

Перспективы развития отечественных
фотоумножителей для экспериментов в
физике высоких энергий и астрофизике
частиц

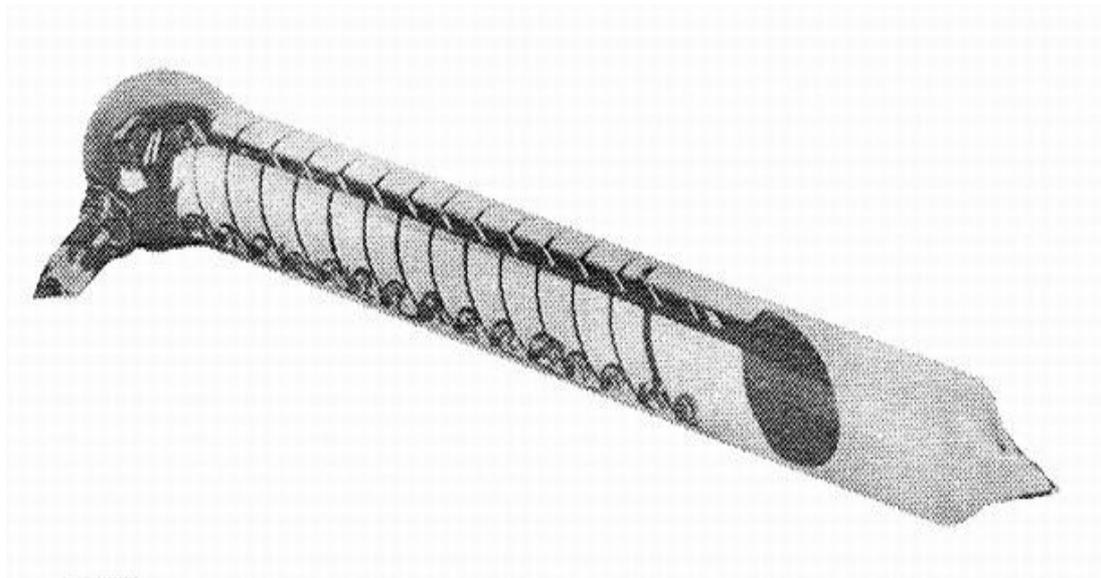
Лубсандоржиев Б.К.

Институт ядерных исследований РАН

Россия – родина фотоумножителей (вакуумных и кремниевых)!!!



Леонид Александрович Кубецкий
1906-1959



Первый в мире фотоумножитель
“Трубка Кубецкого” создан в СССР
в начале 1930-х годов.

Массовое производство фотоумножителей (XX-век)

Япония (Hamamatsu Photonics)

до 100 т.шт. в год

СССР (МЭЛЗ, Экран, ГРАН)

до 100 т.шт. в год

Великобритания (ET Enterprises)

Франция/Нидерланды (Photonis SAS)

до 100 т.шт. в год

Массовое производство фотоумножителей (2025)

Япония

Китай!!! (NNVT, HZC Photonics,)

(страна без фотоумножительной промышленности до 2010гг!!!)

Россия ??????????????

Фотоумножители в СССР

Массовое производство:

МЭЛЗ, Москва

ЭКРАН, Новосибирск

ГРАН, Орджоникидзе

Малые серии:

Электрон (Ленинград), КАТОД (Новосибирск)

ВНИИОФИ, НИИА, (Москва)

Полный национальный технологический цикл!!!

Фотоумножители в экспериментах :

Астрофизика частиц , нейтрино

Баксан ФЭУ-49Б, ФЭУ-125

Байкал, ФЭУ-49Б, **КВАЗАР-370 (+ серия малогабаритных фотоумножителей)**

Якутск, ФЭУ-49Б

Тунка, **КВАЗАР-370G (+ Угончик – впервые в мире 6-каскадный фэу....)**

LVD (ФЭУ-49Б, ФЭУ-125)

HEGRA (ФЭУ-130, **A3B5 (GaP!!!) первый динод)**

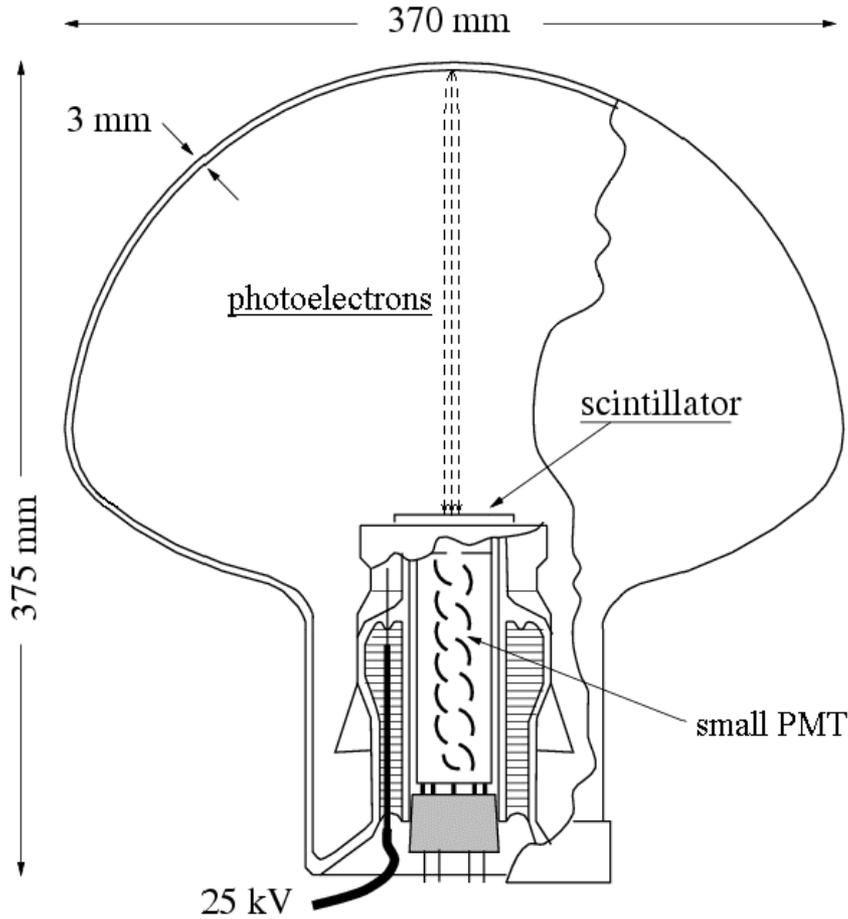
Ускорительные эксперименты:

ИФВЭ, ОИЯИ, ФЭУ-84-3, ФЭУ-115, ФЭУ-115М, ФЭУ-49Б



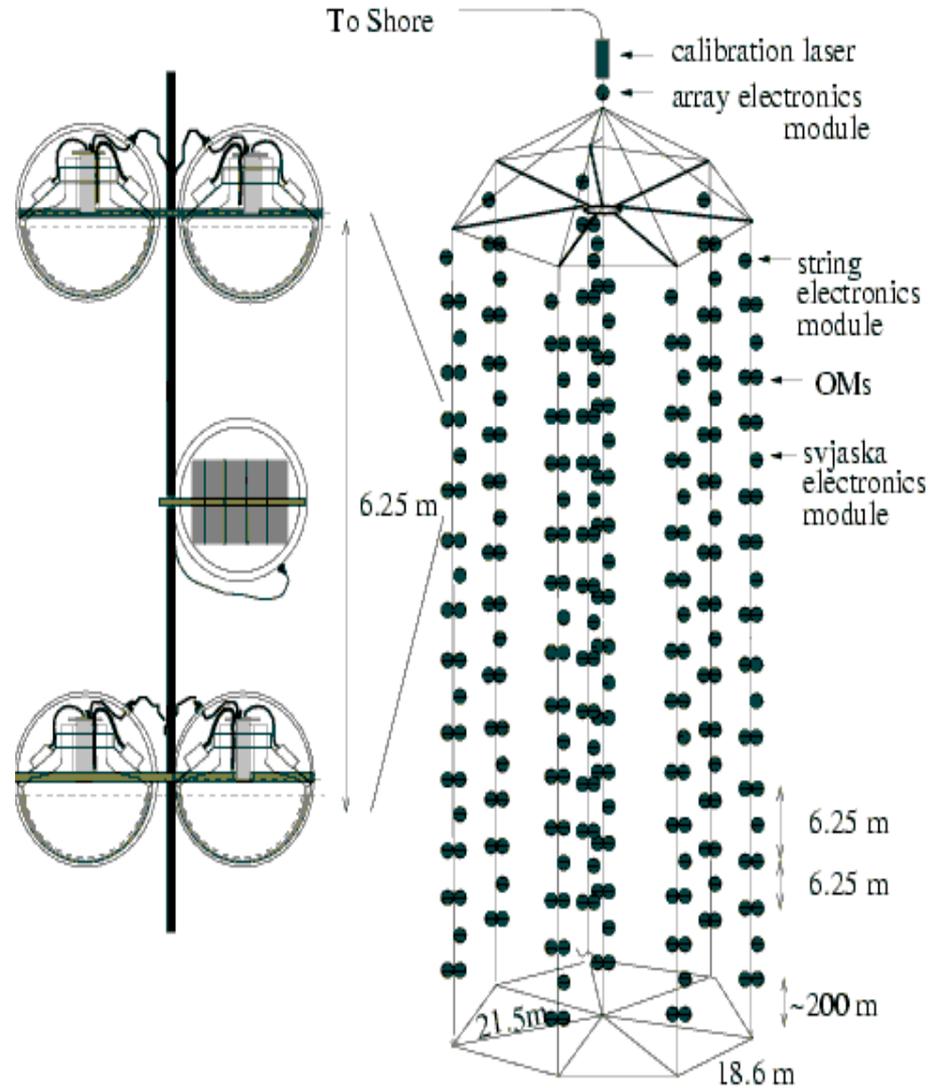
БНО ИЯИ РАН – БПСТ, Ковер (ФЭУ-49Б, ФЭУ-173)
ФЭУ-173 – есть образцы с $S \sim 300-350$ мкА/лм!!!

КВА3АР-370



1984 – начало разработки

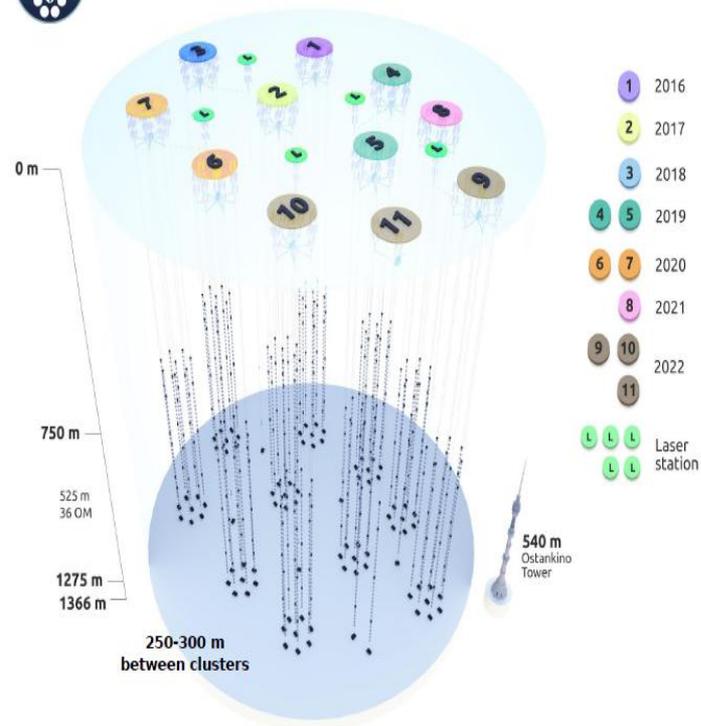
HT-200





Detector status

Deployment schedule

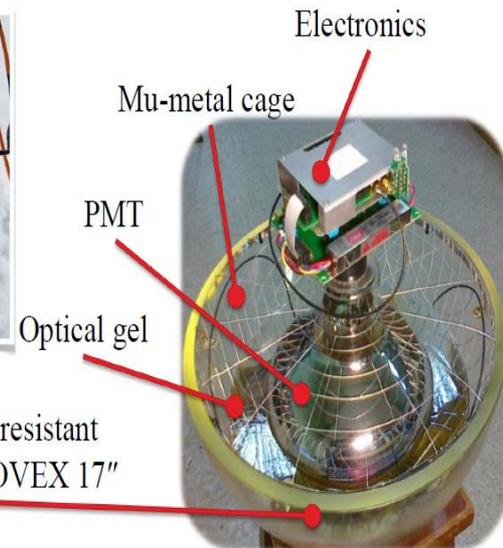


Year	Total number of clusters	Total number of strings	Number of OMs
2016	1	8	288
2017	2	16	576
2018	3	24	864
2019	5	40	1440
2020	7	56	2016
2021	8	64	2304
2022	10	80+3	2988
2023	12	96	3456
2024	14	112	4032

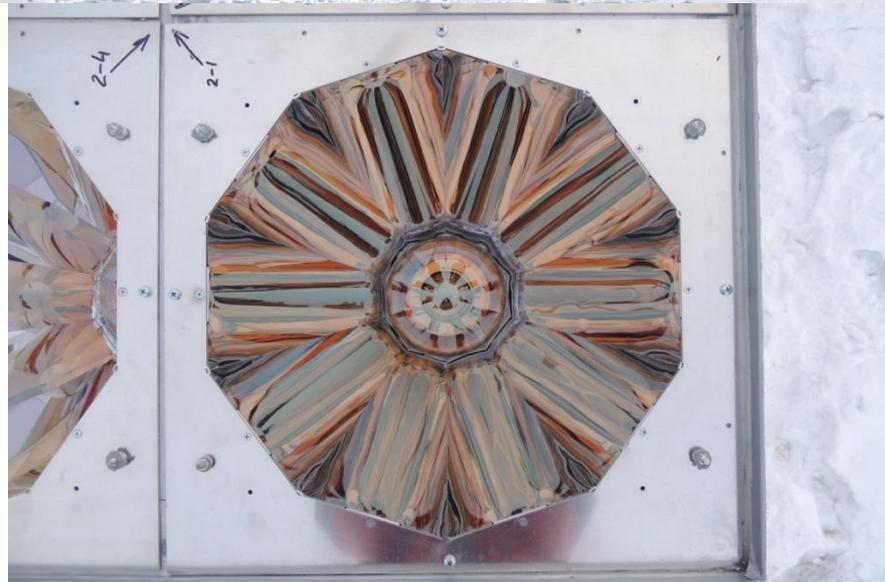
GVD

experimental cluster 11: new high-bandwidth DAQ

R7081-100 10" PMT Hamamatsu

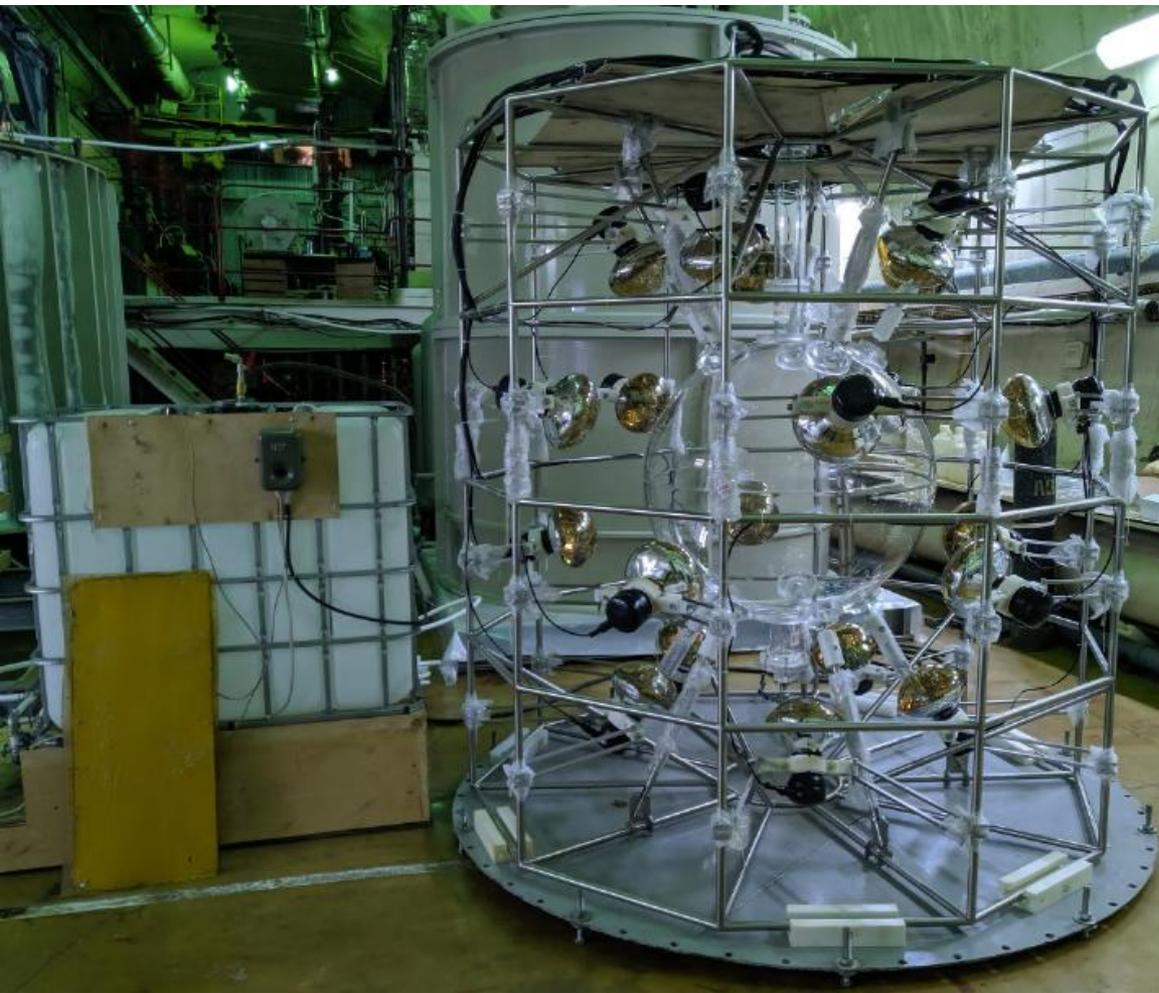


Тунка, TAIGA, TAIGA-100 (100 км2)



ФЭУ: 20 мм, 76 мм, 200 мм, 250 мм, 500 мм?

Проект Баксанского большого нейтринного телескопа (ББНТ) (10кт?)



R7081-100 WA-S-70
10" (250 mm)

ФЭУ: 200 мм, 250 мм, 500 мм?

МЭЛЗ – флагман советской фотоумножительной промышленности!



Сегодня:

МЭЛЗ – МЭЛЗ-ФЭУ – только остатки на площадке ЭЛМА в Зеленограде
ФЭУ-102, ФЭУ-86, ФЭУ-115, ФЭУ-115М, ФЭУ-115М8, ФЭУ-184

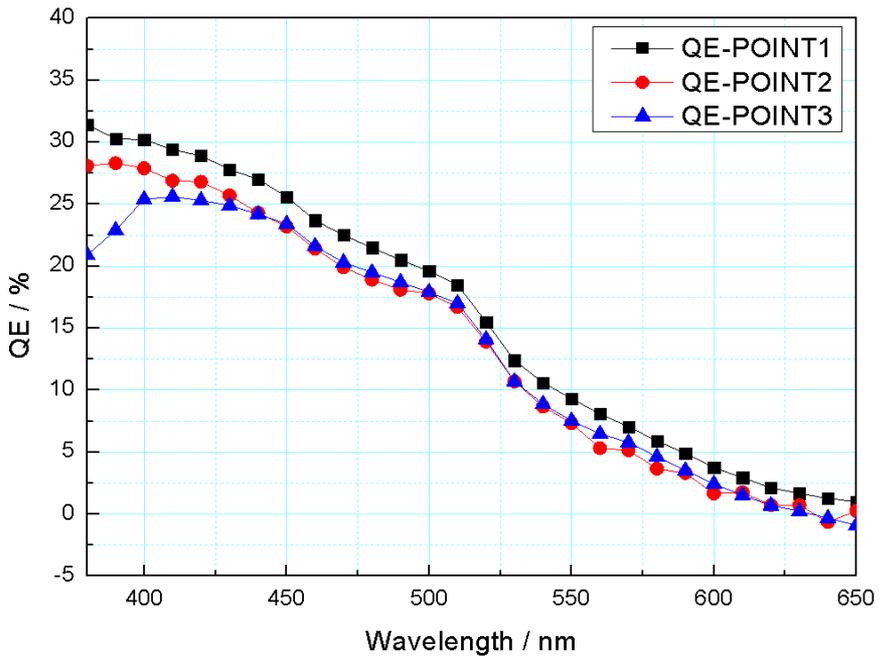


ФЭУ-184 (51 мм – 2”)

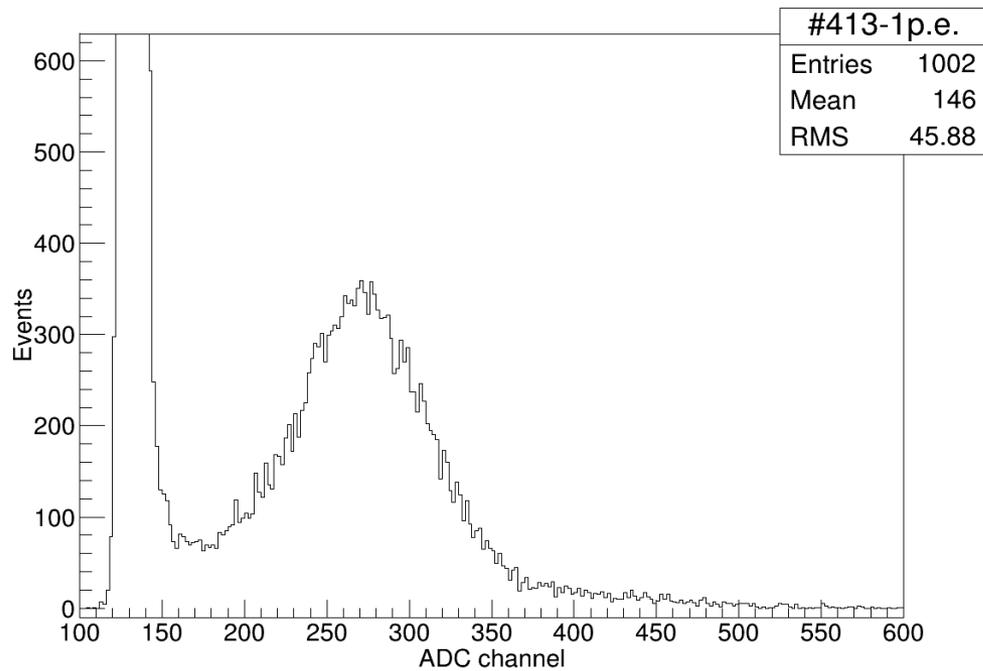
ФЭУ-184U и ФЭУ-184UM (Лубсандоржиев, Хренов, Смолицкий)

ФЭУ-184ТД!!! (76 мм – 3”)

ФЭУ-СФЕРА (76 мм – 3”)

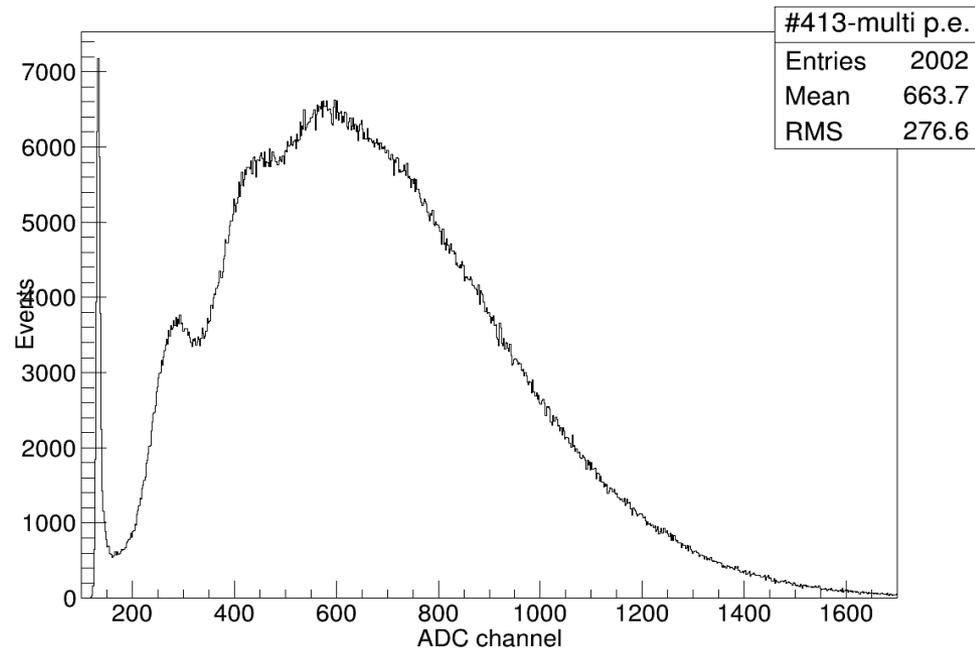


PMT	峰值波长 / nm	QE@380nm/%	QE@390nm/%	QE@400nm/%	QE@410nm/%	QE@420nm/%	QE@430nm/%
Point-1	390	31.4	30.3	30.2	29.4	28.9	27.8
Point-2	390	28.1	28.3	27.9	26.9	26.8	25.7
Point-3	410	20.9	22.9	25.4	25.6	25.3	24.9



$P/V \sim 5$

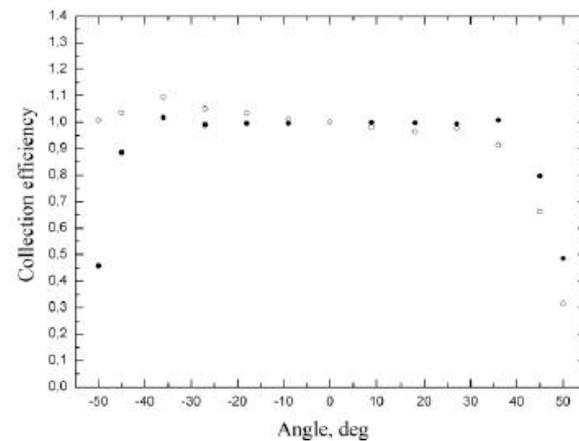
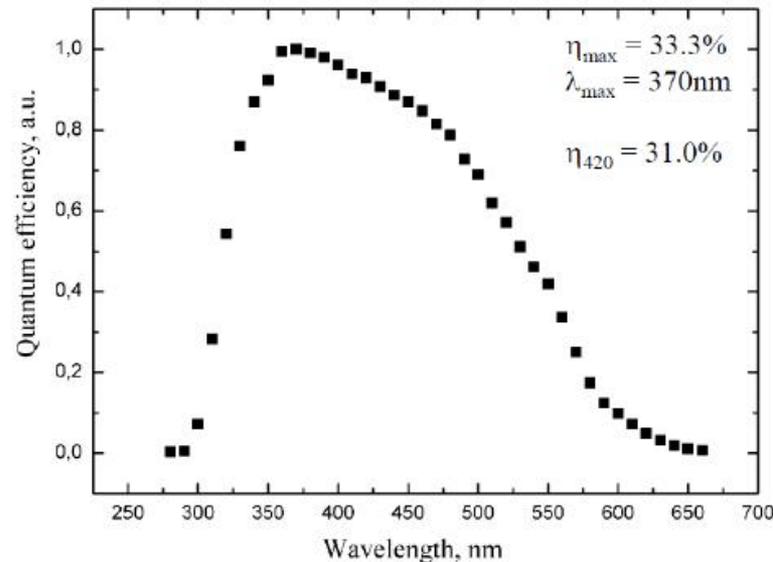
$TTS \sim 3,4 \text{ HC (FWHM)}$



3" фотоумножитель СФЕРА ИЯИ РАН&МЭЛЗ&Промышленная Электроника



3" PMT spectral sensitivity

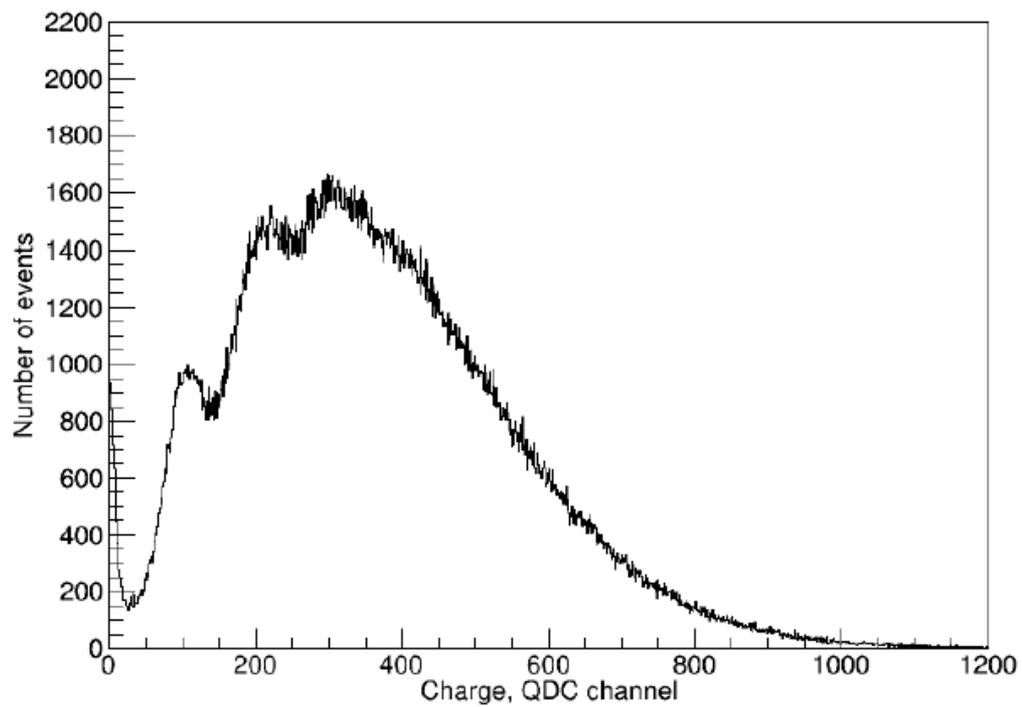
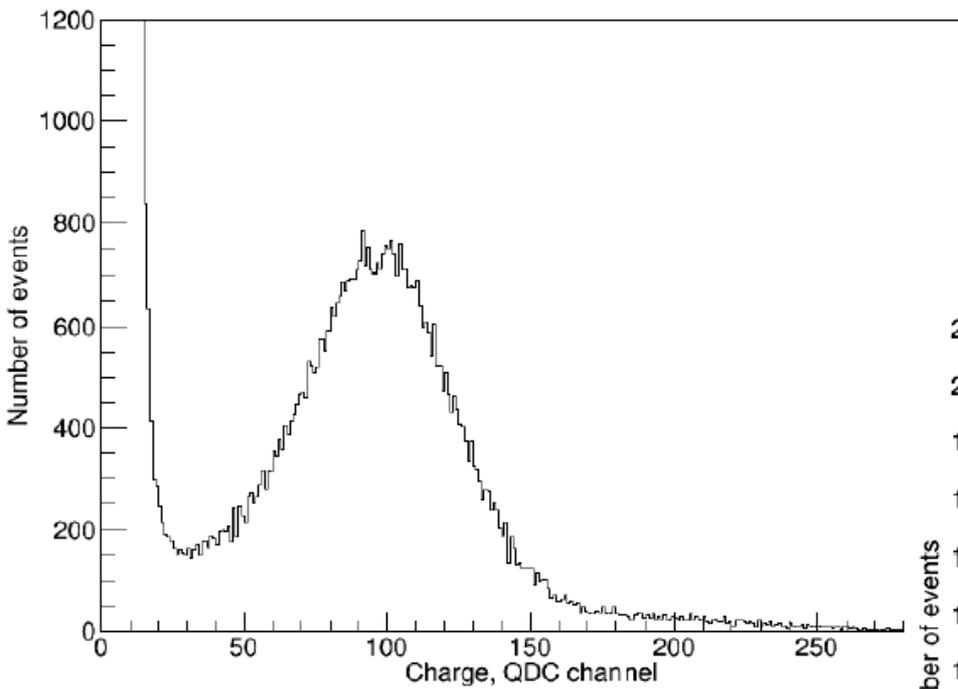




XP72B22

R14374

PMT-SFERA



ФЭУ-МКП (ГОИ, Электрон (ФЭУ-165))



Сегодня:

БАСПИК, Владикавказ

КАТОД, Новосибирск

Малые партии

ЭКРАН ФЭП/ИЯФ СО РАН, Новосибирск

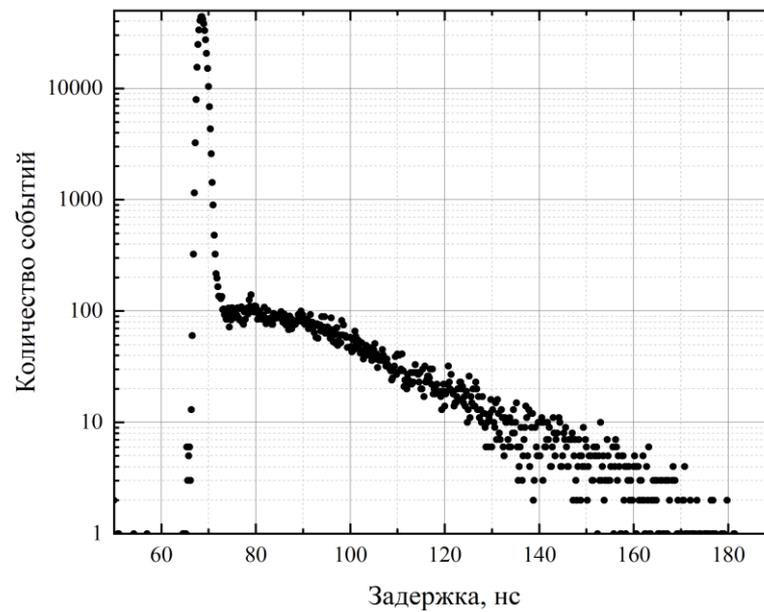
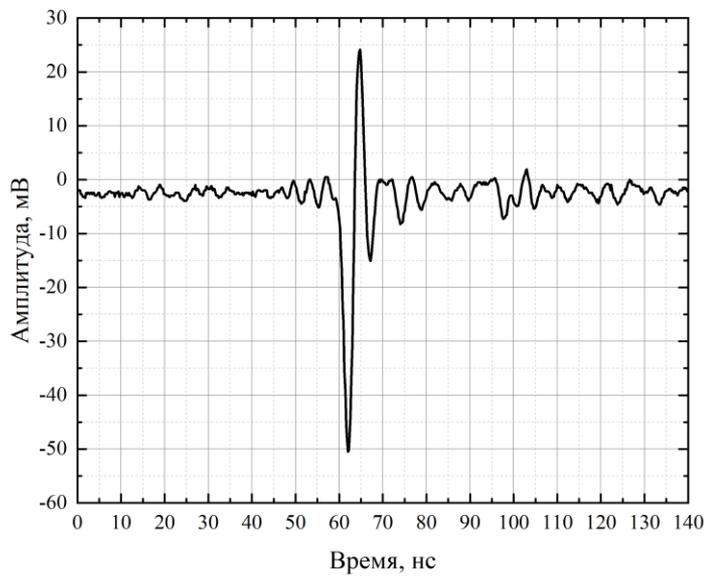
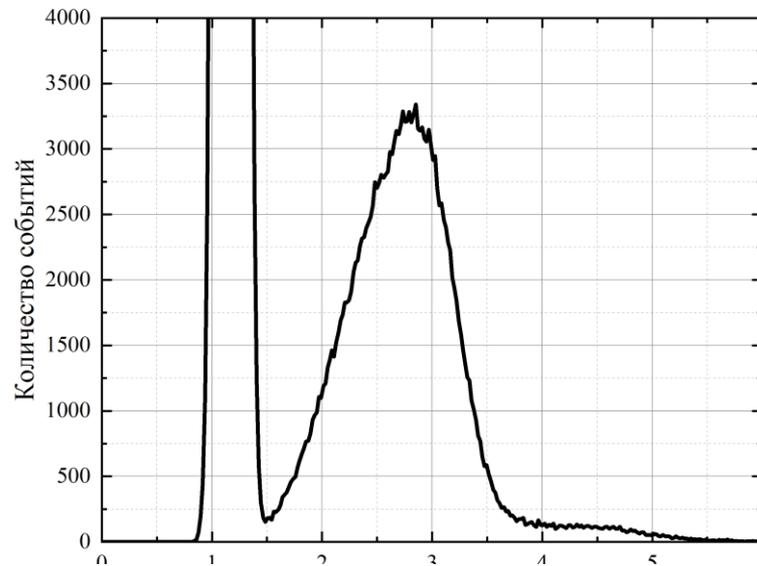
ГЕОФИЗИКА, Москва

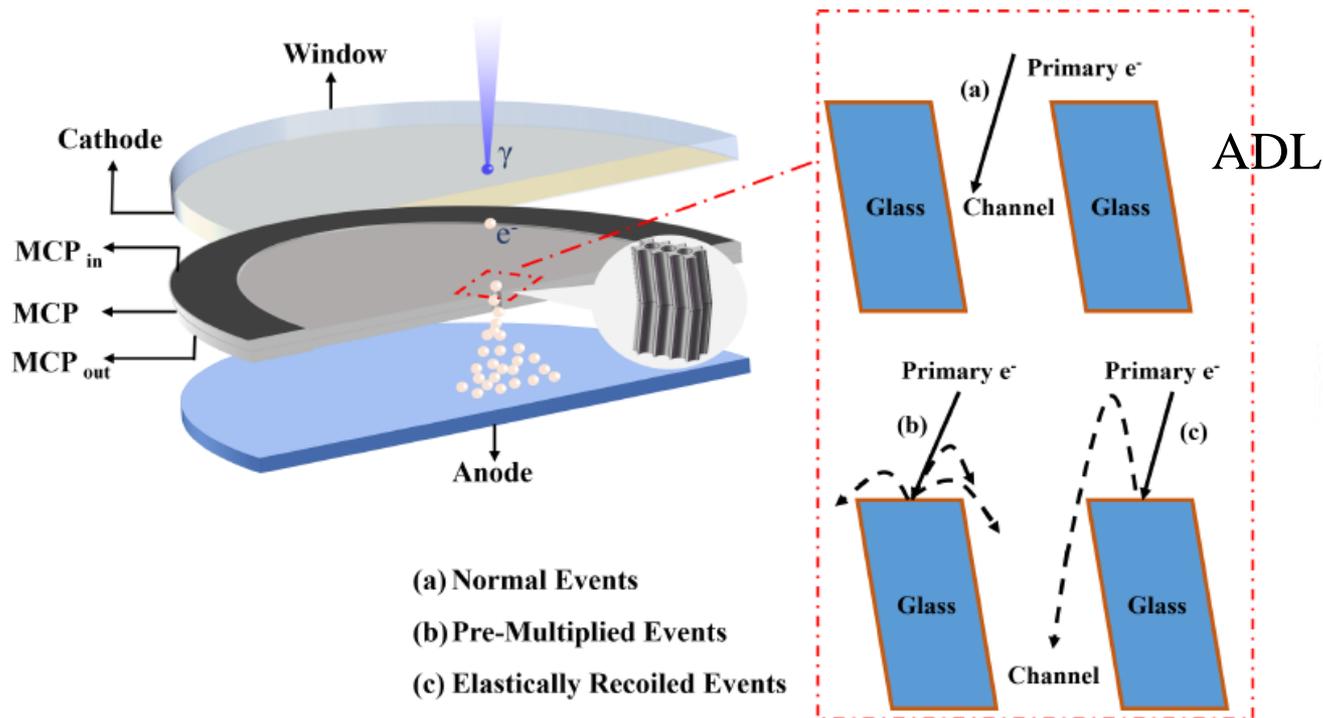




Гольдберг Иосиф Исаакович
1946-2024

Баспик, Владикавказ. ФЭУ-МКП - Сапфир-2АМ и Топаз-М





Time resolution limit— ~ 700 fs!

S. Qian, B.K. Lubsandorzhev, NIMA 2023

Клименко С.В., Шувалов Р.С., Предельное временное разрешение фэу, 1970

ФЭУ-МКП стремительно развиваются!!!

Микроканальная пластина изобретена в СССР!!!

П.К. Ощепков и др. О применении непрерывного вторично-электронного умножения для усиления токов.

Приборы и техника эксперимента, 1960, N.4, С. 89.



Ощепков Павел Кондратьевич
24.06.1908- 01.12.1992

Проблемы:

Электровакuumное стекло!!! X

Откачные посты, ?

Оборудование, ?

штампы, ?

Финансирование НИР/НИОКР!!! X

Площадки

МЭЛЗ (Зеленоград), КАТОД (Новосибирск),

БАСПИК (Владикавказ)

Госпрограмма возрождения массового производства!!!

Финансирование НИР/НИОКР!!!

Еще есть возможность возрождения!!!

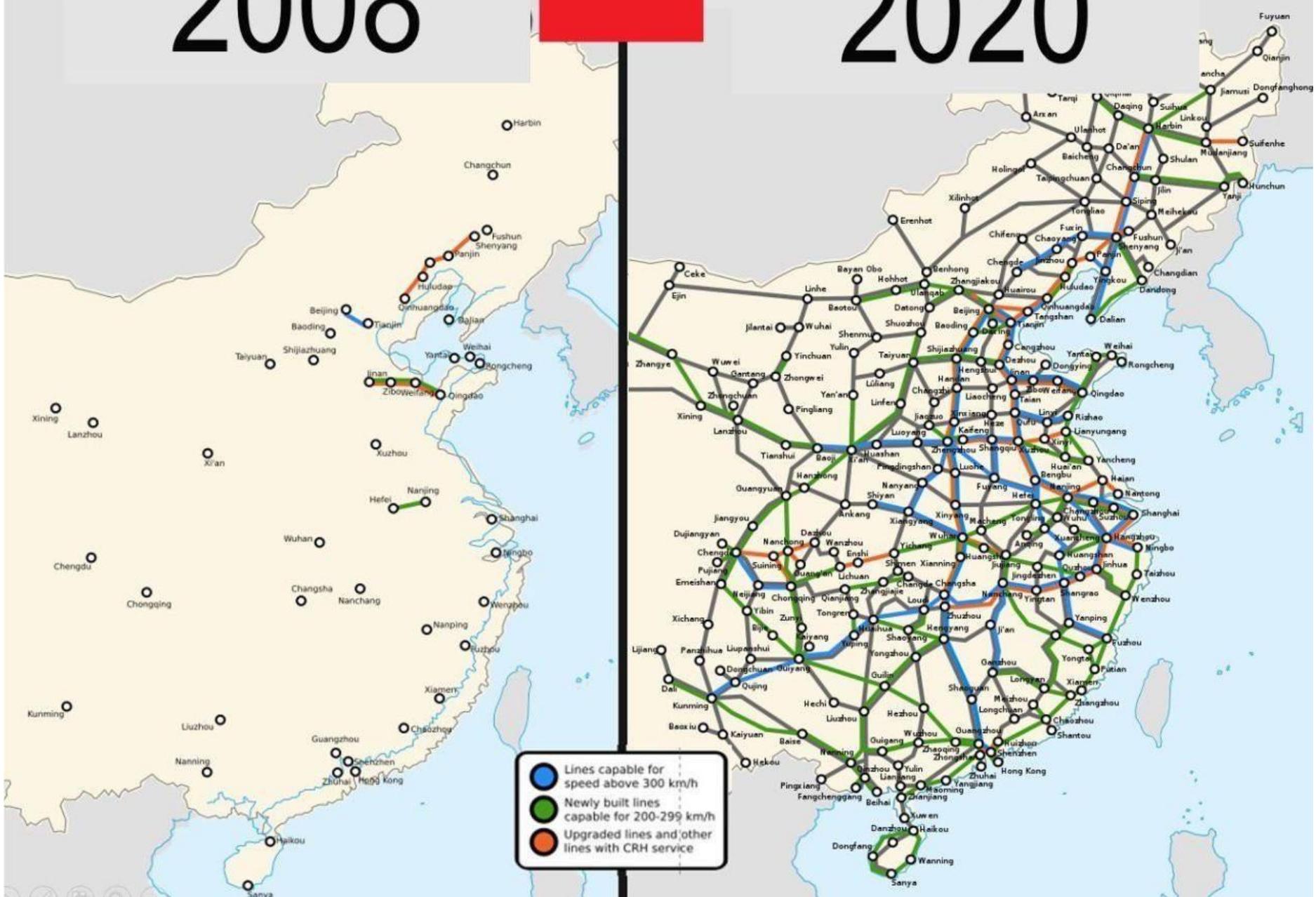
Но!

Еще год-другой??????????????????

2008



2020



- Lines capable for speed above 300 km/h
- Newly built lines capable for 200-299 km/h
- Upgraded lines and other lines with CRH service

2012

2024



~18 000 20" ФЭУ и ~26 000 3" ФЭУ

Камеры переноса!!!



【“十三五”成就巡礼】原始创新 科技创新 国之重器先行

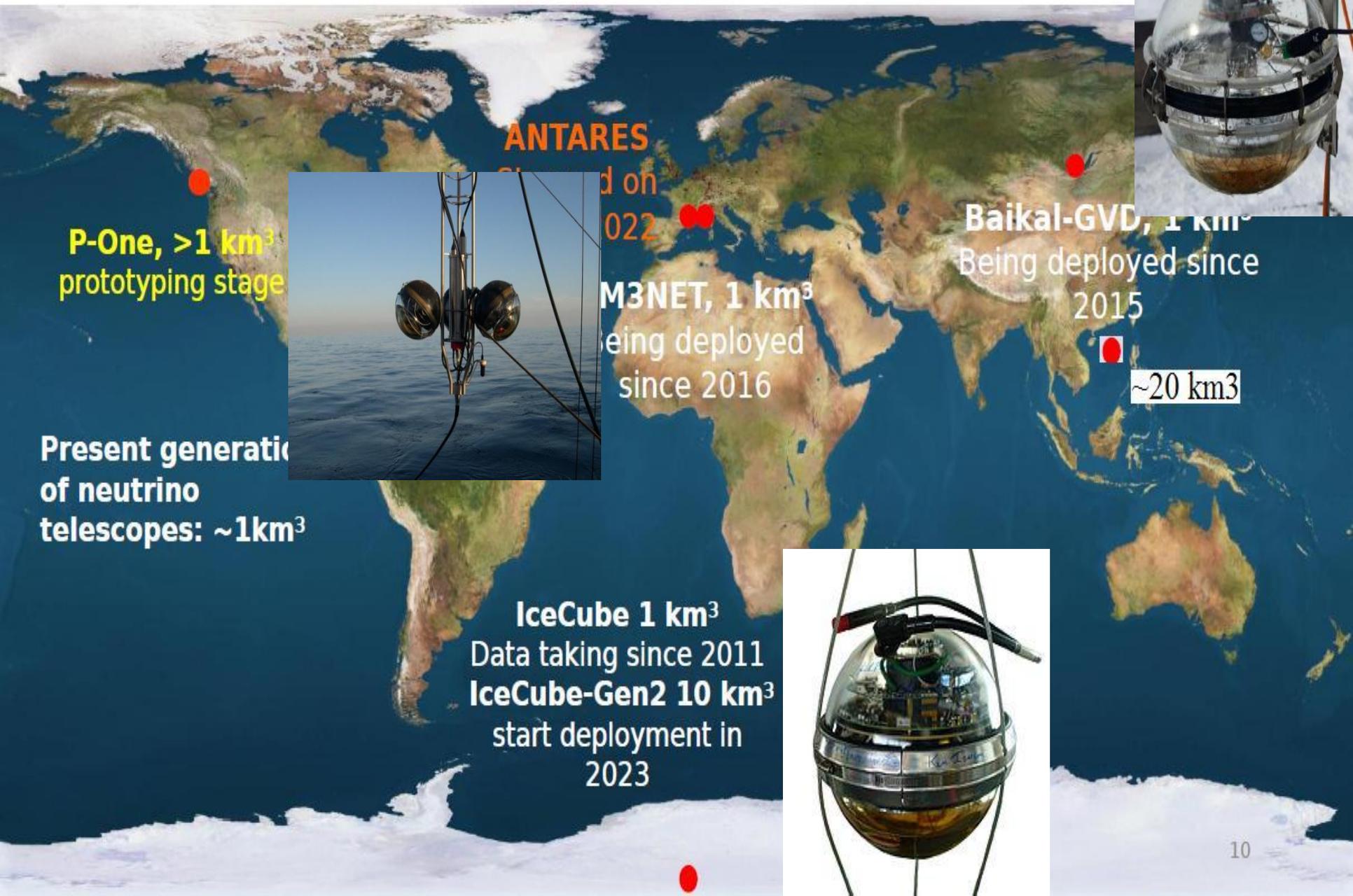
中央广播电视总台 2020-10-20

Полный технологический
цикл в стране!

33 ФЭУ в сутки!



Neutrino telescope network



ANTARES

Completed on

2022

M3NET, 1 km³

being deployed since 2016

Baikal-GVD, 1 km³

Being deployed since 2015

~20 km³

P-One, >1 km³
prototyping stage



Present generation of neutrino telescopes: ~1km³

IceCube 1 km³
Data taking since 2011
IceCube-Gen2 10 km³
start deployment in 2023



TRIDENT - ~25kt HOMs in South-China Sea



HOM:

31 3" PMTs

20 7.2 cm² SiPM
Arrays

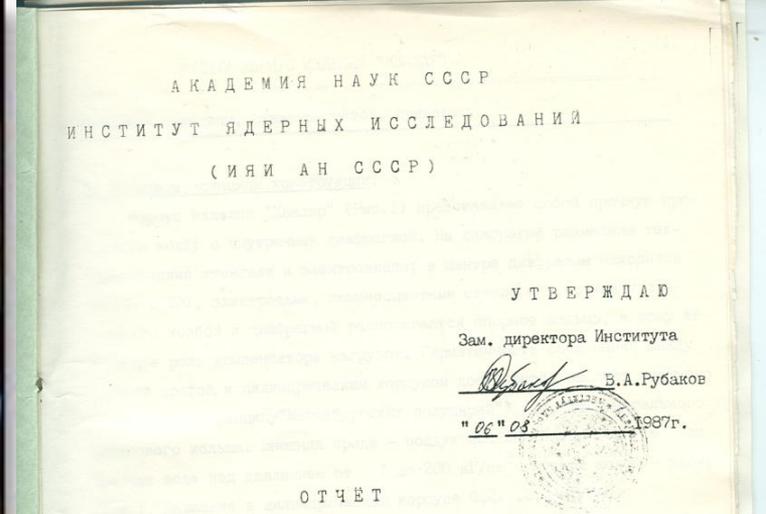
So in total:

~750 k 3" PMTs

+

>3mln 100k SiPMs

!!! (3x3 mm²)





1987

Lake Baikal

1994

Lake Baikal

1998

Deutsches Museum, Bonn



Recognized by European Physical Society

Historical Perspectives on Contemporary Physics

Cosmic rays, gamma rays, and neutrinos: A survey of 100 years of research

Guest Editor: Christian Spiering

One of the three electroscopes Victor Hess used
to measure the ionisation effect of cosmic rays (1911)

*Smithsonian National Air and Space Museum,
Washington, DC*



Two optical modules of the first underwater
neutrino telescope in Lake Baikal, Russia (1993)

Deutsches Museum, Bonn



Очень хочется верить, что это новый восход отечественных фотоумножителей!!!
А не закат!!!