Instituto de Física 50 ANOS
Universidade Federal do Rio de Janeiro

ALPHA

On the spectrum of antihydrogen: characterization of the 1S-2S transition

Prof. Rodrigo Lage Sacramento

Workshop 10 anos da RENAFAE

São Paulo 30 a 31 de julho de 2018

10 ANOS RENAFAE

Antihydrogen **L**aser **PH**yiscs **A**pparatus

- Cerca de 50 pesquisadores/estudantes de aproximadamente 15 instituições de 7 diferentes países (Brasil, Canadá, Dinamarca, Estados Unidos, Israel, reino Unido e Suécia)

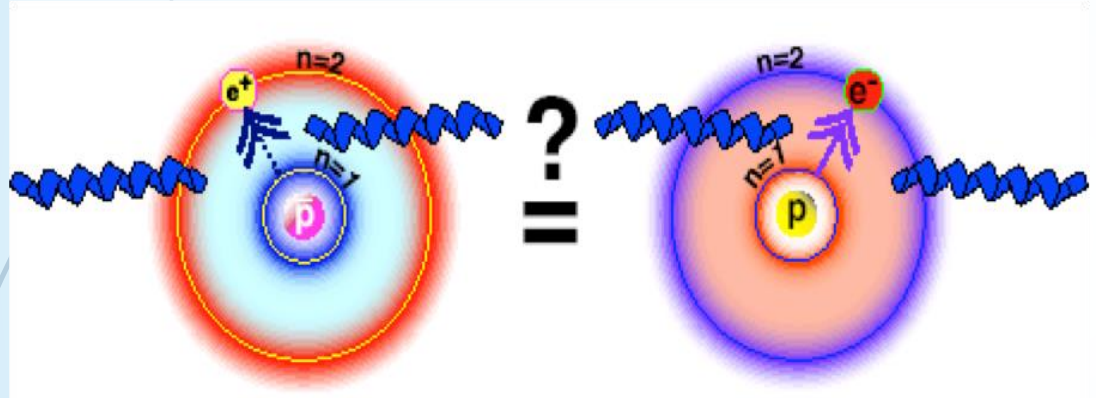
The ALPHA collaboration

Prof. Claudio Lenz Cesar
Prof. Daniel de Miranda Silveira
Prof. Rodrigo Lage Sacramento

Em 10 anos de RENAFAE, o grupo do ALPHA no Brasil triplicou de tamanho!

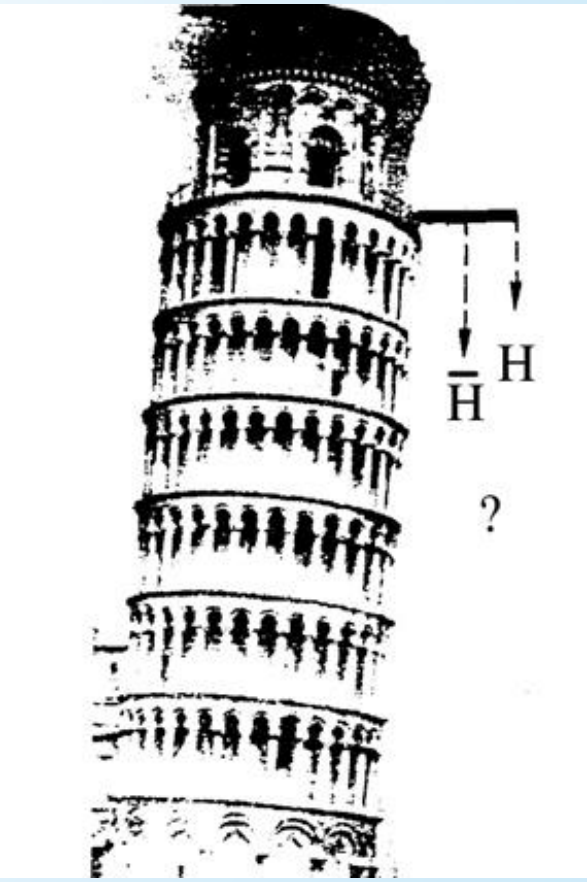
Antihydrogen **L**aser **PH**yiscs **A**pparatus

- Objetivo principal do experimento ALPHA é de realizar estudos espectroscópicos de anti-átomos de hidrogênio confinados em armadilhas magnéticas para comparação com medidas realizadas em hidrogênio.



Antihydrogen ($\bar{\mathrm{H}}$) Hydrogen (H)

- Testes para o Princípio de Equivalência?
- **Antigravidade?**

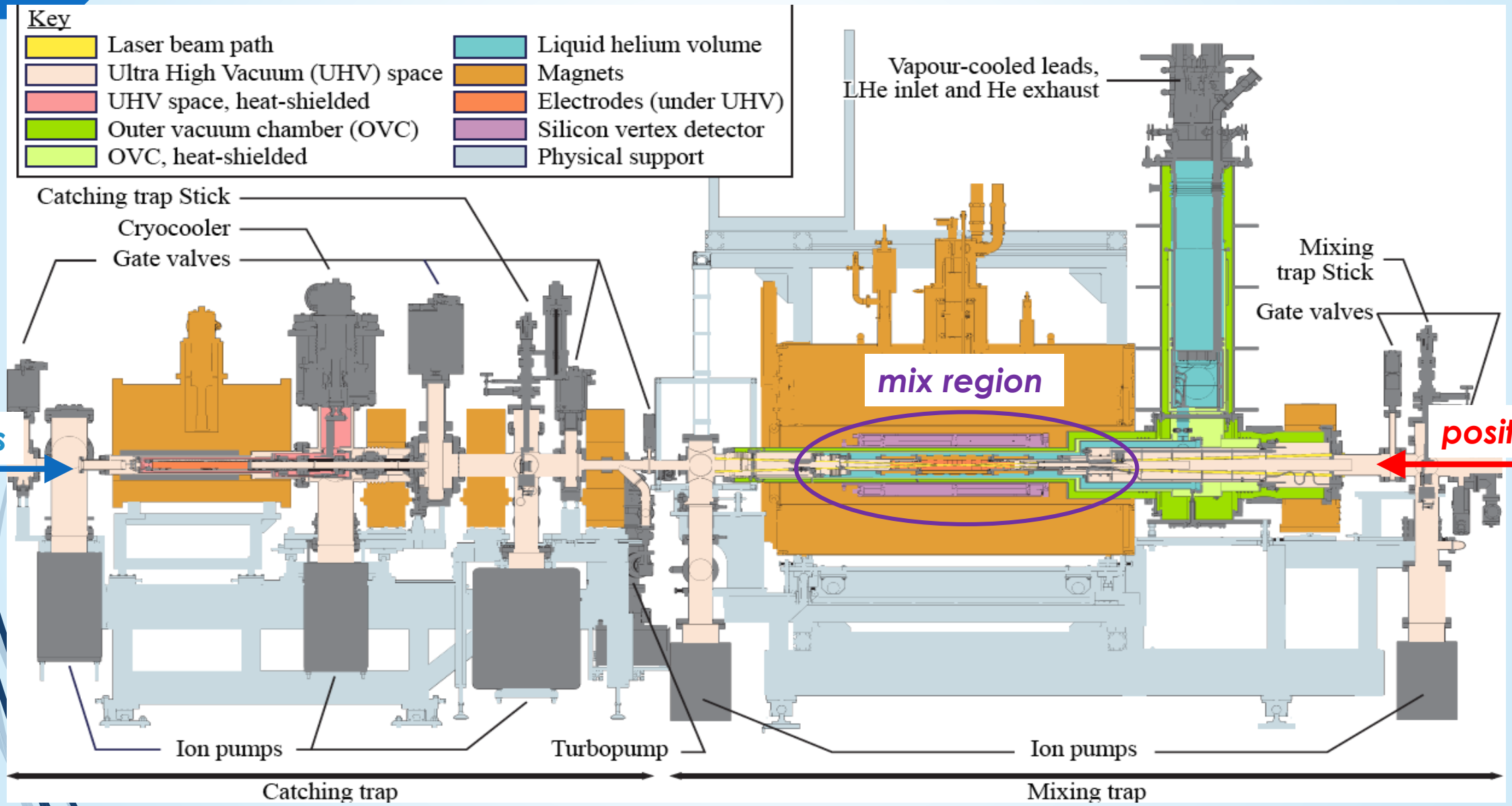


- Preciso teste para procurer quebra de sumetria de CPT: espectrosocopia de ultra alta resolução.

Image source:http://aegis.web.cern.ch

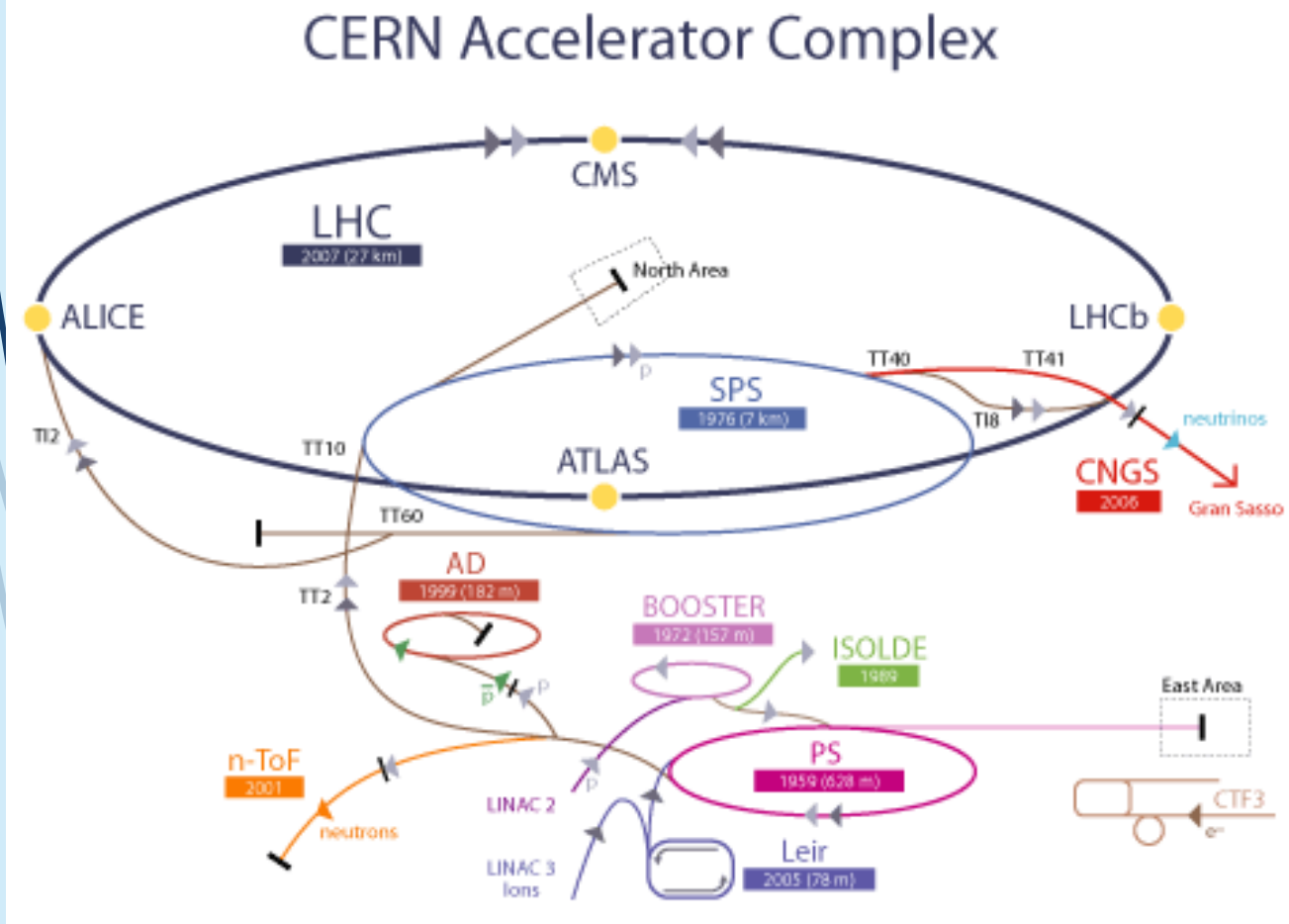
Como produzir antihidrogênio?

Nós temos que misturar antiprotons ($\bar{p}$) com alguns pósitrons (e^+)



Como produzir antihidrogênio?

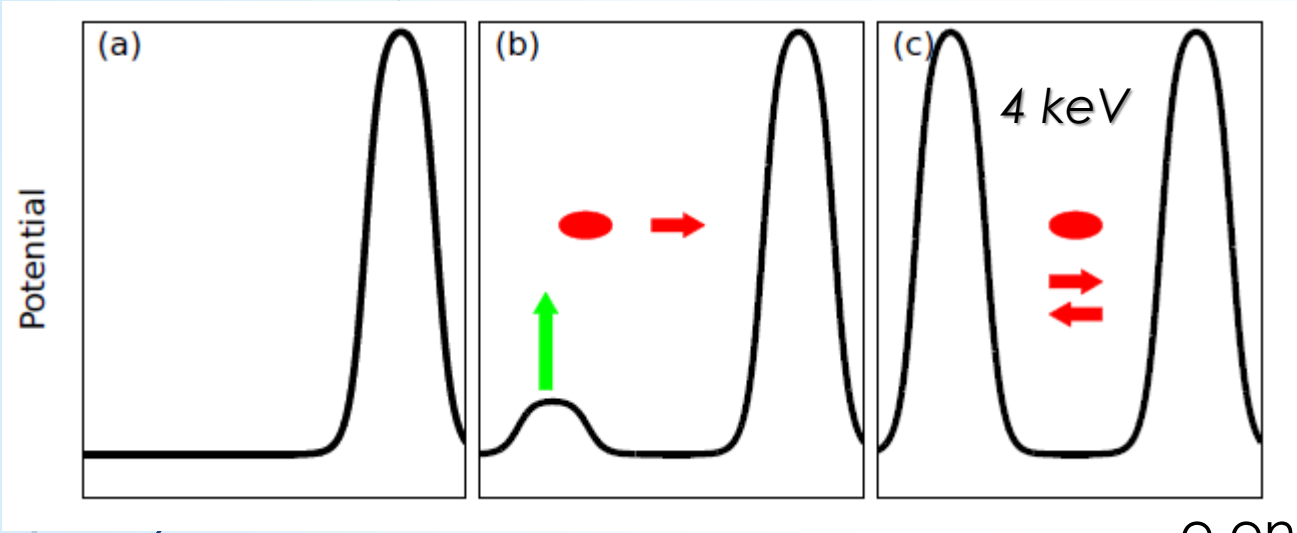
Primeiro precisamos de antiprotons ($\bar{p}$)….



No *Antiproton Decelerator (AD)*- antiprotons são produzidos ~26 GeV, chegam no AD com 3.6 GeV. Chegam para os experimentos com *5.3 MeV* ($n_{\bar{p}}$~$3-4\times10^{7}$) capturados em uma armadilha de Penning com *4 keV*

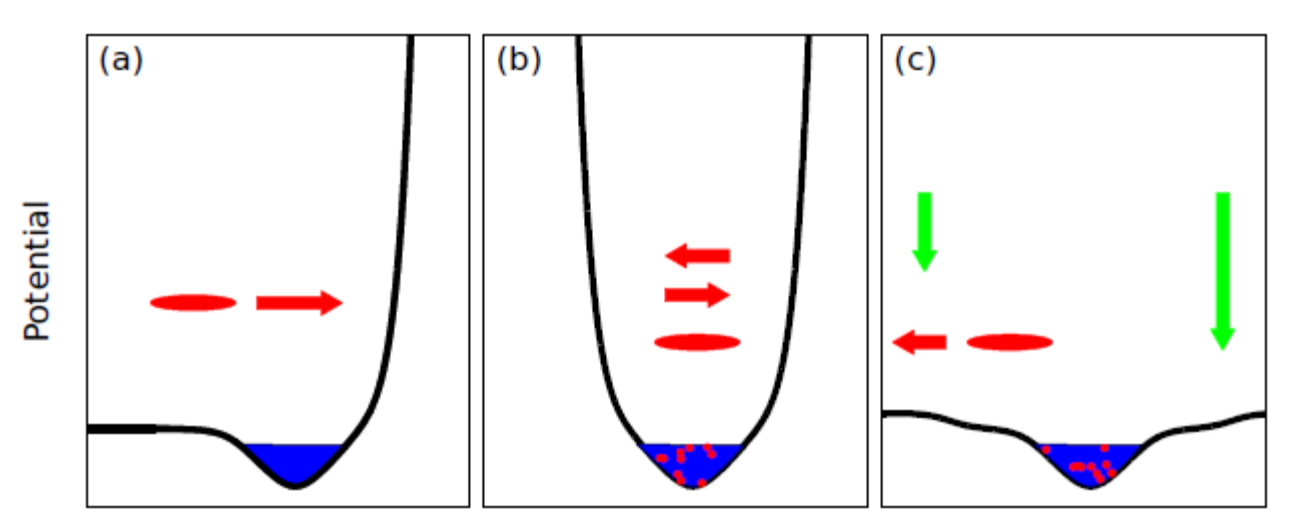
Como produzir antihidrogênio?

Os ($\bar{p}$) são aprisionados…



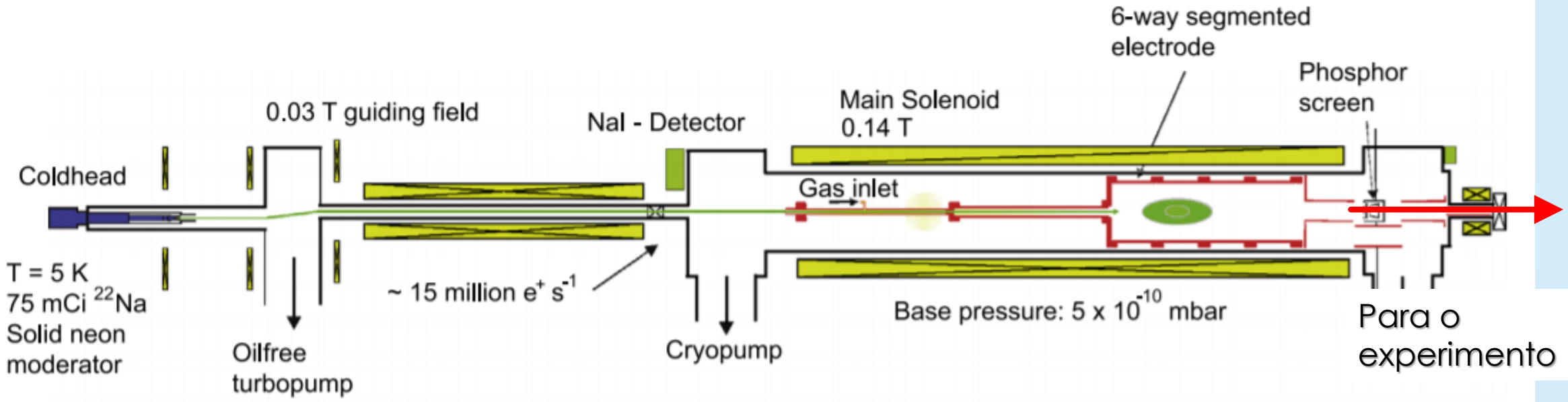
A pequena nuvem ($\bar{p}$) com temperatura em torno de centenas de Kelvin são então utilizados para produzir $\bar{H}$

…e então resfriados.



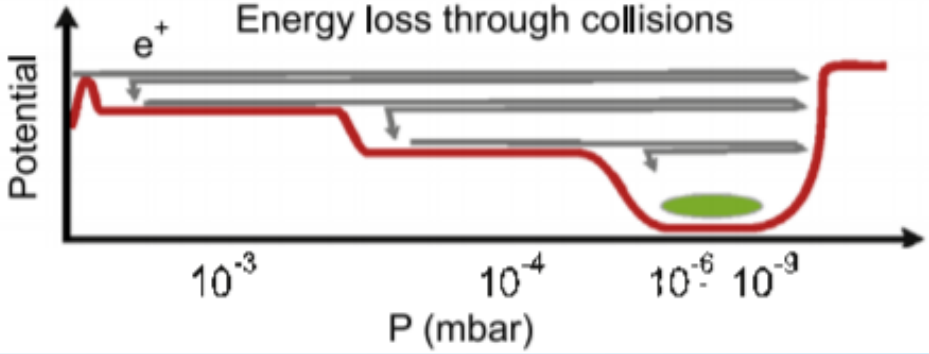
Como produzir antihidrogênio?

Segundo nós precisamos de alguns positrons (e^+)…



Para o experimento

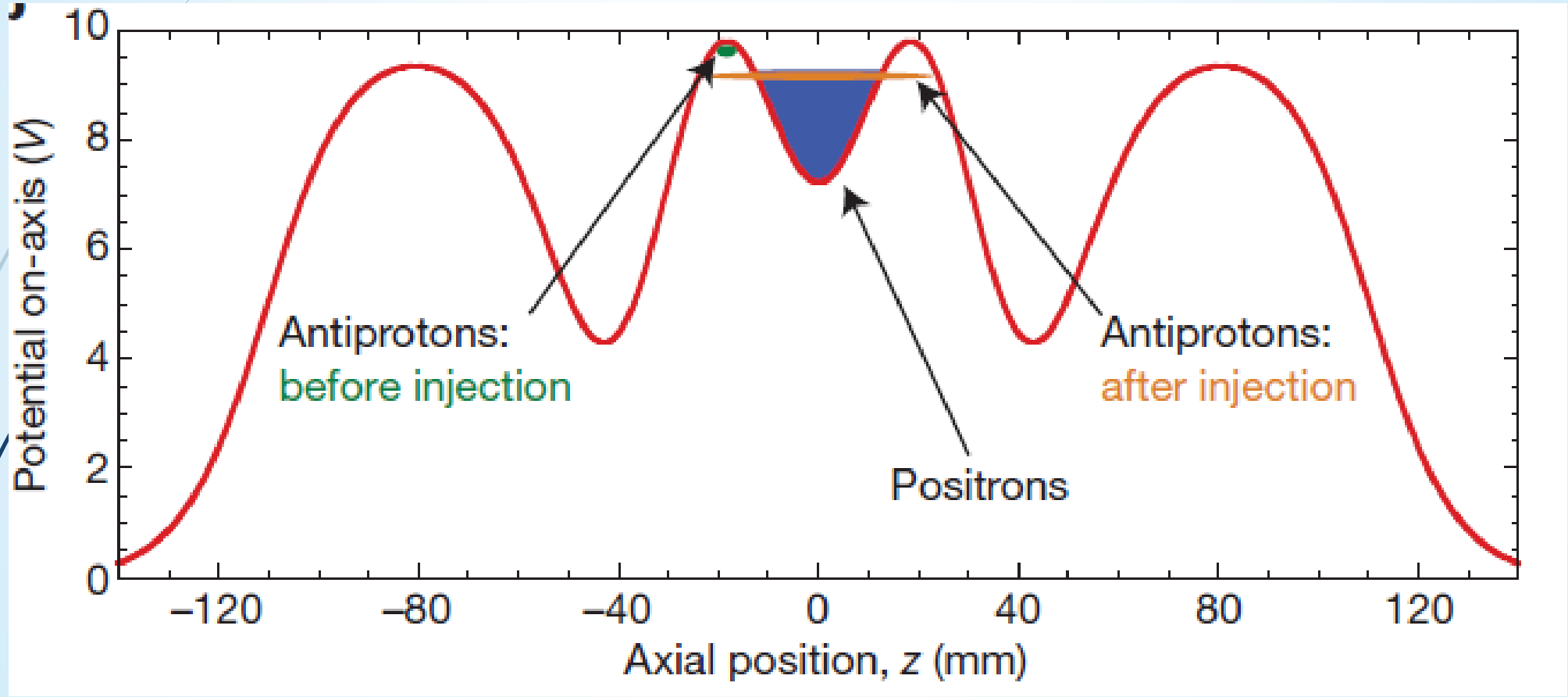
$$^{22}_{11}\mathrm{Na} \rightarrow {}^{22}_{10}\mathrm{Ne} + {}^{0}_{1}e^{+} + \nu_e.$$



Meia-vida cerca de 2,6 anos

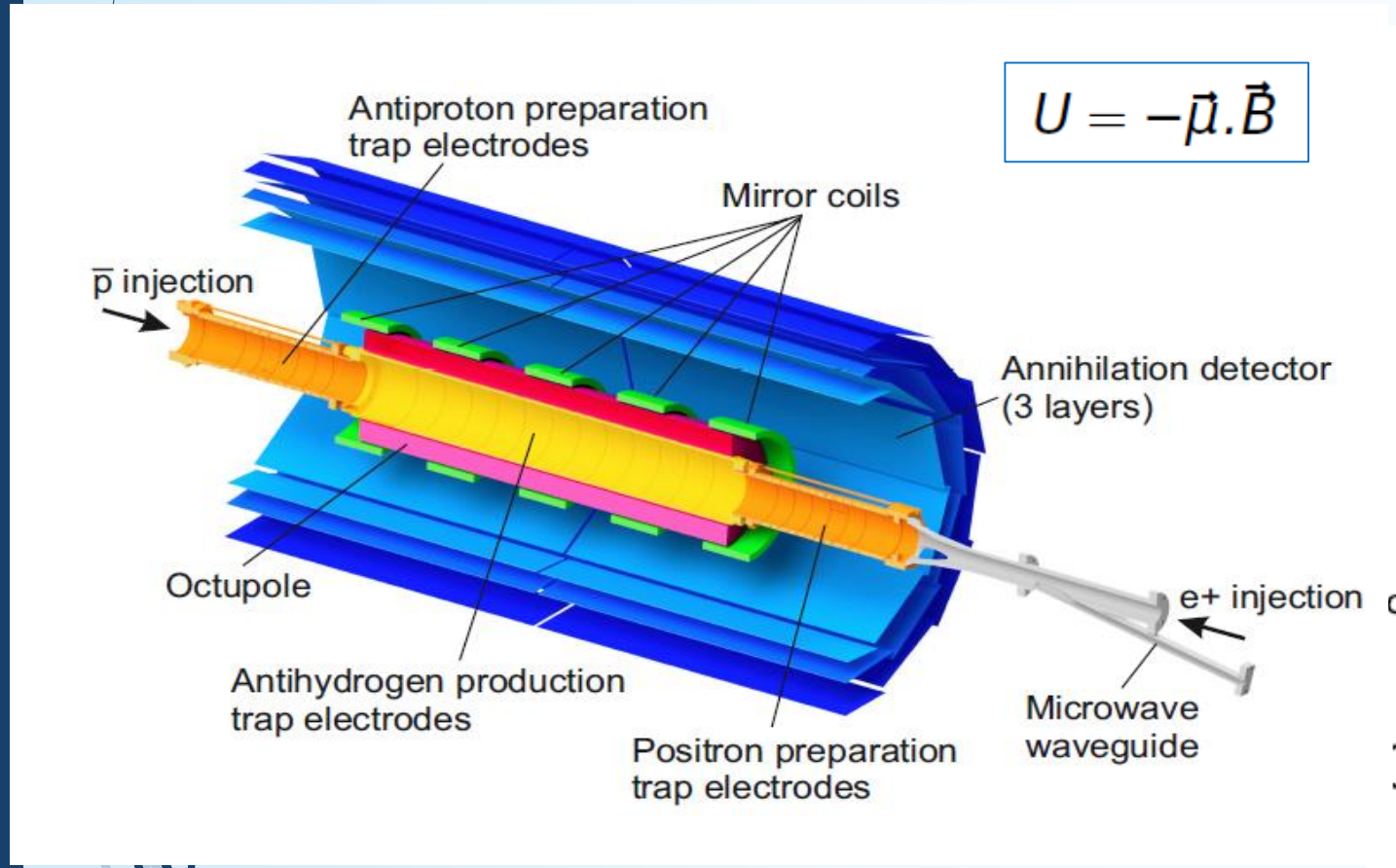
Como produzir antihidrogênio?

Misturamos todos por cerca 1 ms – Zoom na região de mistura

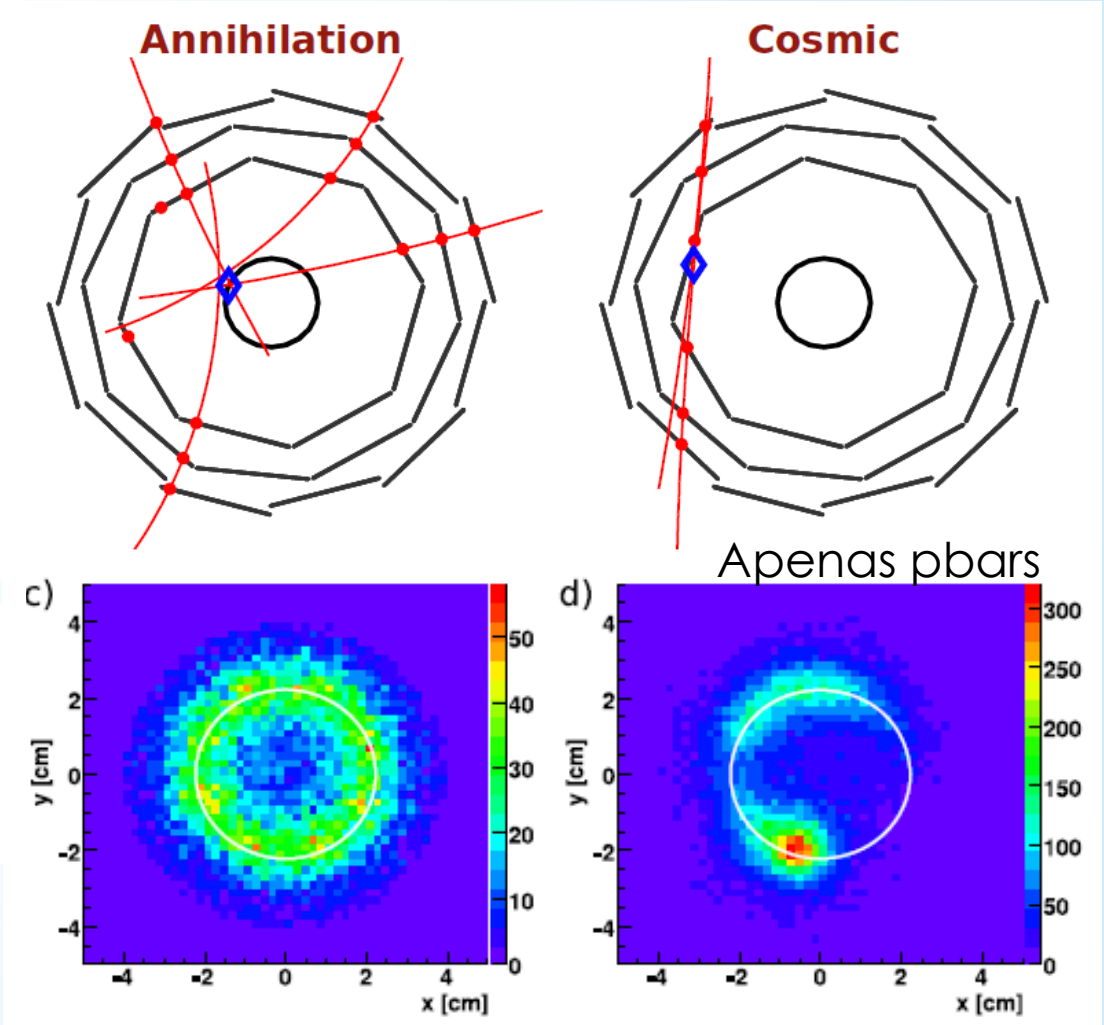


Como produzir antihidrogênio?

Misturamos todos por cerca 1 ms – Zoom na região de mistura

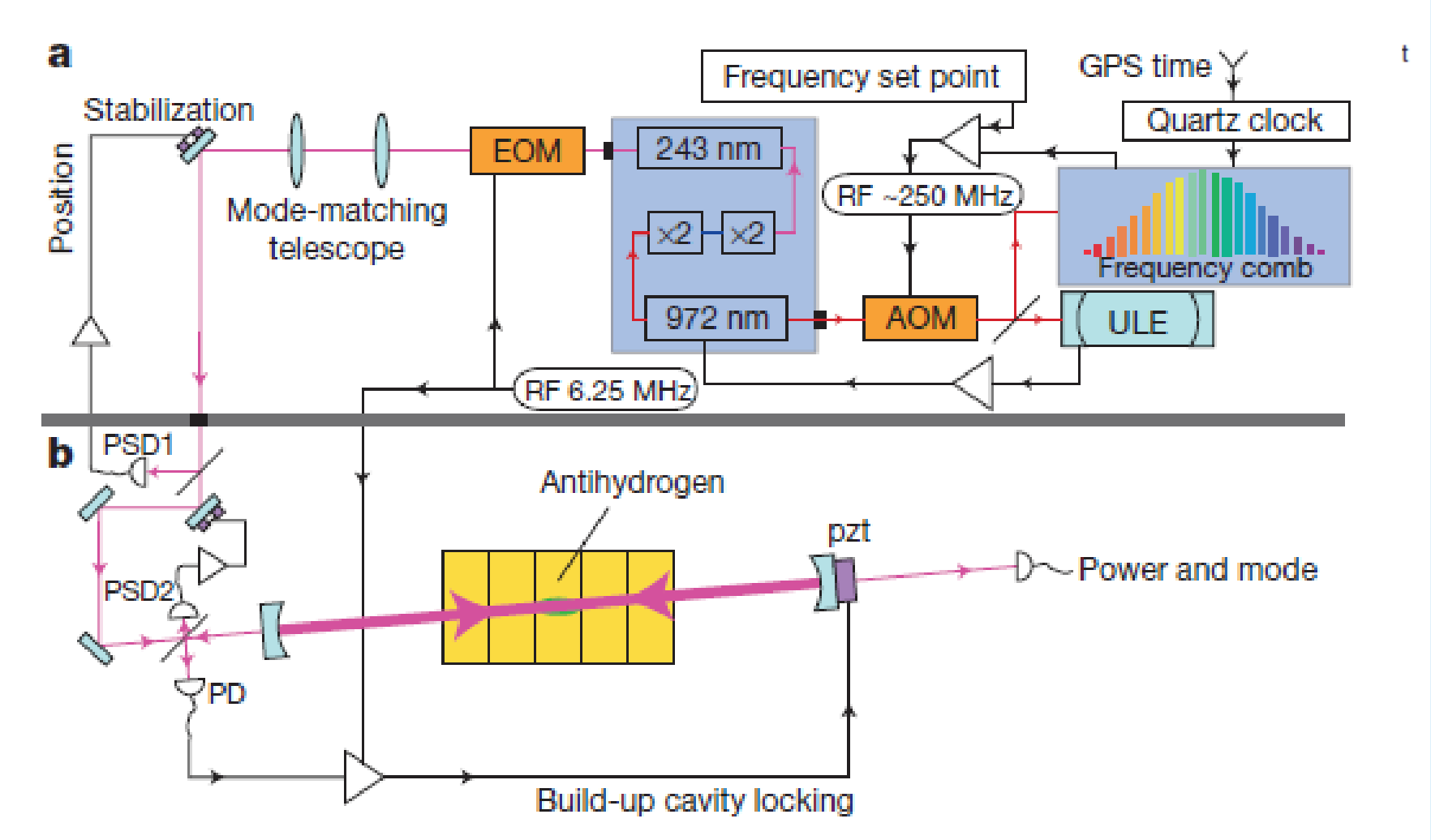


$$U = -\vec{\mu}.\vec{B}$$



E a espectroscopia?

Novo aparato foi construído em 2012 (ALPHA-2), agora com acesso ótico



Desafio é manter uma cavidade nessas condições!

Observation of the 1S–2S transition in trapped antihydrogen
Nature, Vol 546, p 506 (2017) doi:10.1038/nature21040

E a espectroscopia?

(2017)

LETTER A primeira linha spectral de um anti-átomo

OPEN

https://doi.org/10.1038/s41586-018-0017-2

Characterization of the 1S–2S transition in antihydrogen

M. Ahmadi[1], B. X. R. Alves[2], C. J. Baker[3], W. Bertsche[4,5], A. Capra[6], C. Carruth[7], C. L. Cesar[8], M. Charlton[3], S. Cohen[9], R. Collister[6], S. Eriksson[3], A. Evans[10], N. Evetts[11], J. Fajans[7], T. Friesen[2], M. C. Fujiwara[6], D. R. Gill[6], J. S. Hangst[2]*, W. N. Hardy[11], M. E. Hayden[12], C. A. Isaac[3], M. A. Johnson[4,5], J. M. Jones[3], S. A. Jones[2,3], S. Jonsell[13], A. Khramov[6], P. Knapp[3], L. Kurchaninov[6], N. Madsen[3], D. Maxwell[3], J. T. K. McKenna[6], S. Menary[14], T. Momose[11], J. J. Munich[12], K. Olchanski[6], A. Olin[6,15], P. Pusa[1], C. Ø. Rasmussen[2], F. Robicheaux[16], R. L. Sacramento[8], M. Sameed[3,4], E. Sarid[17], D. M. Silveira[8], G. Stutter[2], C. So[10], T. D. Tharp[18], R. I. Thompson[10], D. P. van der Werf[3,19] & J. S. Wurtele[7]

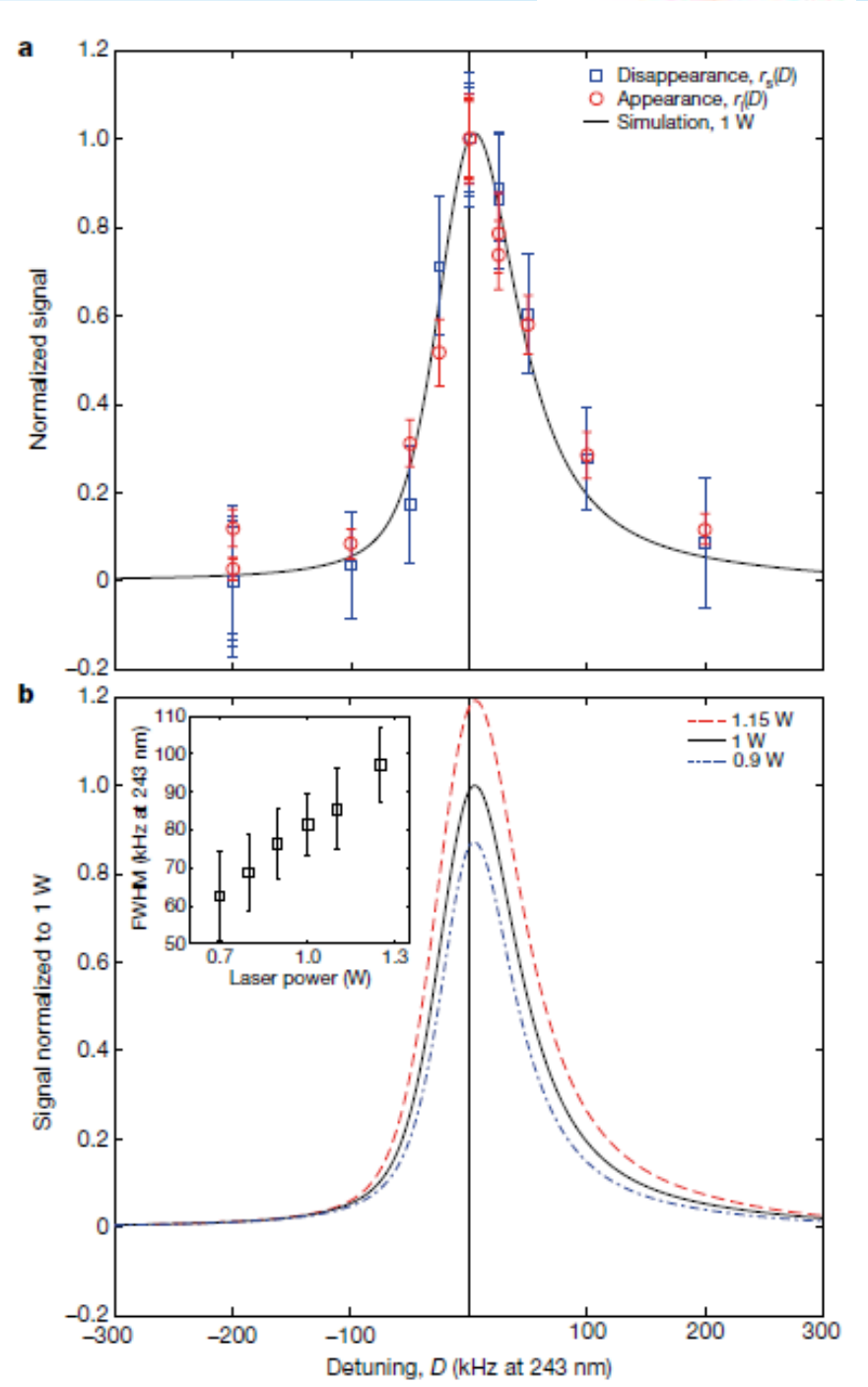
Nossa medida:

$$f_{\mathrm{d-d}} = 2{,}466{,}061{,}103{,}079.4(5.4)\ \mathrm{kHz}$$

Precisão de 2×10^{-12}!

O valor calculado para H nas mesmas condições:

$$f_{\mathrm{d-d}} = 2{,}466{,}061{,}103{,}080.3(0.6)\ \mathrm{kHz}$$



E a espectroscopia?

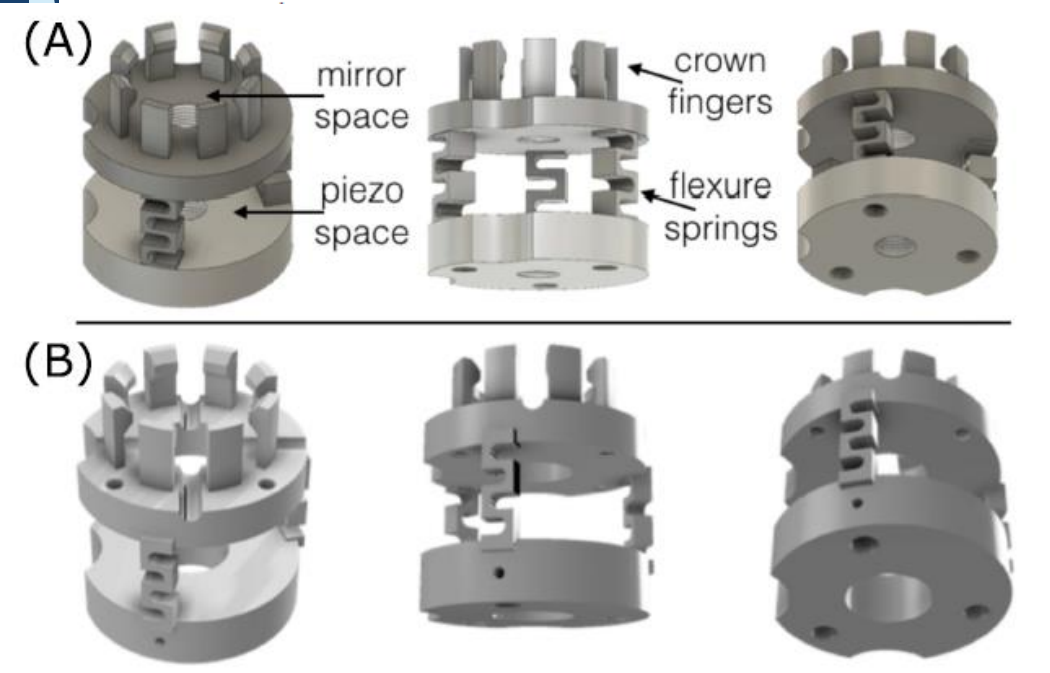
(2017)

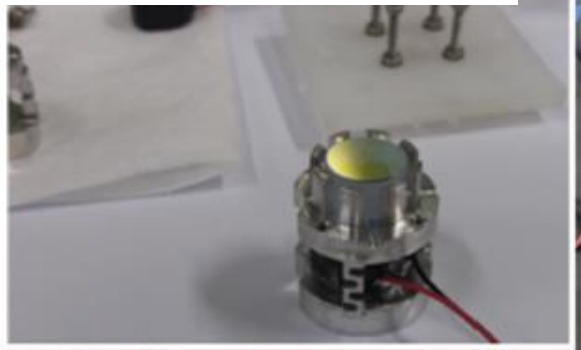
Grande estabilidade do sistema, cerca de 3 meses de medidas... Grande robustez de todo o aparato... Incluindo a cavidade ressoante!

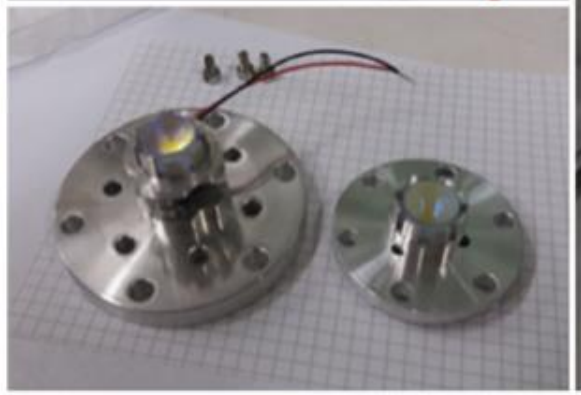
REVIEW OF SCIENTIFIC INSTRUMENTS **88**, 063104 (2017)

Cryogenic mount for mirror and piezoelectric actuator for an optical cavity

A. N. Oliveira,[1,2] L. S. Moreira,[1] R. L. Sacramento,[1] L. Kosulic,[3] V. B. Brasil,[1] W. Wolff,[1] and C. L. Cesar[1]

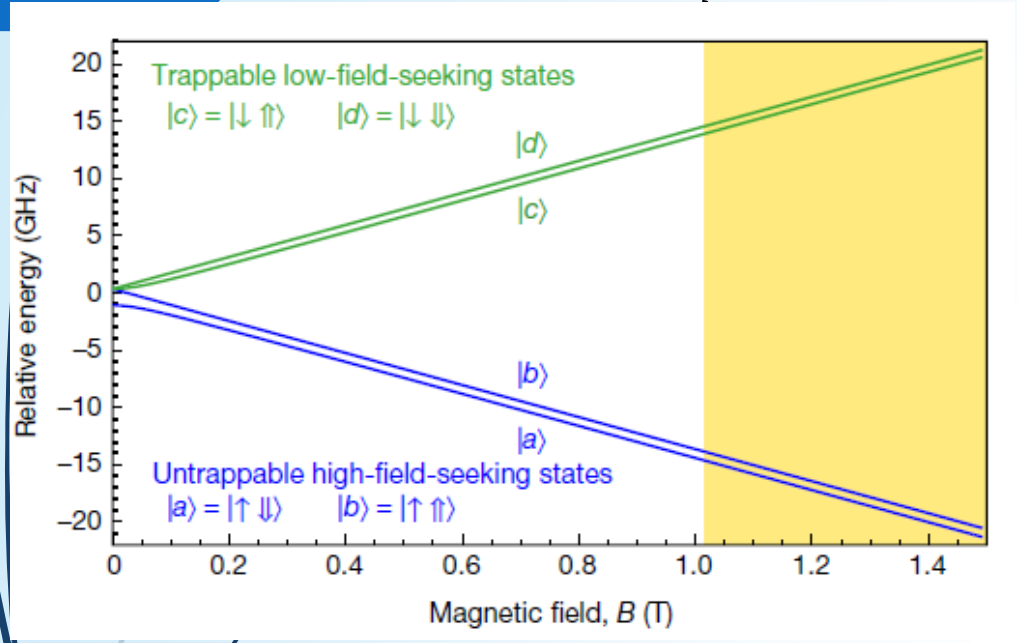


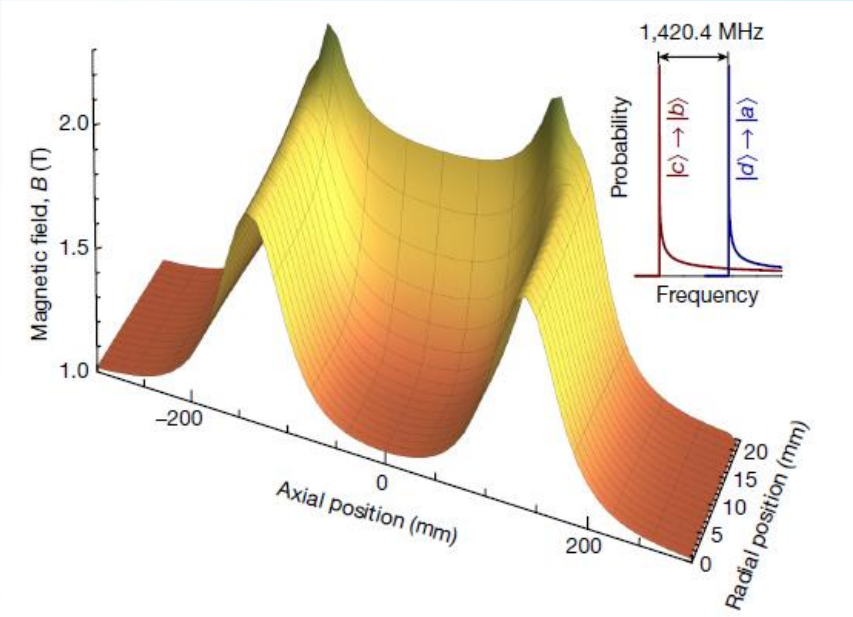




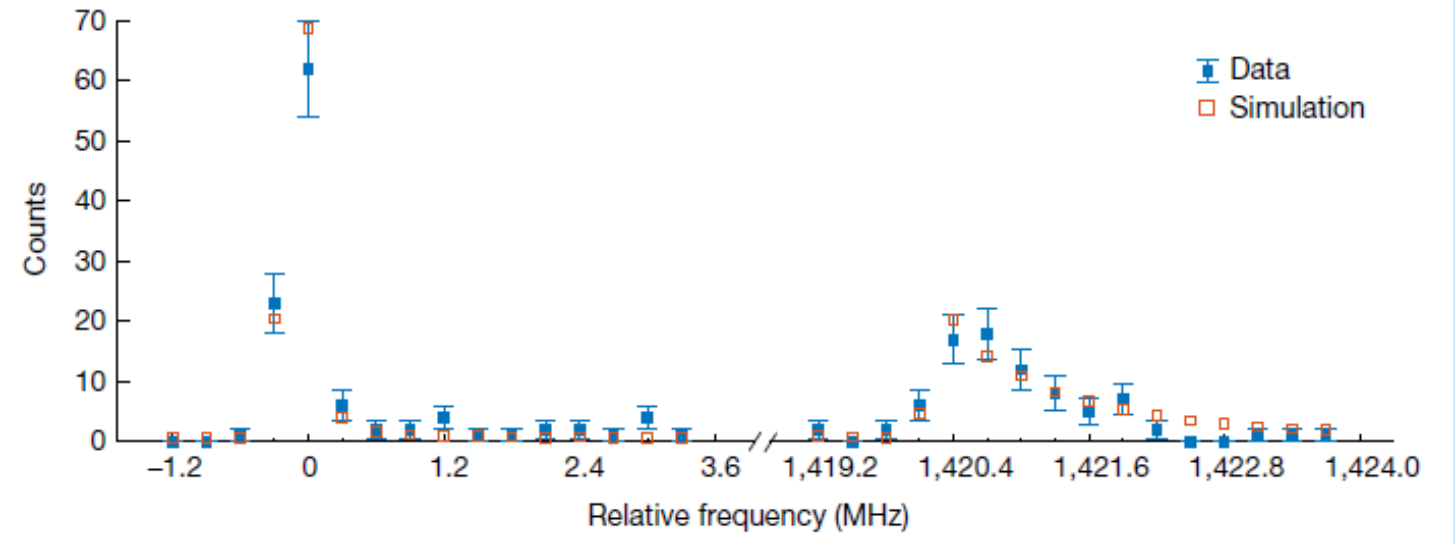
E o que mais?

Primeira observação de linhas espectrais utilizando microondas

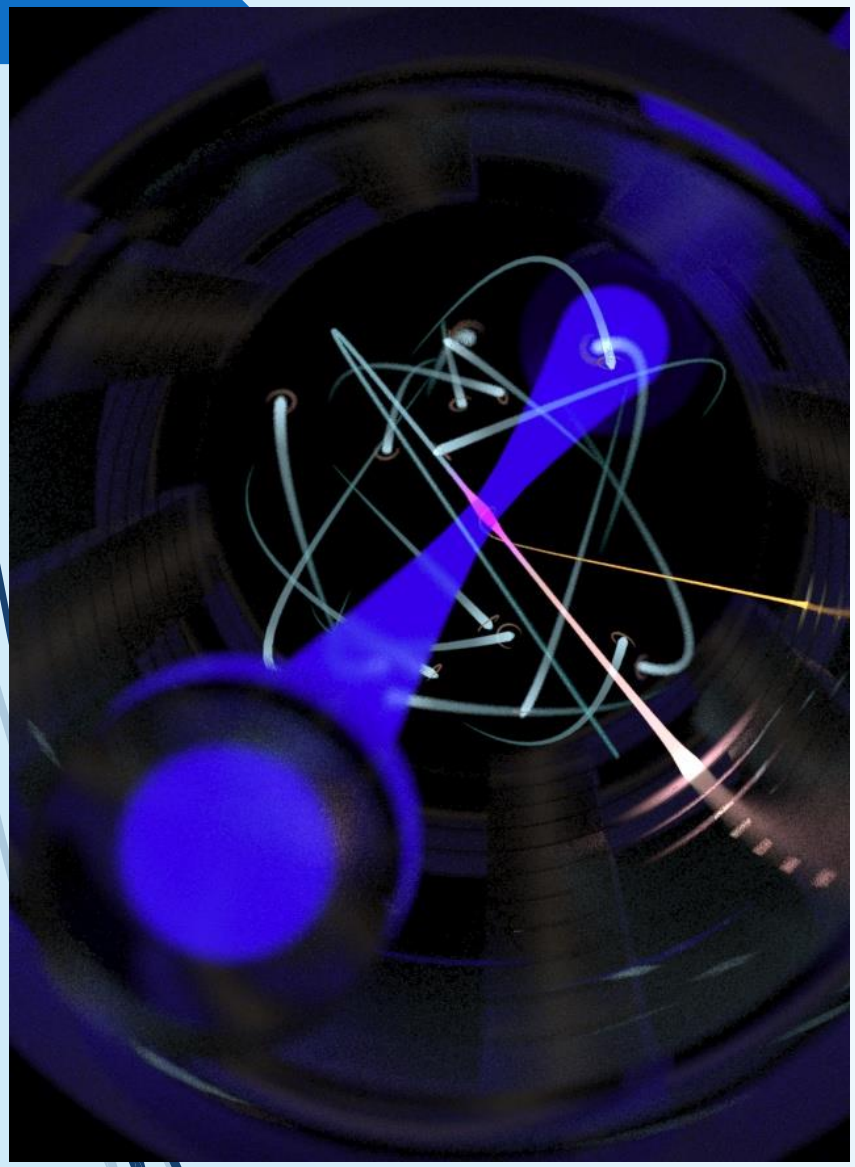




Observation of the hyperfine spectrum of antihydrogen
Nature, Vol 548, p 66 (2017)
doi:10.1038/nature23446



Conclusão e Perspectivas

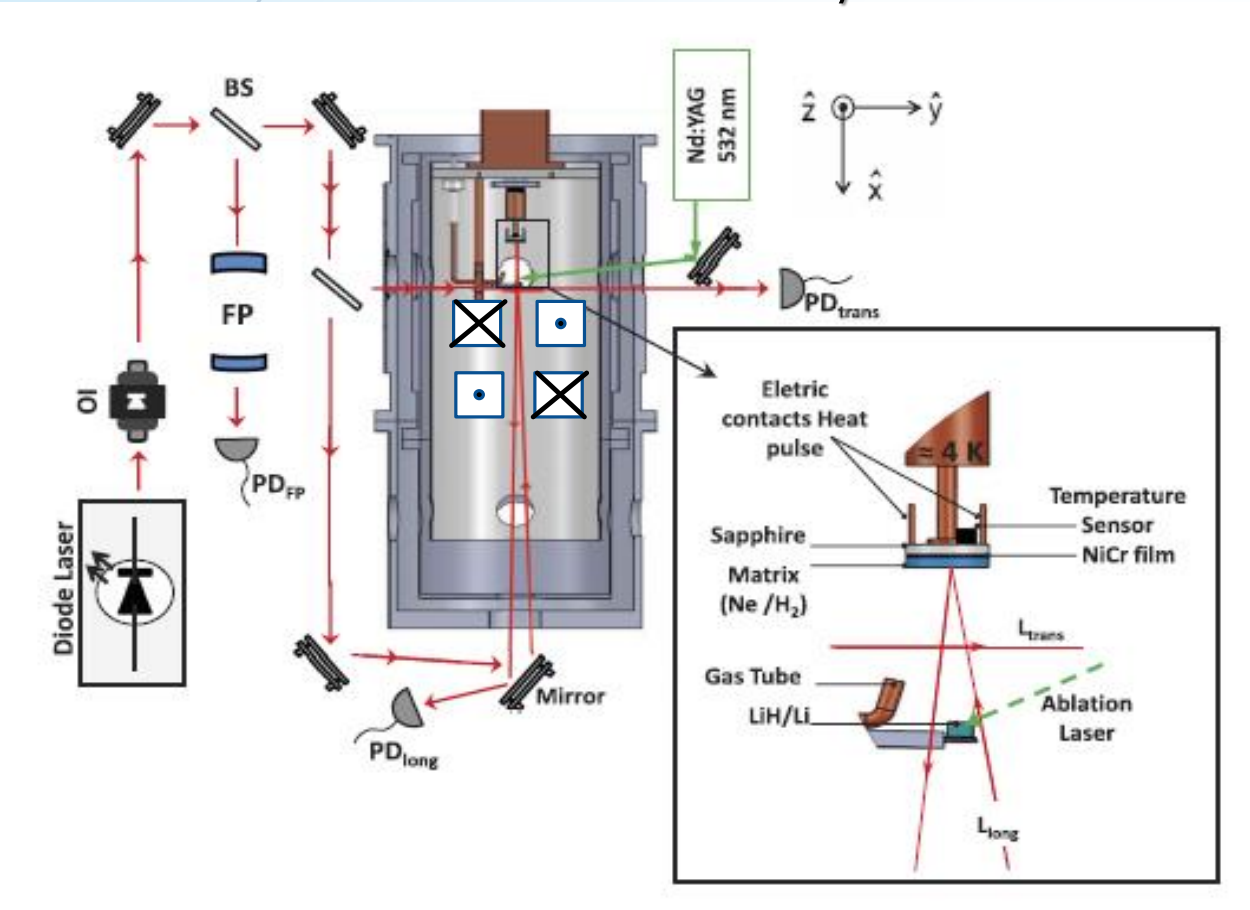


- ✓ Primeira observação da interação de um antí-átomo e radiação laser
- ✓ Primeira medida de uma linha spectral em antimatérias
- ✓ Melhora significative na taxa de aprisionamento

Como aumentar a precisão desta medida?

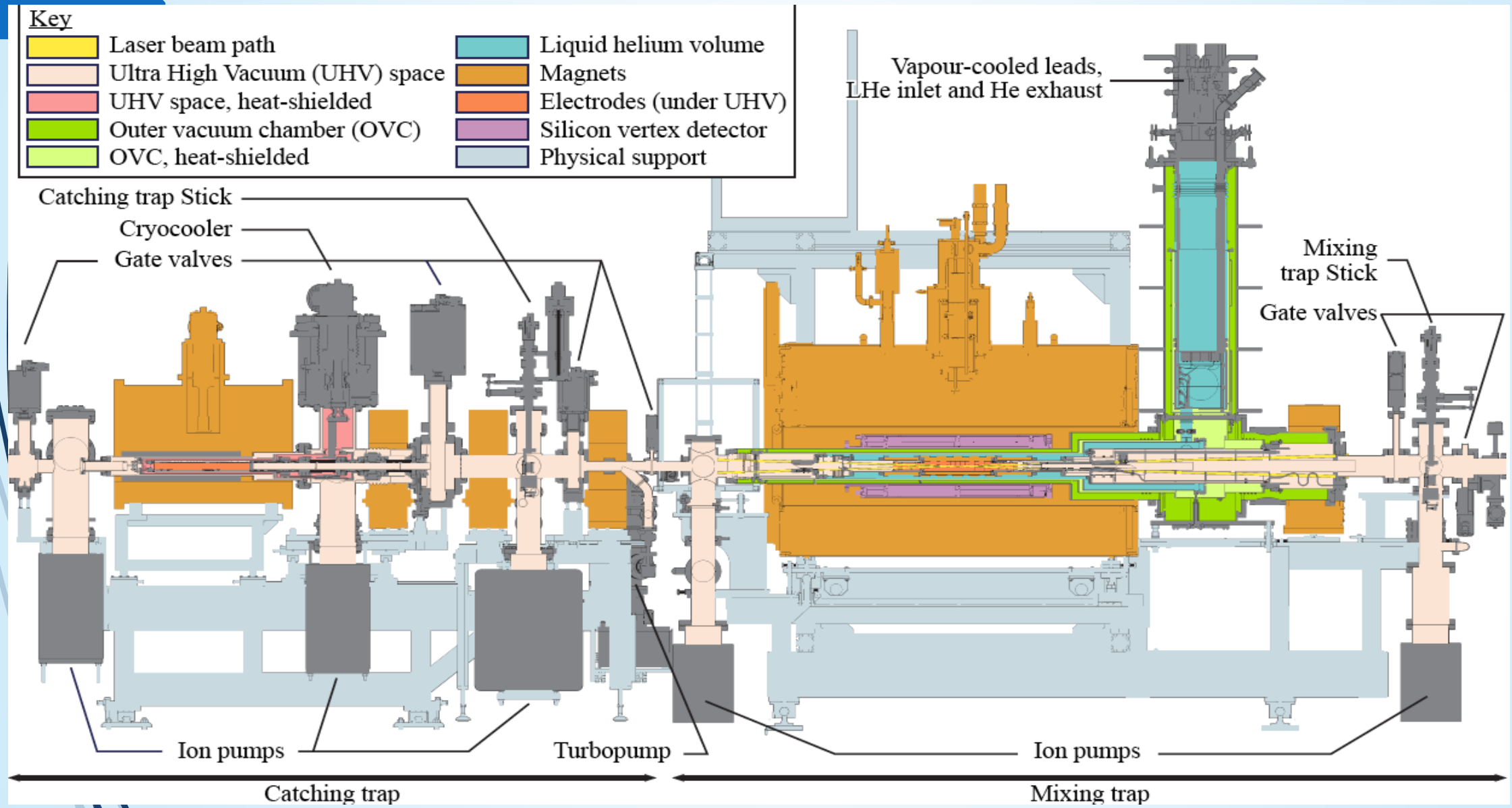
Perspectivas

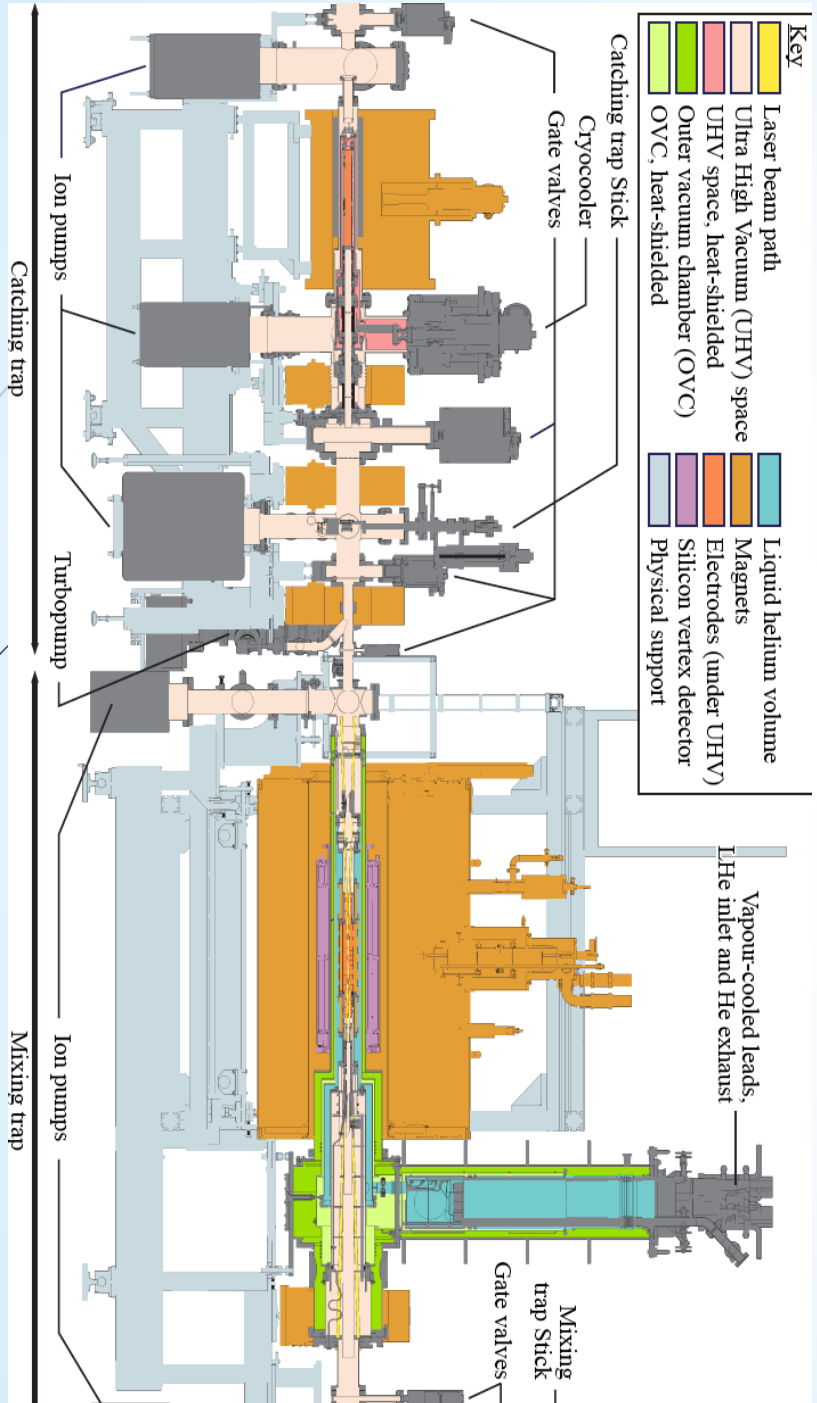
- ✓ Para uma comparação final entre matéria e antimatéria, precisaremos aprisionar hidrogênio no mesmo aparato onde o antihidrogênio é
- ✓ Objetivo esse carregado pelo grupo brasileiro (CLC, DMS e RLS): desenvolvimento de uma nova técnica para o aprisionamento dede átomos neutros de H)



- ✓ Sublimação de Matrix de Isolamento (MISu)
- ✓ Objetivo de instalar no aparato do ALPHA em 2019 (ou em algum momento no LS2)

E logo... sendo produzido essa semana



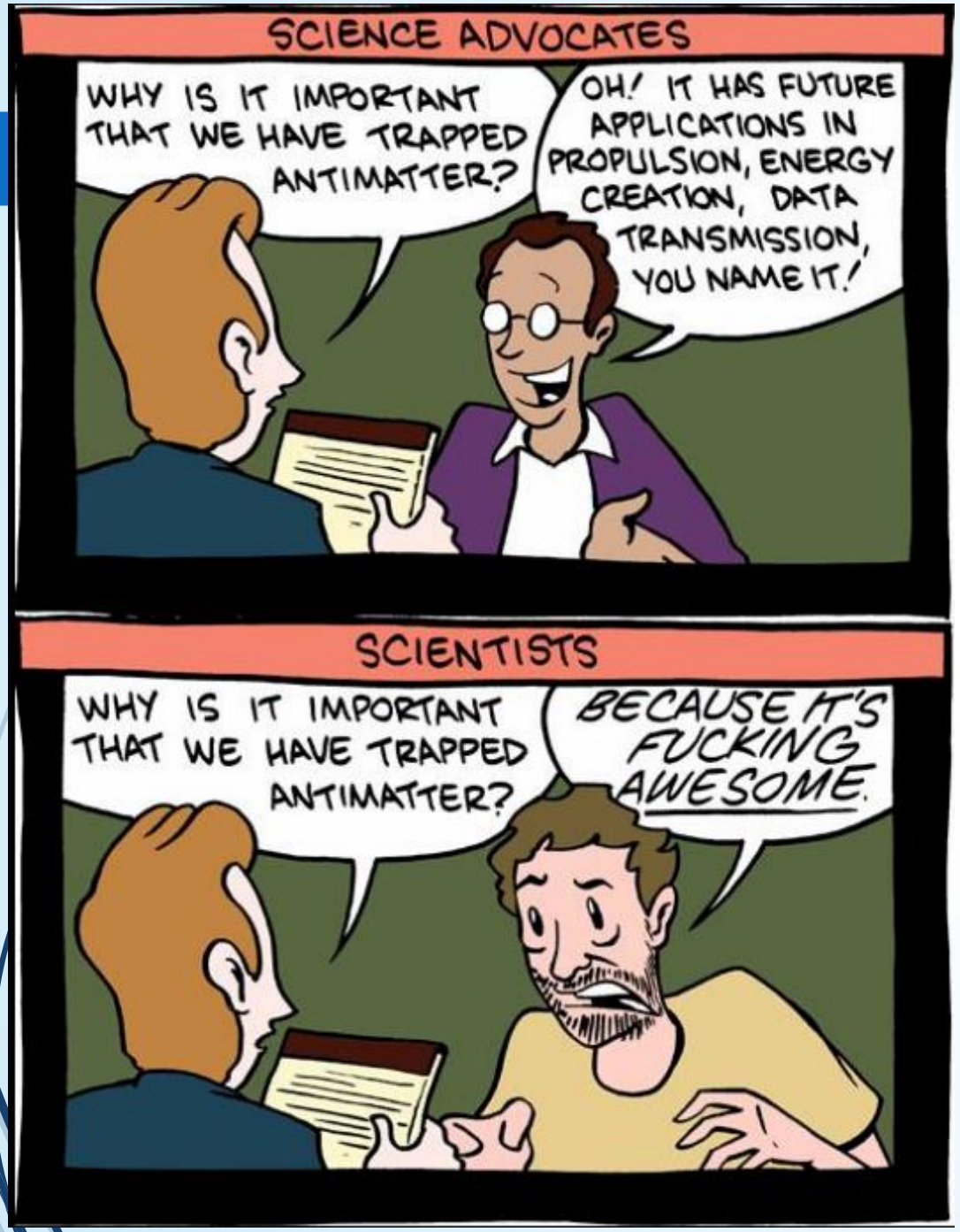


Logo...

ALPHA α g

Lançar alguns átomos de antihidrogênio em queda livre e ver o que acontece

Instalação já em andamento no CERN... previsão de primeiros testes ao final desse ano


SCIENCE ADVOCATES
WHY IS IT IMPORTANT THAT WE HAVE TRAPPED ANTIMATTER?
OH! IT HAS FUTURE APPLICATIONS IN PROPULSION, ENERGY CREATION, DATA TRANSMISSION, YOU NAME IT!
SCIENTISTS
WHY IS IT IMPORTANT THAT WE HAVE TRAPPED ANTIMATTER?
BECAUSE IT'S FUCKING AWESOME.

Obrigado!