30-lecie Środowiskowego Laboratorium Ciężkich Jonów w Uniwersytecie Warszawskim - mało znany fakt jego zaangażowania w produkcję radioizotopów medycznych

Jarosław Choiński

Środowiskowe Laboratorium Ciężkich Jonów, Uniwersytet Warszawski

Seminarium czwartkowe, 23-10-2025, Wydział Fizyki, Uniwersytet Warszawski

POMYSŁ POSIADANIA CYKLOTRONU

W

UNIWERSYTECIE WARSZAWSKIM

POCZĄTEK HISTORII

LATA 30-TE XX WIEKU

WSZYSTKO ZACZĘŁO SIĘ OD LISTU DWÓCH ZNAMIENITYCH PROFESORÓW ANDRZEJA SOŁTANA I STEFANA PIEŃKOWSKIEGO

O POTRZEBIE POSIADANIA CYKLOTRONU NA WYDZIALE FIZYKI UW

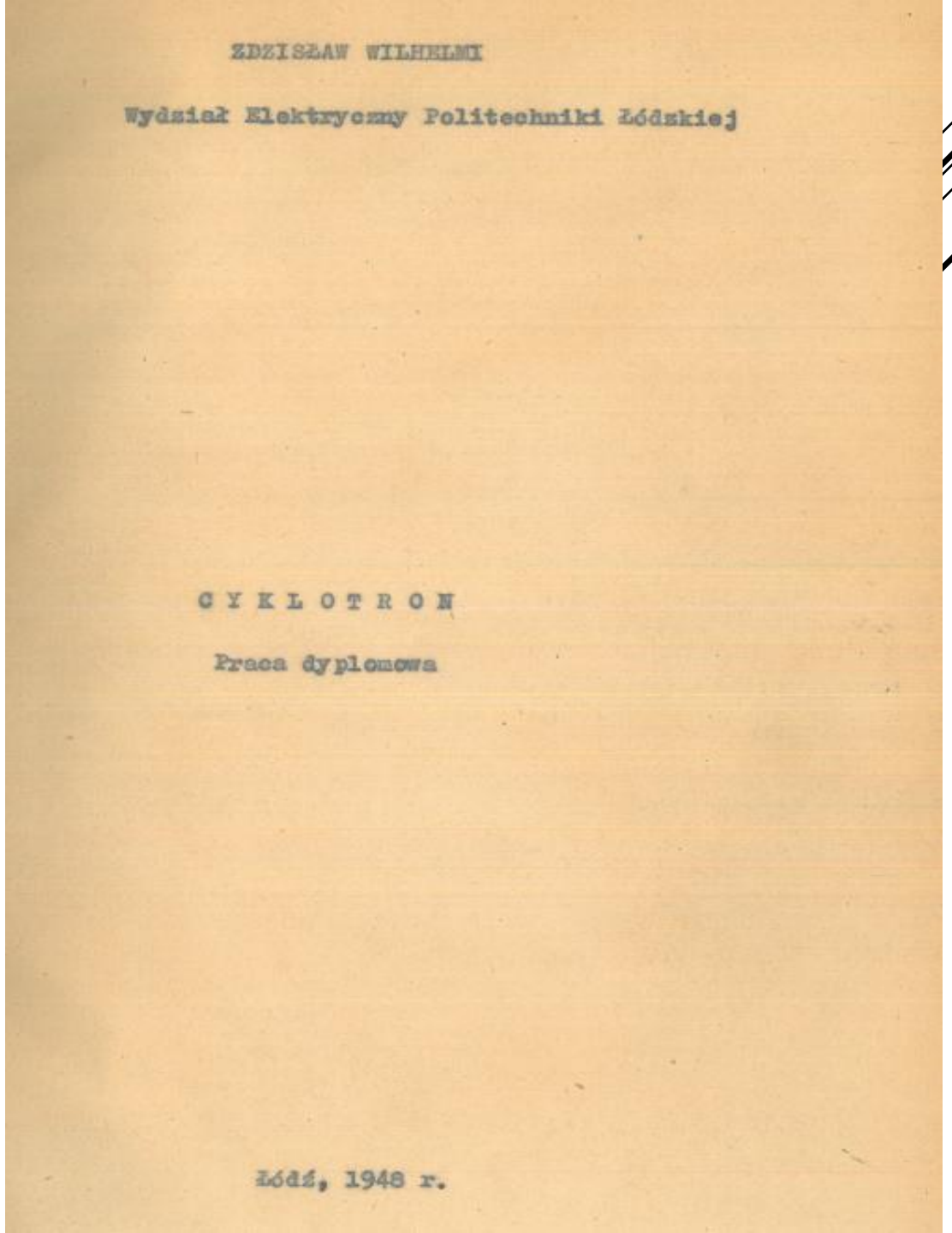
Czy była to tylko mrzonka?

W jednej z powojennych publikacji
profesora Jerzego Pniewskiego znalazło się zdanie:

„II wojna światowa przerwała intensywne działania Pieńkowskiego mające na celu zebranie funduszy na budowę cyklotronu.”

ale już w roku 1948

powstała bardzo ciekawa praca dyplomowa



ZDZISŁAW WILHELMI

Wydział Elektryczny Politechniki Łódzkiej

C Y K L O T R O N

Praca dyplomowa

Łódź, 1948 r.

Kolejnym ważnym kamieniem milowym dla budowy cyklotronu był rok 1972.

Na szczeblu rządowym zapadła decyzja o budowie w Warszawie cyklotronu przyspieszjącego ciężkie jony.

Była to inwestycja tzw. centralna.

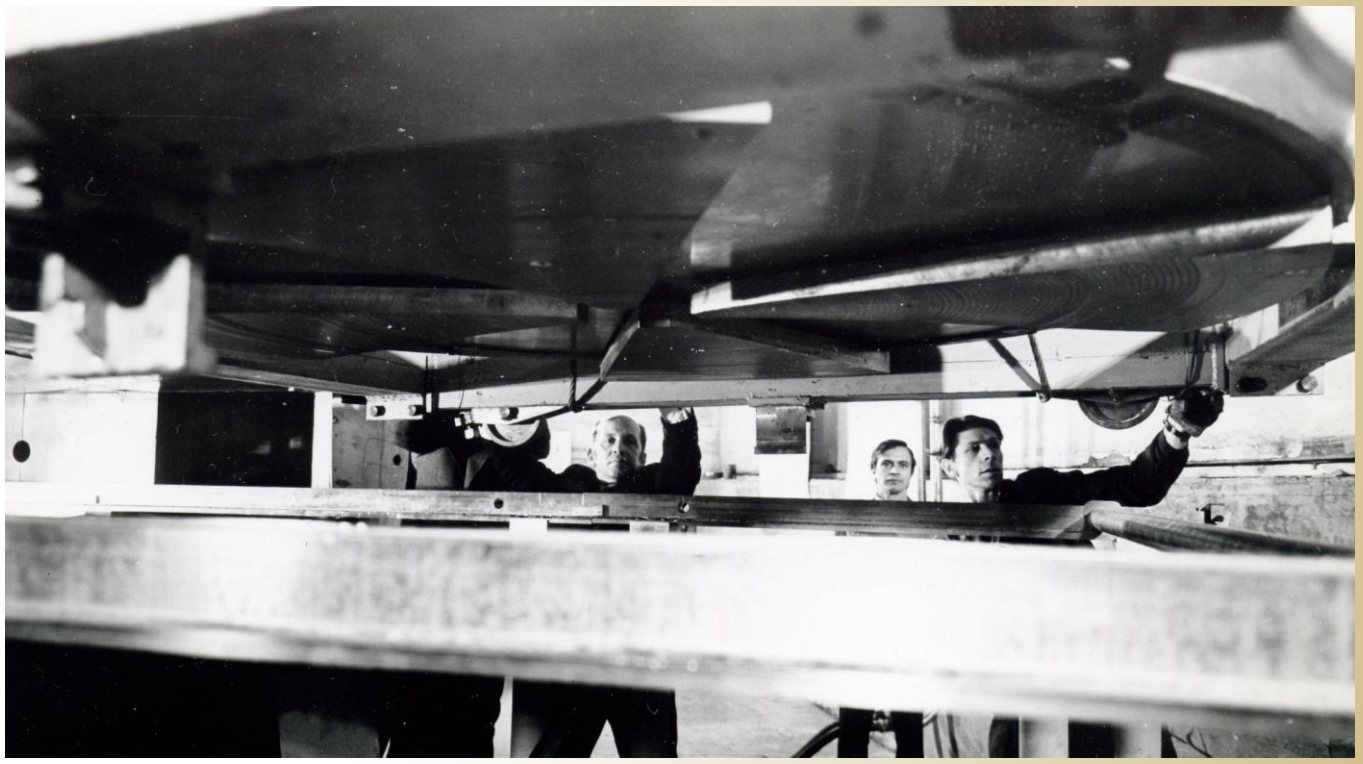
Decyzja była poprzedzona dyskusją w środowisku fizyków.

PIERWSZE ELEMENTY CYKLOTRONU ZOSTAŁY WYKONANE W DUBNEJ, OBECNIE ROSJA

GRUDZIEŃ 1972

Przygotowania do wstępnego formowania pola magnetycznego.

1 Józef Sura
2 Czesław Wejchert



od lewej:
Józef Sura
Pokrowski (Dubna)
Sławomir Chojnacki
Wiesław Perkowski
Alfiejev (Dubna)

górny szereg:
Zdzisław Kondeja
Wiesław Perkowski
Czesław Wejchert
K. Wójcik
Roman Morozowicz
Sławomir Chojnacki
Przemysław Gmaj

poniżej:
Józef Sura
Maciej Kowalski
Piotr Radecki
Jan Żylicz

ELEMENTY CYKLOTRONU PRZYWIEZIONE Z DUBNEJ ZOSTAŁY ZŁOŻONE W HALI TYMCZASOWEJ

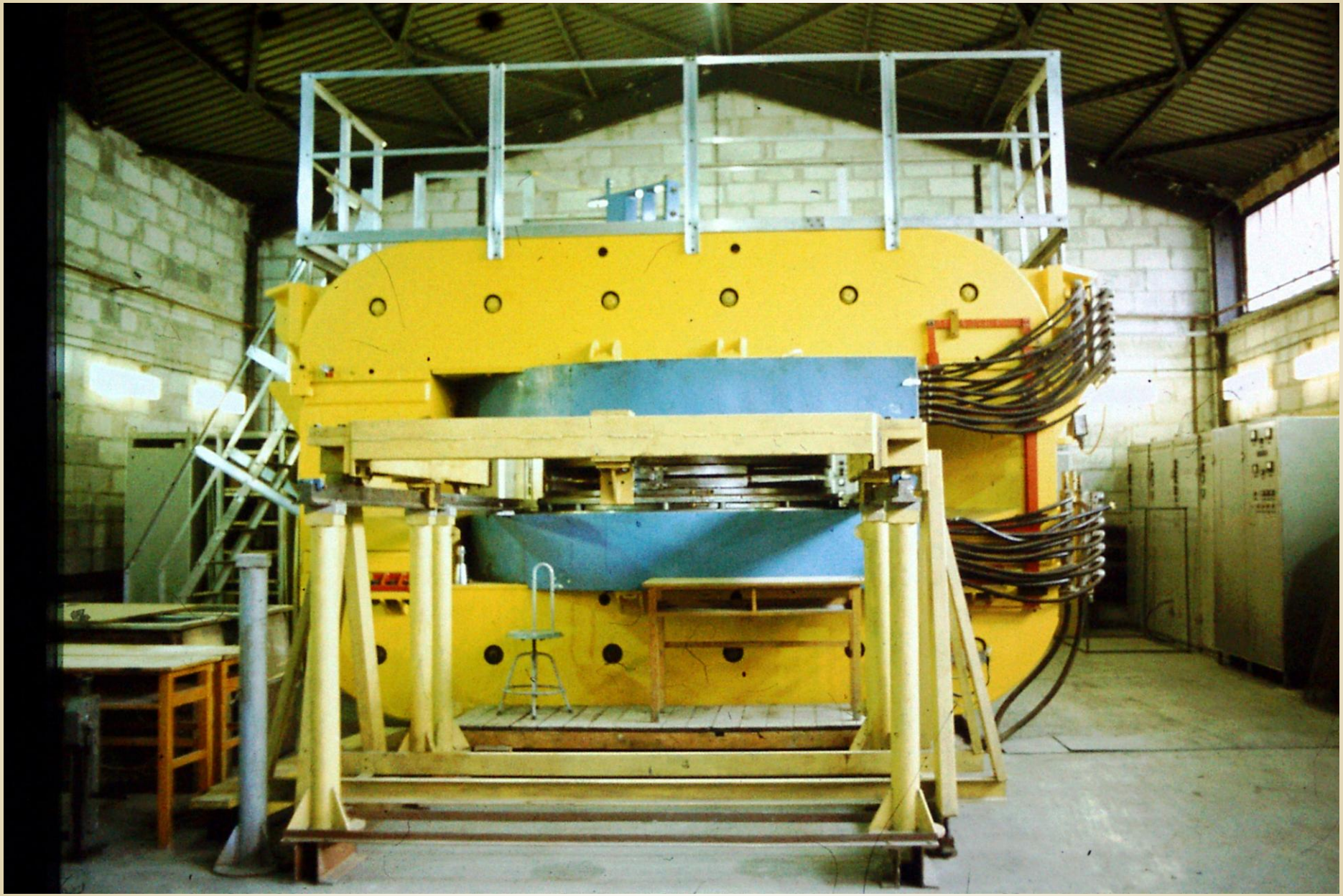
GRUDZIEŃ 1977

W roku 1977 przewieziono z Dubnej do Warszawy magnes cyklotronu, komorę próżniową, magnes analizujący i prototypowe źródło jonów typu PIG.

Tymczasowy budynek nie był wtedy jeszcze gotowy.

W grudniu 1977 gotowy był tylko postument pod magnes cyklotronu.

1 Eugeniusz Pławski
2 Czesław Wejchert



BUDYNEK SLCJ UW

11 czerwca 1979
Ceremonia wbudowania kamienia węgielnego

1 – prof. Zygmunt Rybicki, Rektor UW; 2 – prof. Jerzy Kołodziejczak, PAN; 3 - prof. Jerzy Minczewski, dyr. IBJ

Zarządzenie nr 29 Ministra Nauki, Szkolnictwa Wyższego i Techniki z dnia 29 sierpnia 1979 r.

oficjalnie zostało utworzone Środowiskowe Laboratorium Ciężkich Jonów w Uniwersytecie Warszawskim jako wspólne przedsięwzięcie

- Ministerstwa Nauki, Szkolnictwa Wyższego i Techniki
- Polskiej Akademii Nauk i
- Ministerstwa Energetyki i Energii Atomowej

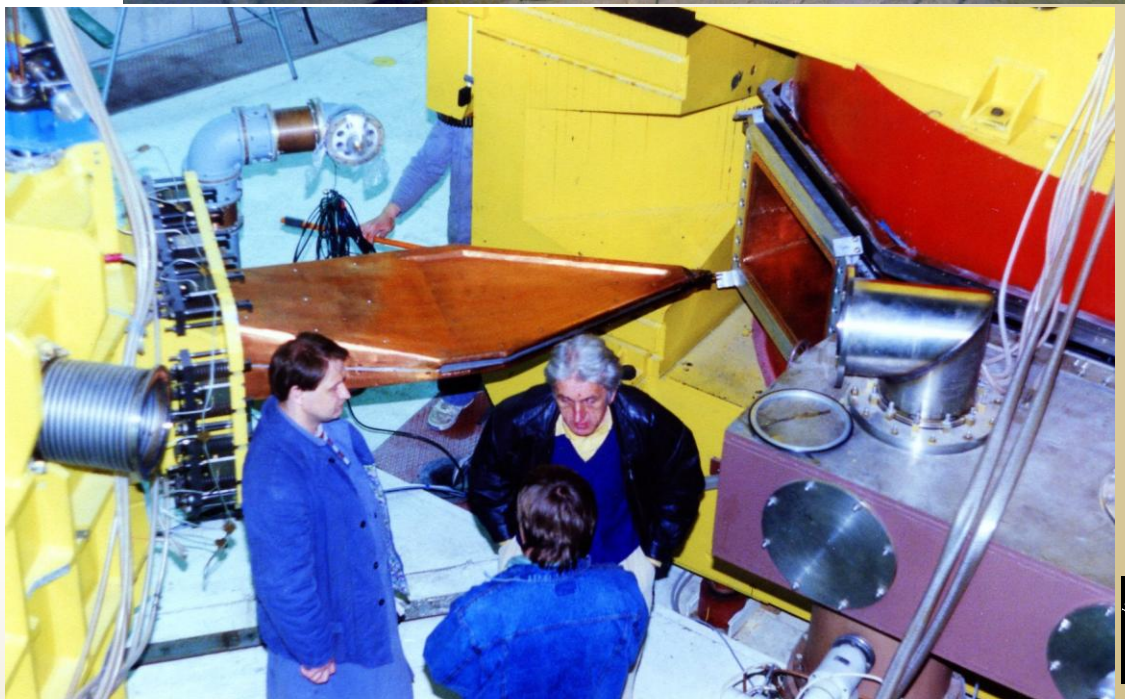
Zarządzenie nr 29 Ministra Nauki, Szkolnictwa Wyższego i Techniki z dnia 29 sierpnia 1979 r., Dz.U. nr 6/79 poz. 27

Widok na budynek SLCJ
1989 r.

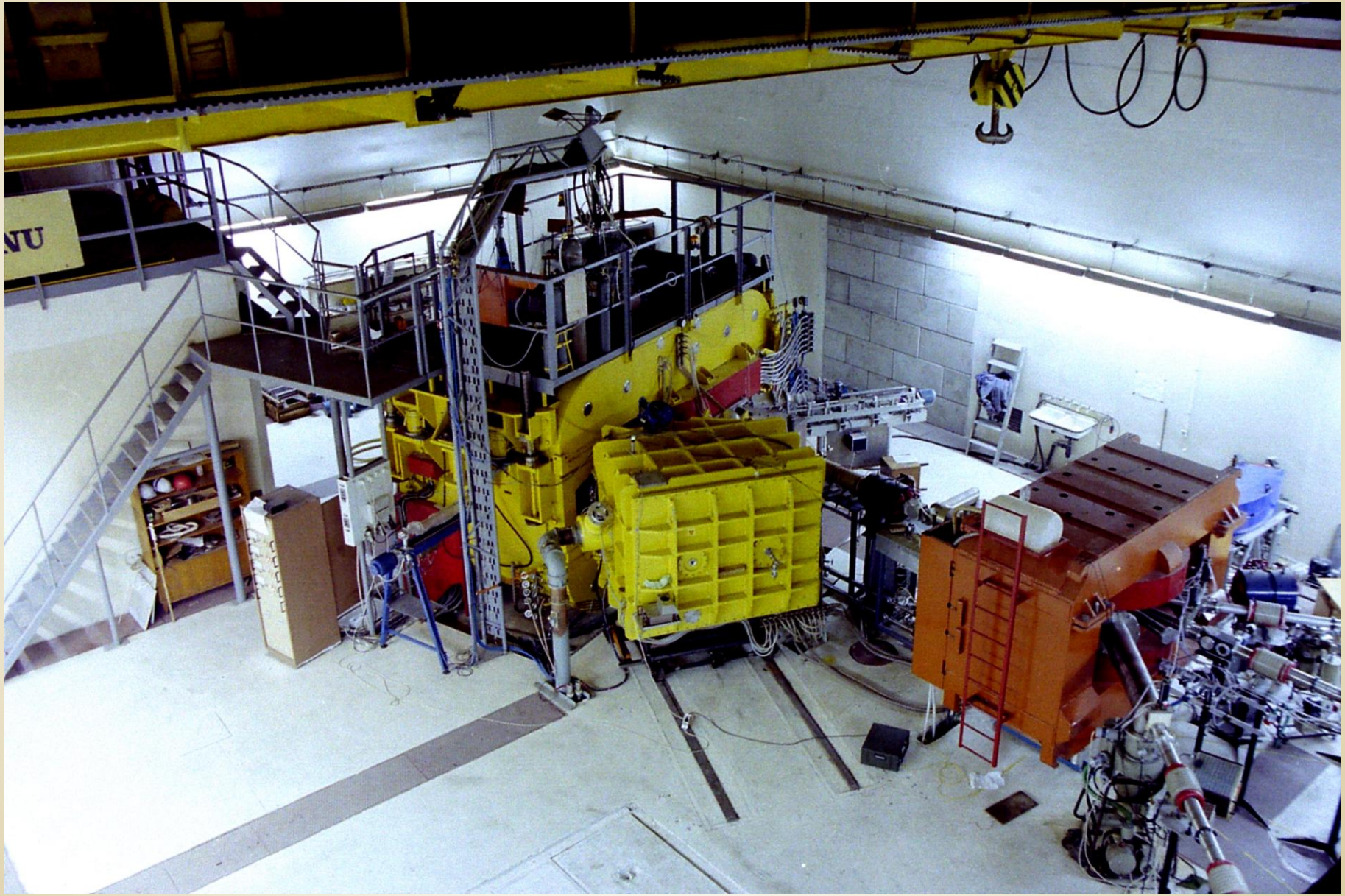
PRZENOSZENIE „CYKLOTRONU U-200P NA DOCELOWE MIEJSCE

czerwiec 1988 r.

9.05.1989.

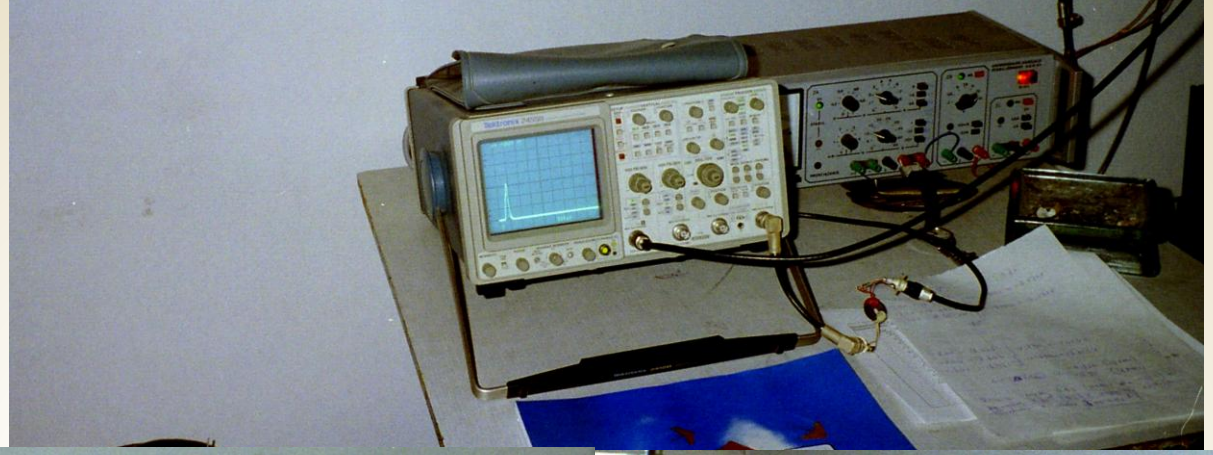


BUNKIER CYKLOTRONU

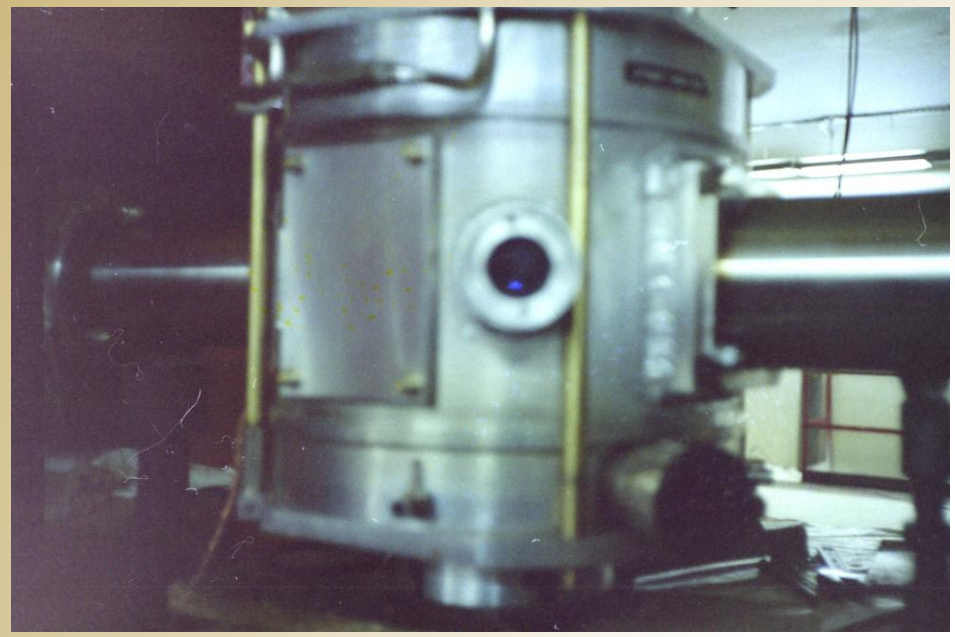


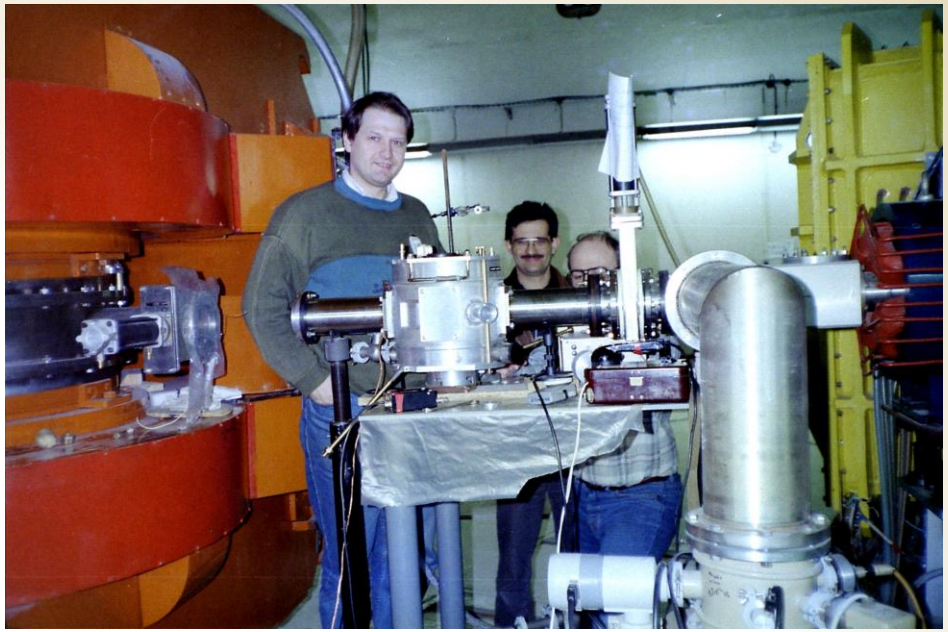
kwiecień
1992 r.

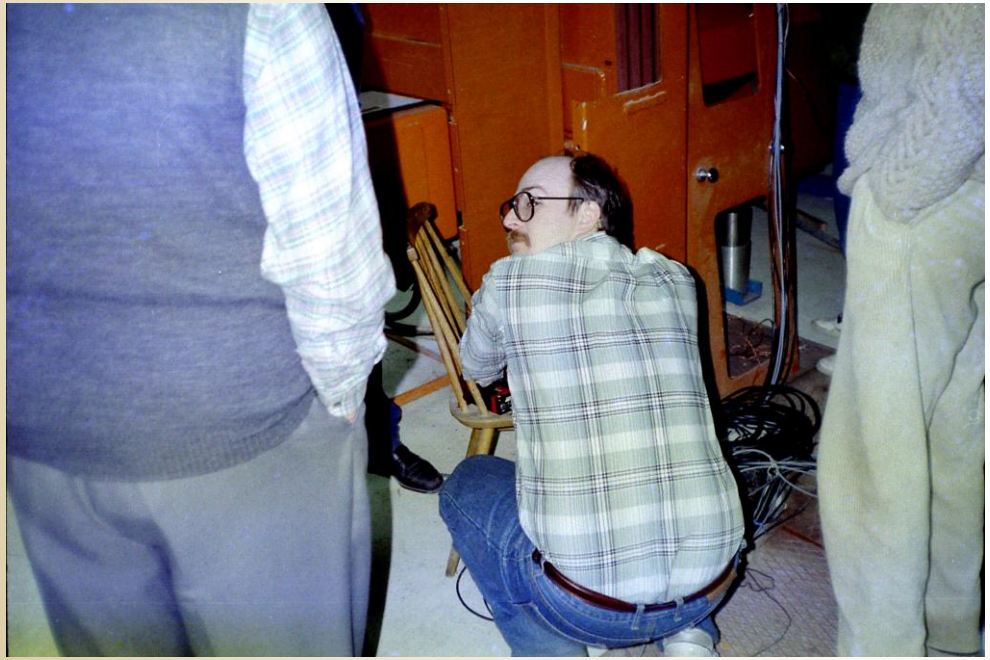
22 listopada 1993 r.



Pierwsza wiązka jonów przyspieszona w cyklotronie $^{20}Ne^{+2}$ o energii 1.6 MeV/amu







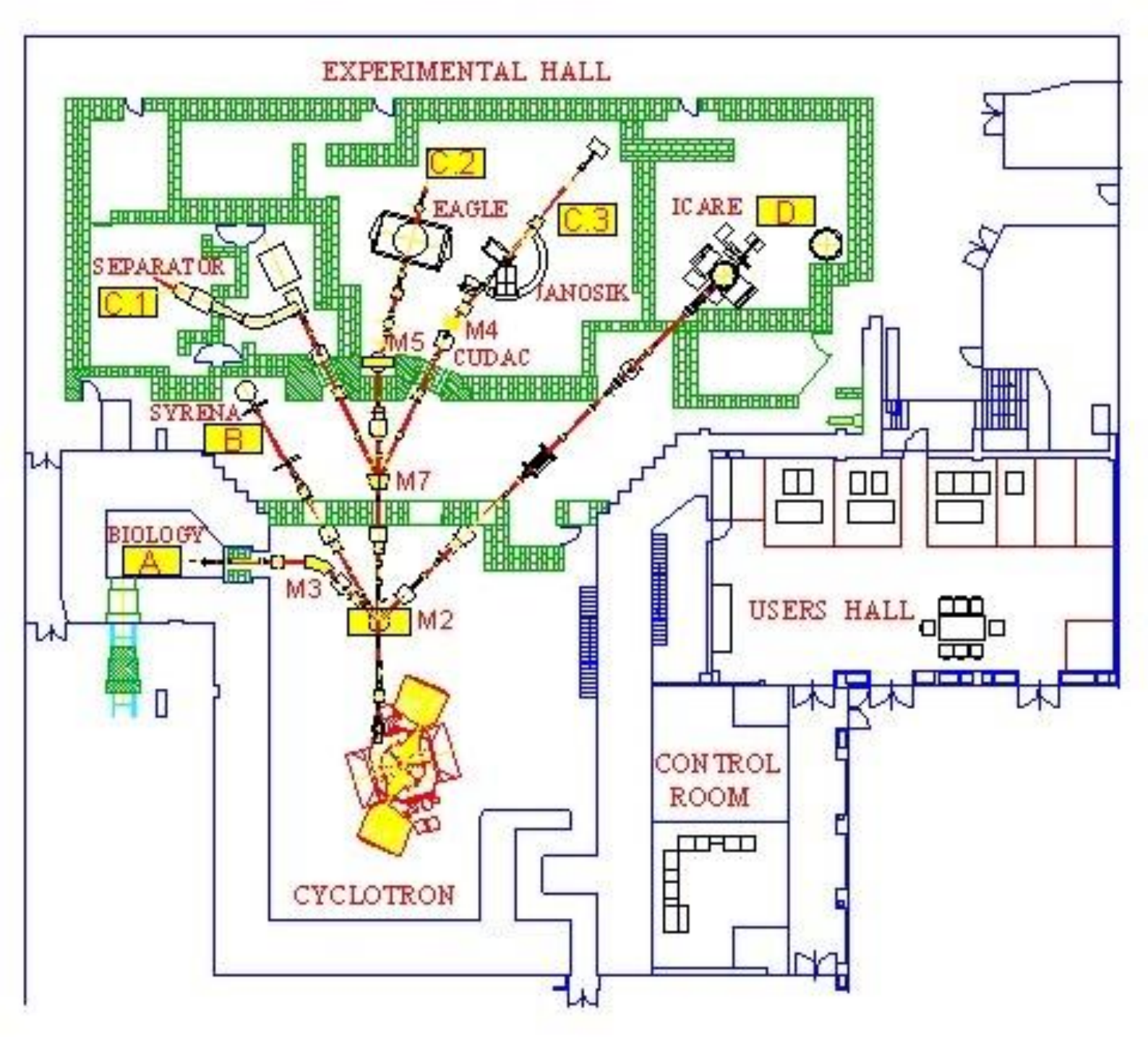
Pierwsza wyprowadzona wiązka jonów z cyklotronu $^{14}N^{+2}$ 31 MeV, 8 kwietnia 1994

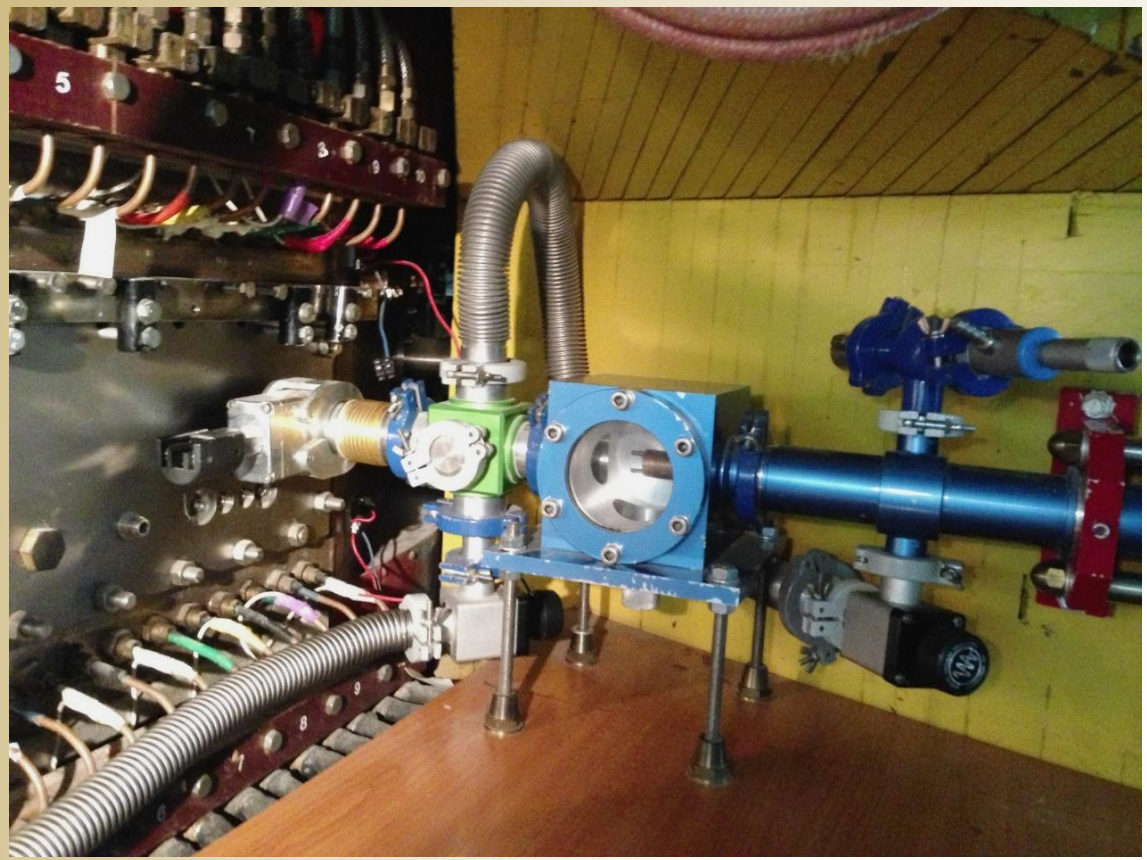
CEREMONIA OTWARCIE SLCJ
20 MAJA 1994 R.

Jego Magnificencja Rektor Włodzimierz Siwiński

Zespół SLCJ

Rzut na halę eksperymentów i bunkier cyklotronu





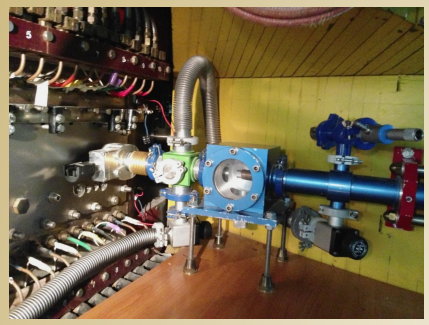
Stanowisko do naświetlania tarcz wiązką wewnętrzną cyklotronu U-200P

wersja I od 1998 do 2016 r.

Spektroskopia fluorescencji atomowej izotopów sodu

Gruba tarcza grafitowa była napromieniana wiązką ^{14}N o energii 42 MeV. W efekcie produkowane były radioaktywne izotopy ^{22}Na o $T_{1/2}$ = 2,6 y oraz ^{24}Na o $T_{1/2}$ = 15 h w reakcjach jądrowych $^{12}C(^{14}N, 2pn...)^{24-x}Na$ przy x=0, 2

A.Kopystyńska, S.Chojncki, T.T.Inamura, J.Kownacki



Stanowisko do naświetlania tarcz wiązką wewnętrzną cyklotronu U-200P

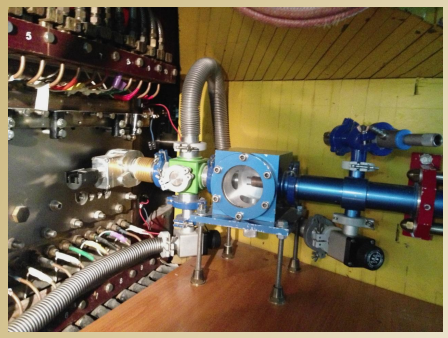
Production of the ^{211}At radioisotope using the Warsaw Heavy Ion Cyclotron

K. Szkliniarz[1], J. Jastrzębski[1], A. Bilewicz[3], J. Choiński[1], A. Jakubowski[1], Ł. Janiszewska[3], E. Leszczuk[3], M. Łyczko[3], M. Sitarz[1,4], A. Stolarz[1], A. Trzcińska[1], B. Wąs[5], W. Zipper[2]

1) Institute of Physics, University of Silesia, Katowice, Poland
2) Heavy Ion Laboratory, University of Warsaw, Warszawa, Poland
3) Institute of Nuclear Chemistry and Technology, Warszawa, Poland
4) Faculty of Physics, University of Warsaw, Warszawa, Poland
5) The H. Niewodnicza«ski Institute of Nuclear Physics PAN, Kraków, Poland

Research quantities of ^{211}At, one of the most promising TAT radioisotopes, have been produced using the Warsaw Heavy Ion Cyclotron since 2010 [1]. The internal alpha particle beam of up to 1 μA intensity and maximum energy of 32 MeV, strikes perpendicularly a 100 μm, high purity (5N) Bi target, produced by direct melting of Bi metal onto a target cavity in an aluminium backing.

[1] K. Szkliniarz et al., Acta Phys. Pol. A127 (2015) 1471



Stanowisko do naświetlania tarcz wiązką wewnętrzną cyklotronu U-200P

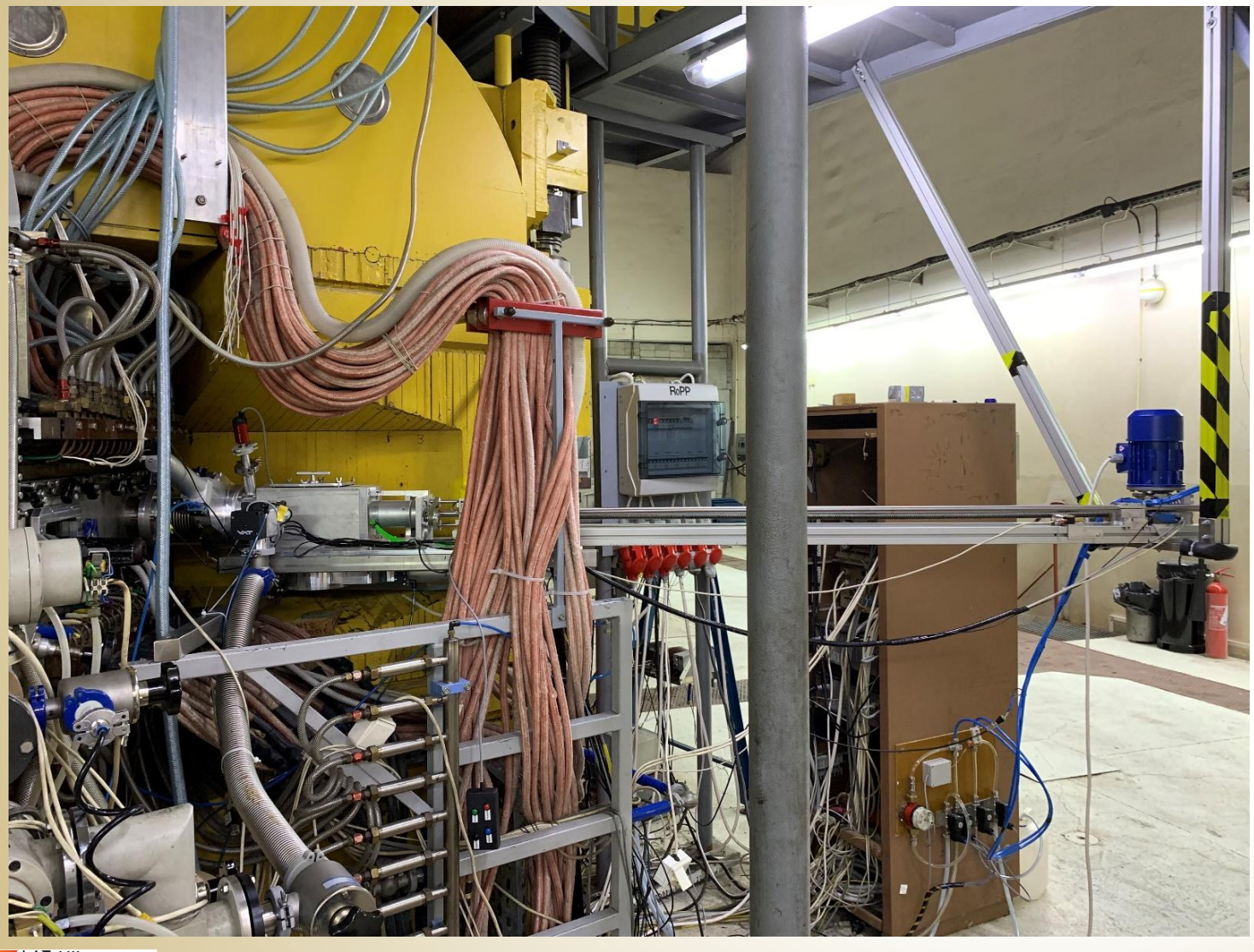
Positron emitting ^{43,44}Sc radioisotopes

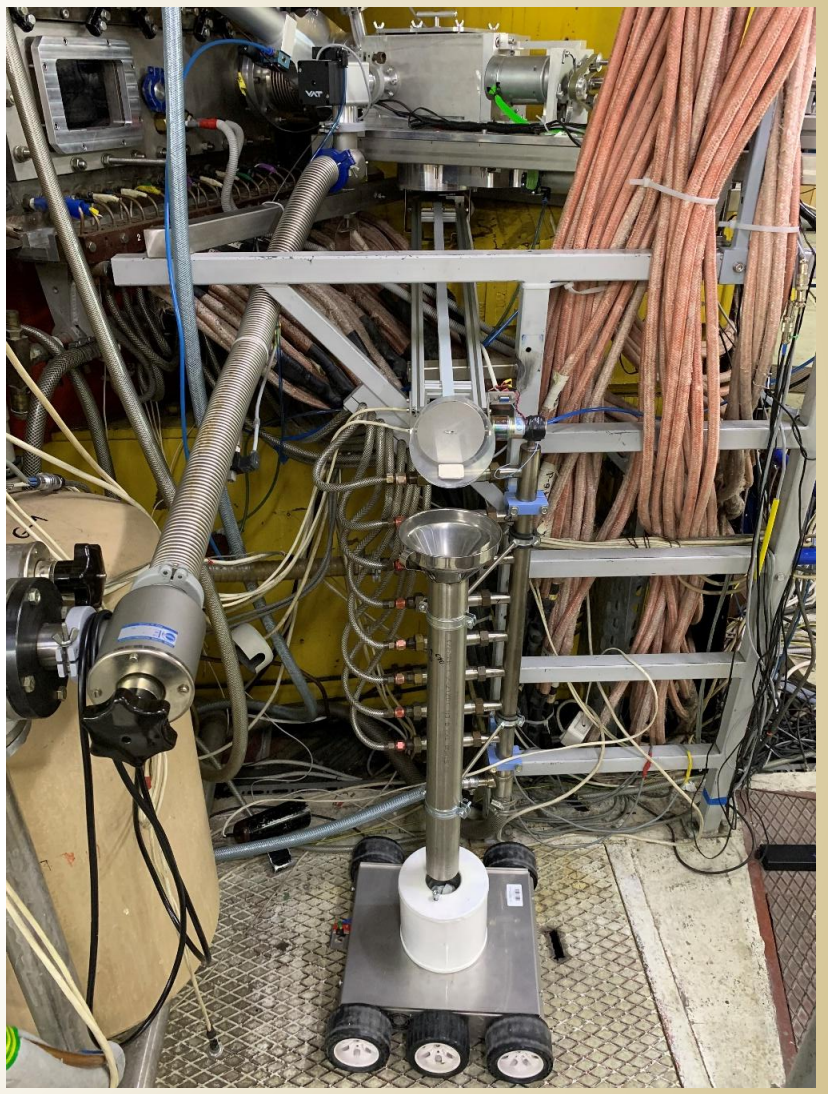
K. Szkliniarz[1], M. Sitarz [2,3], J. Jastrzębski[1], A. Bilewicz[4], J. Choiński[3], A. Jakubowski[3], A. Stolarz[3], A. Trzcińska[3], W. Zipper[1]

1) Institute of Physics, University of Silesia, Katowice, Poland
2) Heavy Ion Laboratory, University of Warsaw, Warszawa, Poland
3) Faculty of Physics, University of Warsaw, Warszawa, Poland
4) Institute of Nuclear Chemistry and Technology, Warszawa, Poland

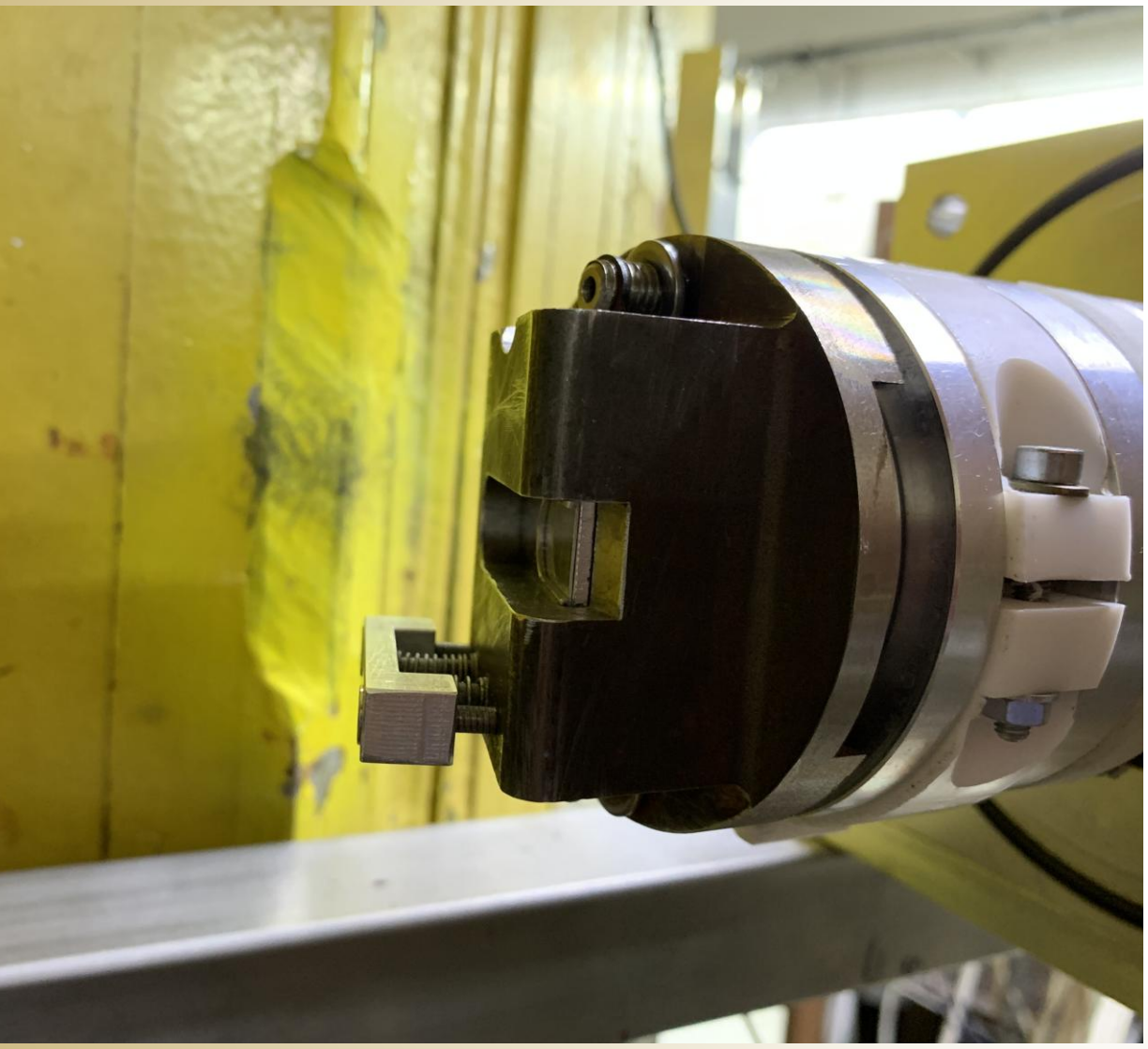
... irradiating a natural CaO target (97% ^{40}Ca) with an alpha particle beam.

Stanowisko do naświetlania tarcz wiązką wewnętrzną cyklotronu U-200P – wersja obecna





Stanowisko do naświetlania tarcz wiązką wewnętrzną cyklotronu U-200P – wersja obecna



Stanowisko do naświetlania tarcz wiązką wewnętrzną cyklotronu U-200P

konkluzja

Od 1998 r. w SLCJ produkuje się radioizotopy w ilościach badawczych.

Rozpoczęliśmy od naświetlania tarcz grafitowych, następnie skupiliśmy się na produkcji astatu-211 wykorzystując wiązkę cząstek alfa z cyklotronu U-200P w reakcji jądrowej $^{209}Bi(\alpha,2n)^{211}At$

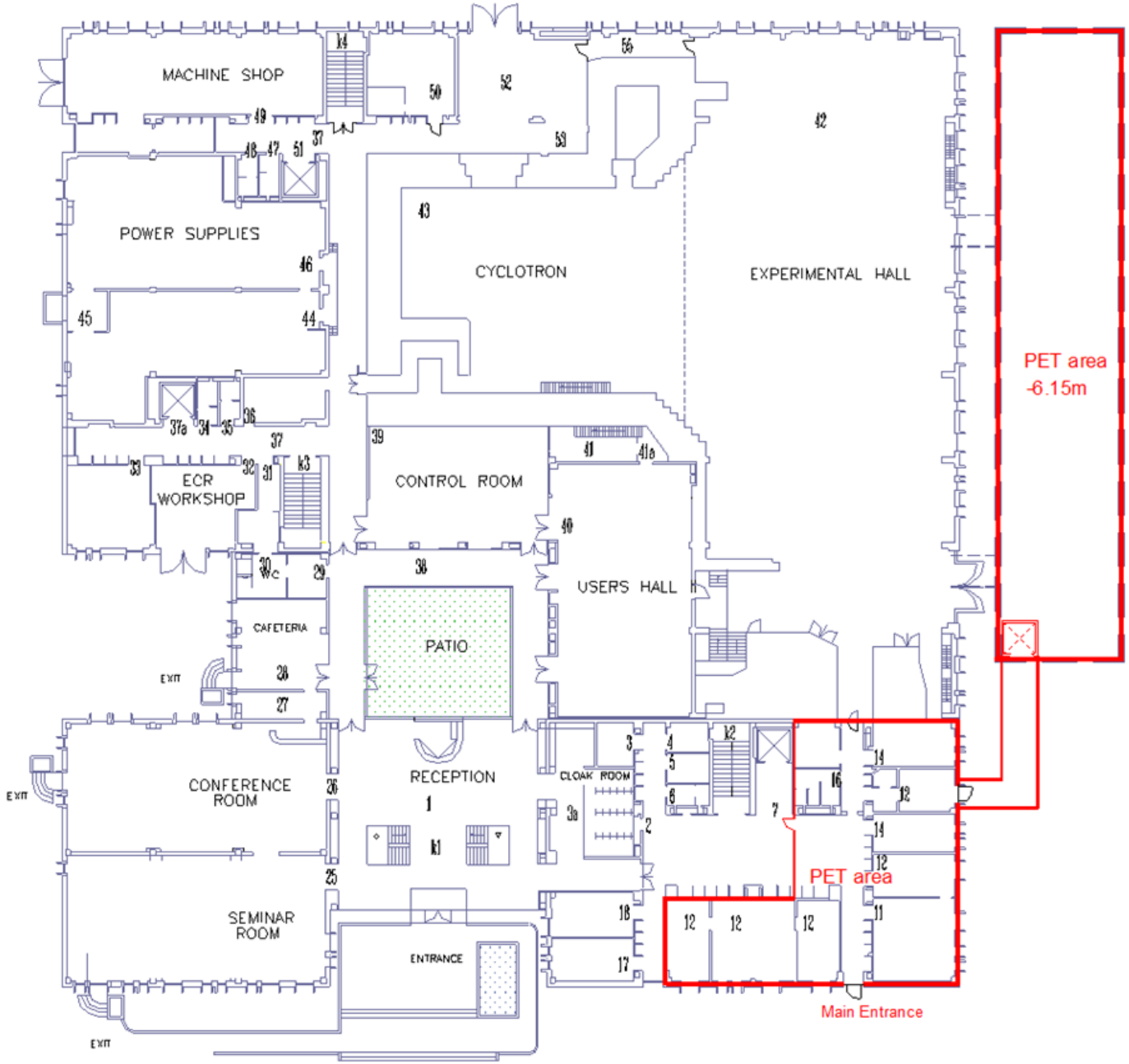
... później także inne izotopy medyczne:

$^{40}Ca(\alpha,n)^{43}Sc$,
$^{42}Ca(\alpha,2n)^{44gd}Sc$,
($^{42}Ca(\alpha,2n)$ $^{44}Ti/^{44}Sc$)
$^{70}Ge(\alpha,2n)^{72}Se/^{72}As$

OŚRODEK PRODUKCJI I BADANIA RADIOFARMACEUTYKÓW (OPBR)

ROZSZERZENIE MOŻLIWOŚCI BADAWCZYCH SLCJ

Ceremonia podpisania kontraktu, MAEA
23 października, 2007 r.



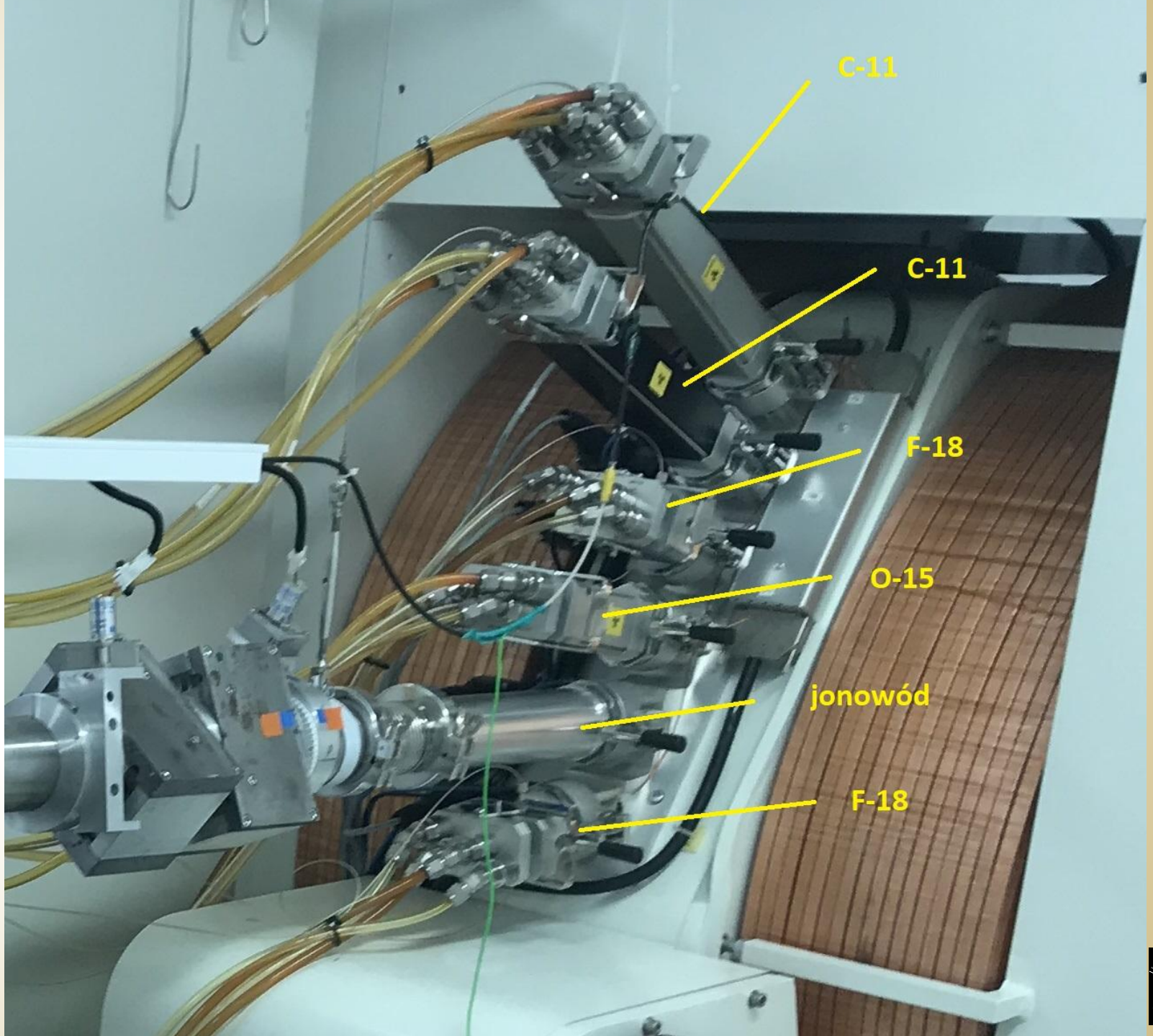
GROUND-FLOOR 0.00 m

Wysoko prądowy komercyjny cyklotron PETtrace

Przyspieszający:

p – 16,5 MeV 80 μA
i
d – 8,4 MeV 60 μA

Ośrodek oddany do użytku **2012 r.**



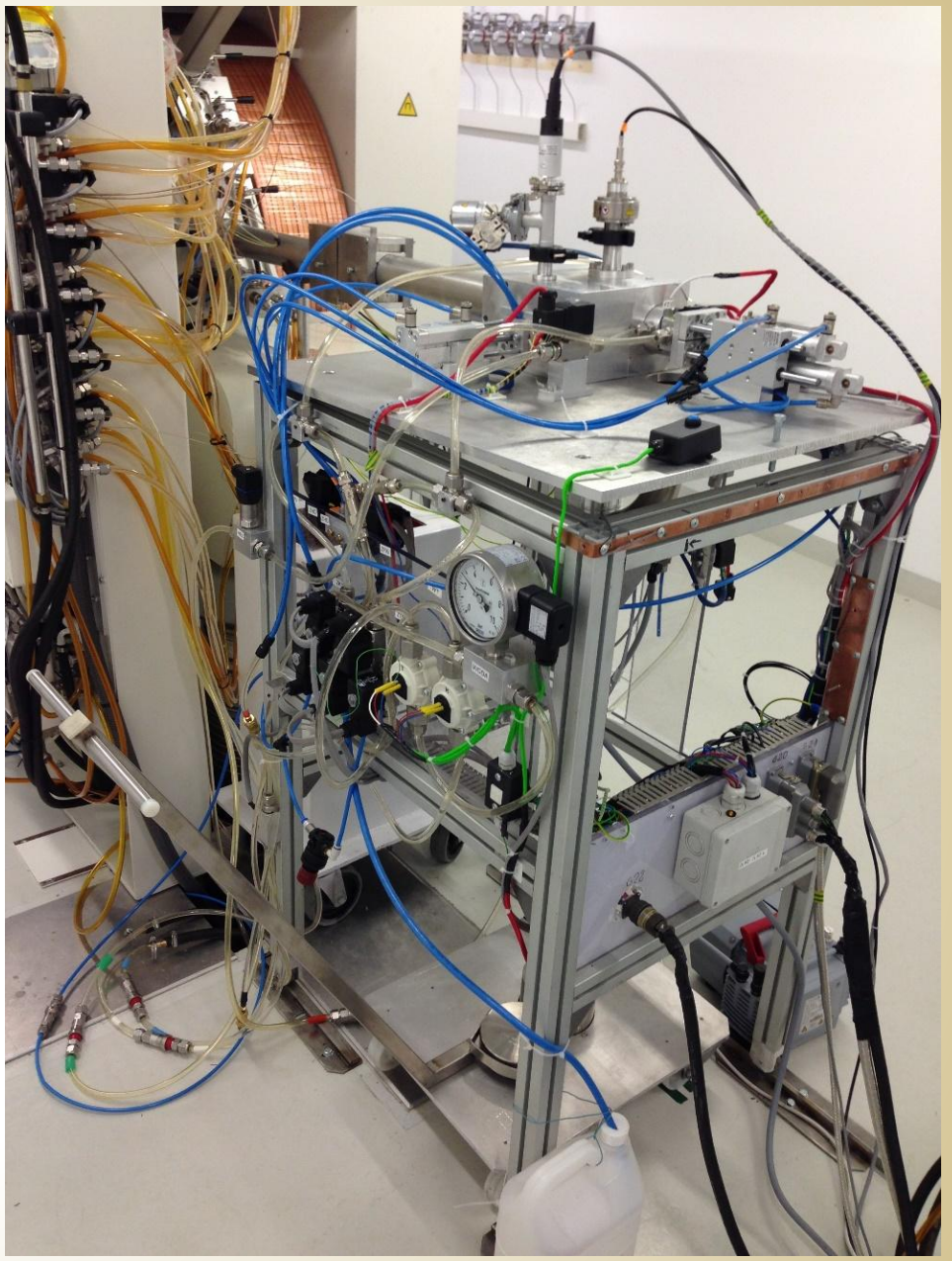
Alternatywne metody produkcji ^{99m}Tc

Umowa Nr PBS1/A9/2/2012 finansowana przez Narodowe Centrum Badań i Rozwoju

- **Konsorcjum:**
- **Polatom – Narodowe Centrum Badań Jądrowych**
  Instytut Chemii i Techniki Jądrowej
  Uniwersytet Warszawski
  01.11.2012 – 31.10.2015

$^{100}Mo(p,2n)^{99m}$**Tc**

2015



Zewnętrzne stanowisko na naświetlania tarcz

wersja I

Grant „Otrzymywanie radiofarmaceutyków opartych na radionuklidach skandu dla pozytonowej tomografii emisyjnej" [PET-SKAND], umowa nr PBS3/A9/28/2015 przyznana konsorcjum, a finansowana przez Narodowe Centrum Badań i Rozwoju.

2018 r.

Konsorcjum:

ichtj POLATOM HIL ŚLCJ

produkcja:

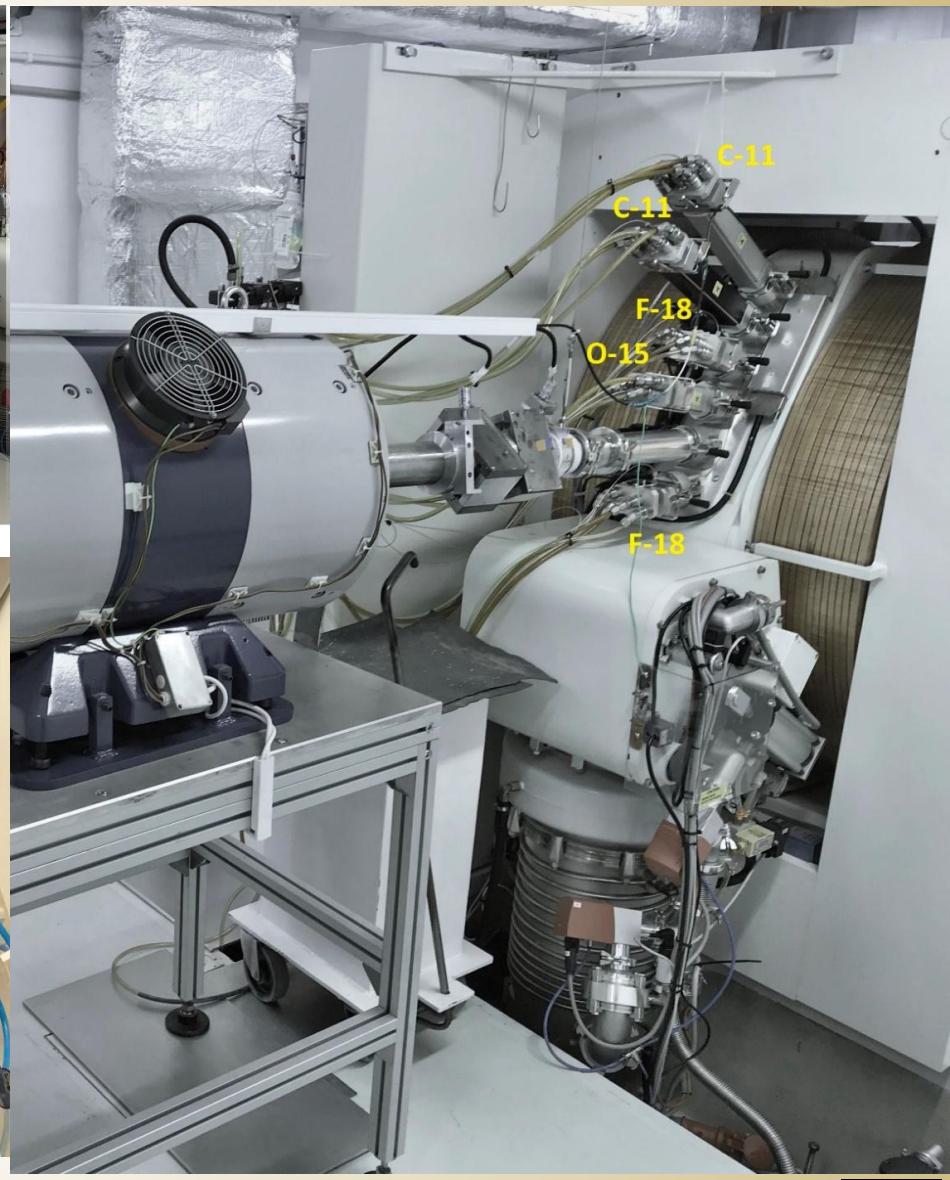
$^{43}Ca(p,n)^{43}Sc$

$^{42}Ca(d,n)^{43}Sc$

$^{44}Ca(p,n)^{44}Sc$

$^{44}Ca(d,2n)^{44m,g}Sc$

Stanowisko chronione patentem RP Nr 227402



Zmodernizowane zewnętrzne stanowisko do naświetlania tarcz, *wersja II*

30 LAT HIL ŚLCJ

UNIWERSYTET WARSZAWSKI

The Radiopharmaceuticals Production and Research Centre established by the Heavy Ion Laboratory of the University of Warsaw
Choiński J. et al.
Conference: International Nuclear Physics Conference (INPC) Location: Firenze, ITALY Date: JUN 02-07, 2013
INPC 2013 - INTERNATIONAL NUCLEAR PHYSICS CONFERENCE, VOL. 2 Book Series: EPJ Web of Conferences Volume: 66 Article Number: 10003 Published: 2014

Synthesis, quality control and determination of metallic impurities in ^{18}F-fludeoxyglucose production process
K. Kilian et al.
Reports of Practical Oncology and Radiotherapy 1 9 (2 0 1 4) S22–S31

A fast method for the determination of residual solvents in ^{18}FDG and ^{11}C-methionine samples
K. Kilian et al.
Microchemical Journal 115 (2014) 95–99

Radiopharmaceutical Production for PET Imaging in Poland
Choiński J.
Conference: 2nd Symposium on Positron Emission Tomography Location: Krakow, POLAND Date: SEP 21-24, 2014 ACTA PHYSICA POLONICA A Volume: 127 Issue: 5 Pages: 1520-1522 Published: MAY 2015

Medical Radioisotopes Produced Using the Alpha Particle Beam from the Warsaw Heavy Ion Cyclotron
Szkliniarz K. et al.
Conference: 2nd Symposium on Positron Emission Tomography Location: Krakow, POLAND Date: SEP 21-24, 2014 ACTA PHYSICA POLONICA A Volume: 127 Issue: 5 Pages: 1471-1474 Published: MAY 2015

Cyclotron production of ^{43}Sc-new radionuclide for PET technique
Bilewicz A. et al.
Conference: 28th Annual Congress of the European-Association-of-Nuclear-Medicine (EANM) Location: Hamburg, GERMANY Date: OCT 10-14, 2015
EUROPEAN JOURNAL OF NUCLEAR MEDICINE AND MOLECULAR IMAGING Volume: 42 Supplement: 1 Pages: S196-S197 Meeting Abstract: OP478 Published: OCT 2015

Gold Nanoparticle-Substance P(5-11) Conjugate as a Carrier for ^{211}At in Alpha Particle Therapy
Bilewicz A. et al.
Conference: 28th Annual Congress of the European-Association-of-Nuclear-Medicine (EANM) Location: Hamburg, GERMANY Date: OCT 10-14, 2015
EUROPEAN JOURNAL OF NUCLEAR MEDICINE AND MOLECULAR IMAGING Volume: 42 Supplement: 1 Pages: S245-S245 Meeting Abstract: OP584 Published: OCT 2015

Cyclotron production of Sc-43 for PET imaging
Walczak R. et al.
EJNMMI PHYSICS Volume: 2 Issue: 1 Article Number: 33 Published: DEC 2015

Synthesis of Endogenous Compounds Labeled with ^{11}C for Positron Emission Tomography
K. Kilian et al.
ACTA PHYSICA POLONICA A, Vol. 127 (2015), No. 5

Production yield and isotopic purity of medical Sc radioisotopes formed by proton, deuteron and alpha particle beams
Sitarz M. et al.
Conference: Annual Congress of the European-Association-of-Nuclear-Medicine (EANM) Location: Barcelona, SPAIN Date: OCT 15-19, 2016
EUROPEAN JOURNAL OF NUCLEAR MEDICINE AND MOLECULAR IMAGING Volume: 43 Supplement: 1 Pages: S200-S200 Meeting Abstract: OP675 Published: OCT 2016

Cyclotron production of theranostic pair Sc-43-Sc-47 on calcium targets
Bilewicz A.; et al.
Conference: Annual Congress of the European-Association-of-Nuclear-Medicine (EANM) Location: Barcelona, SPAIN Date: OCT 15-19, 2016
EUROPEAN JOURNAL OF NUCLEAR MEDICINE AND MOLECULAR IMAGING Volume: 43 Supplement: 1 Pages: S135-S136 Meeting Abstract: OP445 Published: OCT 2016

Production of medical Sc radioisotopes with an alpha particle beam
Szkliniarz K. et al.
APPLIED RADIATION AND ISOTOPES Volume: 118 Pages: 182-189 Published: DEC 2016

The fast method of Cu-porphyrin complex synthesis for potential use in positron emission tomography imaging
K. Kilian et al.
Spectrochimica Acta Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy 159 (2016) 123–127

Imaging of hypoxia in small animals with ^{18}F fluoromisonidasole
K. Kilian et al.
NUKLEONIKA 2016;61(2):219-223

Distribution and separation of metallic and radionuclidic impurities in the production of ^{18}F-fluorodeoxyglucose
K. Kilian et al.
J Radioanal Nucl Chem (2016) 307:1037-1043

Synthesis of ^{11}C-methionine through gas phase iodination using Synthra MeIPlus synthesis module
K. Kilian et al.
NUKLEONIKA 2016;61(1):29-33

Manufacturing and characterization of molybdenum pellets used as targets for Tc-99m production in cyclotron
Cieszykowska I. et al.
APPLIED RADIATION AND ISOTOPES Volume: 124 Pages: 124-131 Published: JUN 2017

Production efficiency and radioisotopic purity of Tc-99m formed using the (p,2n) reaction on a highly enriched Mo-100 target
Szkliniarz K. et al.
Conference: 12th Workshop of the European-Cyclotron-Network (CYCLEUR) held together with the 2nd Bern Cyclotron Symposium Location: Bern, SWITZERLAND Date: JUN 23-24, 2016
the 2nd Bern Cyclotron Symposium Location: Bern, SWITZERLAND Date: JUN 23-24, 2016

Targets for Production of the Medical Radioisotopes with alpha and proton or deuteron Beams
Stolarz A. et al.
PROCEEDINGS OF THE 28TH WORLD CONFERENCE OF THE INTERNATIONAL NUCLEAR TARGET DEVELOPMENT SOCIETY (INTDS2016) Book Series: AIP Conference Proceedings Volume: 1962

Ga(III) complex with morin for kidney cancer cell labelling
Sentkowska A. et al.
Appl Organometal Chem. 2017;e3882. https://doi.org/10.1002/aoc.3882

Separation of Sc-44 from Natural Calcium Carbonate Targets for Synthesis of Sc-44-DOTATATE
Kilian K. et al.
MOLECULES Volume: 23 Issue: 7 Article Number: 1787 Published: JUL 2018

Production of Sc medical radioisotopes with proton and deuteron beams
Sitarz M. et al.
APPLIED RADIATION AND ISOTOPES Volume: 142 Pages: 104-112 Published: DEC 2018

Influence of metal ions on the ^{44}Sc-labeling of DOTATATE
Walczak R. et al.
Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry (2019) 322:249–254, https://doi.org/10.1007/s10967-019-06700-9

Cyclotron production of scandium-44 from enriched calcium-44 targets
Wojdowska W. et al.
JOURNAL OF LABELLED COMPOUNDS & RADIOPHARMACEUTICALS, Volume 62, Page S572-S573, Published 2019

Improved procedures of $Sc(OH)_3$ precipitation and UTEVA extraction for ^{44}Sc separation
Wojdowska W. et al.
Nuclear Medicine Review 2019, 22, 2: 1–4

Prospects for the production of radioisotopes and radiobioconjugates for theranostics
Choiński J. Łyczko M.
Bio-Algorithms and Med-Systems, Review, 2021, DOI: 10.1515/bams-2021-0136

Porphyrins as Chelating Agents for Molecular Imaging in Nuclear Medicine
K. Pyrzyńska, K. Kilian, M. Pęgier
Molecules 2022, 27(10), 3311; https://doi.org/10.3390/molecules27103311

Scandium radioisotopes-toward new targets and imaging modalities
K. Kilian, K. Pyrzyńska.
Molecules 28(2023) 7668

Scandium-44 Radiolabeled Peptide and Peptidomimetic Conjugates Targeting Neuropilin-1 Co-Receptor as Potential Tools for Cancer Diagnosis and Anti-Angiogenic Therapy
Masłowska K. et al.
Biomedicines, Article *Open Access,* 2023, DOI: 10.3390/biomedicines11020564

Synthesis of ^{18}F-fluoroethyltyrosine ([^{18}F]FET) on the Synthra RN synthesizer
E. Bieniasz, K. Kilian
HIL Annual Report 2024

Produkcja ^{135}La i synteza związków zawierających ten izotop

Investigation of the production of the auger electron emitter ^{135}La using medical cyclotrons
J. Jastrzębski, N. Zandi, J. Choiński, M. Sitarz, A. Stolarz, A. Trzcińska, M. Vagheian
Acta Physica Polonica B Article Open Access, 2020, DOI: 10.5506/APhysPolB.51.861

Possible reactions leading to the production of ^{135}La are discussed in this study and corresponding theoretical yields calculated using Monte Carlo (MCNPX) code are presented. The pilot ^{135}La production was performed employing the 16 MeV protons provided by a PETtrace cyclotron and a $^{nat}BaCO_3$ target.

Od roku 2022 realizujemy projekt badawczy pt. „
„Opracowanie radioznaczników emitujących trzy fotony do obrazowania pozytonium”, umowa nr UMO-2021/43/B/ST2/02150, finansowanego przez Narodowe Centrum Nauki

produkujemy:

^{44}Sc, ^{55}Co i ^{72}As

na potrzeby nowego systemu tomografii trójfotonowej opracowanego na Uniwersytecie Jagiellońskim znanym jako J-PET

Konsorcjum:

- Uniwersytet Jagielloński
- Uniwersytet Warszawski
- Instytut Chemii i Techniki Jądrowej

Positronium image of the human brain in vivo
Moskal P. et al.
Science Advances, Article *Open Access,* 2024
DOI: 10.1126/sciadv.adp2840
… This study presents the in vivo images of positronium lifetime in a human, for a patient with a glioblastoma brain tumor, by using the dedicated Jagiellonian PET system enabling simultaneous detection of annihilation photons and prompt gamma emitted by a radionuclide. …

First positronium imaging using ^{44}Sc with the J-PET scanner: a case study on the NEMA-Image Quality phantom
Manish Das et al.
IEEE TRANSACTIONS ON RADIATION AND PLASMA MEDICAL SCIENCES, VOL. X, NO. X, MAY XXXX
Citation information: DOI 10.1109/TRPMS.2025.3621554
„Abstract—Positronium Lifetime Imaging (PLI), an emerging extension of conventional positron emission tomography (PET) imaging, offers a novel window for probing the submolecular properties of biological tissues by imaging the mean lifetime of the positronium atom. Currently, the method is under rapid development in terms of reconstruction and detection systems. …”

Podsumowując

pomiędzy rokiem 2016 a 2025 wyprodukowaliśmy w OPBR następujące izotopy:

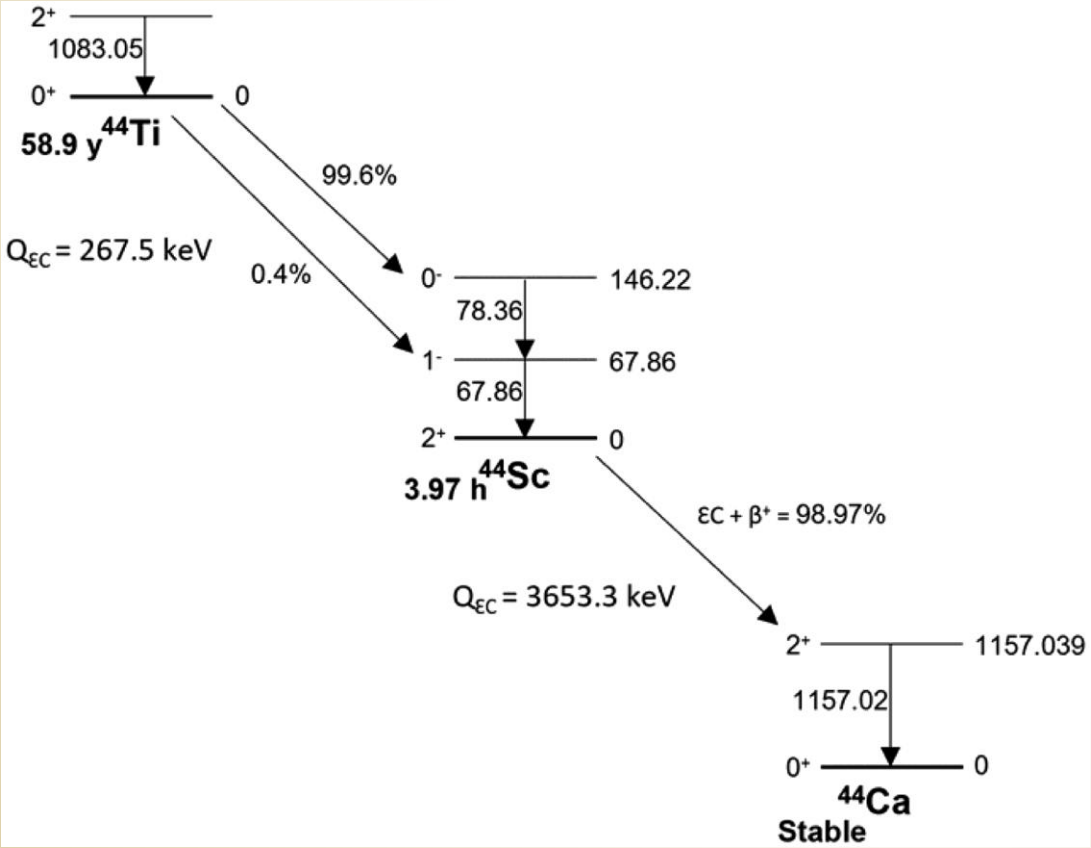
^{43}Sc, ^{44}Sc, ^{48}V, ^{55}Co, ^{56}Co, ^{72}As, ^{89}Zr, ^{99m}Tc, ^{135}La, ^{197}Hg

Podsumowując

W najbliższym czasie zabierzemy się za wyprodukowanie izotopu tytanu ^{44}Ti w reakcji jądrowej

$$^{45}Sc(p,2n)^{44}Ti$$

$^{45}Sc_2O_3$ tarcza	99.5% czystość tarczy	do 38 MeV	5.04 (MBq/(μA·h))·10^{-6}



^{44}Ti rozpada się przez wychwyt elektronów do ^{44}Sc. To umożliwia niezależną od cyklotronu produkcję ^{44}Sc, który następnie rozpada się poprzez rozpad beta z wysoką emisją pozytonów (94,3%) do stabilnego ^{44}Ca.

Połączenie obu cyklotronów w celu akceleracji wiązek radioaktywnych o energiach do 10 MeV/amu

DZIĘKUJĘ ZA UWAGĘ

www.slcj.uw.edu.pl