

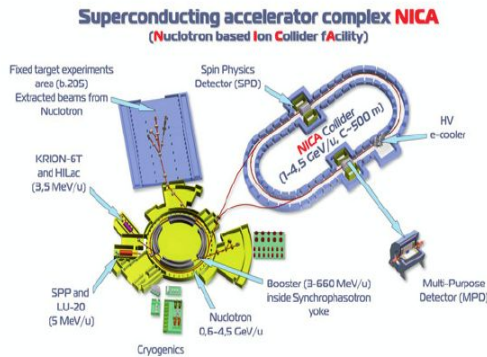
Аэрогель Детектор для NICA - SPD
Совместная разработка JINR - AANL-BINP

Arthur Mkrtchyan
for AANL- SPD Collaboration

ОИЯИ Дубна 2024



NICA: Nuclotron-Based Ion Collider



Key Parameters of The NICA Collider

Ring circumference, m	503.04		
Number of bunches	22		
R.m.s. bunch length, m	0.6		
Ring acceptance, π mm-mrad	40.0		
Long. Acceptance, $\Delta p/p$	± 0.01		
γ transition (Etransition, GeV/u)	7.091 (5.72)		
β^* , m	0.35		
Ion Energy, GeV/u	1.0	3.0	4.5
Ion number/bunch, 1e9	0.275	2.4	2.2
R.m.s. emittance, h/v	1.1/1.0	1.1/0.9	1.1/0.76
R.m.s. $\Delta p/p$, 1e-3	0.62	1.25	1.65
IBS growth time, s	190	700	2500
Peak luminosity, cm⁻².s⁻¹	1.1e25	1e27	1e27

Heavy ion colliding beams up to $^{197}\text{Au}^{79+} + ^{197}\text{Au}^{79+}$

at $\sqrt{s_{NN}} = 4 \div 11$ GeV, $L_{\text{average}} = 1 \times 10^{27} \text{ cm}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$

Light-Heavy ion colliding beams of the same energy range and L

Polarized beams of protons and deuterons in collider mode:

$p \uparrow p \uparrow \sqrt{s_{pp}} = 12 \div 26$ GeV $L_{\text{max}} \approx 1 \times 10^{32} \text{ cm}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$

$d \uparrow d \uparrow \sqrt{s_{NN}} = 4 \div 13.8$ GeV

Extracted beams of light ions and polarized protons and deuterons for fixed target experiments:

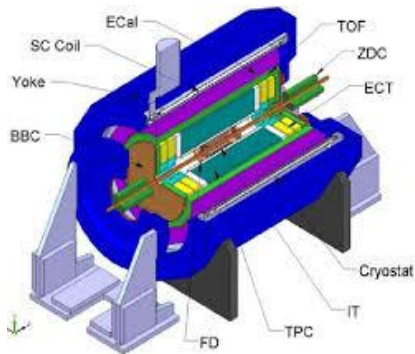
$\text{Li} \div \text{Au} = 1 \div 4.5$ GeV/u ion kinetic energy

$p, p \uparrow = 5 \div 12.6$ GeV kinetic energy

$d, d \uparrow = 2 \div 5.9$ GeV/u ion kinetic energy

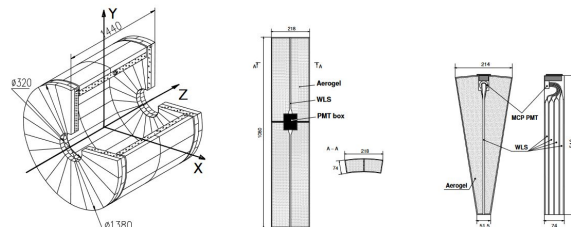
Applied research in ion beams at kinetic energy starting with 3 MeV/u

Aerogel Detector for SPD (Spin Physics Detector)



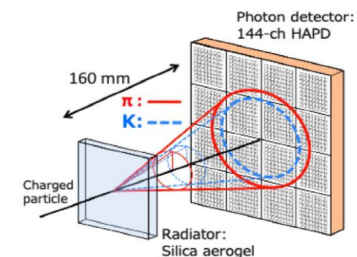
Spin Physics Detector (SPD)

Option (I)



It is based on the ASHIPH technology developed at the KEDR experiment

Option (II)



Ring Imaging Aerogel Cherenkov (ARICH) or Focusing RICH (FARICH).

AANL-SPD Collaboration start and Bases

- Collaboration started in 2020
MOU AANL/NICA-SPD signed in 2021
AANL group proposed contribution:
 1. assembling of EmCal modules for SPD, will conduct a detailed tests
 2. take part in the installations and commissioning of SPD EmCal,
 3. Perform the necessary Monte-Carlo simulations

AANL- SPD Collaboration Current Team

Nikolay Ivanov (doctor)

Hamlet Mkrtchyan (doctor professor)

Albert Shahinyan (Phd in engineering)

Arthur Mkrtchyan (Phd)

Vardan Tadevosyan (scientist)

Alvard Malxasyan (student)

Argine Hakobyan (student)

- Since 2022 by request of SPD Collaboration AANL group works on Aerogel detector
- In 2022 at SPD Collaboration meeting we presented report “Design, Construction and Performance of Aerogel detectors for HMS and SHMS Spectrometers at Jlab Hall C”
- In 2023 our group, as a winner of NICA support program, conducted project “Development of aerogel based Cherenkov counter (prototype) for SPD”
- In 2023 A. Malxasyan and A. Hakobyan visited JINR as a summer students



students and young scientists



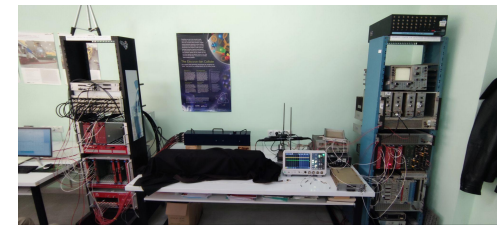
Lab room



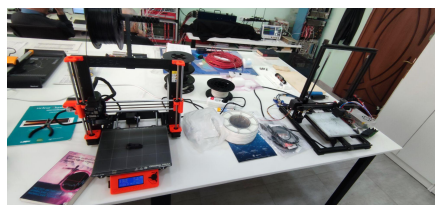
Clean room



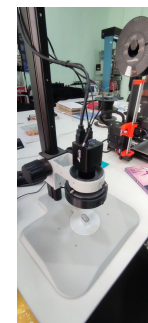
Spectro-photometer



DAQs



3D printers

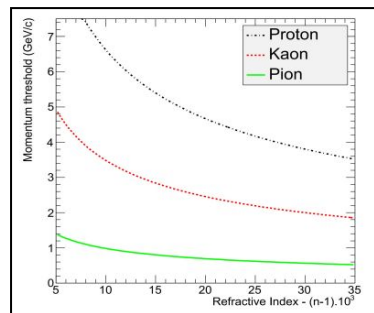
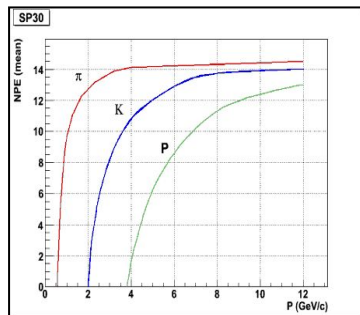


microscope

Aerogel Cherenkov Detector Properties

According to the physics program of the SPD experiment, the major task of the particle identification (PID) system is to separate pions and kaons in final states at momentum range above 1.5 GeV/c, where it is not possible with other systems (TOF and dE/dx).

Cherenkov counters are the best option for solving such a problem. Aerogels are most useful materials as the Cherenkov radiator due to their transparency and adjustable refractive indices that can fill the gap between the gases and liquids .



Threshold momentum of particles for aerogel with different n

Type of Particle	P_{th} in $n=1.0$	P_{th} in $n=1.01$	P_{th} in $n=1.01$	P_{th} in $n=1.0$
	30	5	0	06
μ	0.428	0.608	0.746	0.963
π	0.565	0.803	0.984	1.272
K	2.000	2.840	3.482	4.500
P	3.802	5.397	6.618	8.552

Several options of aerogel Cherenkov detectors used in collider experiments were considered.

Two options for SPD Cherenkov are selected for detailed studies:

- Aerogel counter based on wavelength Shifters and Phototubes (ASHIPH)
- Aerogel, Ring Imaging Cherenkov (ARICH) or Focusing ARICH (FARICH)

Relatively simple ASHIPH type Aerogel Detector, positioned at the end-caps of SPD will extend π/K separation range from 1.2 GeV/c to 2.5 GeV/c.

More complicated RICH type aerogel detector is the best option to provide reliable π/K -separation in a wide momentum range (from 0.6 to 5.0 GeV/c).

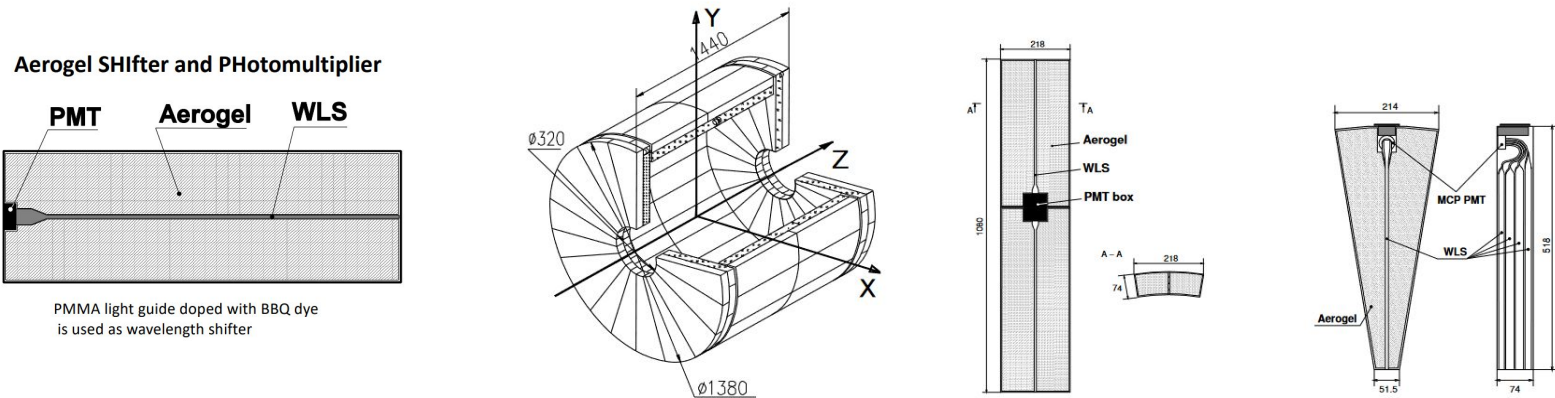
SPD need Aerogel detector to improve $\pi/K/p$ separation above 1.5 GeV/c momentum

Proposed Option (I).

Aerogel, wavelength Shifters and Phototubes (ASHIPH)

We assume the Aerogel Detector, positioned at the end-caps of SPD to extend π/K separation range from 1.2 GeV/c (with TOF) to 2.5 GeV/c.

It is based on the ASHIPH technology developed at the KEDR experiment

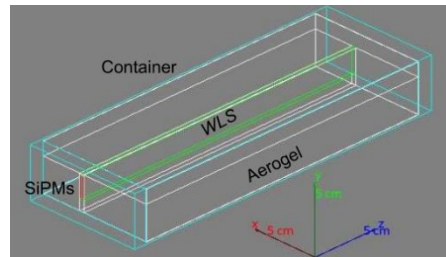


We are working on this project in collaboration with SPD and BIHEP (Novosibirsk) .
 Prototype of counter are constructed and tested at BIHEP, MC simulation at AANL

Vardan's Geant4 simulation results (work in progress)



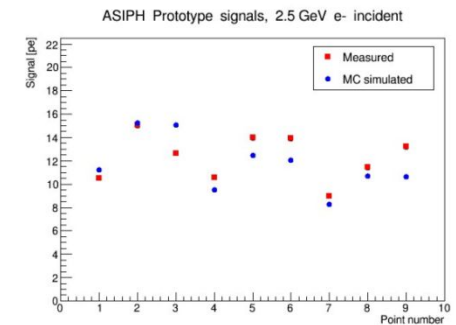
ASHIPH Prototype



U=54 V

p1 10.53±0.16	p2 15.05±0.22	p3 12.62±0.17
p4 10.55±0.16	p5 14.00±0.22	p6 13.91±0.21
p7 8.96±0.14	p8 11.43±0.18	p9 13.20±0.20

Data from 2.5 GeV e- beam measurements,
 courtesy of I.Ovtin.

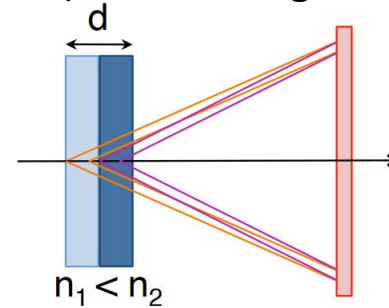
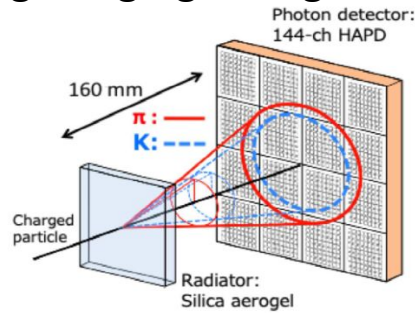


Comparison of real and simulated data

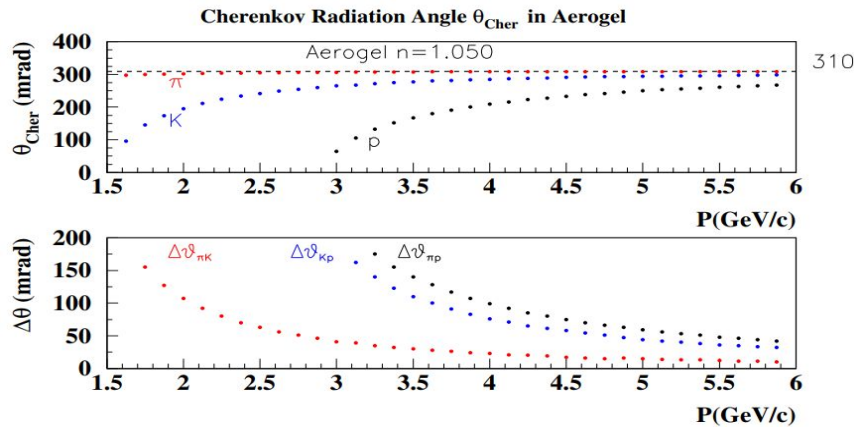
Proposed Option (II).

RICH type aerogel detector for SPD

Due to increase of dimensions of the SPD setup (from 160 mm to 300 mm), the space in the end-cup region can be used to install more sophisticated Cherenkov detector: Ring Imaging Aerogel Cherenkov (ARICH) or Focusing RICH (FARICH).



Cherenkov photons are emitted at an angle ϑ , depending on the refractive index n and particle velocity v . If we measure p and ϑ , we can separate different particles through the relation $\cos\vartheta = c/(n \times v) = 1/(n \times \beta)$



RICH type aerogel could provide π/K separation up to momentum ~ 3 GeV/c. The main problem in constructing such a counter is a photon detector which should cover all ring area ($\sim 2 \text{ m}^2$) and high cost ($>\$1 \text{ M}$) of the detector.

More detailed studies, MC simulations, design and tests of prototypes are needed before we can propose best option of Aerogel detector for SPD. (work in progress)

Работы по Focusing RICH (FARICH) системе SPD

“AEROGEL”

(что можно сделать в AANL и что требуется)

1. Синтез аэрогеля ИК СО РАН, Новосибирск
без вариантов

2. Входной контроль качества и отбор по оптическим и механическим параметрам (ИЯФ и ЕрФИ)
Сложность работ зависит от типа и коэффициента преломления аэрогеля. Если $n > 1,05$ и водостойкий аэрогель, то механические параметры (размеры), светопропускание можно измерять и контролировать в ЕрФИ. Инструменты для точных измерений размеров и фотоспектрометр для измерения светопропускания имеются. Будет необходимо подготовить стенд для измерений коэффициента преломления.

3. Изучение долговременной стабильности: влияние воды и других конструкционных материалов на оптические параметры критические для детекторов черенковских колец. (ИЯФ и AANL-ЕрФИ)
Можно организовать такие исследования в AANL(ЕрФИ). За качеством аэрогеля можно следить периодическими измерениями прозрачности и коэффициента преломления. Необходимо собрать соответствующий стенд измерений.

4. Изучение варианта гидрофобизации высоко прозрачных аэрогелей и влияние ее как на сами оптические параметры, так и на их долговременную стабильность. (ИЯФ и AANL-ЕрФИ)
Можно в ЕрФИ, если будут представлены гидрофобизированные образцы.

5. Механическая обработка - изготовление радиаторов (ИЯФ и AANL-ЕрФИ)
Можно в ЕрФИ, наши специалисты имеют такого опыта. Сложность работ зависит от чувствительности аэрогеля к влаге и от индекса преломления. Нужно приобрести алмазную пилу, оборудовать чистую комнату и вытяжной шкаф.

Работы по Focusing RICH (FARICH) системе SPD

“LIGHT DETECTION”

(что можно сделать в AANL и что требуется)

1. Подбор варианта, измерение и сравнение характеристик: PMT с МКП, SiPM, или HAPD и т.д.

В принципе AANL(ЕрФИ) может проводить такие исследования с ФЭУ и SiPM, но у нас для этого нет готового стенда и электроники. Необходимо оборудовать стенд измерений с необходимой электроникой. Основная трудность приобрести нужные для детектора фотоумножители и SiPM.

2. Входной контроль и отбор: измерение параметров (усиление, шумы и т.п.). Разработка стендов и процедур контроля и селекции.

Не можем, в AANL (ЕрФИ) нет соответствующих условий и техники. Но мы сможем участвовать и помочь, если измерения будут проводиться в Дубне / ИЯФ.

3. Исследование долговременной стабильности, как времени жизни, так и радиационной стойкости в условиях максимально приближенных к эксперименту.

Не можем, в AANL (ЕрФИ) нет соответствующих условий и техники. Но мы сможем участвовать и помочь, если измерения будут проводиться в Дубне / ИЯФ.

4. Изучение температурных зависимостей параметров фотонных детекторов и разработка системы термостабилизации и охлаждения.

В принципе AANL (ЕрФИ) может проводить такие исследования с ФЭУ и SiPM. Мы имеем охлаждающую систему. Необходимо создать соответствующий термо-регулируемый стенд и систему электроники.

Работы по Focusing RICH (FARICH) системе SPD

“ELECTRONICS”

(что можно сделать в AANL и что требуется)

1. Разработка считывающей электроники (ASIC+FPGA). Тут пока огромный вопрос КТО?!?!?! Есть надежда привлечь электронщиков ИЯФ (это 1.5 землекопа и то после спада работ по СКИФу) и (или) организовать что-то совместно с Китайскими специалистами из UCTS или еще какие варианты.
2. Система питания: высоковольтное на 1000 управляемых каналов (ФЭУ с МКП), низковольтное для сенсоров (ФЭУ), питание считывающей электроники.
3. Система медленного контроля и управления: температура, влажность, питание сенсоров, питание электроники. Система калибровки и контроля работоспособности системы считывания.
4. Тестирование, как с разными вариантами фотодетекторов, так и с точки зрения пригодности и работоспособности в условиях эксперимента.

AANL (ЕрФИ) не может брать ответственность за электронику,. Мы готовы принимать участие и помочь.

Работы по Focusing RICH (FARICH) системе SPD

“MECHANICS and SOFTWARE”

(что можно сделать в AANL и что требуется)

1. Разработка конструкции механической поддержки аэрогеля, фотонного детектора и Front-End-Electronics (FEE) согласованной с остальной конструкцией детектора.

ЕрФИ может разработать конструкцию. Наши специалисты (опытные инженера) могут выполнить такую работу. Объем работ и детали требуют дополнительных обсуждений и уточнений.

2. Проверка применимости современных легких (углепластик и т.п.) конструкционных материалов, как с точки зрения рад.стойкости, так и с точки зрения гашения и порчи аэрогеля и т.д.

В ЕрФИ сможем изготовить некоторые детали (3D print) и предоставить Дубне для испытаний. Необходимо уточнить типы материалов и организовать их приобретение.

3. Изготовление (организация и контроль за производством).

Естественно организовать контроль там, где будет производиться изготовление. AANL (ЕрФИ) сможет участвовать и помочь, если это будет проводиться в Дубне / ИЯФ.

1. Моделирование

Возможно, AANL (ЕрФИ) может участвовать в создании программного обеспечения и проведения расчетов.

2. Реконструкция

Возможно, AANL (ЕрФИ) может участвовать в создании программного обеспечения.

3. Управление, медленный контроль, калибровки и БД

Работы по Focusing RICH (FARICH) системе SPD

“PROTOTYPING”

(что можно сделать в AANL и что требуется)

1. Разработка-сборка прототипа (ИЯФ, AANL (ЕрФИ))

Можно в AANL (ЕрФИ), если Новосибирск/Дубна предоставят необходимые механические компоненты, материалы и детали. Если прототип будет собран в Дубне или Новосибирске, то AANL (ЕрФИ) готов участвовать.

2. Испытание

Можно, если прототип будет собран в AANL (ЕрФИ) и будет собран стенд с соответствующей электроникой . Если это будет в Дубне или Новосибирске, то ЕрФИ готов участвовать.

3. Обработка и анализ экспериментальных данных (ИЯФ, ЕрФИ,).

Обработка результатов можно в AANL (ЕрФИ), если испытания будут у нас, или будут предоставлены нам экспериментальные данные измерений других групп коллаборации SPD.

SUMMARY

Учитывая объем, важность и сложность ряд работ, а также ограниченность материально-технической базы, нашего института, лучшим вариантом организации работ было бы создание совместной лаборатории в AANL (ЕрФИ). За 1-2 года общими усилиями можно дополнить эту лабораторию недостающими приборами и электроникой, и создать солидную базу для успешного проведения намеченных исследований и создания Аерогельного Черенковского счетчика для SPD.

спасибо за внимание !