

# Testy zachowania się antymaterii w ziemskim polu grawitacyjnym - eksperyment GBAR

Sławomir Wronka



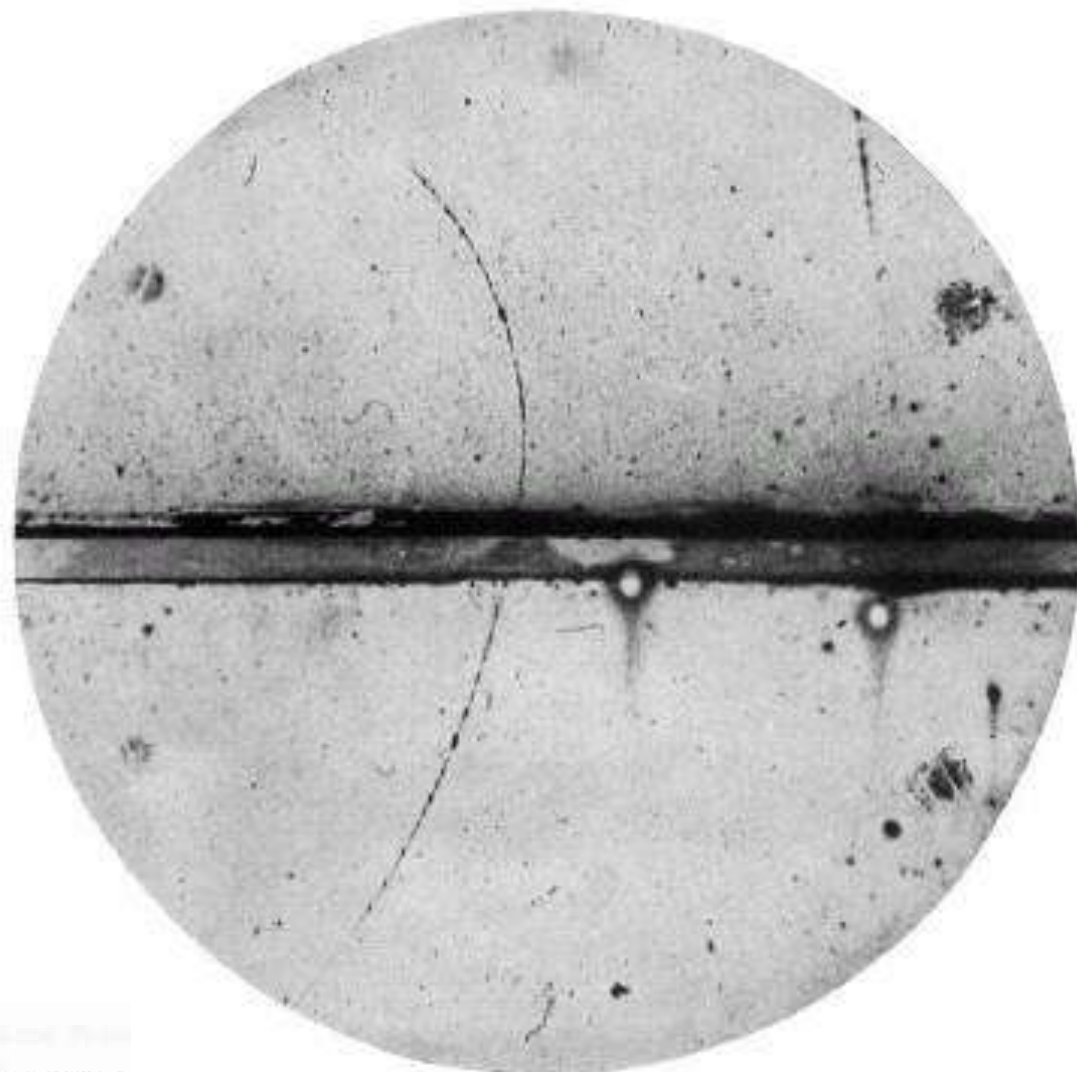
NARODOWE  
CENTRUM  
BADAŃ  
JĄDROWYCH  
ŚWIERK



## Zaczniemy od pojęcia „antymateria”

### Cząsteczki antymaterii

- Ta sama masa
- Przeciwny znak
- Anihilacja



PAUL A. M. DIRAC

Theory of electrons and positrons

*Nobel Lecture, December 12, 1933*

Pierwsza obserwacja pozytonu 1932 –  
C.Anderson (2 nagrody Nobla 1933, 1936)

## Następne odkrycia

**Antyproton – 1955**

**Antyneutron – 1957**

**Antydeuter – 1965**

**Antywodór - 1995**

**Antyhel-4 – 2011!**

• ....

$$E = mc^2$$

W jedną stronę –  
energetyka jądrowa,  
w drugą – fizyka  
wysokich energii!

# Motywacja fizyczna badań

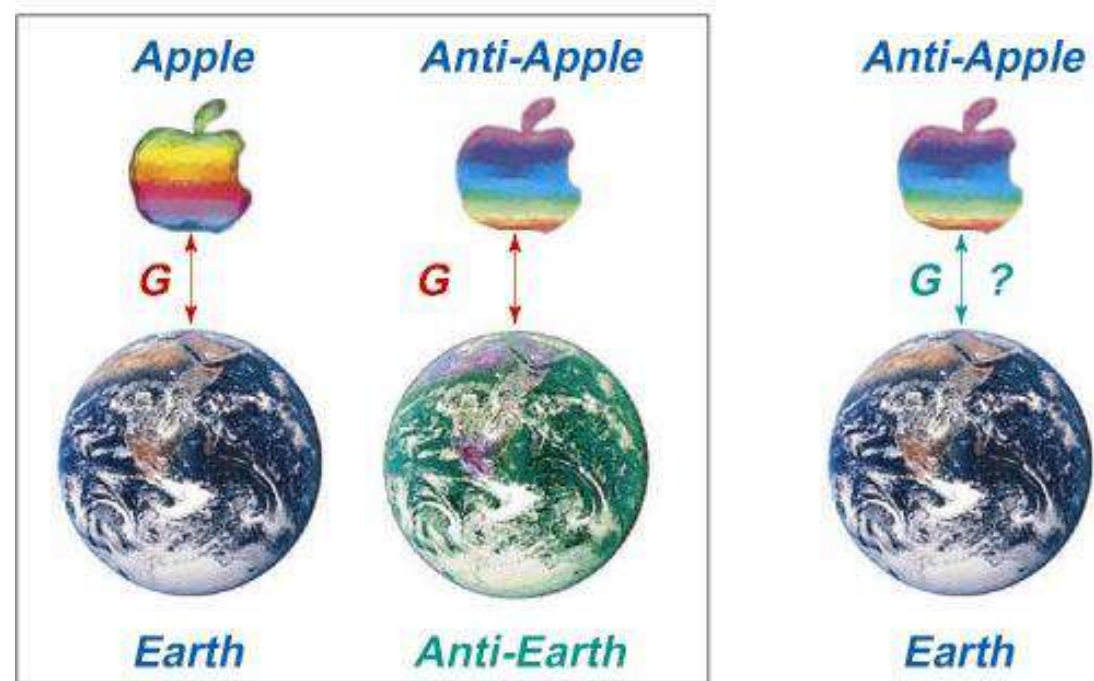
- Czy materia i antymateria zachowują się tak samo w polu grawitacyjnym ?

*Zakładamy, że tak, ale trzeba to zweryfikować.*

Obecny limit:

$$|g^- - g| < 5 \cdot 10^{-4} g$$

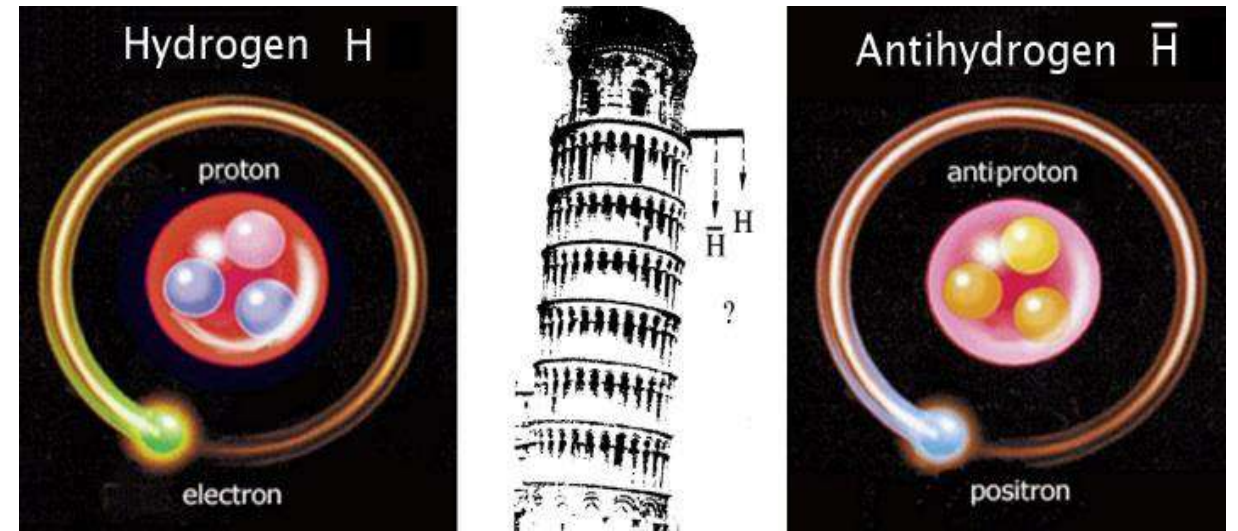
Szacunek pośredni



From Lars V. Jørgensen

# Motywacja fizyczna badań

- Grawitacja – b.słabe oddziaływanie w porównaniu np. do elektromagnetyzmu.
- Wpływ grawitacji np. na antyproton jest taki, jak od 1 (**słownie jednego**) ładunku elementarnego ulokowanego w odległości kilka cm.
- Dlatego trzeba „sięgnąć” po coś neutralnego.



From Lars V. Jørgensen

- Stworzyć atomy antywodoru i pozwolić im swobodnie spadać
- Cel eksperymentu:  
Zarejestrować ~1500 przypadków, co da błąd ~1%.



GBAR  
Gravitational Behavior of  
Antihydrogen at Rest

Francja, Japonia, Korea, Niemcy, Polska, Rosja, Szwecja, Szwajcaria, UK

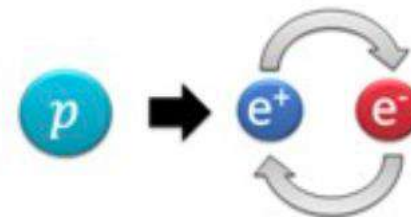
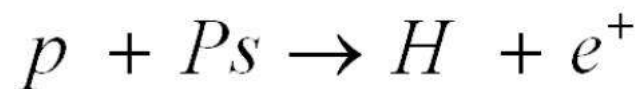
- Stworzyć atomy antywodoru i pozwolić im swobodnie spadać
- Ale jak to zrobić ???

/gdzie się tworzą, kiedy włączyć „stoper” ?/

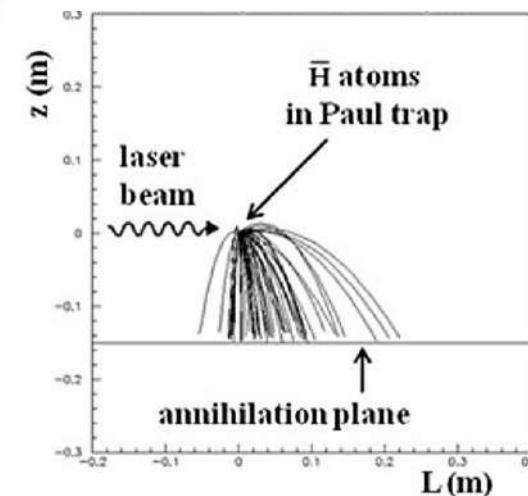
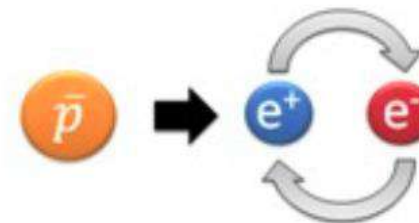
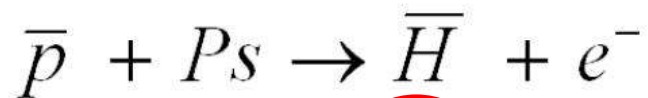


GBAR  
Gravitational Behavior of  
Antihydrogen at Rest

- Produkcja wodoru:

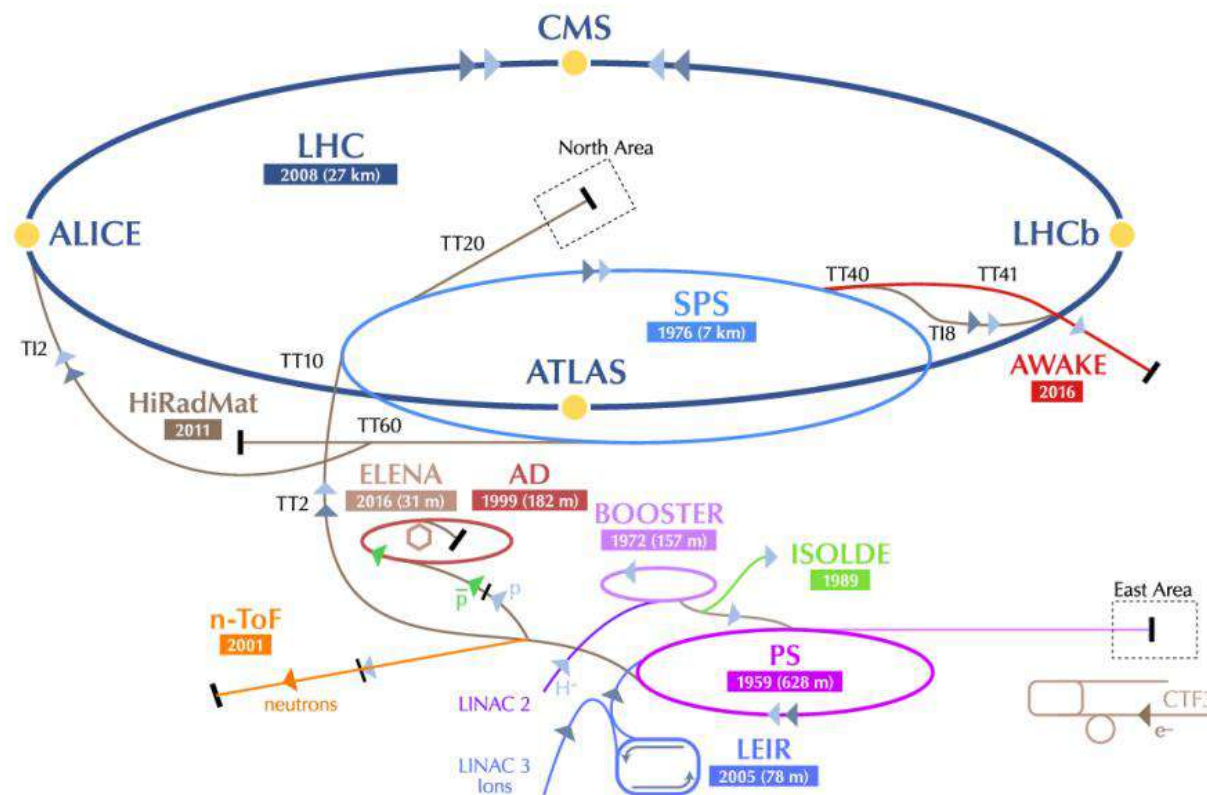


- Zatem produkcja antywodoru:



Ortopozytonium – czas życia 142ns



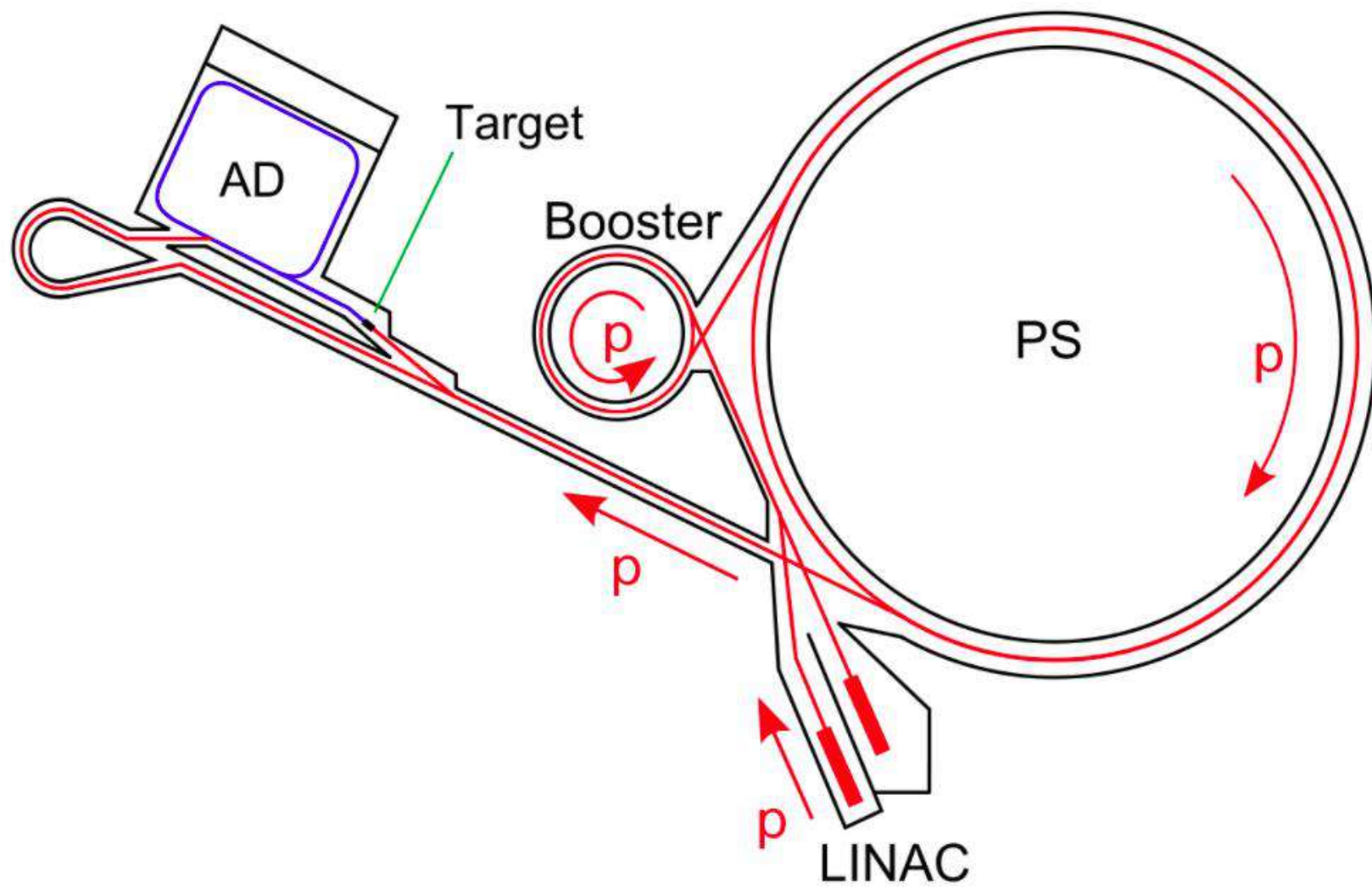


▶ p (proton) ▶ ion ▶ neutrons ▶  $\bar{p}$  (antiproton) ▶ electron ▶  $\leftrightarrow$  proton/antiproton conversion

LHC Large Hadron Collider SPS Super Proton Synchrotron PS Proton Synchrotron

AD Antiproton Decelerator CTF3 Clic Test Facility AWAKE Advanced WAKEfield Experiment ISOLDE Isotope Separator OnLine DEvice

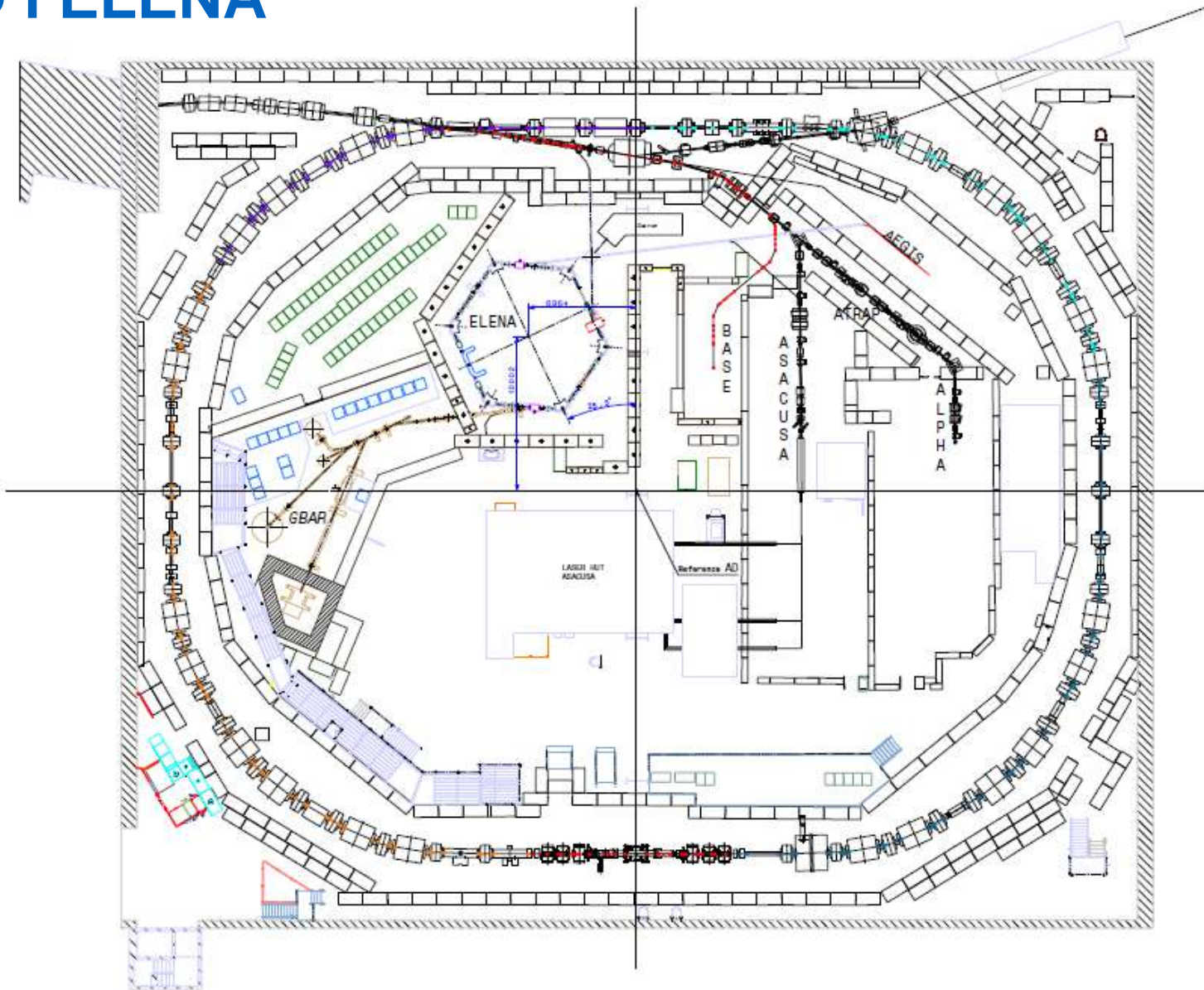
LEIR Low Energy Ion Ring LINAC LINEar ACcelerator n-ToF Neutrons Time Of Flight HiRadMat High-Radiation to Materials





From Lars V. Jørgensen

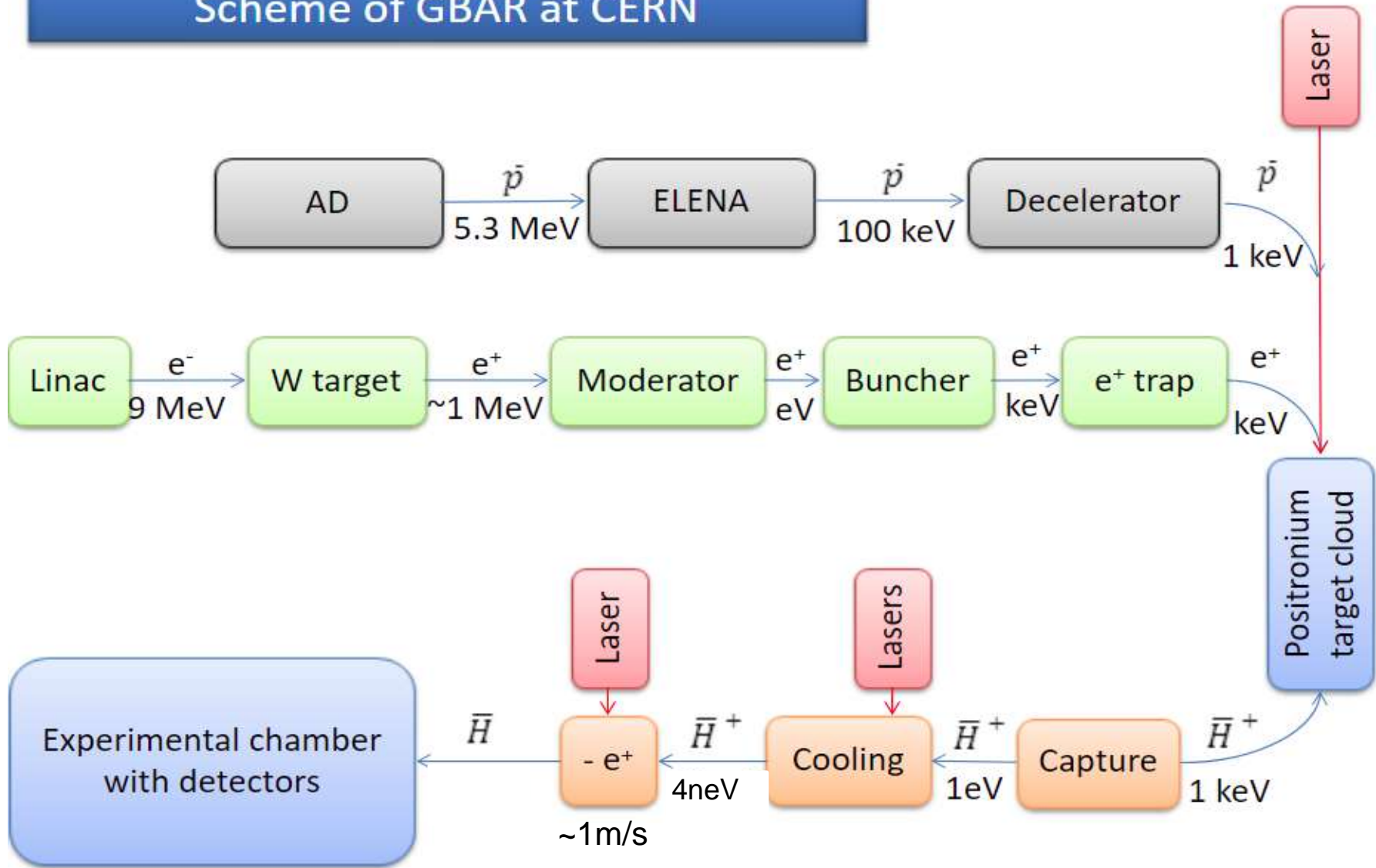
# AD i ELENA



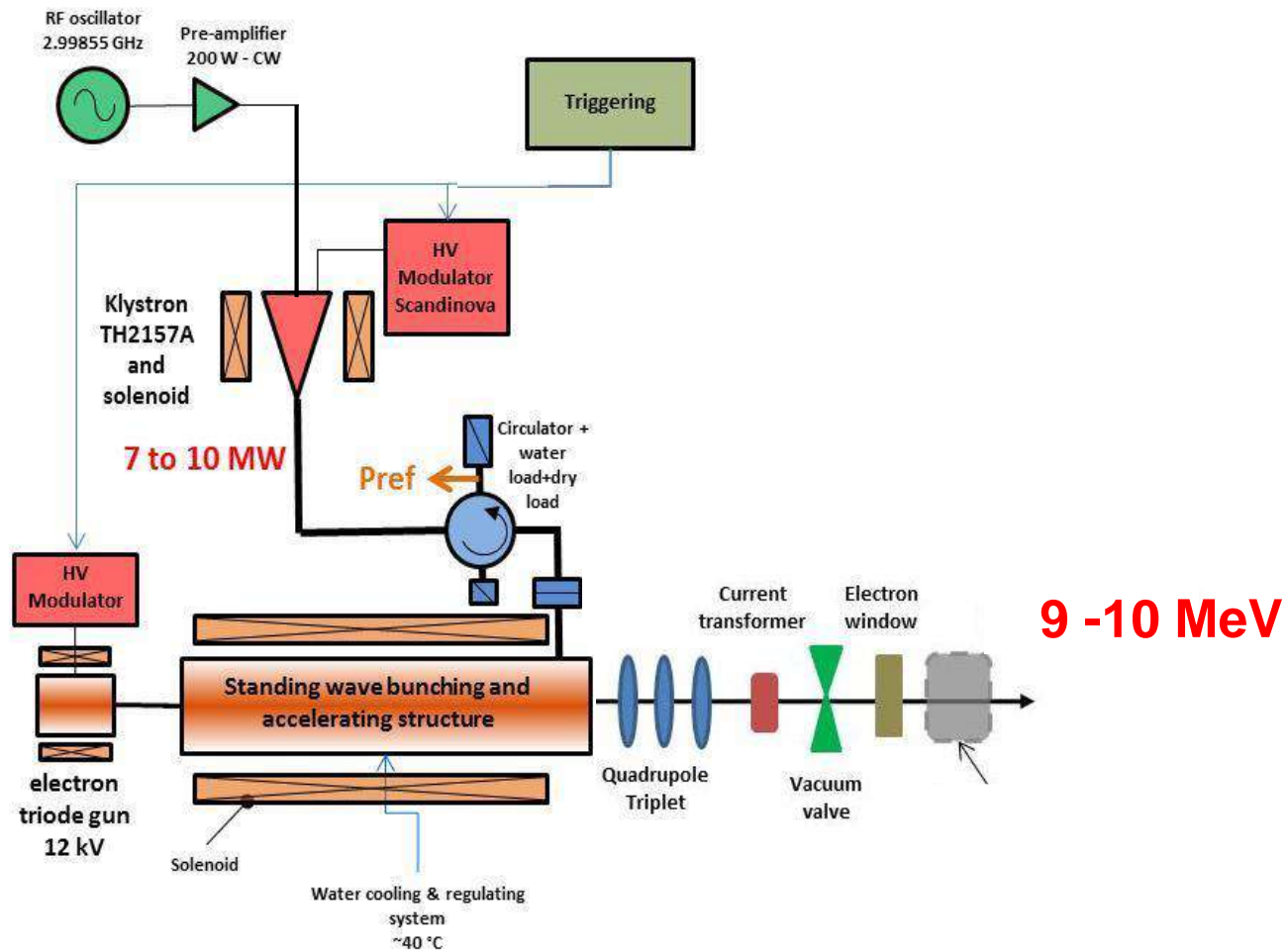
## Extra Low Energy Antiproton

- Obniża energię antyprotonów z AD od 5 MeV do 100 keV

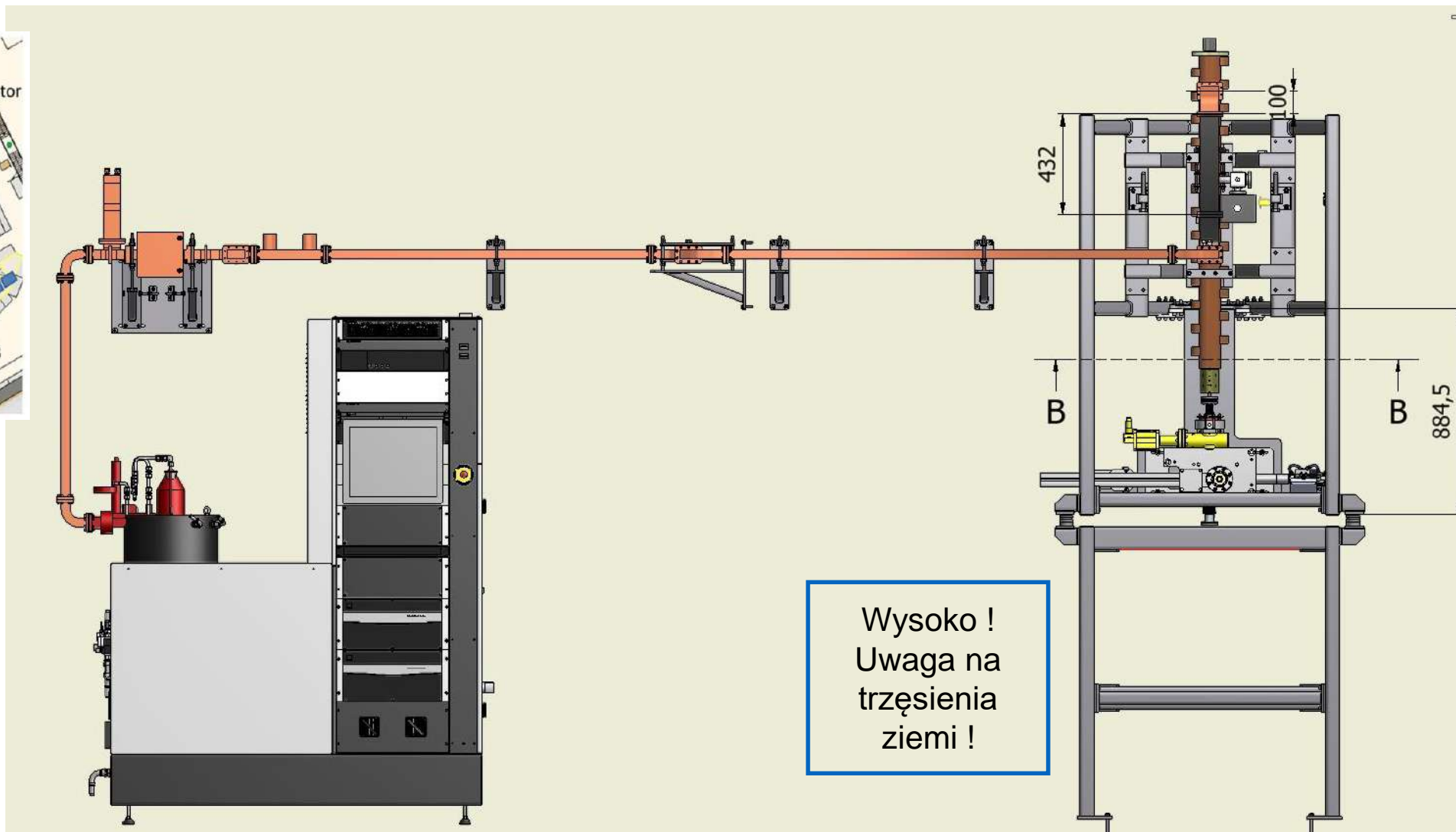
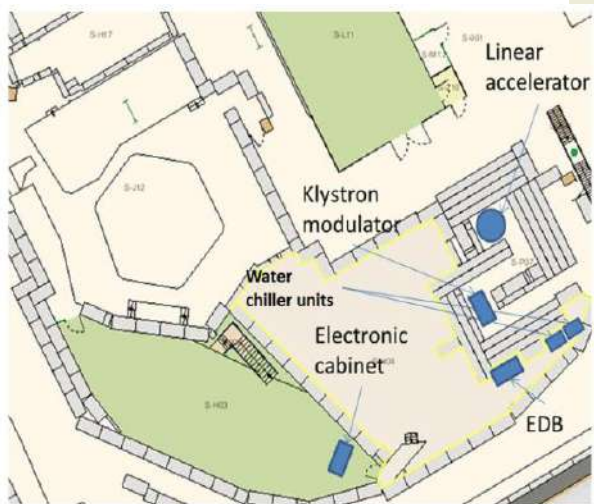
# Scheme of GBAR at CERN



# GBAR – linac



# GBAR – linac

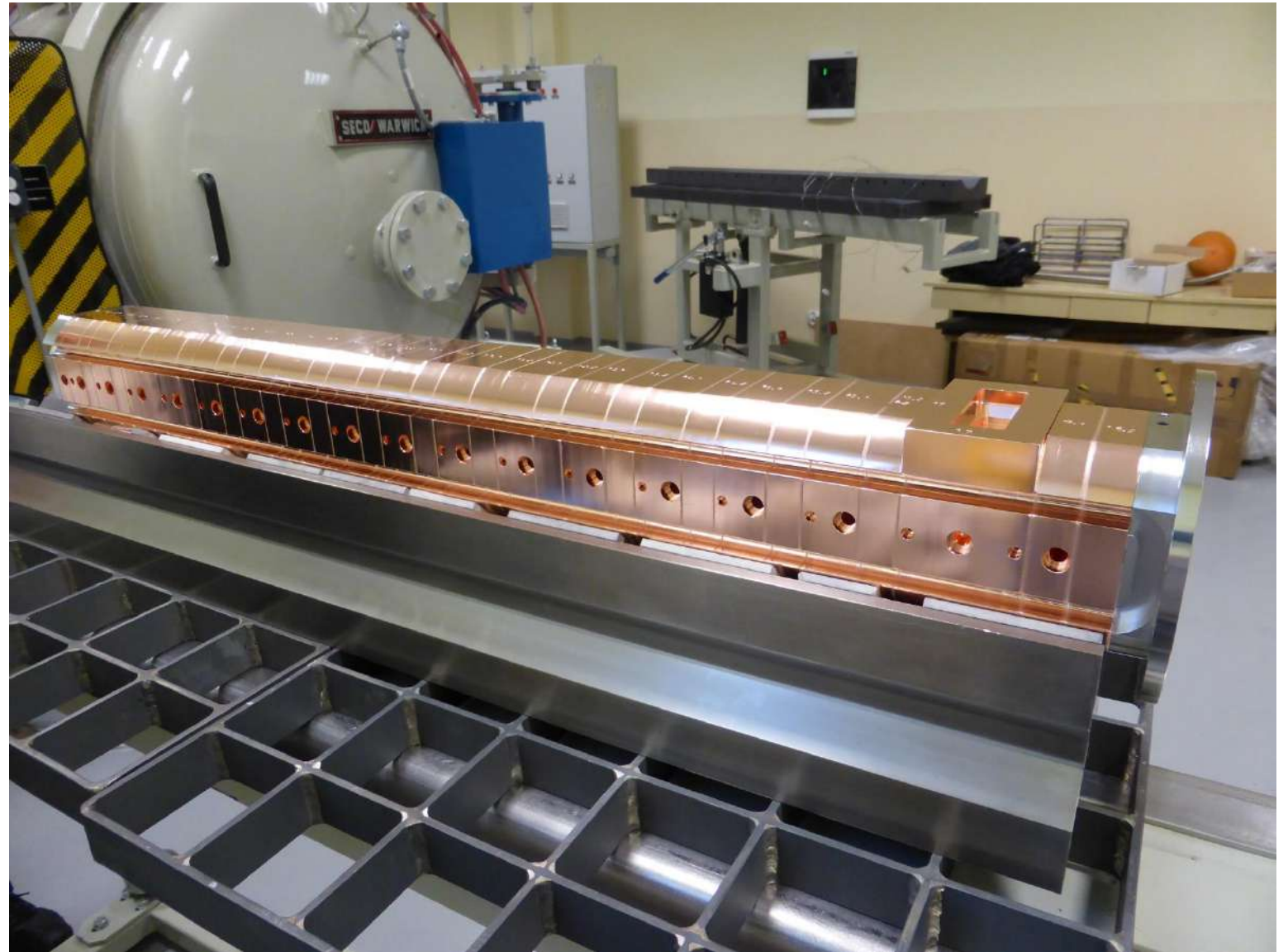


Wysoko !  
Uwaga na  
trzęsienia  
ziemi !

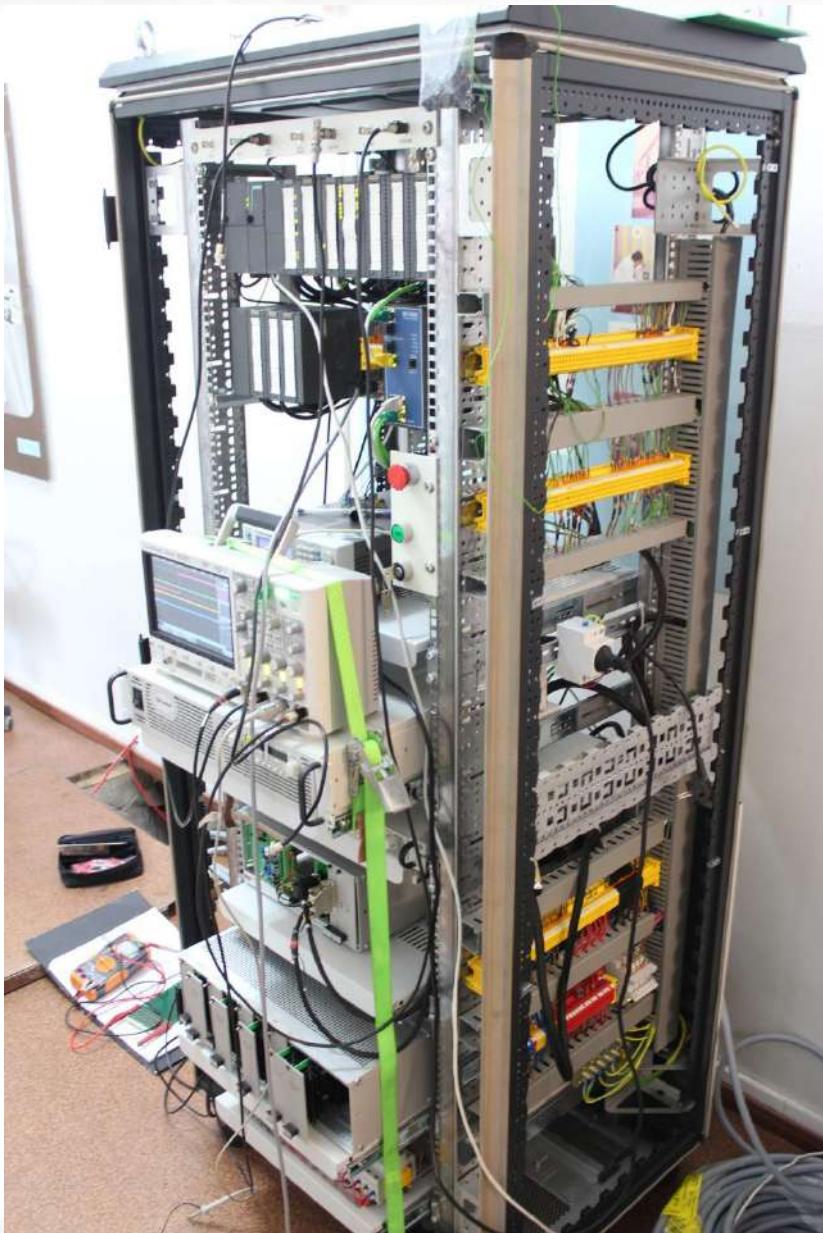
# GBAR – produkcja

$I_{\text{pulse}} = 300\text{mA}$

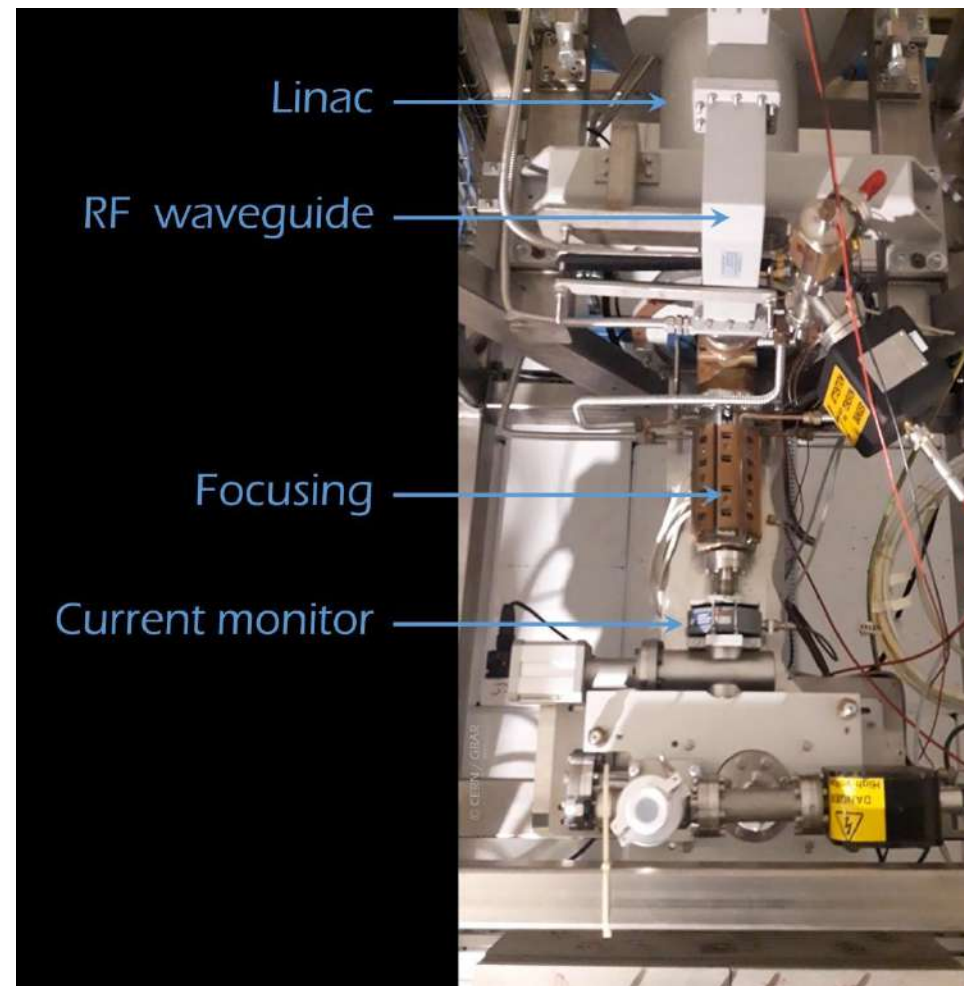
PRR=300Hz







# NCBJ Linac (30kGy/h)



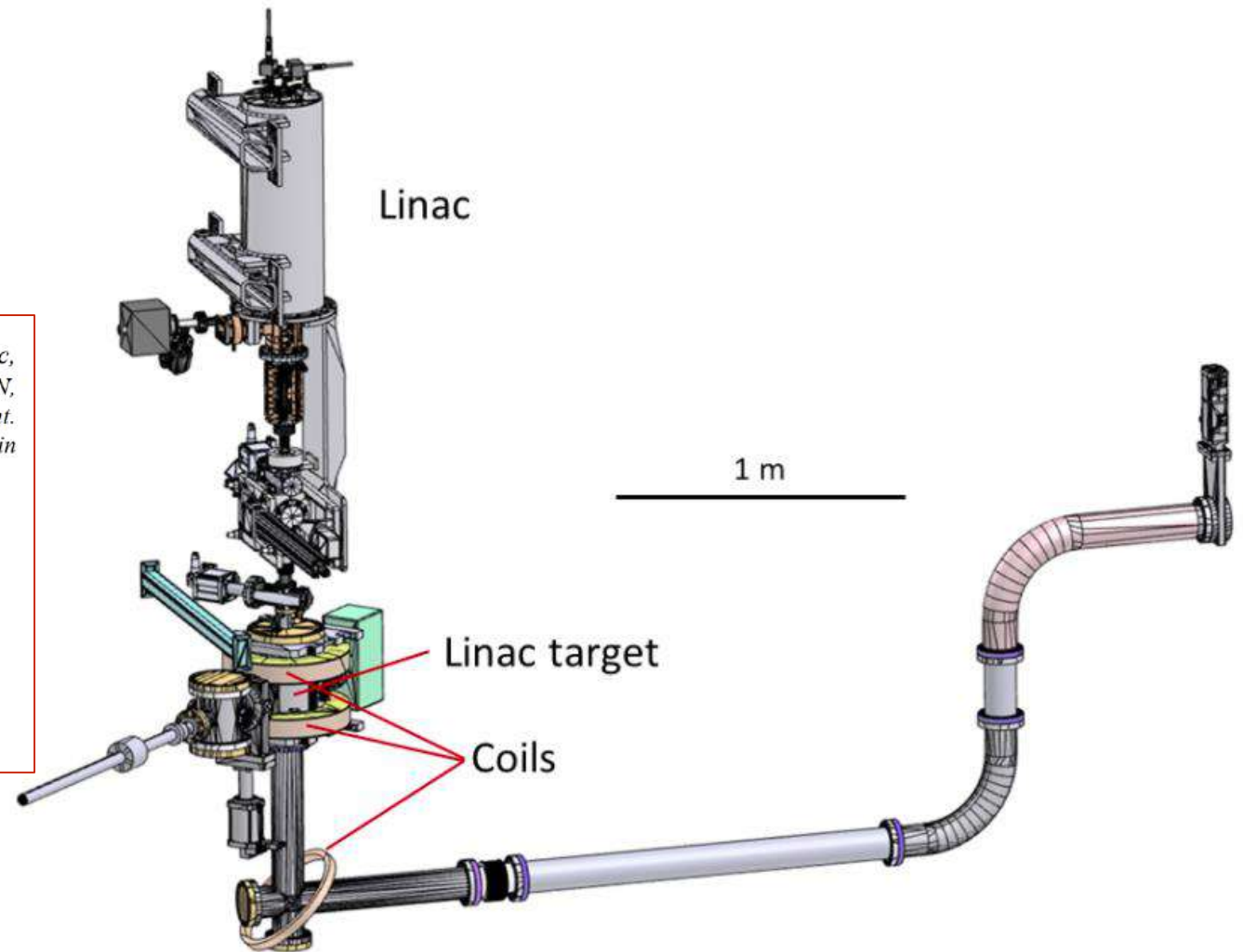
<https://twitter.com/i/status/1332031845136015361>

# GBAR – linia pozytonowa

- Rekord świata 😊

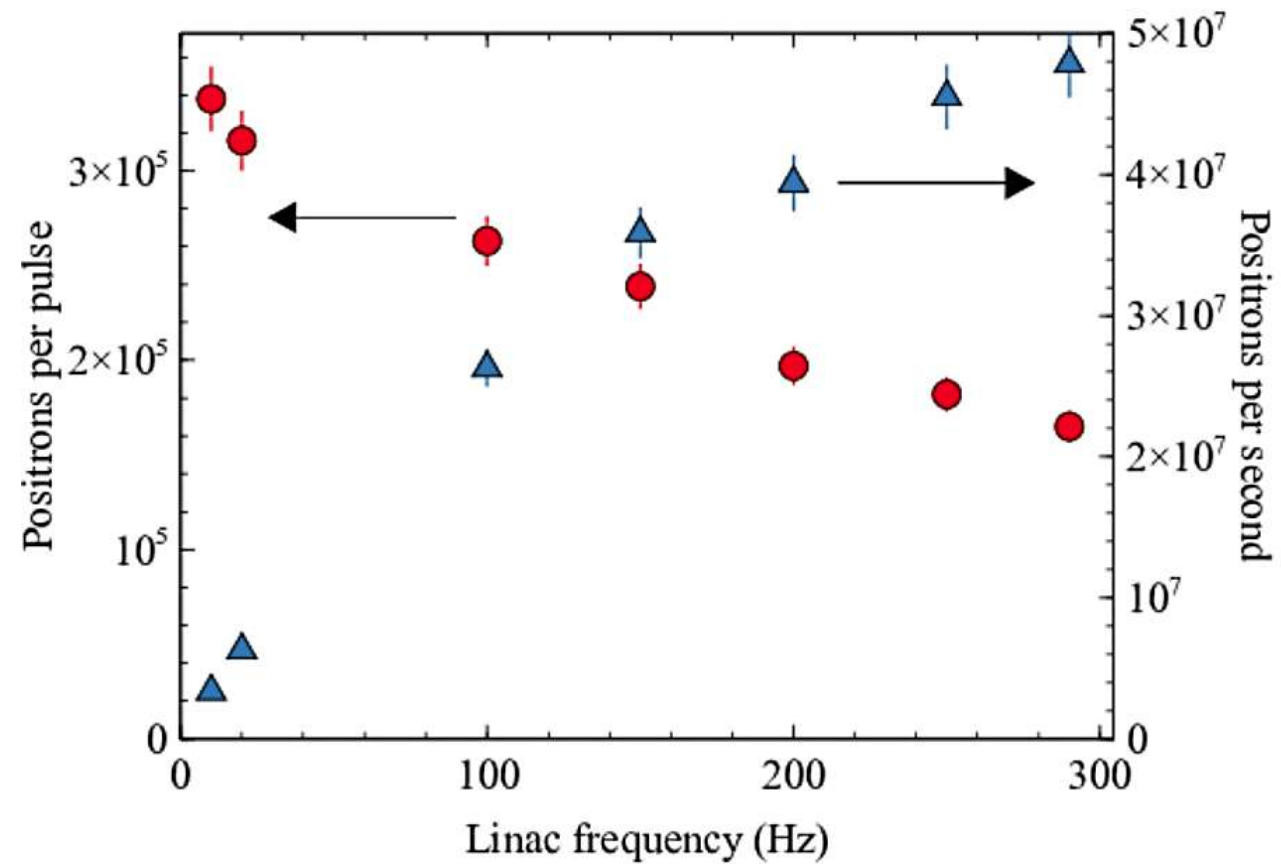
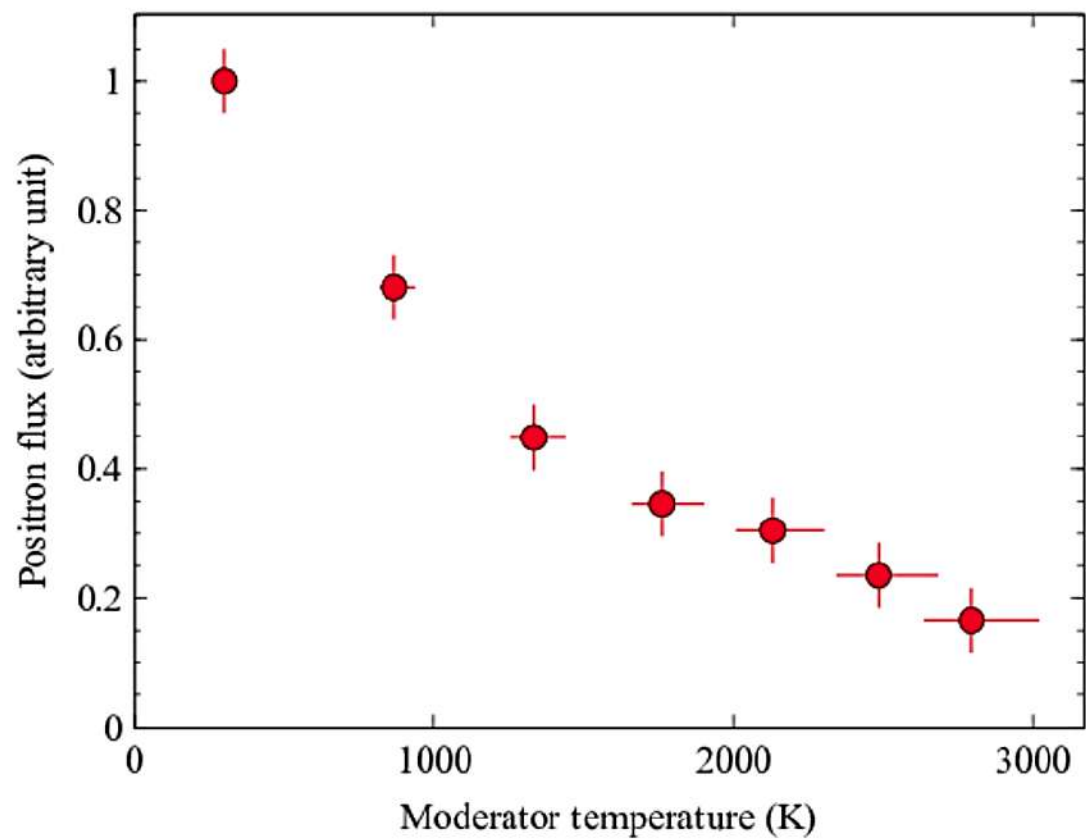
*As spokesperson of the GBAR collaboration at CERN, I hereby confirm that the NCBJ linac, which is one of the major parts of our experiment, has been designed, built, delivered to CERN, installed and integrated with the experimental setup and started to produce beam for the experiment. With this beam, we have already been able to produce positrons and accumulate one billion of them in 20 minutes, which in itself is a world record.*

Patrice Pérez  
GBAR Collaboration Spokesperson



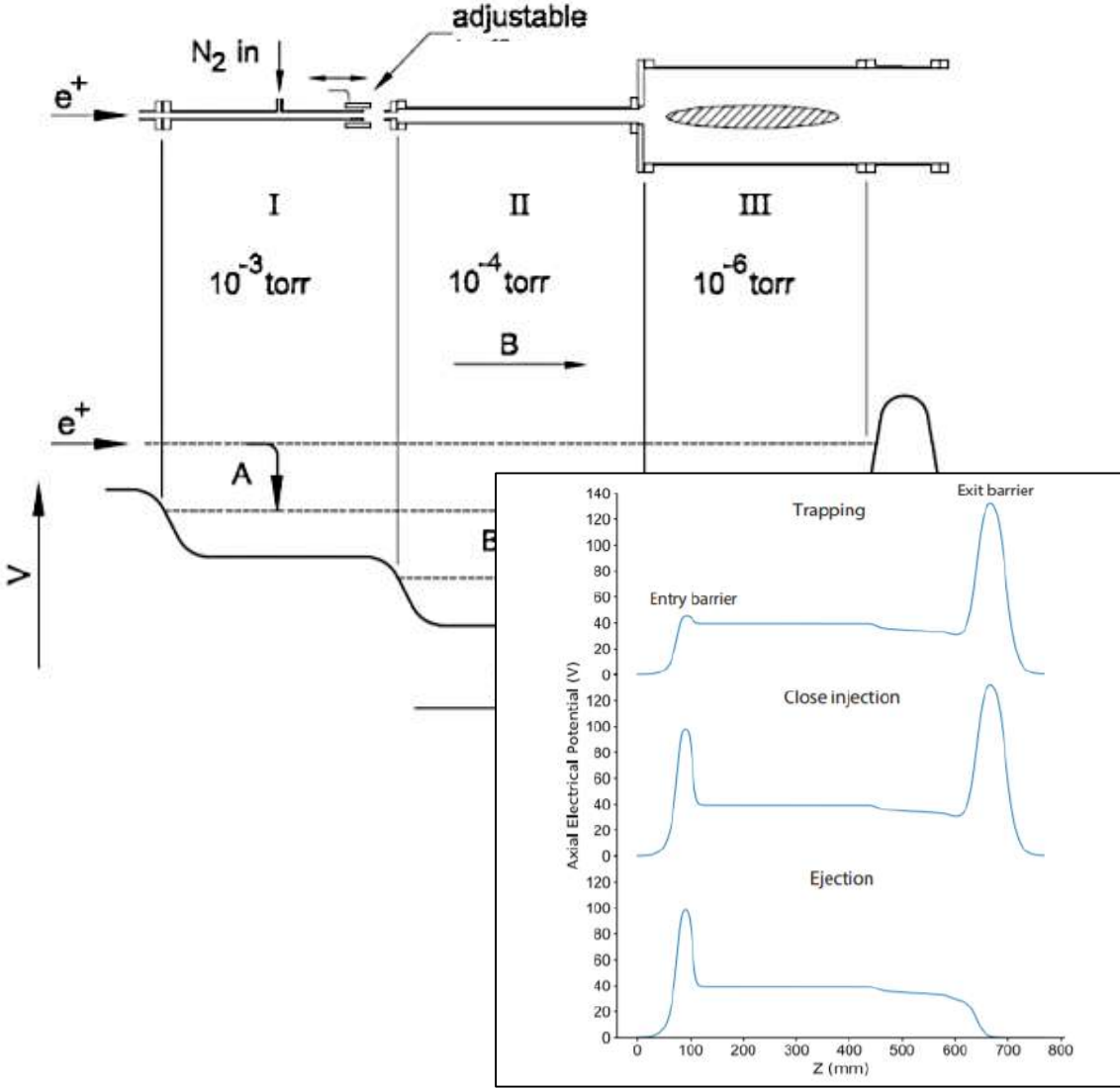
## Positron production using a 9 MeV electron linac for the GBAR experiment

M. Charlton<sup>a</sup>, J. J. Choi<sup>b</sup>, M. Chung<sup>c</sup>, P. Cladé<sup>d</sup>, P. Comini<sup>f</sup>, P-P. Crépin<sup>d</sup>,  
P. Crivelli<sup>g</sup>, O. Dalkarov<sup>h</sup>, P. Debu<sup>f</sup>, L. Dodd<sup>a</sup>, A. Douillet<sup>d,e</sup>,  
S. Guellati-Khélifa<sup>d</sup>, P-A. Hervieux<sup>i</sup>, L. Hilico<sup>d,e</sup>, A. Husson<sup>j,4</sup>,  
P. Indelicato<sup>d</sup>, G. Janka<sup>g</sup>, S. Jonsell<sup>k</sup>, J-P. Karr<sup>d,e</sup>, B. H. Kim<sup>b</sup>, E-S. Kim<sup>l</sup>,  
S. K. Kim<sup>b</sup>, Y. Ko<sup>m</sup>, T. Kosinski<sup>n</sup>, N. Kuroda<sup>o</sup>, B. Latacz<sup>f,2</sup>, H. Lee<sup>b</sup>,  
J. Lee<sup>m</sup>, A. M. M. Leite<sup>f,3</sup>, K. Lévêque<sup>i</sup>, E. Lim<sup>l</sup>, L. Liskay<sup>f,\*</sup>, P. Lotrus<sup>f</sup>,  
T. Louvradoux<sup>d</sup>, D. Lunney<sup>j</sup>, G. Manfredi<sup>i</sup>, B. Mansoulié<sup>f</sup>, M. Matusiak<sup>n</sup>,  
G. Mornacchi<sup>p</sup>, V. V. Nesvizhevsky<sup>q</sup>, F. Nez<sup>d</sup>, S. Niang<sup>f</sup>, R. Nishi<sup>o</sup>,  
S. Nourbaksh<sup>p</sup>, K. H. Park<sup>b</sup>, N. Paul<sup>d</sup>, P. Pérez<sup>f</sup>, S. Procureur<sup>f</sup>, B. Radics<sup>g</sup>,  
C. Regenfus<sup>g</sup>, J-M. Rey<sup>f,1</sup>, J-M. Reymond<sup>f</sup>, S. Reynaud<sup>d</sup>, J-Y. Roussé<sup>f</sup>,  
O. Rousselle<sup>d</sup>, A. Rubbia<sup>g</sup>, J. Rzadkiewicz<sup>n</sup>, Y. Sacquin<sup>f</sup>, F. Schmidt-Kaler<sup>r</sup>,  
M. Staszczak<sup>n</sup>, B. Tuchming<sup>f</sup>, B. Vallage<sup>f</sup>, A. Voronin<sup>h</sup>, A. Welker<sup>p</sup>, D.  
P. van der Werf<sup>a</sup>, S. Wolf<sup>r</sup>, D. Won<sup>b</sup>, S. Wronka<sup>n</sup>, Y. Yamazaki<sup>s</sup>, K-H. Yoo<sup>c</sup>



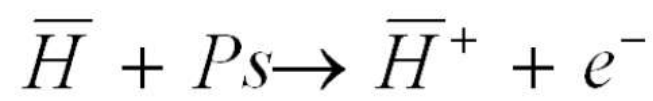
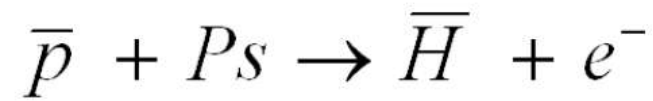
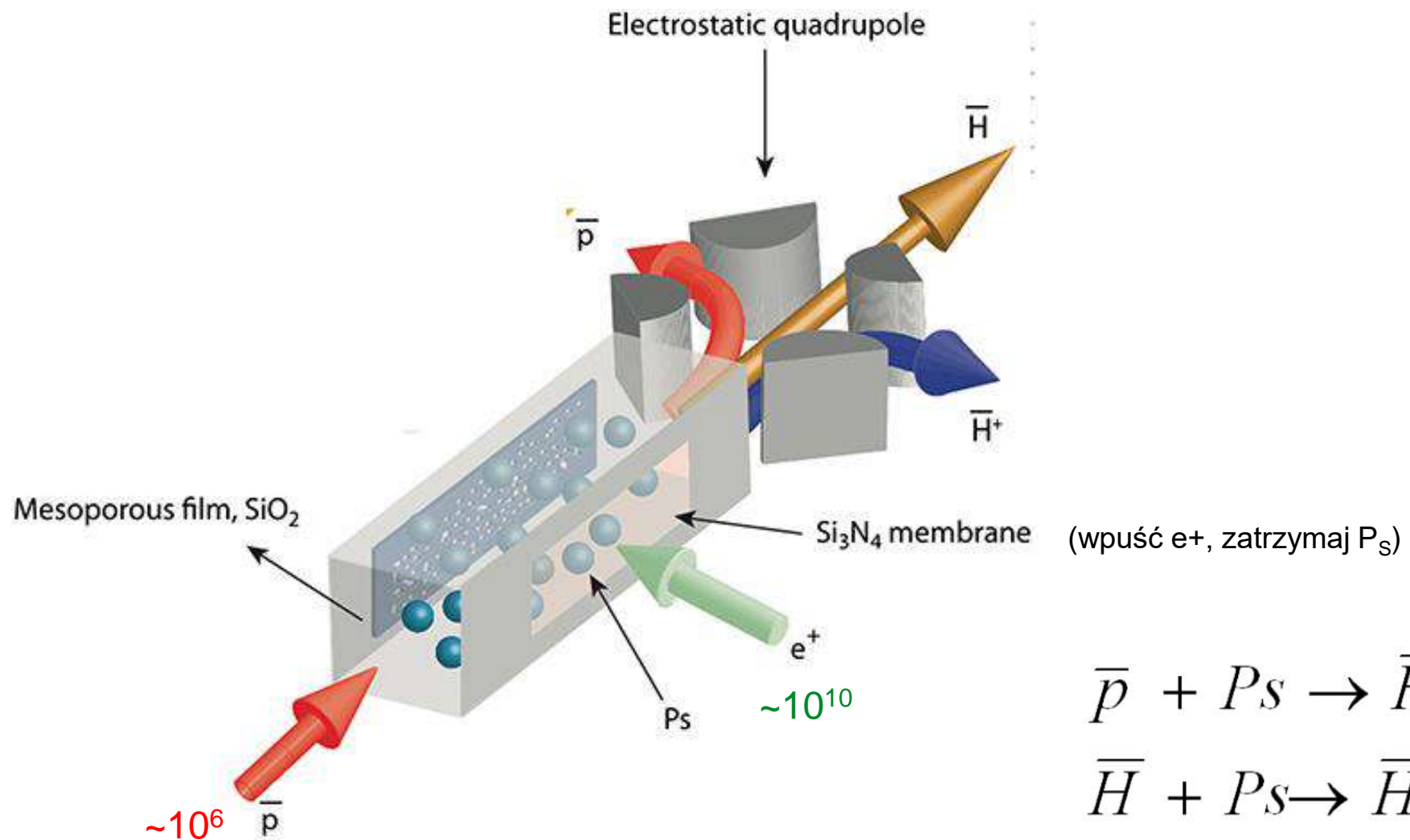
# GBAR – linia pozytonowa

Buffer-gas:  
„Pułapkowanie”  $e^+$



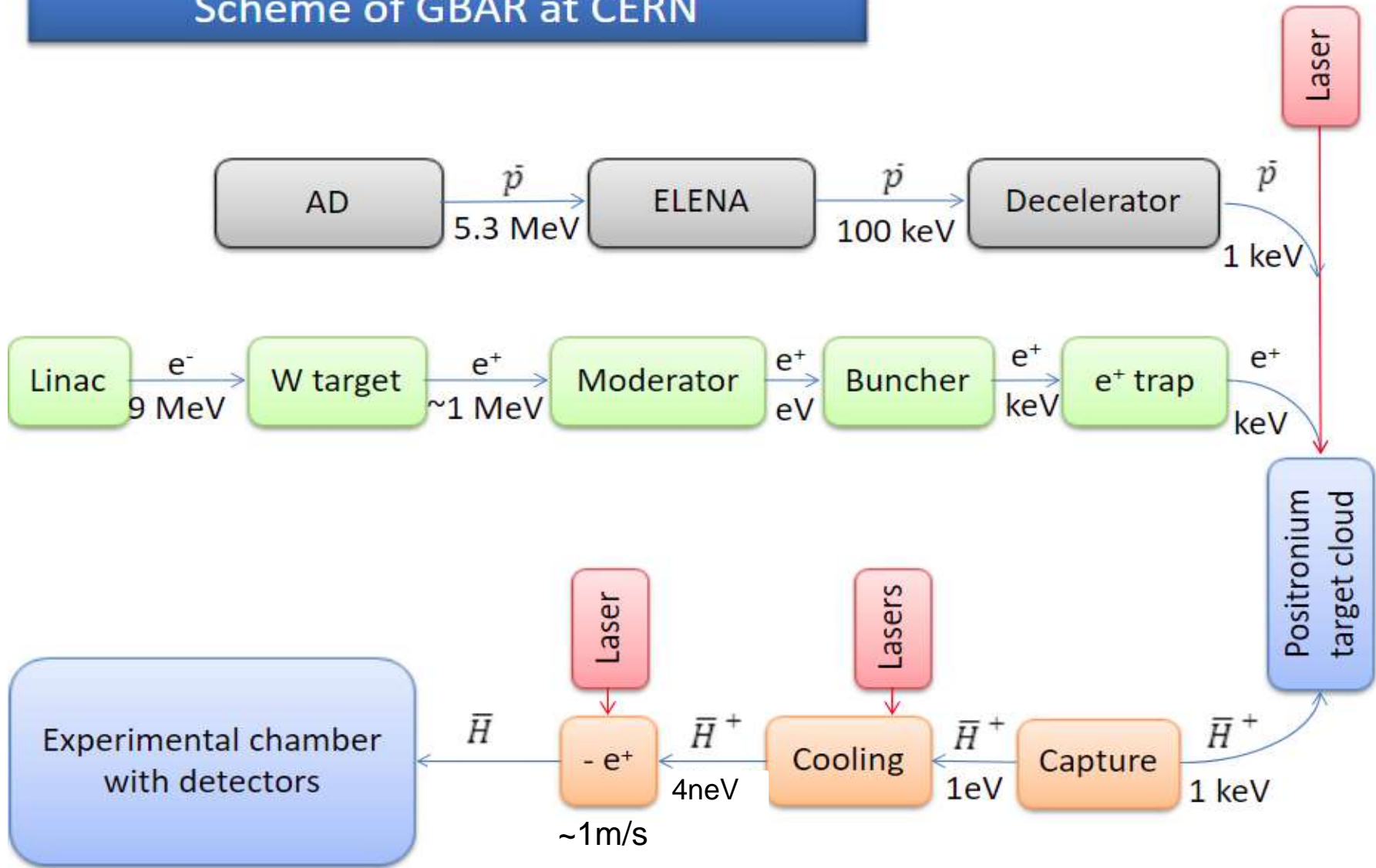
<https://tel.archives-ouvertes.fr/tel-01729186/document>

# GBAR – produkcja antywodoru

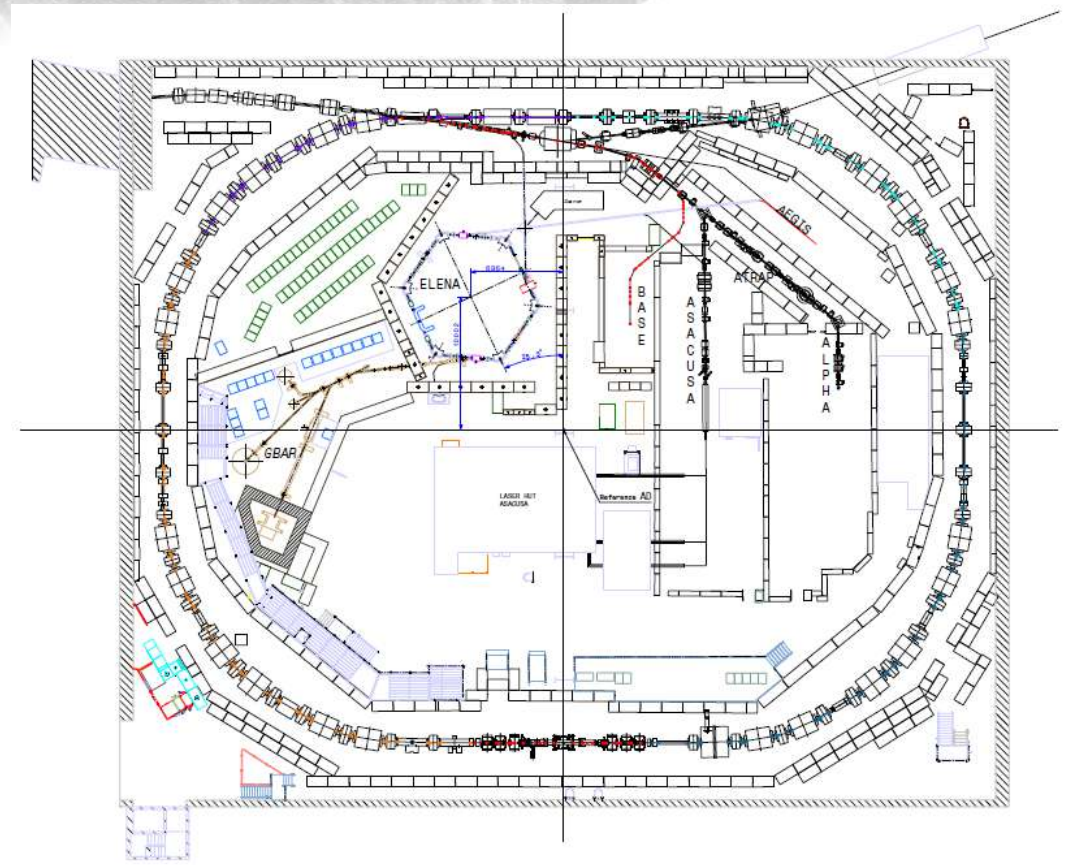
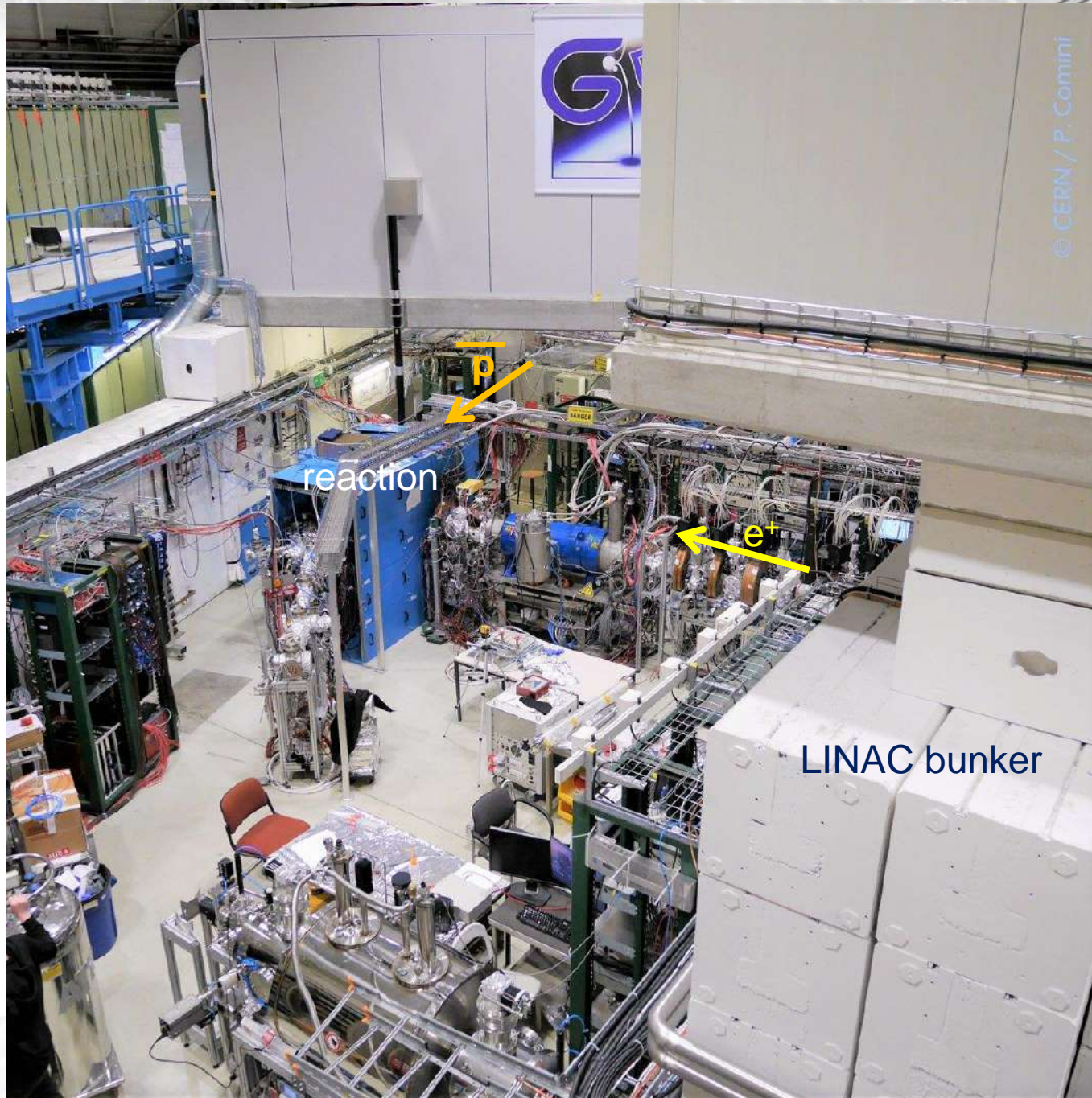


<https://iopscience.iop.org/book/978-0-7503-2021-4/chapter/bk978-0-7503-2021-4ch1>

# Scheme of GBAR at CERN







- Akumulacja i chłodzenie jonów  $\bar{H}^+$
- „Oderwanie” laserem dodatkowego pozytonu.
- Pomiar swobodnego spadku atomu antywodoru.

Zauważmy, że ostatni krok osiąga energie kinetyczne kilku neV, podczas gdy oryginalna wiązka protonów, która tworzy antyprotony w PS, ma 26 GeV, czyli jest to około 19 rzędów wielkości redukcji energii!

## Podsumowanie

- „Kameralny” eksperyment, który obfituje w niezwykle wyzwania techniczne
- Eksperyment „fizyczny” – naprawdę składamy antywodór z „klocków”
- Po prostu... GBAR

Dziękuję za uwagę



NARODOWE  
CENTRUM  
BADAŃ  
JĄDROWYCH  
ŚWIERK

[www.ncbj.gov.pl](http://www.ncbj.gov.pl)

