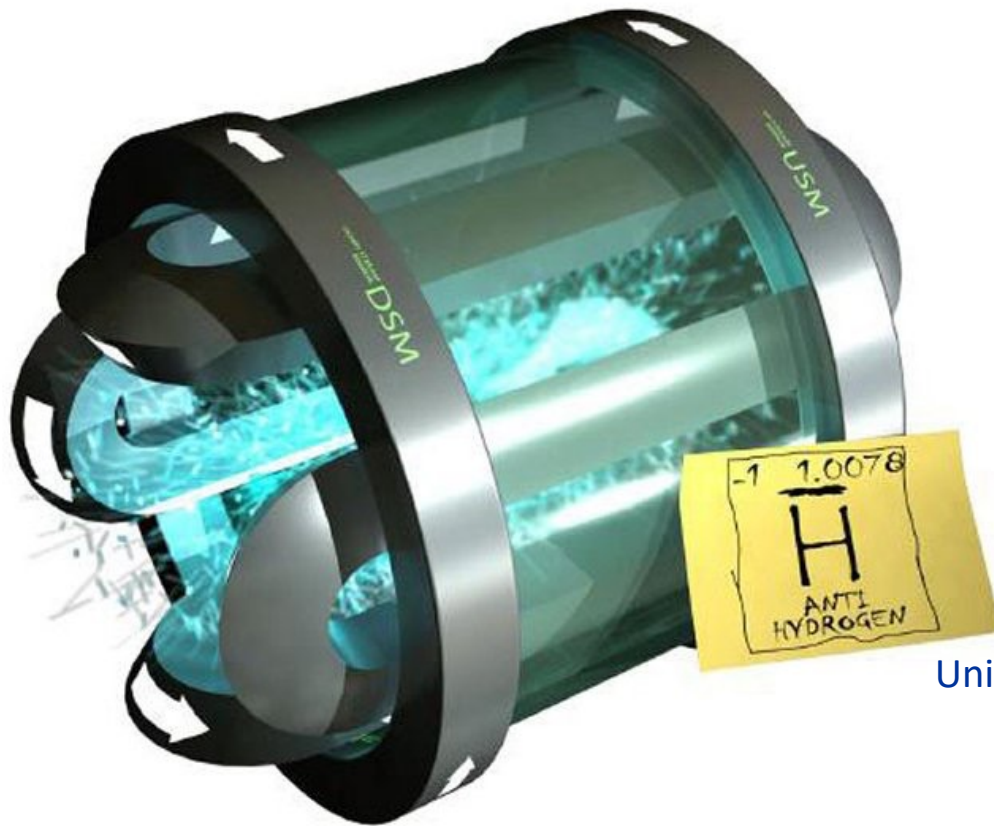


Contribuições da Equipe Brasileira à Instrumentação no Experimento ALPHA



Daniel M. Silveira

Universidade Federal do Rio de Janeiro

Colaboração ALPHA

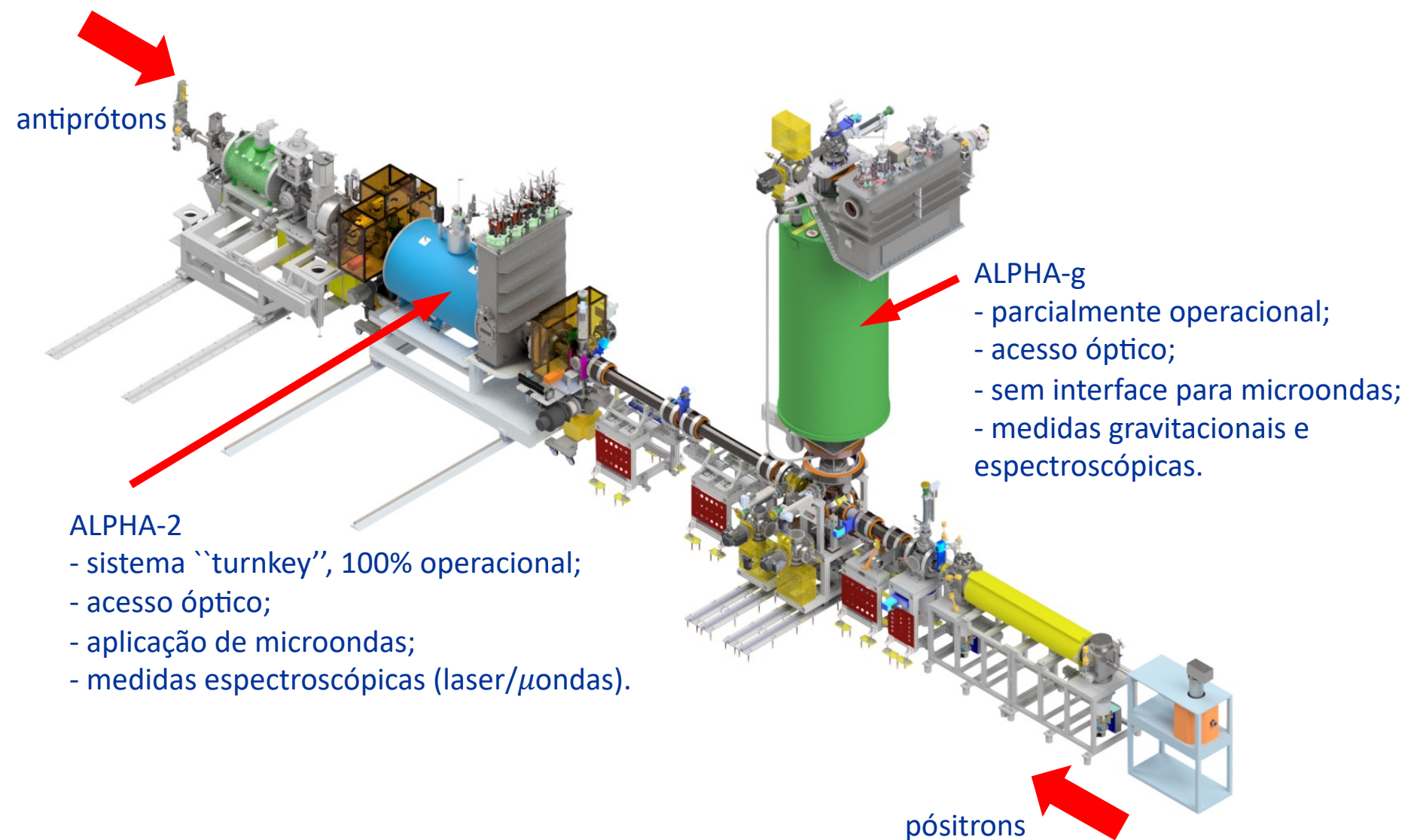
Workshop da RENAFEA

25 – 28 de abril de 2022 – Remoto

Sumário

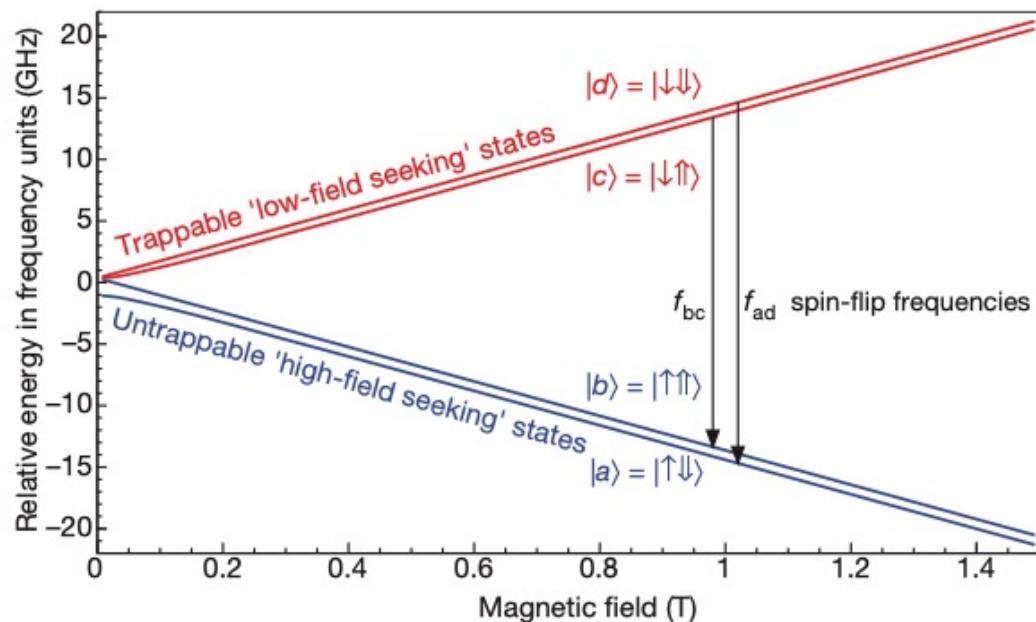
- introdução: instrumentação no experimento ALPHA
- um sistema para introdução de microondas no ALPHA-g
- magnetos supercondutores no Brasil e no CERN
- conclusões

O Experimento ALPHA: Aparato Experimental



Microondas no Experimento ALPHA: motivação

∴ medidas espectroscópicas na região de microondas: teste direto de CPT



→ μ ondas induzem transições de estados aprisionáveis para estados não-aprisionáveis de anti-H;

→ partículas que escapam se aniquilam nas paredes da armadilha e são detetadas.

LETTER

Resonant quantum transitions in antihydrogen atoms

LETTER

Observation of the hyperfine spectrum of antihydrogen

OPEN

doi:10.1038/nature23446

Article

Investigation of the fine structure of antihydrogen

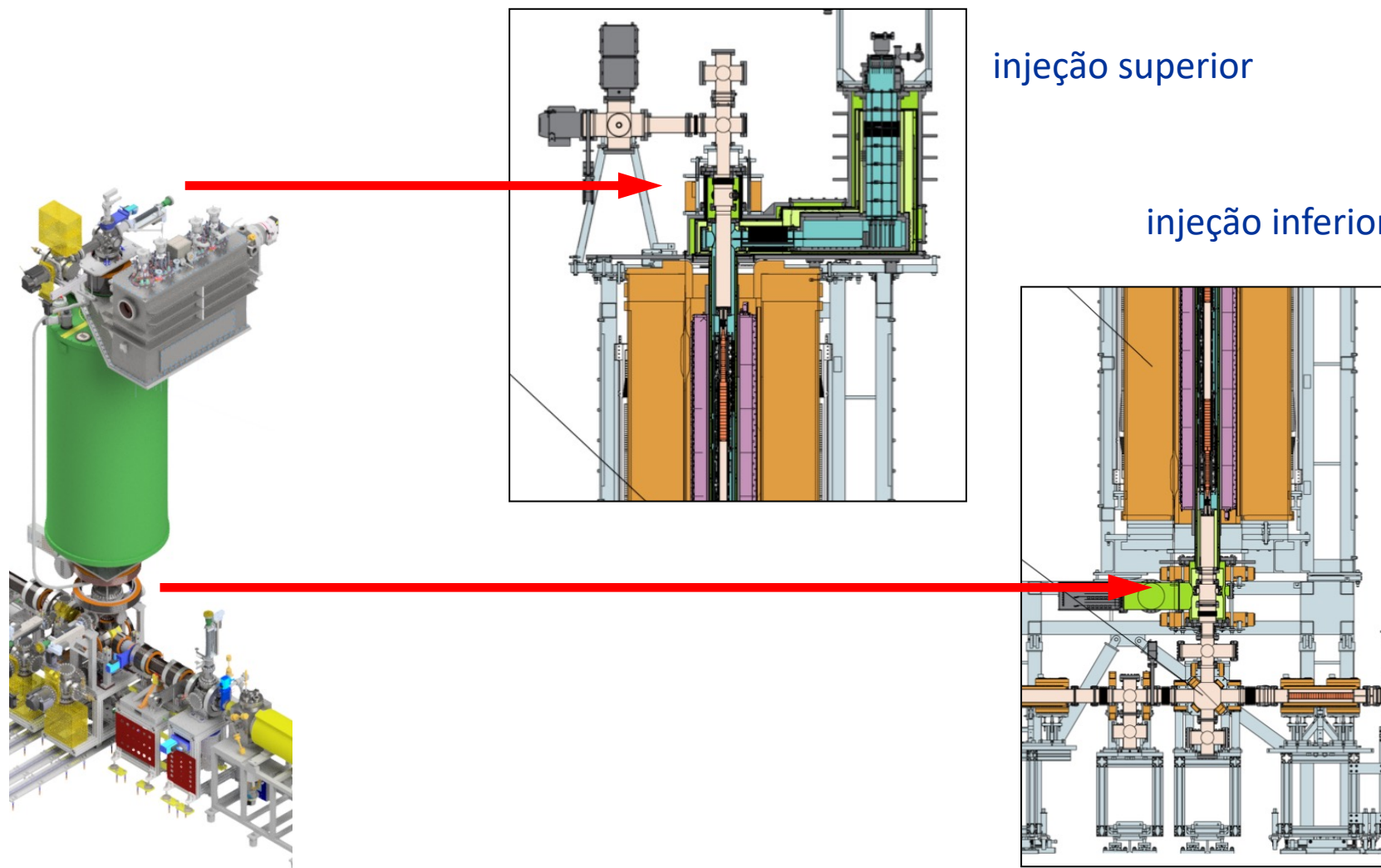
Microondas no Experimento ALPHA: motivação

- ii. seleção de estados (“purificação” da amostra): para as medidas (com laser) da transição $1S - 2S$ (teste direto de CPT)
- iii. medida precisa do campo magnético na armadilha através da Ressonância de Cíclotron de Elétrons (*Electron Cyclotron Resonance* – ECR): relevante para os experimentos espectroscópicos e gravitacionais

Microondas no ALPHA-g: Requisitos

- ALPHA-g não foi projetado com interface para entrada de microondas
- para observar as transições b-c e a-d, é preciso $f \sim 28 - 30$ GHz, $P \sim 1$ W
- μ ondas devem ser injetadas o mais próximo possível da região de aprisionamento:
 - ambiente de ultra-alto vácuo;
 - temperaturas criogênicas;
 - geometria não-trivial;
 - sem materiais ferromagnéticos próximo às regiões de aprisionamento/transporte.

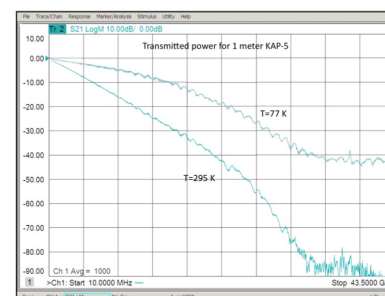
Microondas no ALPHA-g: Opções



- decisão (2019): projetar/construir ambos os sistemas, decidir instalação *a posteriori*

Microondas no ALPHA-g: Cabos/Guias

- cabo coaxial semi-rígido: isolamento de teflon
atenuação de 3,5 dB/m (Cu/teflon) e 23 dB/m (inox/teflon)
problemas de vazamento virtuais
- cabo coaxial KAP-5: isolamento de Kapton
perdas inaceitáveis



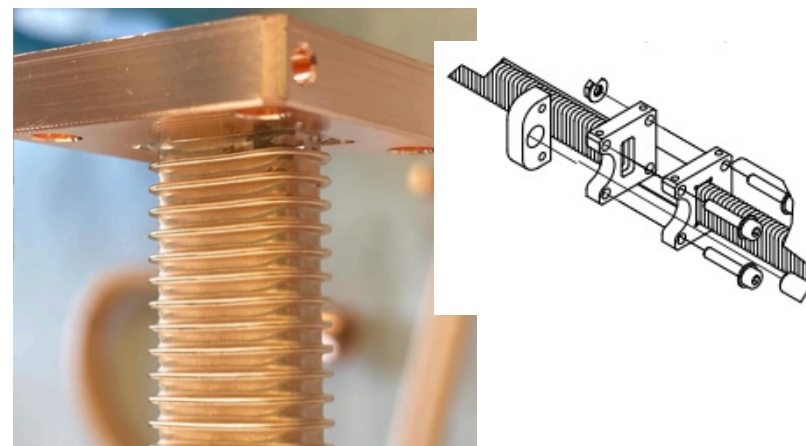
- guia de onda rígido: pouco prático (``caminho'' até a armadilha não é direto)
- guia de onda flexível:

BeCu (Penn Engineering, US)

WR-42 (18 – 26 GHz, funciona até 30 GHz)

atenuação de 1 dB/m (@300 K)

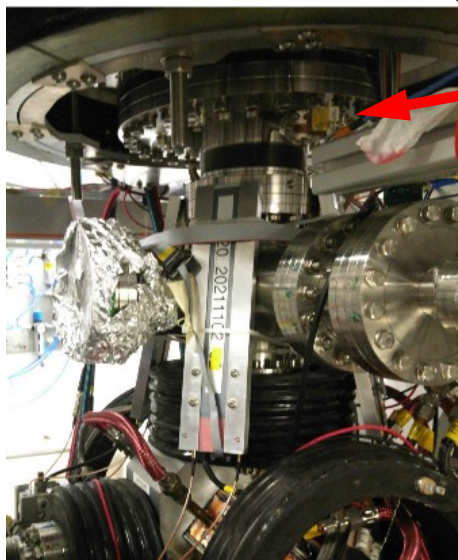
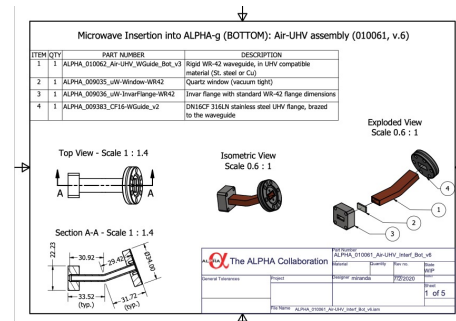
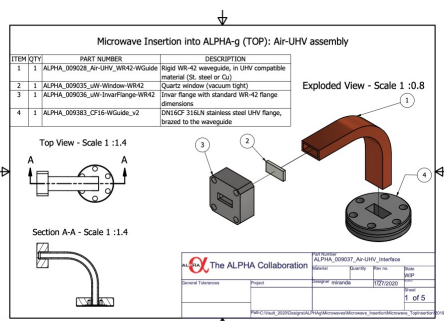
múltiplas seções com flanges individualizadas



Microondas no ALPHA-g: Janelas

- requisitos: transparente para 30 GHz;
- compatível com ultra-alto vácuo e capaz de suportar $\Delta P \sim 1$ atm;
- compatível com as outras seções do guia flexível

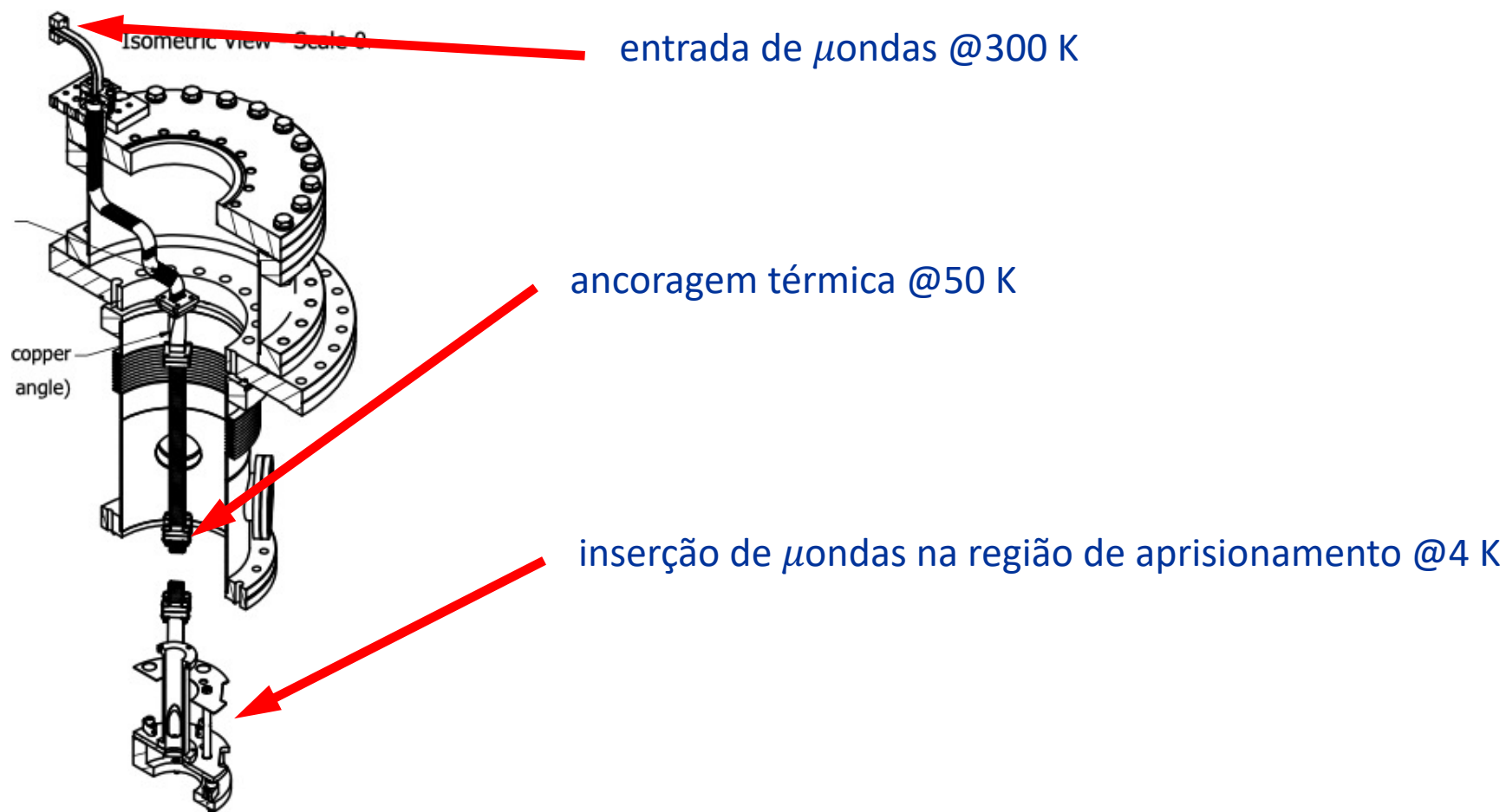
- projetos finais:



- construídas por CPI – Comm. and Power Ind. (US)
- materiais: Cu (ok), Invar e Quartzo (ferromagnéticos)

Microondas no ALPHA-g: Gerenciamento Térmico

- sistema deve ser ancorado termicamente: pequena condução térmica para região fria

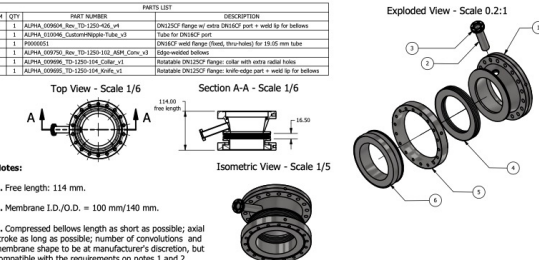


Microondas no ALPHA-g: Componentes de Vácuo

- componentes existentes foram adaptados e outros foram completamente refeitos: Lesker (GB) e Main Workshop - CERN

Stainless Steel Edge-Welded Bellows with Custom CF Flanges (010054, v. 4)

ITEM	QTY	PART NUMBER	DESCRIPTION
1	1	ALPHA_00904_Rev_T0-1250-026_v4	DN25CF Flange set extra DN16CF port + weld to for bellows
2	1	ALPHA_01006_CustomeBellows_v3	Stainless steel bellows
3	1	PRO0001	DN16CF weld flange (fixed, thru-holes) for 19.05 mm tube
4	1	ALPHA_00910_Rev_T0-1250-102_ASM_v3	Edge-welded bellows
5	1	ALPHA_00906_T0-1250-104_Collet_v1	Rotatable DN12CF Flange; collar with extra radial holes
6	1	ALPHA_00905_T0-1250-104_Axle_v1	Rotatable DN12CF Flange; axle-edge part + weld to for bellows



Notes:

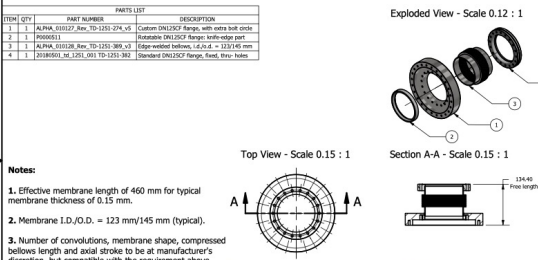
- Free length: 114 mm.
- Membrane I.D./O.D. = 100 mm/140 mm.
- Compressed bellows length as short as possible; axial stroke as long as possible; number of convolutions and membrane shape to be at manufacturer's discretion, but compatible with the requirements on notes 1 and 2.
- All parts in stainless steel AISI 316LN or 316L.
- Membrane rated for 10,000 cycles.
- Typical operating condition: $P_i = 0$, $P_a = 1$ bar.
- All parts and welds rated for bakeout at 200 °C.

The ALPHA Collaboration

Part Number: ALPHA_010054_Rev_T0-1250-102_ASM_v4
 Material: Inconel
 Quantity: 2
 Rev: WIP
 Date: 27/02/2020
 Sheet: 1 of 5

Stainless Steel Edge-Welded Bellows with CF Flanges (010128, v. 4)

ITEM	QTY	PART NUMBER	DESCRIPTION
1	1	ALPHA_010127_Rev_T0-1251-274_v5	Custom DN12CF flange, with extra bolt circle
2	1	PRO0001	Rotatable DN12CF flange; with edge part
3	1	ALPHA_010128_Rev_T0-1251-389_v3	Edge-welded bellows, I.D./O.D. = 123/145 mm
4	1	2018001_M_1251_001_T0-1251-382	Standard DN12CF flange, fixed, thru-holes



Notes:

- Effective membrane length of 460 mm for typical membrane thickness of 0.15 mm.
- Membrane I.D./O.D. = 123 mm/145 mm (typical).
- Number of convolutions, membrane shape, compressed bellows length and axial stroke to be at manufacturer's discretion, but compatible with the requirement above.
- All parts in stainless steel AISI 316LN or 316L.
- Membrane rated for 10,000 cycles.
- Typical operating condition: $P_i = 0$, $P_a = 1$ bar.
- All parts and welds rated for bakeout at 200 °C.

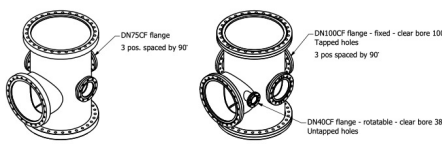
The ALPHA Collaboration

Part Number: ALPHA_010128_Rev_T0-1251-136_ASM_v4
 Material: Inconel
 Quantity: 1
 Rev: WIP
 Date: 27/02/2020
 Sheet: 1 of 5

Modification of a stainless steel vacuum chamber

Original part: TD-1251-117 (Lesker Sales Order CS03078715)

Modified parts: ALPHA_008480_Letal_v3



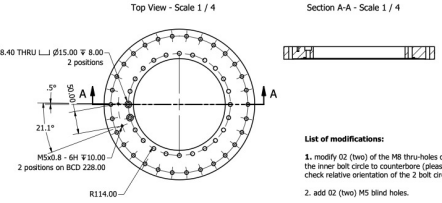
In summary:

- replace the 3 x DN75CF half nipples by 3 x DN100CF half nipple;
- add a DN40CF half nipple to the 205 mm tube.

The ALPHA Collaboration

Part Number: TD-1251-117_ASM_20190530
 Material: Inconel
 Quantity: 1
 Rev: WIP
 Date: 22-2019
 Sheet: 1 of 2

Modification of a DN275CF Custom Flange



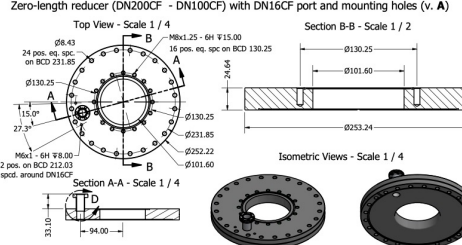
List of modifications:

- modify Ø2 (two) of the M8 thru-holes of the inner bolt circle to counterbores (please check relative orientation of the 2 bolt circles);
- add Ø2 (two) M5 blind holes.

The ALPHA Collaboration

Part Number: ALPHA_015459_Rev_T0-1251-275_v1
 Material: Inconel
 Quantity: 1
 Rev: WIP
 Date: 09/02/2020
 Sheet: 1 of 1

Zero-length reducer (DN200CF - DN100CF) with DN16CF port and mounting holes (v. A)



The ALPHA Collaboration

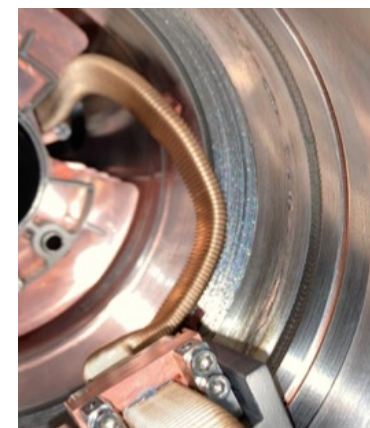
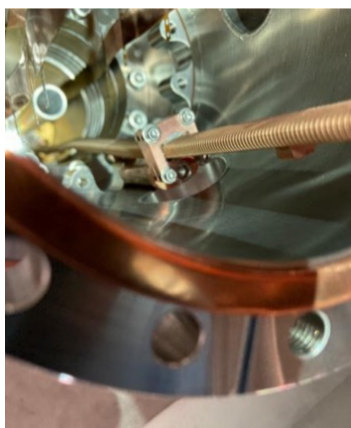
Part Number: ALPHA_009381_Rev_T0-1251-001-54031_ASM
 Material: Inconel
 Quantity: 1
 Rev: WIP
 Date: 07/02/2020
 Sheet: 1 of 1

Microondas no ALPHA-g: Problemas

- no processo de brasagem (forno): guias de onda flexíveis enrijeceram
solda fluuiu para o interior do guia



- durante a instalação (inserção inferior): sistema mais longo do que o necessário



Microondas no ALPHA-g

- sistema instalado em outubro/2021
- 1a. medida de ECR: fevereiro/2022

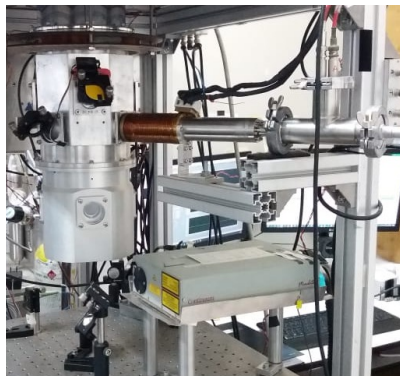


- conclusões/perspectivas:

- sistema instalado e em operação, com boa potência mesmo em altas frequências
- construção (no Brasil) de um sistema com o comprimento correto
- caracterização da atenuação do sistema (no Brasil)
- instalação do sistema modificado (no CERN) em agosto/2022

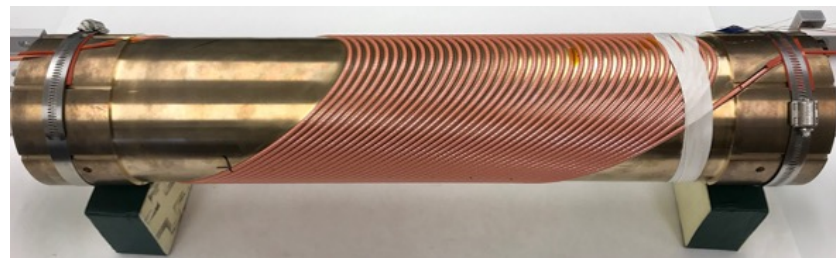
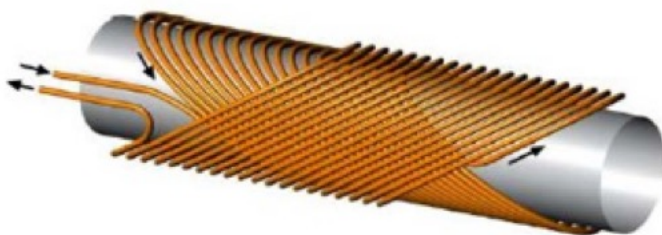
Magnetos Supercondutores

- no Rio: magnetos normais, supercondutores e permanentes para armadilhas armadilhas de Penning (solenóides normais e supercondutores secos)

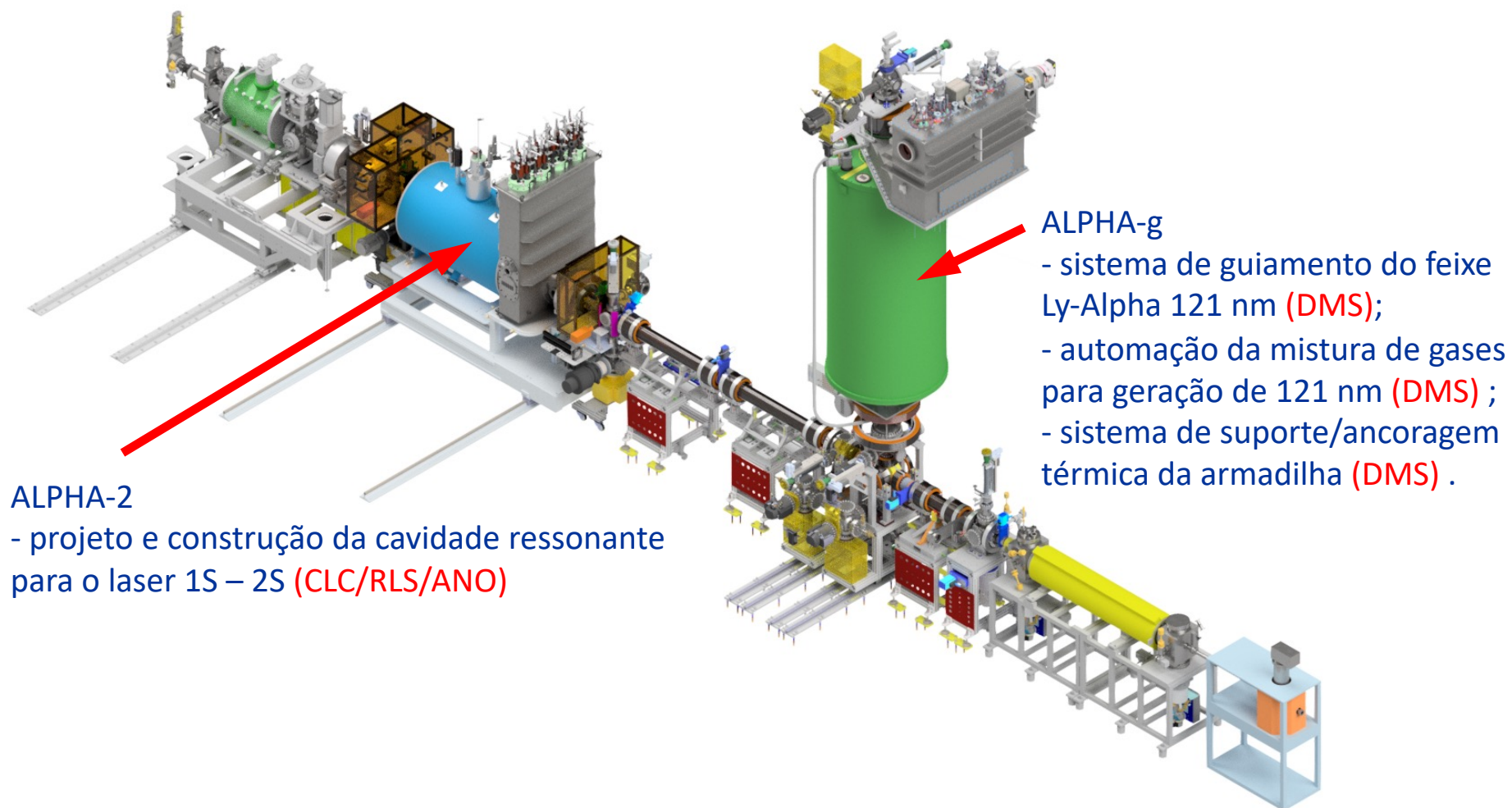


armadilhas para neutros (anti-Helmholtz ou Ioffe-Pritchard)

- no CERN: possibilidade do uso de magnetos CCT



Instrumentação - Outras Contribuições



ALPHA-2
- projeto e construção da cavidade ressonante para o laser 1S – 2S (CLC/RLS/ANO)

ALPHA-g
- sistema de guiamento do feixe Ly-Alpha 121 nm (DMS);
- automação da mistura de gases para geração de 121 nm (DMS);
- sistema de suporte/ancoragem térmica da armadilha (DMS) .