: фаза 1 и фаза 2. После первой фазы модернизации планируется увеличить энергию столкновения протон-протонных пучков с $\sqrt{s} = 13$ до $\sqrt{s} = 14$ ТэВ и при сохранении светимости до двух номинальных значений ($L = 2 \cdot 10^{34} \text{ см}^{-2} \cdot \text{с}^{-1}$), уже достигнутой в 2017–2018 гг., обеспечить интегральную светимость свыше 300 фб^{-1} к концу третьего сеанса набора данных в 2024 г. По окончании второй фазы модернизации ЛHC светимость будет составлять $L = (5-7) \cdot 10^{34} \text{ см}^{-2} \cdot \text{с}^{-1}$, и объем данных, который предстоит записать детектору ATLAS к концу четвертого сеанса набора данных в 2030 г., будет превышать 3000 фб^{-1} .

Естественно, такой рост светимости вызовет увеличение радиационной нагрузки на весь детектор, особенно на те его части, которые расположены ближе всего к точке взаимодействия пучков, что, в свою очередь, повлечет за собой ухудшение энергетического и пространственного разрешения детектора. Для предотвращения этого необходима

ЦЕРН (Швейцария). Одна из двух частей нового малого колеса в сборе на транспортной ферме перед отправкой из корпуса № 191 в шахту детектора ATLAS

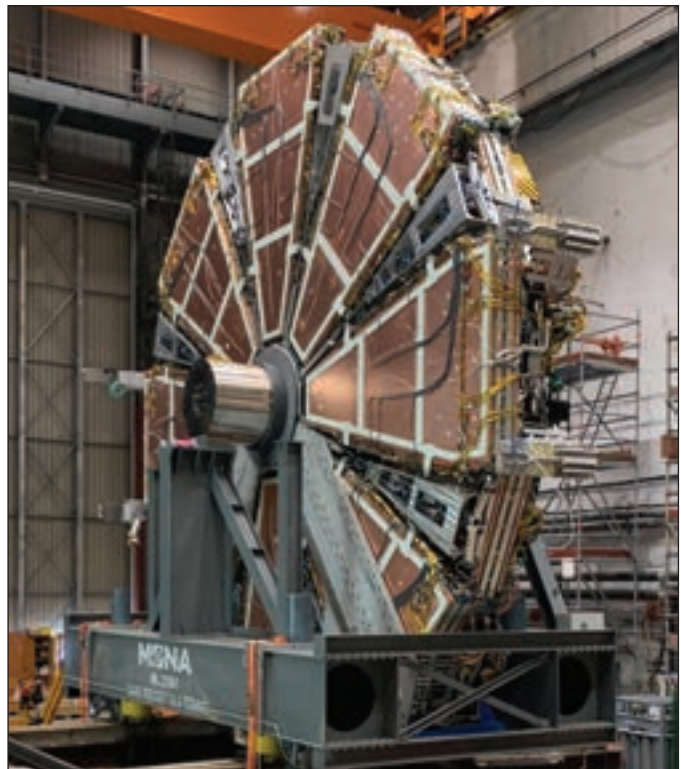
CERN (Switzerland). One of two disks of the New Small Wheel assembled and placed on a transportation farm before shipment from building 191 to the ATLAS detector cavern

Model. The first goal was successfully achieved — in 2012, the Higgs boson was discovered, but for its properties studies and for search for the manifestation of the New Physics hundreds of times more data are required. Two upgrade periods (Phase I and Phase II) of both the LHC and the ATLAS detector are projected for these purposes. After finalization of the Phase-I ATLAS upgrade, the increase of the proton-proton collision energy from $\sqrt{s} = 13$ to $\sqrt{s} = 14$ TeV is planned and, having in mind to keep the same luminosity value doubled to the nominal one ($L = 2 \cdot 10^{34} \text{ cm}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$) achieved in 2017–2018, it is planned to provide the total integrated luminosity of 300 fb^{-1} by the end of Run III in 2024. After Phase II of the LHC upgrade, the luminosity will be $L = (5-7) \cdot 10^{34} \text{ cm}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$, and the amount of data to be recorded by the ATLAS detector by the end of Run IV in 2030 should exceed 3000 fb^{-1} .

It is obvious that such an increase of the luminosity leads to the increase of the radiation load of the whole detector and especially its closest to the interaction point

модернизация некоторых подсистем детектора ATLAS, не рассчитанных на такую нагрузку. Одной из таких подсистем является внутренняя торцевая часть мюонного спектрометра, или малое колесо (МК). По предварительным данным исследований, модернизация МК в НМК позволит улучшить не только пространственное и энергетическое разрешение треков, но и эффективность триггерной системы для мюонов.

Модернизация МК подразумевает полную замену всех его систем: детектирующей дрейфовой камеры MDT (Monitored Drift Tubes), катодной стриповой камеры CSC (Cathode Strip Chamber) — на координатные микроструктурные детекторы на основе технологии Micromegas (MICROMesh Gaseous Structure), а систему на основе триггерной тонкоазорной камеры TGC



subsystems which, in turn, will entail the degradation of the energy and angular resolution of the detector. To prevent this, it is necessary to upgrade some subsystems of the ATLAS detector that are not designed for such a load. The end-cap part of the muon spectrometer is one of such subsystems or, in other words, Small Wheel (SW). According to preliminary studies, the SW upgrade to the New Small Wheel (NSW) will allow improving spatial and energy resolution of tracks as well as efficiency of the muon trigger system.

The upgrade of the SW assumes a full replacement of all its subsystems: Monitored Drift Tubes (MDT), Cathode

(Thin Gap Chamber) — на аналогичную с маленьким шагом считывающих полосок sTGC (small-strip Thin Gap Chamber).

Детектор на основе технологии Micromegas является плоскопараллельным двухступенчатым детектором. Он состоит из области ионизации/дрейфа шириной от нескольких миллиметров до десятков сантиметров (в режиме Time Projection Chamber) и узкой области усиления — лавинного размножения шириной, как правило, 50–128 мкм, которая расположена между тонкой металлической сеткой (mesh или micromesh) и считывающими полосками или площадками на печатной плате. Электроны, дрейфуя из области ионизации с относительно малым электрическим полем (~1 кВ/см) в область усиления с электрическим полем напряженностью 40–50 кВ/см, приобретают достаточную энергию для формирования лавины.

Муонная группа ЛЯП ОИЯИ была ответственна за производство и тестирование модулей Micromegas. Изготовлены и протестированы все 64 и дополнительно четыре запасные считывающие панели общей площадью 384 м² из 1200 м², предусмотренные для всего НМК. Используя эти панели и панели, произведенные в Университете им. Аристотеля (Салоники, Греция), группа ОИЯИ провела сборку и тестирование 32 плановых модулей и одного запасного.

В 2016–2017 гг. были проведены работы по оснастке и запуску участка по производству модулей Micromegas в корпусе №4 ЛЯП ОИЯИ. Участок включает в себя два «чистых» помещения: по производству считывающих панелей и тестированию их геометрических характеристик (72 м², класс чистоты 7 ISO) и для сборки и тестирования модулей Micromegas на высокое напряжение (50 м², класс чистоты 6 ISO). Кроме того, на участке размещен ряд стендов для тестирования на утечку газа, проверки геометрии модулей, тестирования высоким напряжением, проверки точности выравнивания панелей в модуле Micromegas, а также стенд для регистрации космических лучей, на котором проходит последний этап производства, необходимый для паспортизации модуля. Также созданы монтажный стол и два вакуумных стола, которые были разработаны и изготовлены совместно с детекторной группой ЦЕРН по специально отработанной технологии.

После производства панели проходят тестирование на газовую течь. Также измеряется геометрия их поверхностей и точность выравнивания верхних и нижних печатных плат относительно друг друга. Затем, после мойки и сушки панелей, проводятся сборка и тестирование модулей на высокое напряжение. Специально для сборки модулей сотрудниками ОИЯИ была разработана «станция», позволяющая

Strip Chambers (CSC) to be replaced by Micromegas technology-based detectors, and a subsystem based on a Thin Gap Chamber (TGC) to be replaced by a similar detector with a small step of reading strips (small-strip Thin Gap Chamber, sTGC).

Micromegas technology-based (MICROMESH Gaseous Structure) detector is the planar two-stage detector. It consists of an ionization/drift region of a thickness from a few millimeters to tens of centimeters (in the Time Projection Chamber mode, TPC) and a thin amplification region — avalanche amplification region of a typical 50–128- μm thickness, located between a thin metallic mesh or micromesh and read-out strips or plates on the printed circuit board (PCB). Electrons drifting from the ionization region with a relatively small electric field (~1 kV/cm) to the amplification region with the electric field of 40–50 kV/cm gain the energy enough to create the avalanche.

The muon group of DLNP JINR was responsible for the production and testing of the Micromegas modules. There were produced and tested all 64 and four spare read-out panels with a total area of 384 m² out of 1200 m² projected for the whole NSW. The JINR group also produced

and tested 32 projected modules and one spare using those panels and panels produced at the Aristotle University of Thessaloniki (AUTH, Greece).

Rigging and launching work for the creation of the Micromegas modules production site in 2016–2017 in building 4 of DLNP JINR was performed. The site includes two “clean” rooms for the production of read-out panels and their geometric characteristics tests (72 m², cleanroom standard ISO 7) and for assembling and high-voltage tests of the Micromegas modules (50 m², cleanroom standard ISO 6). Moreover, several test benches were placed for the gas leakage tests, modules geometry tests, high-voltage tests, panels alignments of the Micromegas module tests and the cosmic rays detection tests, where the last stage of production necessary for certification of the module takes place. In addition, assembly table and two vacuum tables were developed and produced in cooperation with the CERN detector group using specially developed technology.

After production, the panels are tested for gas leakage. In addition, the geometry of the panel surface is measured as well as the alignment accuracy of the top and bottom PCBs with respect to each other. Then, after washing and

во избежание попадания пыли на рабочую поверхность панелей проводить сборку модуля в вертикальном положении, а тестирование — в горизонтальном.

В модернизацию НМК внесла свой вклад и метрологическая группа ЛЯП ОИЯИ, которая была ответственна за подготовку к высокоточному производству камер sTGC в ЦЕРН, контроль качества всех собираемых рабочих камер НМК, юстировку собранных секторов, позиционирование секторов на колесе НМК, предварительное позиционирование НМК в шахте ATLAS и окончательную юстировку НМК в рабочем положении.

Группа ЛЯП ОИЯИ участвовала в работах по производству камер sTGC на всех этапах, начиная с

юстировки сборочных столов и реперных сборочных направляющих (требуемая точность 50 мкм) и заканчивая окончательной привязкой реперных точек, необходимых для сборки секторов, к реперным точкам сборочных направляющих готовых камер.

Все произведенные в ЛЯП модули находятся в ЦЕРН и интегрированы на структурах НМК. Сотрудники ЛЯП принимают участие в тестировании и введении в эксплуатацию НМК. Одно из двух колес НМК эксперимента ATLAS установлено и подключено в ходе подготовки к тестовому запуску LHC и детектора ATLAS.

Лаборатория ядерных проблем им. В. П. Дзелепова. Мюонная группа на производственном участке



The Dzhelapov Laboratory of Nuclear Problems. The muon group at the production site

drying of PCBs, the modules are assembled and tested for high voltage. Especially for modules, JINR personnel developed the “facility” that allows assembling modules in a vertical position and testing them in a horizontal one.

The DLNP JINR metrology group has also participated in the NSW upgrade. The group’s responsibility was preparation of sTGC for the high-precision production at CERN, quality control of all assembled working chambers of NSW, alignment of the assembled sectors, positioning of sectors on the NSW disk, preliminary positioning of NSW in the ATLAS cavern, and final adjustment of NSW in working position.

The DLNP JINR group has participated in all phases of the sTGC production from the adjustment of the assembling tables and reference assembly inserts (required accuracy is 50 μm) till the final binding of the reference points necessary for the sectors assembly to the reference points of the assembly inserts of the assembled chambers.

All the modules produced at DLNP JINR are located at CERN and integrated into the NSW structure. Participants from DLNP take part in the testing and commissioning of NSW. One of two NSW disks of the ATLAS experiment is installed and connected during the preparation for the pilot test run of the LHC and the ATLAS detector.