



Status of the Nuclotron

A. Sidorin
for the Nuclotron-M project team

JINR, Dubna

Contents

- Nuclotron-M project
- Results of last runs
- Plans for the next run
- Nuclotron status and future

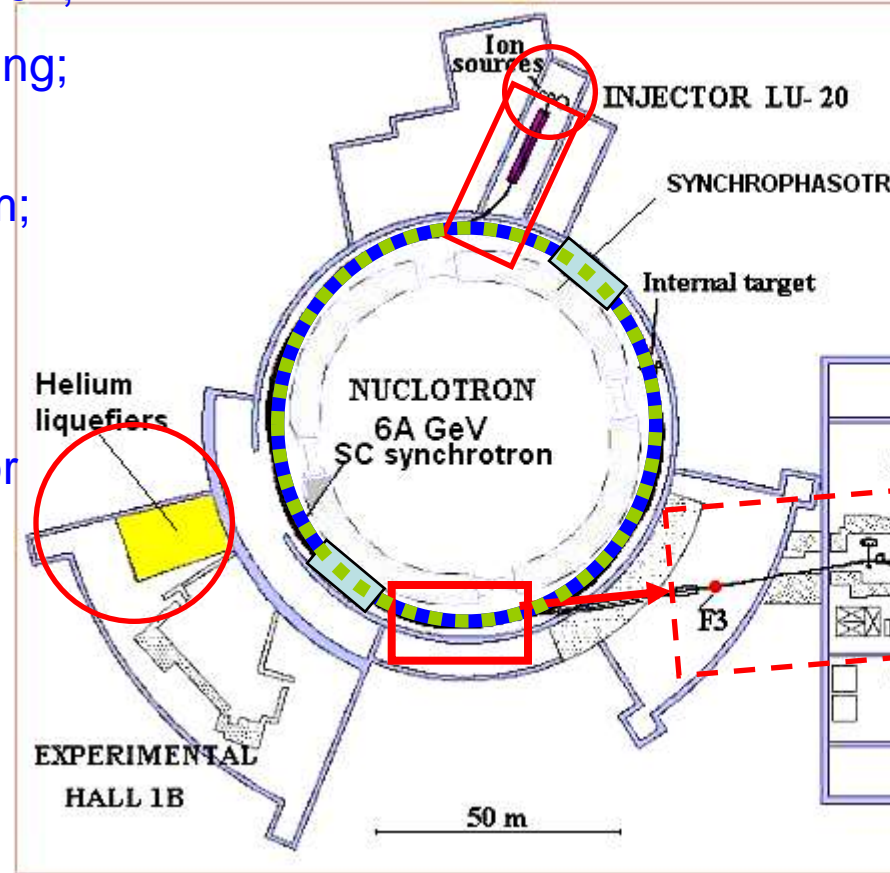
Nuclotron: since March 1993



Nuclotron provides now performance of experiments on accelerated proton and ion beams (up to Fe^{24+} , $A=56$, *now Xe^{42+} , $A=124$*) with energies up to 6AGeV ($Z/A = 1/2$)

Nuclotron-M project: first stage of NICA

- Modernization of ion source KRION to KRION 6T;
- Improvement of the vacuum in the Nuclotron ring;
- Development of the power supply system, quench detection and energy evacuation system;
- Modernization of the RF system (including trapping & bunching systems, controls and diagnostics);
- Modernization of the slow extraction system for accelerated heavy ions at maximal energies;
- Modernization of automatic control system, diagnostics and beam control system;
- Transportation channel of the extracted beams and radiation safety;
- Improvement of the safety, stability and economical efficiency of the cryogenics;
- Modernization of the injector complex (fore-injector and linac) for acceleration of heavy ions;
- Development and creation of high intensity polarized deuteron source



Beam dynamics: minimization of the beam losses at all stages from injection to acceleration and to extraction of the beams (not more than 15-20%, we have about 50-80%).

Run #37 (November-December 2007):

- Investigation of all accelerator system status;**
- Test of new scheme of power supply system.**

Specially developed plan of revision and modernization (started Jan'08)

Утвержден
Начальник УО ЛВЭ

Г.В. Трубииков

План работ на Базовой Установке Нуклотрон

I. Общие позиции

	Позиция	срок	Ответственные
1	Восстановление геодезической сети. Ремонт вострировки оптики на участке инжекции, вывода и других критичных участков кольца (вынос реперов на криостаты)	01.07.08	А.В. Алфеев А.В. Бутенко В.А. Мочинский А.А. Смирнов
2	Подготовить и обсудить целесообразность проектирования бетонного основания под отдельные секции кольца (в районе инжекции, вывода)	01.05.08	
3	Водозабор: 1) система удаления песка 2) фильтр на трубу 150	01.05.08	Н.В. Семин
4	Старая пультовая СФ – освобождение, перенос системы блокировок и защит + АПС.	15.04.08	А.В. Алфеев А.В. Бутенко В.И. Волков В.А. Мочинский О.И. Бровка
5	Выработка концепции новой системы блокировок и защит.	01.05.08	В.А. Михайлов А.М. Базанов В.И. Волков В.А. Мочинский В.И. Карвинский Н.А. Иванов
6	Разработка, изготовление и испытание на стенде дополнительных тоководов и источников питания для создания beam-bump на участке МВ, доработка после испытаний. Изготовление и монтаж на кольце.	31.07.08 01.10.08	
7	Ревизия корректоров 4К3, 4К4, 5К2, 5К3 (бамп-орбиты МВ).	30.04.08	В.И. Карвинский А.В. Алфеев
8	Ревизия корректоров 4К3, 4К4, 5К2, 5К3 (бамп-орбиты МВ).	01.03.08	
9	Подключение корректора 1К1.	01.05.08	
10	Цифровая система измерения орбиты пучка. Совместное согласование ТЗ, участие в монтаже и наладке + программное обеспечение и интерфейс пользователя – согласование необходимых опций и функций системы и т.д. Изготовление и испытание одной станции. (В.М. Слепнев)		
11	Наладка аппаратуры ПЭ-1. Отображение информации на пульте управления Нуклотроном		
12	Создание экспериментальной станции коррекции автоматизированной подачи коррекции магнитного поля (приобретение оборудования)		

1. Капитальный ремонт трансформатора ТМ-1000/6.
2. Работы по монтажу электрооборудования компьютерного кластера в пом.442 корп.215.
3. Работы согласно графику ППР высоковольтного оборудования.
4. Работы согласно графику проверки защит оборудования группы.
5. Работы согласно графику проведения высоковольтных испытаний оборудования группы.
6. Оперативное обслуживание высоковольтного оборудования группы.

группа № 5

1. Работы по замене светильников наружного освещения с лампами накаливания, на светильники с натриевыми лампами у корпусов: модульного, 42, 215, 216, 217.
2. Работы по проектированию и монтажу систем аварийной сигнализации и дистанционного слежения за работой оборудования и вл.218, 219,222,223 (градирни и станция перекачки большой водооборотной системы, станция перекачки хоз. фекальной канализации, станция перекачки грунтовых вод).
3. Примечание: При условии финансирования работ.
4. Работы согласно графику ППР инжекционного оборудования.
5. Работы по заявкам потребителей.
6. Дежурство на РЦ-215.

СОГЛАСОВАНО:

Коваленко А.Д.

Бутенко А.В.

Аганов Н.Н.

Мочинский В.А.

Холжабабян Г.Г.

Бровка О.И.

Слепнев В.М.

Семин Н.В.

Алфеев А.В.

Мешков И.И.

Исеницкий И.Б.

Волков В.И.

Говоров А.И.

Базанов А.М.

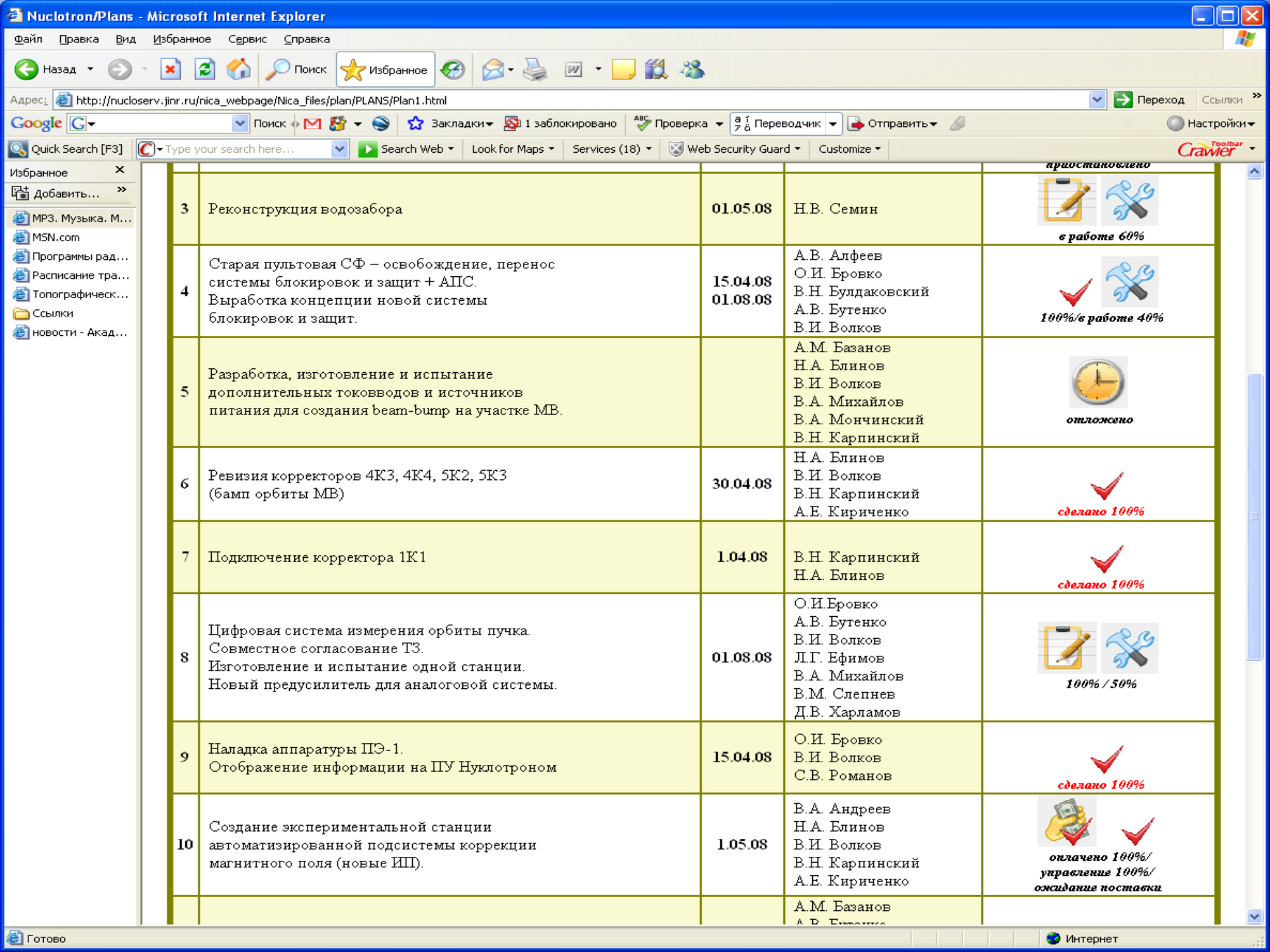
Карвинский В.И.













Иванов Е.В.

Довен Е.Е.

Селезнева В.В.

In total ~ 140 positions...



3	Реконструкция водозабора	01.05.08	Н.В. Семин	приостановлено   в работе 60%
4	Старая пультовая СФ – освобождение, перенос системы блокировок и защит + АПС. Выработка концепции новой системы блокировок и защит.	15.04.08 01.08.08	А.В. Алфеев О.И. Бровко В.Н. Булдаковский А.В. Бутенко В.И. Волков	  100%/в работе 40%
5	Разработка, изготовление и испытание дополнительных токовводов и источников питания для создания beam-bump на участке МВ.		А.М. Базанов Н.А. Блинов В.И. Волков В.А. Михайлов В.А. Мончинский В.Н. Карпинский	 отложено
6	Ревизия корректоров 4К3, 4К4, 5К2, 5К3 (бамп орбиты МВ)	30.04.08	Н.А. Блинов В.И. Волков В.Н. Карпинский А.Е. Кириченко	 сделано 100%
7	Подключение корректора 1К1	1.04.08	В.Н. Карпинский Н.А. Блинов	 сделано 100%
8	Цифровая система измерения орбиты пучка. Совместное согласование ТЗ. Изготовление и испытание одной станции. Новый предусилитель для аналоговой системы.	01.08.08	О.И. Бровко А.В. Бутенко В.И. Волков Л.Г. Ефимов В.А. Михайлов В.М. Слепнев Д.В. Харламов	  100% / 50%
9	Наладка аппаратуры ПЭ-1. Отображение информации на ПУ Нуклотроном	15.04.08	О.И. Бровко В.И. Волков С.В. Романов	 сделано 100%
10	Создание экспериментальной станции автоматизированной подсистемы коррекции магнитного поля (новые ИП).	1.05.08	В.А. Андреев Н.А. Блинов В.И. Волков В.Н. Карпинский А.Е. Кириченко	  оплачено 100%/ управление 100%/ ожидание поставки
			А.М. Базанов А.В. Бутенко	

After Run #37

**1-st stage of vacuum system modernization
(pumping and diagnostic equipment,
modernization of “warm” section of the
vacuum chamber)**

Run #38(May-June 2008)

**-Commissioning of the new equipment,
Improvement of the vacuum conditions in the
beam pipe.**

From August 2008 to February 2009: deep modernization of cryogenic supply system



Dismounting of KGU-1600



Dismounting of MO-800

**Dismounting of the equipment, transportation to HELIMASH, repairing,
Transportation back to JINR, commissioning**

Upgrade of the cryogenic supply system and cryogenics power increasing towards NICA



**Additional screw compressor for helium (6000m³/h) - from HELIIMASH
Successfully commissioned and used during run #41 (step towards NICA)**

Run #39 (June 2009):

- Commissioning of the modernized equipment,**
- Commissioning of new control system of the magnetic field cycle,**
- Test of equipment of vacuum control system,**
- Stable operation at 1.5 T.**

**Test of new procedure of helium transportation:
Instead of rail-road the liquid helium was
delivered by cars in vessels**

Control system of the magnetic field cycle

Задание параметров представления

НА ГРАФИК ВЫДАВАТЬ

Опорная функция

Реальное поле

Градиент D

Градиент F

Gd-B

Gf-Gd

Gd/B

Gf/Gd

Gd-k1*B

Gf-k2*Gd

Ub

Ug

Ib

Ig

Bo(DAC-18)

B (DAC-18)

G (DAC-18)

k1*B(DAC-18)

k1*B'

Резерв

0 мс, начало отображения участка

2000 мс, конец отображения участка

0 Гс, минимальное значение поля на графике

3000 Гс, максимальное значение поля на графике

-10000 мВ, минимальное значение сигнала на графике

10000 мВ, максимальное значение сигнала на графике

-1000 Гс, минимальное значение разности на графике

1000 Гс, максимальное значение разности на графике

1.0400 минимальное значение отношений полей на графике

1.0600 максимальное значение отношений полей на графике

принять отменить

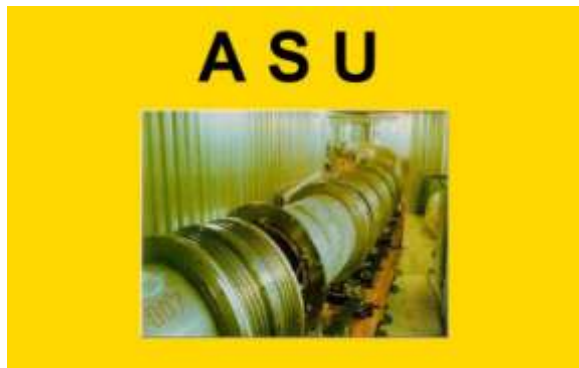


Example of the cycle with two plateaus

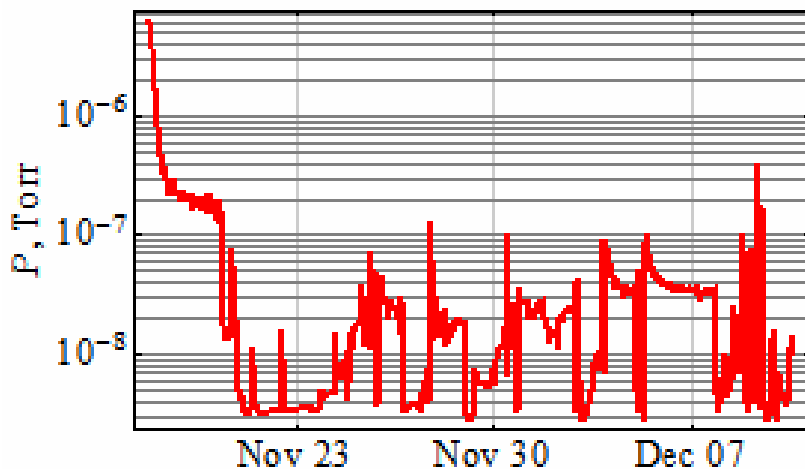
Run #40 (June 2009):

- Commissioning of the of the vacuum control system,**
- Commissioning of digital system for RF frequency control,**
- Test of corrector supply prototype.**

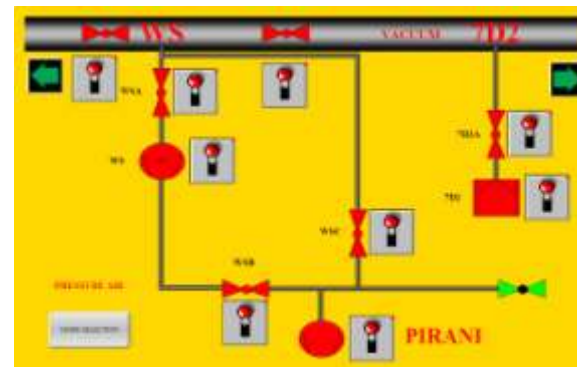
Vacuum control system



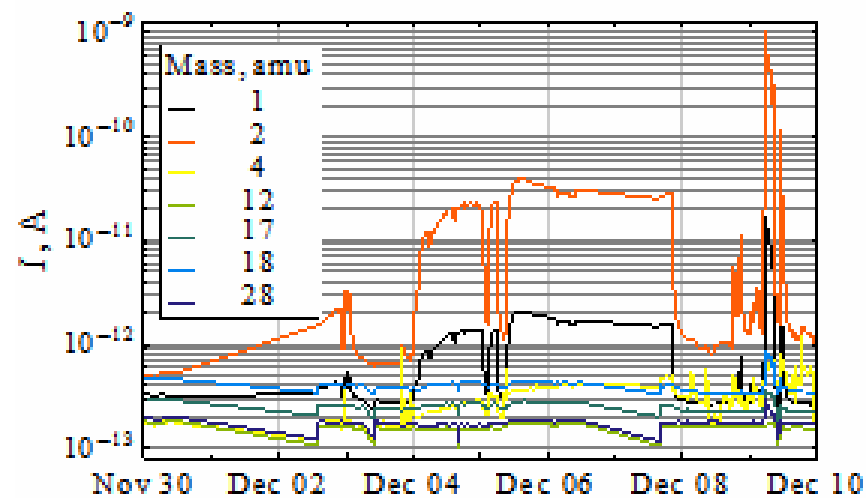
TPG300_65_8F4:PA2



Vacuum pressure at injection point



Prisma @ 8D2



Residual gas composition measured with «Prisma Plus»

Run #41 (February - March 2010):

- Heavy ion (Xe) acceleration,
- Test of the magnetic system at 1.8 T,
- Test of a few corrector supply units,
- Test of new quench detector,
- Test of new ES HV supply.

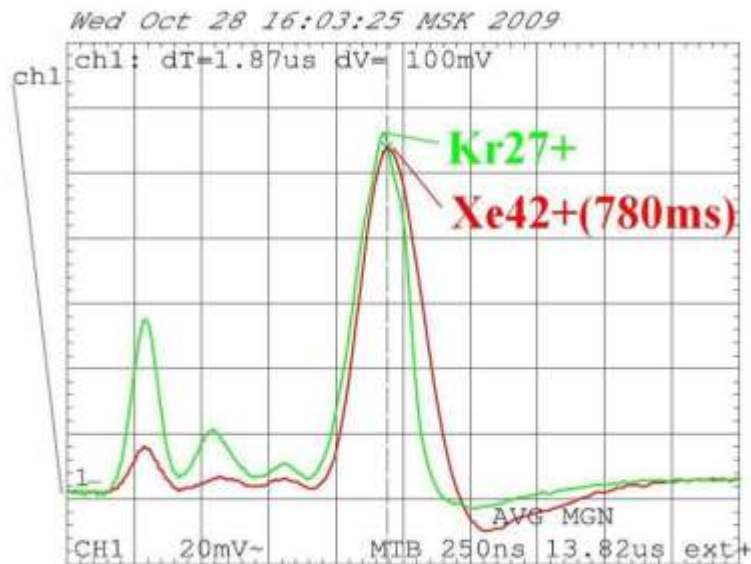
Heavy ion acceleration

the following works were performed during 2009 and first month of 2010:

- four stand runs (five weeks each) at multi charged heavy ion source Krion-2 have been done in order to optimize operational parameters;
- modernization of power supply system of the beam transfer line from LU-20 to the Nuclotron;
- readjustment of the LU-20 accelerating-focusing system in order to improve the acceleration efficiency;
- three runs at LU-20 dedicated to test all the systems at acceleration of deuteron, -C+4 and heavy ion beams.

E.Donets and team.

Results of the runs at KRION in 2009



As LU-20 accepts ions with charge to mass ratio $q/M > 1/3$ one should produce in ion source ^{124}Xe ion beams with the following charge states: $^{124}\text{Xe}41+$, $^{124}\text{Xe}42+$, $^{124}\text{Xe}43+$, $^{124}\text{Xe}44+$ This was done in October 2009 run with use of KRION-2T Electron String Ion Source. Highly charged Xe ion beams with charge state Xe42+ in the maximum of the charge state spectrum (see picture) has been produced for **780 ms of ionization time. A total pulse ion current for highly charged Xe ions was obtained on a level 130 μA** which contains mixture of Xe40+, Xe41+, Xe42+, Xe43+, Xe44+ charge states. In terms of the single chosen charge state Xe42+ in its maximum the extracted ion beam pulse contained about **3×10^7 Xe42+ particles per pulse.** Pure separated isotope ^{84}Kr was used for calibration of Time-of-Flight analysis.

Results of the 41st run at Nuclotron 25 Feb - 25 March 2010:

Generated, accelerated Xe ions
(for the first time at Nuclotron !):
C (A=12, Z=4)
Xe (A=124, Z=42)

Signal of the Xe beam from low-intensity
detector at the ring

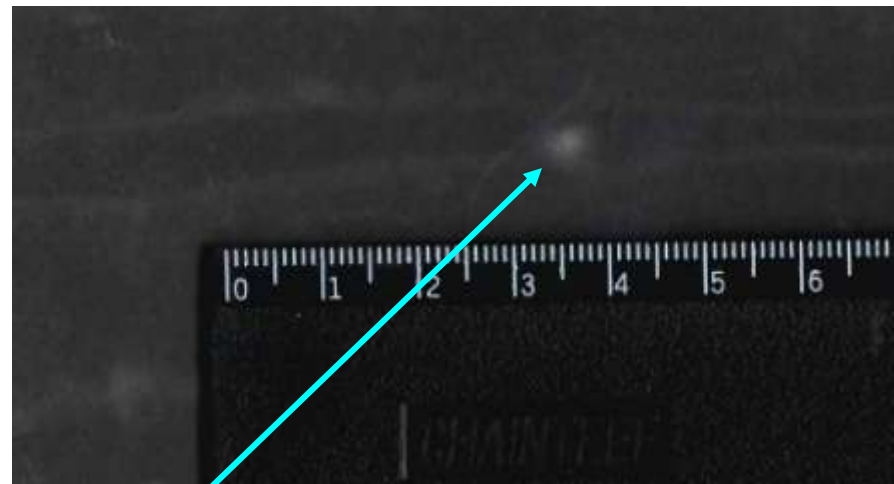
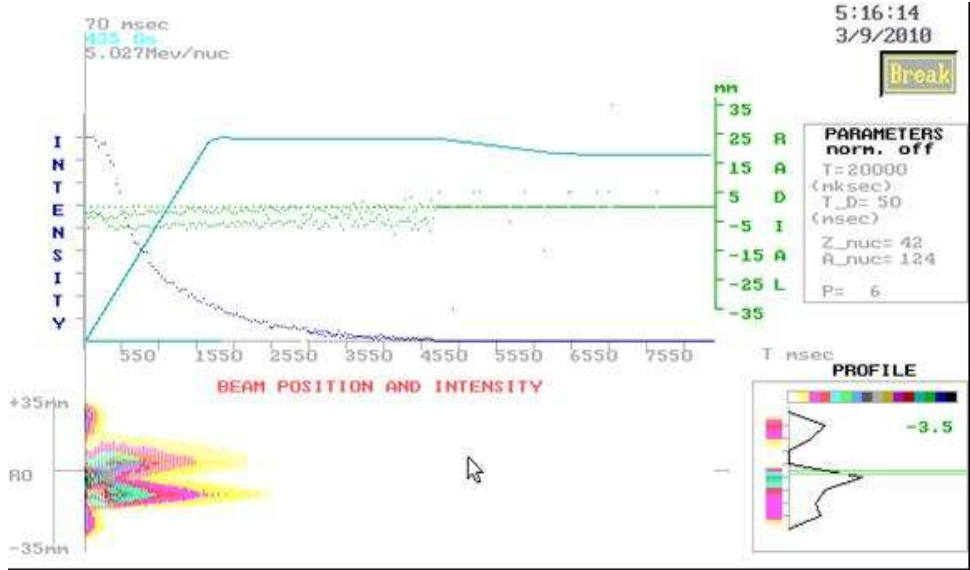
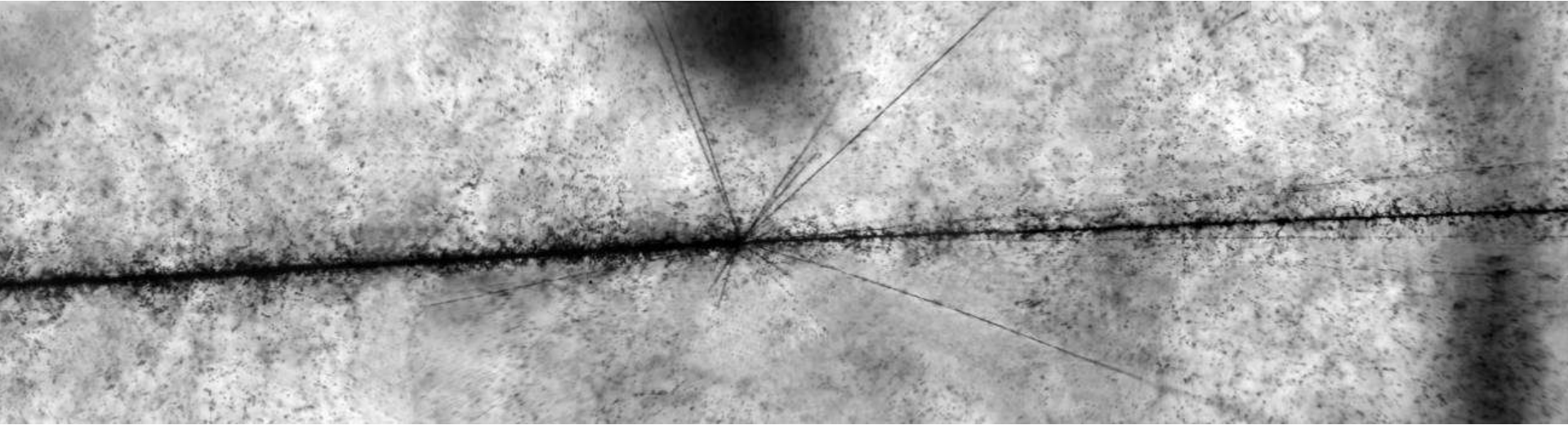


Image of the extracted Xe beam
(E = 0,6 GeV/) on photoplate

Xe beam (A=124, Z=42+) was
accelerated up to 570 MeV/n &
1 GeV/n, and successfully
extracted. Several shifts on the
internal target experiments
was successfully provided.

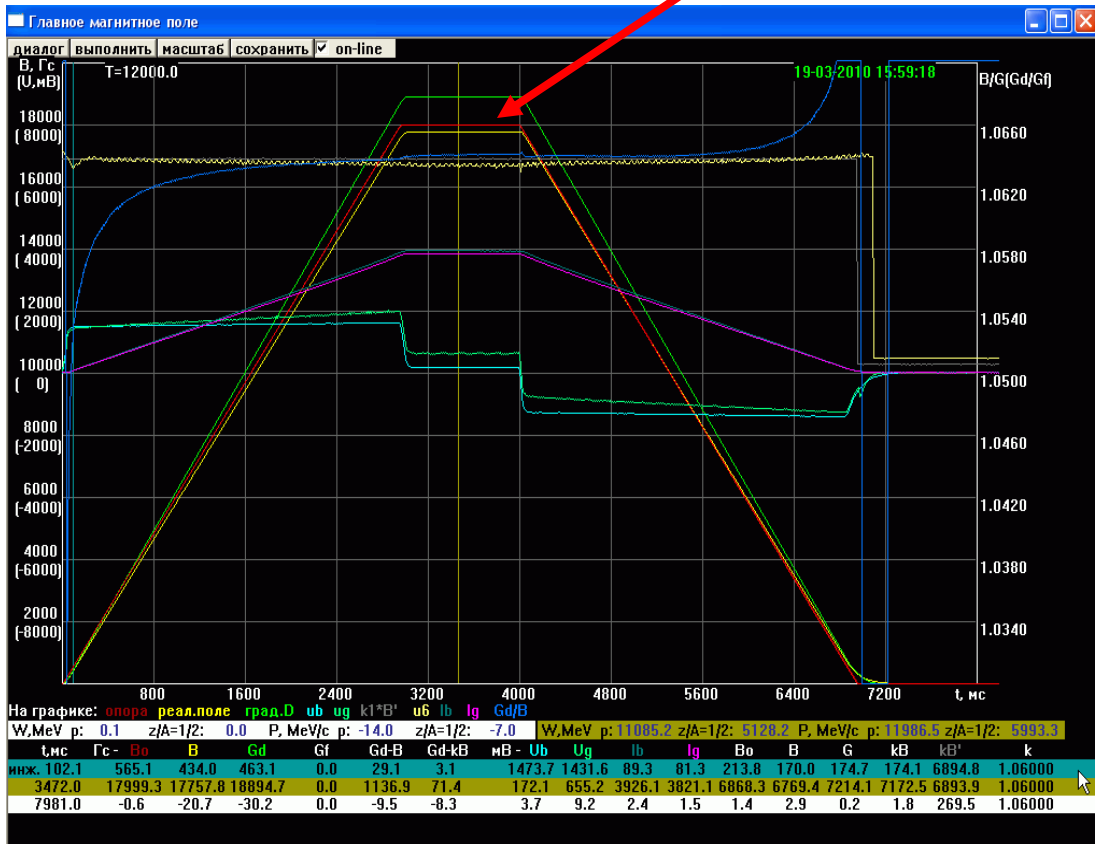


Xe (1 GeV/n) trace on photoemulsion
(experiment "Becquerel")

Main magnetic field of the Nuclotron was increased up to **1.8 T.**

In energy it corresponds to:
 d (A=2, Z=1) - 5,2 GeV/n
 Xe (A=124, Z=42) - 3.3 GeV/n
 Au (A=197, Z=79) - 4.05 GeV/n

All systems of the accelerator showed stable and safe operation: quench detection, energy evacuation, etc.



During the run we tested new mode (4 days) of the cryogenics operation - partial warming-up of the ring from L-He (4K) to L-Nitrogen (70K) without interruption of the operation of all other systems. After that ring was cooled down to 4K back during only 1 day. No additional helium or nitrogen losses. Such modes could be used for prolonged run operation (with short pauses up to 1 week)

Beam slow extraction system at maximum energy



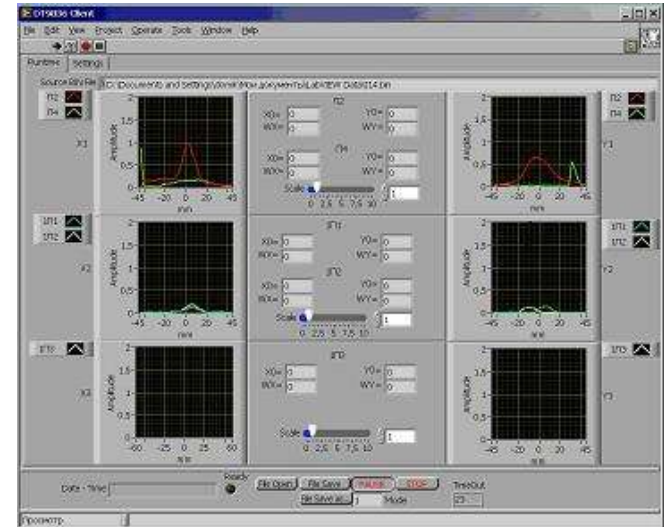
Prototype of new high voltage power supply for the electro-static septum was constructed and successfully tested up to **220 kV** (existing septum power supply allows up to 110 kV only – it corresponds to 2,3 GeV/n extracted beam).

We plan to install it in the slow extraction sector in order to provide experiments on beam extraction at energy 4 GeV/n during next Nuclotron run - **(tested at 150 kV)**.

Modernization of the automation system for control, beam diagnostics and monitoring of parameters of the accelerator complex.



**Kit of new power supplies (130 A) for Nuclotron correctors
Collaboration with Slovakia**



Automatic system "INJECTION"



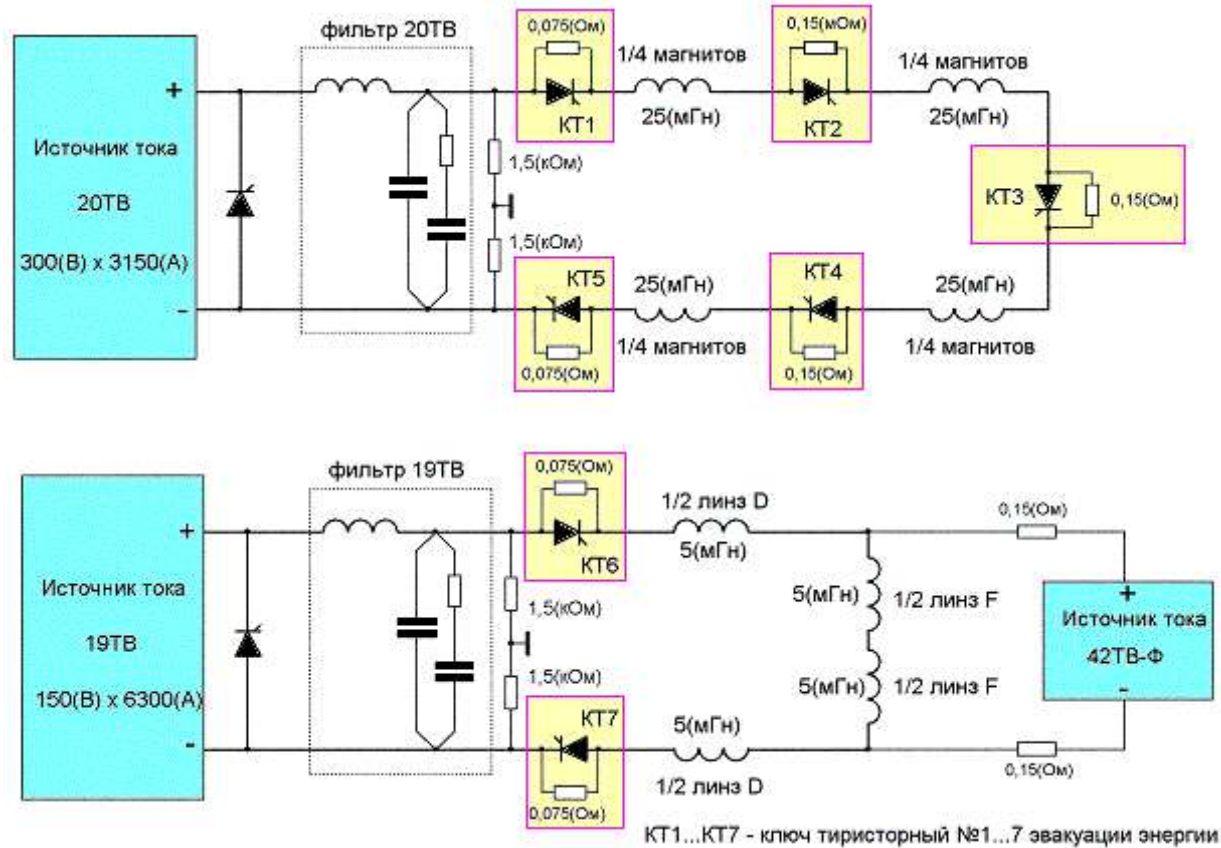
RuPAC2010 One of 30 chips (hi-tech) for automatic System for beam orbit measurement

From February to now:

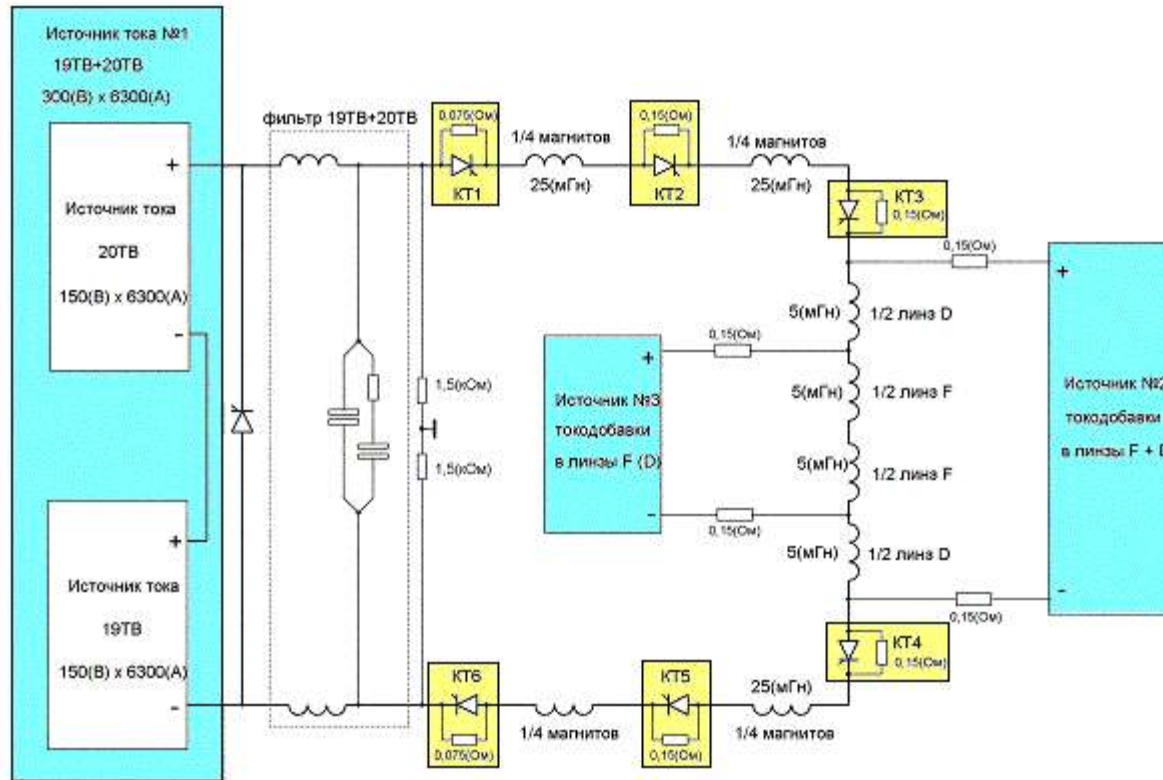
- Construction of new power supply and protection system – toward 1.9 – 2 T
- Preparation of new system for orbit measurement and correction

Run № 42: Nov-Dec 2010

Existed scheme



New scheme



KT1...KT6 - ключ тиристорный №1...6 эвакуации энергии.

Improvement of the power supplies, protection and energy evacuation system of the magnets and lenses

Run 41 (performed):

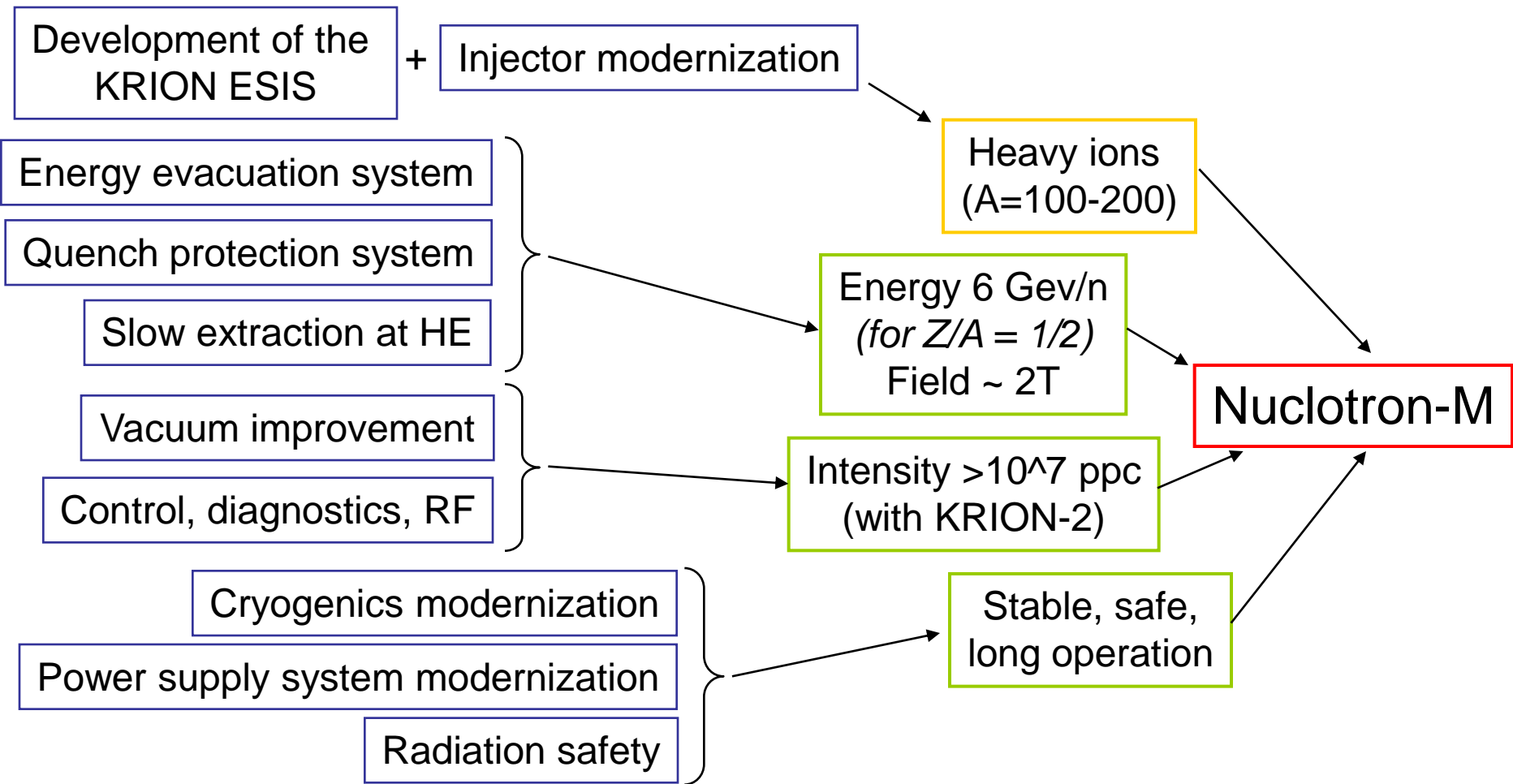
Very important stage – increase of the magnetic field in magnets and lenses from 1.5 up to 1.8;

Next stage – field increase from 1.8 up 1.9 - 2T in the end of 2010 and full-scale commissioning of the new power supply system



- power supply for current increase in the F-lenses is under construction;
- new system for magnet field control;
- beam-bump power supply;





- Nuclotron-M beams in 2010 and further (until NICA commissioning):
- Deutrons, protons – development of existing physics program + appl. research
 - Light ions – hypernuclei, applied research (medicine, radiobiology, etc)
 - Heavy ions – R&D for detector elements, key accelerator technologies for NICA (stripping, fast injection/extraction, cooling, electron clouds effect, etc)
 - Polarized deuterons from new intense source (polarimetry, etc.)

Beam	Nuclotron beam intensity, <u>particles</u> per cycle				
	<i>Current</i>	<i>Ion source type</i>	<i>Nuclotron-M (2010)</i>	<i>Nuclotron-N (2012)</i>	<i>New ion source + booster (2013)</i>
p	$3 \cdot 10^{10}$	Duoplasmatron	$8 \cdot 10^{10}$	$5 \cdot 10^{11}$	$5 \cdot 10^{12}$
d	$3 \cdot 10^{10}$	--- ,, ---	$8 \cdot 10^{10}$	$5 \cdot 10^{11}$	$5 \cdot 10^{12}$
⁴He	$6 \cdot 10^8$	--- ,, ---	$2 \cdot 10^9$	$3 \cdot 10^{10}$	$1 \cdot 10^{12}$
d↑	$2 \cdot 10^8$	ABS (“Polaris”)	$2 \cdot 10^8$	$7 \cdot 10^{10}$ (SPI)	$7 \cdot 10^{10}$ (SPI)
⁷Li	$2 \cdot 10^9$	Laser	$7 \cdot 10^9$	$3 \cdot 10^{10}$	$5 \cdot 10^{11}$
¹⁰B	$1 \cdot 10^9$	--- ,, ---	$3 \cdot 10^9$	$2 \cdot 10^9$	$7 \cdot 10^{10}$
¹²C	$2 \cdot 10^9$	--- ,, ---	$6 \cdot 10^9$	$3 \cdot 10^{10}$	$3 \cdot 10^{11}$
²⁴Mg	$2 \cdot 10^8$	--- ,, ---	$7 \cdot 10^8$	$4 \cdot 10^9$	$4 \cdot 10^{10}$
¹⁴N	$1 \cdot 10^7$	ESIS (“Krion-2”)	$3 \cdot 10^7$	$3 \cdot 10^8$	$5 \cdot 10^{10}$
²⁴Ar	$4 \cdot 10^6$	--- ,, ---	$8 \cdot 10^6$	$2 \cdot 10^9$	$2 \cdot 10^{10}$
⁵⁶Fe	$1 \cdot 10^6$	--- ,, ---	$4 \cdot 10^6$	$2 \cdot 10^9$	$5 \cdot 10^{10}$
⁸⁴Kr	$1 \cdot 10^5$	--- ,, ---	$2 \cdot 10^5$	$1 \cdot 10^8$	$1 \cdot 10^9$
¹²⁴Xe	$1 \cdot 10^4$	--- ,, ---	$1 \cdot 10^5$	$7 \cdot 10^7$	$1 \cdot 10^9$
¹⁹⁷Au	-	--- ,, ---		$7 \cdot 10^7$	$1 \cdot 10^9$

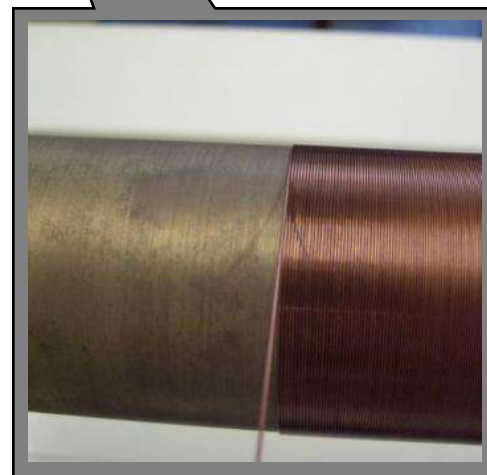
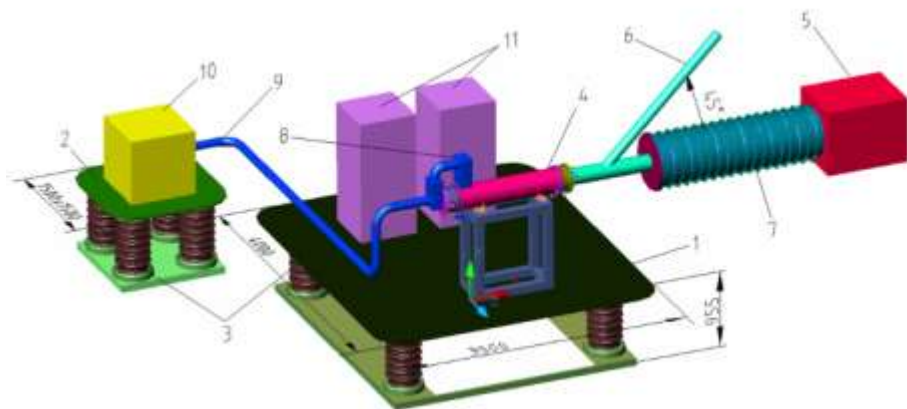
Nuclotron-M (2010): vacuum (↑x100), new power supply system, orbit correction, automatization;

Nuclotron-N (2012): new ESIS (KRION 6T: I ↑x20) + Reconstructed LU-20 (new RFQ + E-resonator: I ↑x2) + Adiabatic RF capture (I ↑x2)



Thank you for your attention.

Assembled vacuum and cryogenic vessels of the new source KRION-6T; New automatic machine tool for solenoid coil spooling.

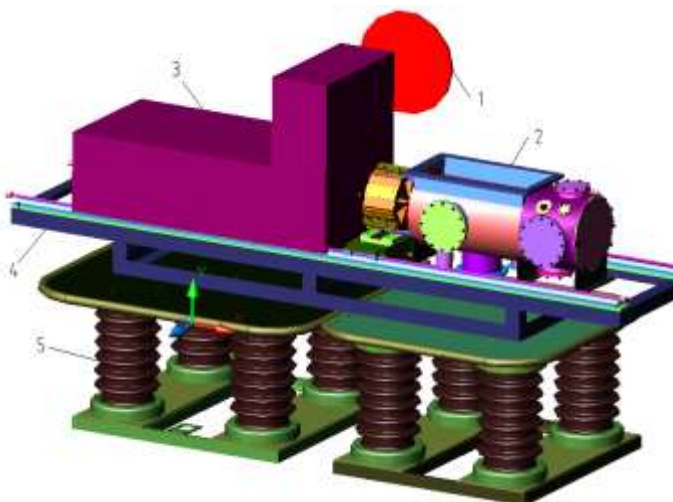


Development and creation of a high-intensity polarized deuteron source (V. Fimushkin)

We continue collaboration works with INR (Troitsk) on the development of the new high-intensity polarized deuteron source, and signed an addendum for work prolongation in 2009. **We plan to start commissioning of the source elements in 2010 at JINR.**

Simulation, modeling and design of different elements of the future source are in active phase at LHEP. **Experimental hall for the future test bench with that source is prepared at LHEP building 203A, preparation electrical and water-cooling works were performed.**

It is planned to purchase part of necessary vacuum equipment (TMN pumps) for the SPD realization in 2009 – **done.**



Вакуумная камера
масс-спектрометра

Течеискатель
ТИ-14А

Вакуумная камера диссоциатора и
постоянных шестиполюсных магнитов

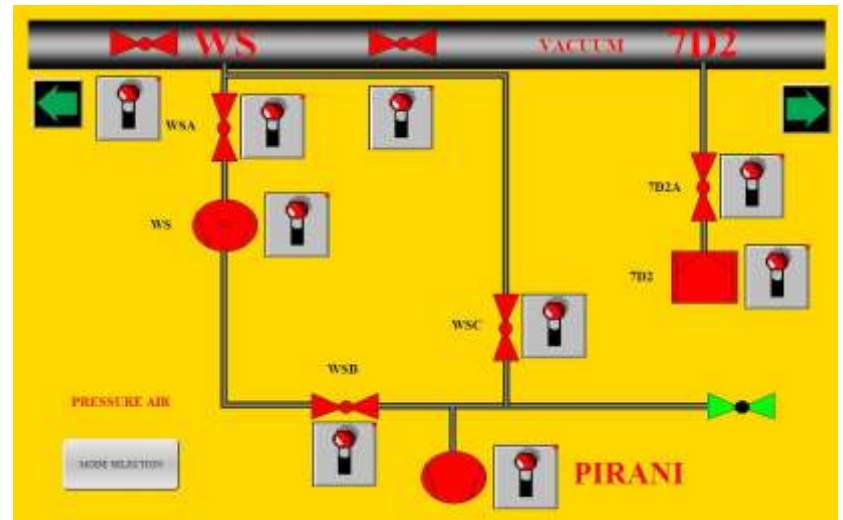


Турбомолекулярный
насос V3-KT

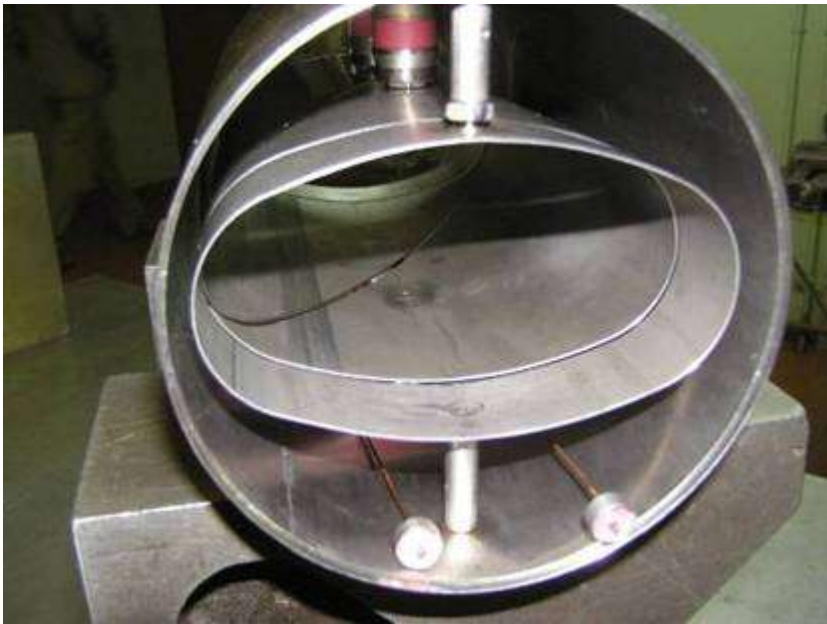
Баллоны 5л для
дейтерия и
кислорода



Assembled pick-up station

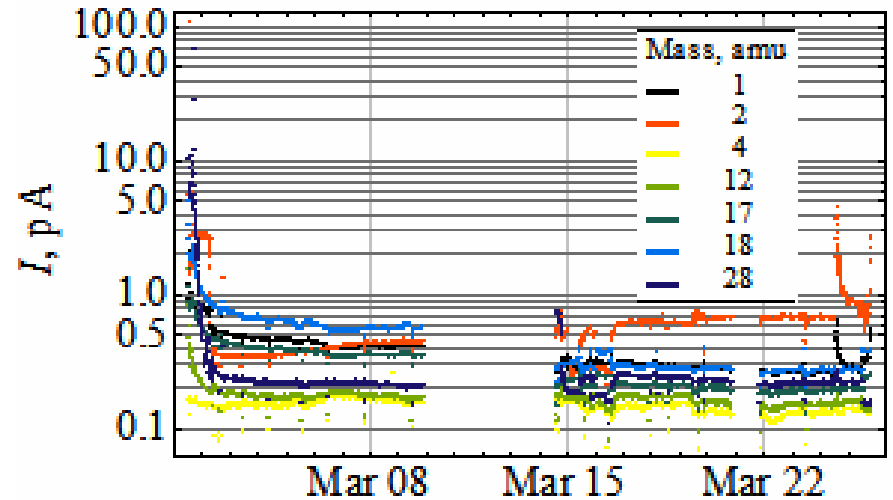


Touch-screen panel for vacuum system control



Assembled elliptical pick-up station

PrismaPlus @ 8D2



Monitoring of vacuum during run