



**LATVIJAS
UNIVERSITĀTE**



**RĪGAS TEHNISKĀ
UNIVERSITĀTE**

LATVIJAS DOKTORANTI CERN

Mūsu pētījumu virzieni

Daļiņu fizika

Atomfizika

**Paātrinātāju
tehnoloģijas**

**Medicīniskie
pielietojumi**

Fizika

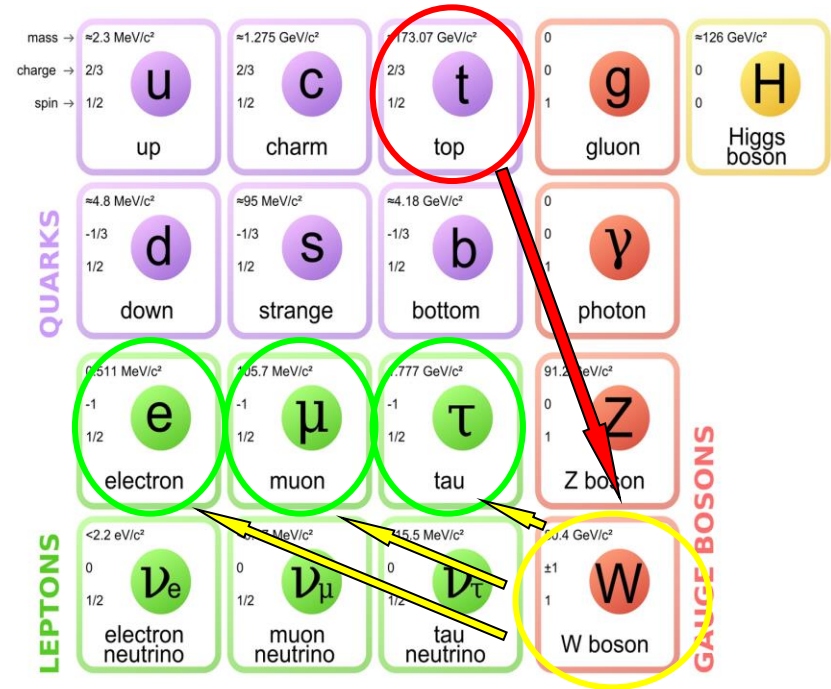
- Elementārdaļiņu fizika ir cēlusies no pagājušā gadsimta kodolfizikas un kvantu fizikas attīstības, kas sāka ļaut mums pētīt visumu mikroskopiskajā izmērā.
- Pēdējie ~90 pētniecības gadi ir kulminējušies salīdzinoši vispārīgā daļiņu fizikas teorijā - “Elementārdaļiņu Standartmodelī” (**SM**)
- Lai gan šī teorija līdz šim ir ļoti precīzi paredzējusi eksperimentālos rezultātus, mēs zinām, ka tā nav pilnīga jeb galīgā teorija.
- Tā neizskaidro visus mūsu novērojumus un tajā nav iekļautas visas fundamentālās dabas mijiedarbības.

mass →	≈2.3 MeV/c ²	≈1.275 GeV/c ²	≈173.07 GeV/c ²	0	≈126 GeV/c ²
charge →	2/3	2/3	2/3	0	0
spin →	1/2	1/2	1/2	1	0
	u up	c charm	t top	g gluon	H Higgs boson
QUARKS	≈4.8 MeV/c ²	≈95 MeV/c ²	≈4.18 GeV/c ²	0	
	-1/3	-1/3	-1/3	0	
	1/2	1/2	1/2	1	
	d down	s strange	b bottom	γ photon	
	0.511 MeV/c ²	105.7 MeV/c ²	1.777 GeV/c ²	91.2 GeV/c ²	
	-1	-1	-1	0	
	1/2	1/2	1/2	1	
	e electron	μ muon	τ tau	Z Z boson	
LEPTONS	<2.2 eV/c ²	<0.17 MeV/c ²	<15.5 MeV/c ²	80.4 GeV/c ²	
	0	0	0	±1	
	1/2	1/2	1/2	1	
	ν_e electron neutrino	ν_μ muon neutrino	ν_τ tau neutrino	W W boson	
					GAUGE BOSONS

Standartmodeļa
elementārdaļiņas

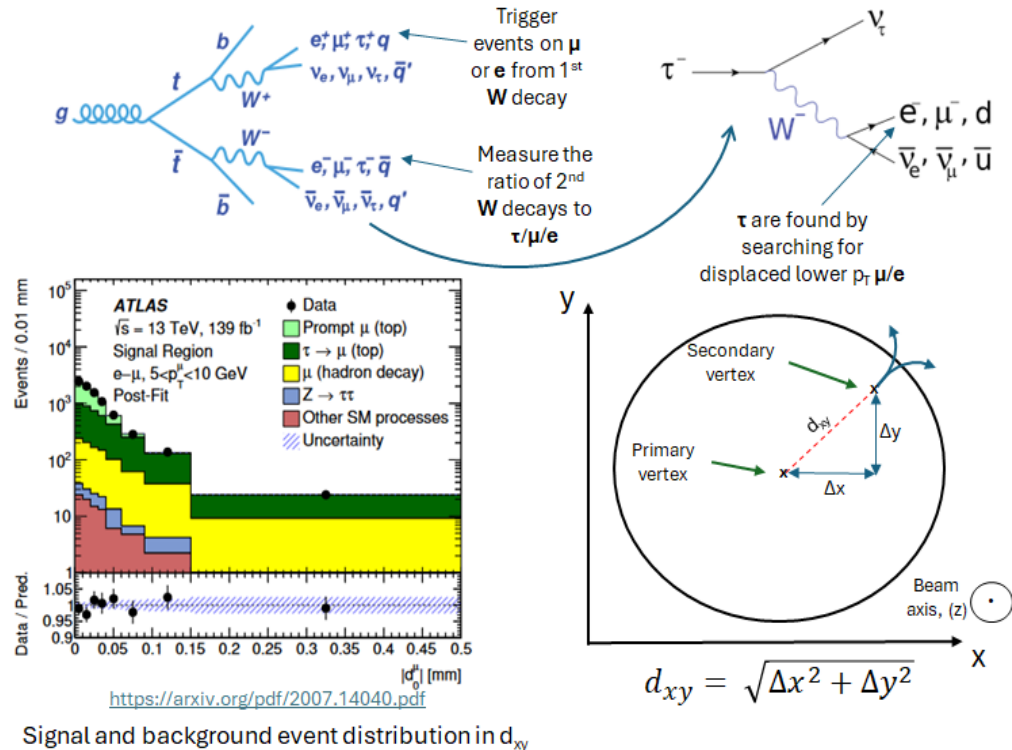
Fizika - SM

- Fizikas pētījums - 'Leptonu tipa universalitātes principa pārbaude top kvarka sabrukuma procesā'.
- Pamata ideja ir ļoti precīzi pārbaudīt **SM** aksiomu, ka, ja nestabila, smaga daļiņa var sabrukt uz leptoniem, tā to dara ar vienādu varbūtību starp elektroniem, mioniem un tau daļiņu.

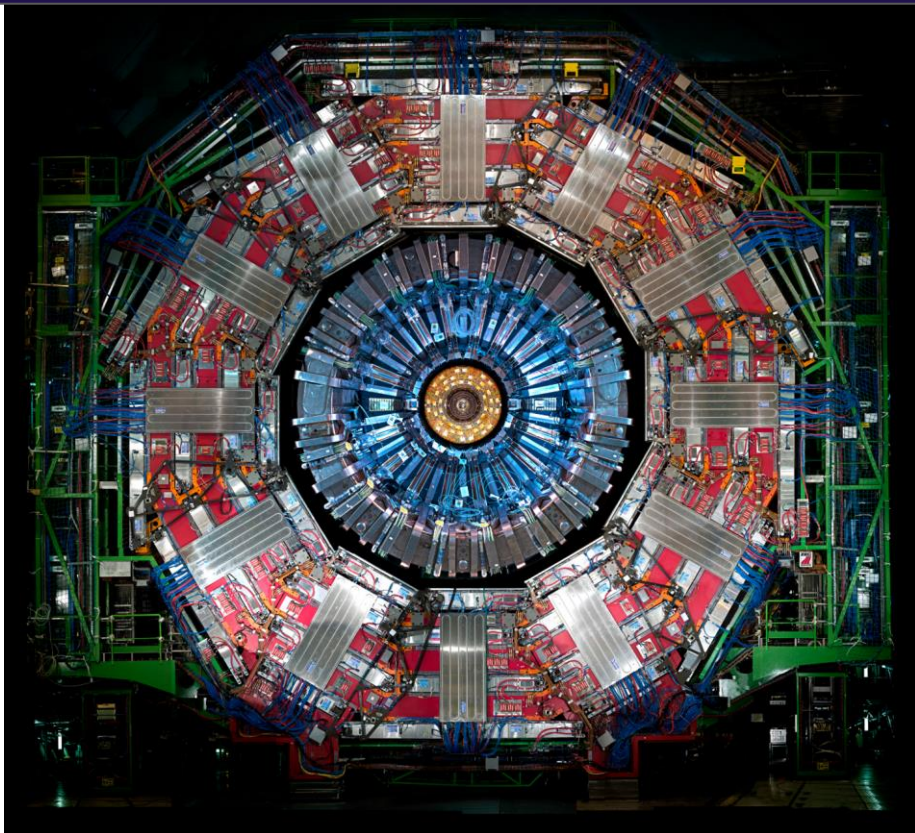


Standartmodeļa
elementārdaļiņas

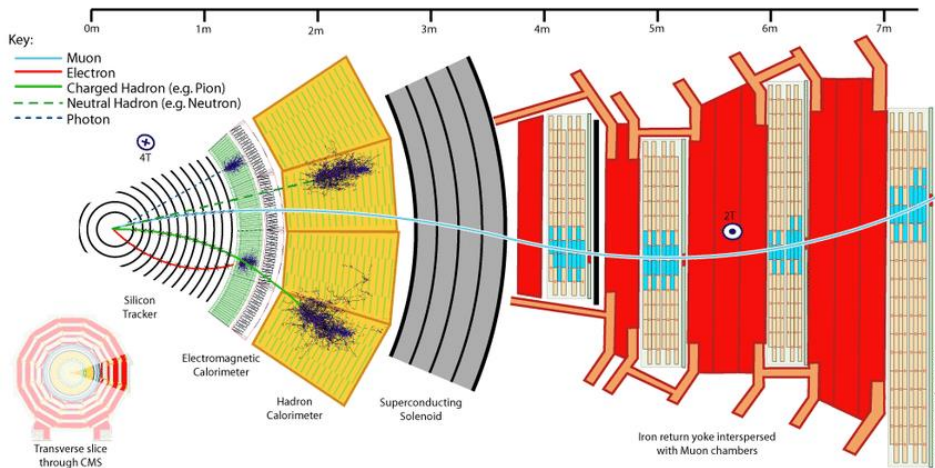
- Pētījuma ideja ir ļoti vienkārša, bet praktiski to nomērīt ir salīdzinoši sarežģīti:
 - Ne visas daļiņas, kas rodas smagāku daļiņu sadrumšēs ir stabilas (tau daļiņa)
 - Jāspēj atrast interesējošās sadursmes un daļiņu sabrukumi no miljoniem sadursmju, kas notiek katru sekundi
 - Jāspēj identificēt konkrēto daļiņu veids/tips
 - Jāspēj efektīvi strādāt ar lielu datu daudzumu



Fizika - SM



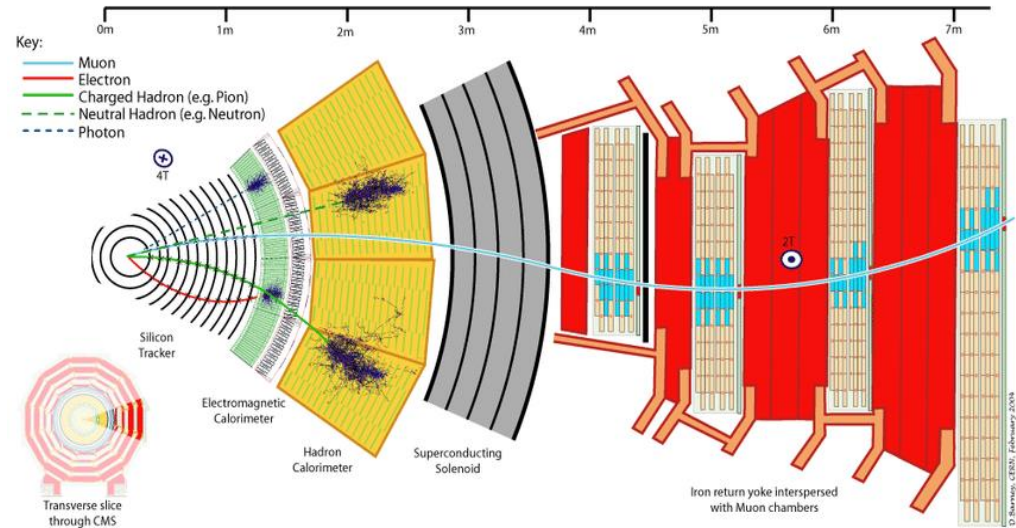
CMS detektora šķērsriezuma attēls



Shematisks CMS detektora šķērsriezuma attēls 7

Daļiņu plūsmas hadronu kalibrācija

- **Daļiņu plūsmas rekonstrukcijas algoritms** - identificē daļiņas un rekonstruē notikumus, kas radušies augstas enerģijas daļiņu sadursmēs.
- Kalorimetra atbilde uz hadronu signālu ir **nelineāra**.
- Zemākas enerģijas hadroniem kalorimetrā ir zemāka enerģijas atbilde.
- Nepieciežams veikt hadronu enerģijas korekcijas.

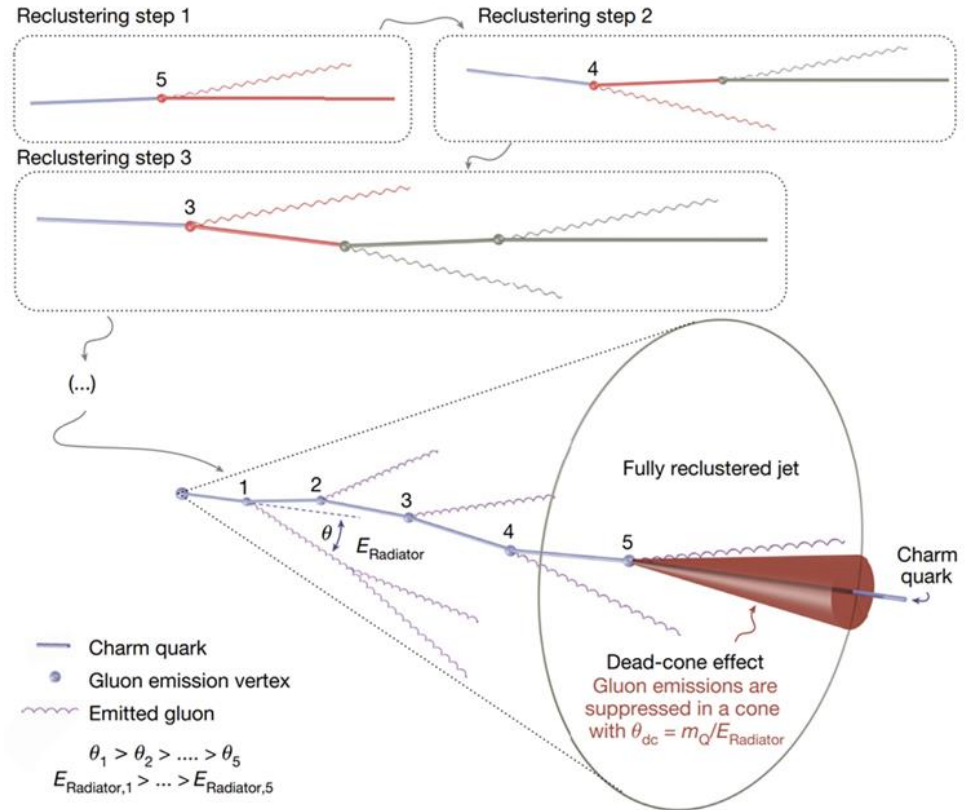


Dead-cone efekts

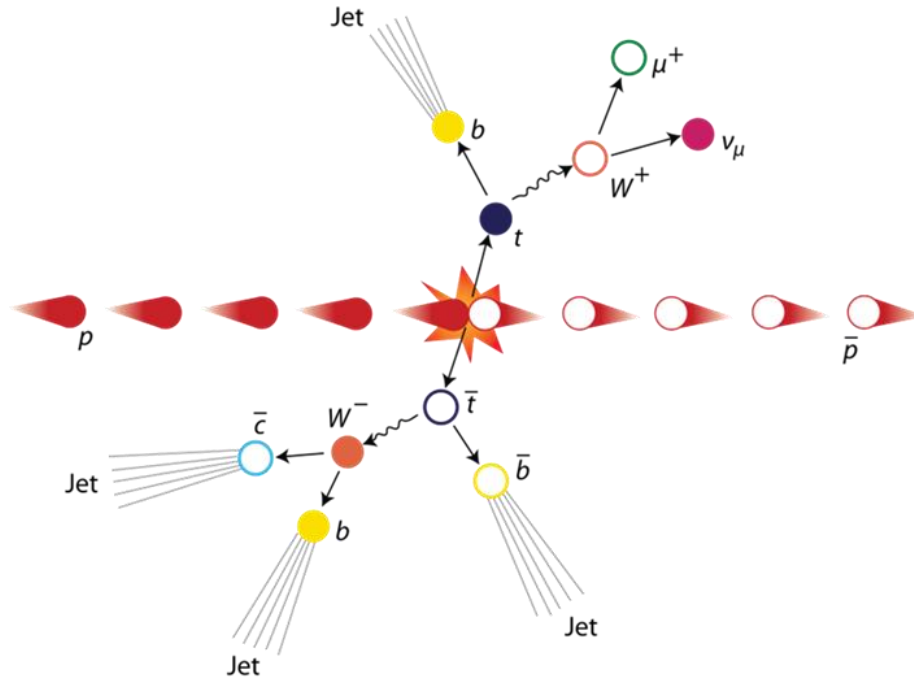
- Efekts, ko paredz kvantu hromodinamika (QCD).
- Apraksta smagā kvarka starojuma apspiešanu konusā, ko var izteikt ar leņķi:

$$\Theta_Q = M_Q/E_Q$$

- Iepriekš šāda veida pētījums ir bijis veikts *charm* kvarkos.
- Šī pētījuma **mērķis** - atrast *Dead-cone* efektu *bottom* kvarkos.



Dead-cone efekts bottom kvarku strūklā

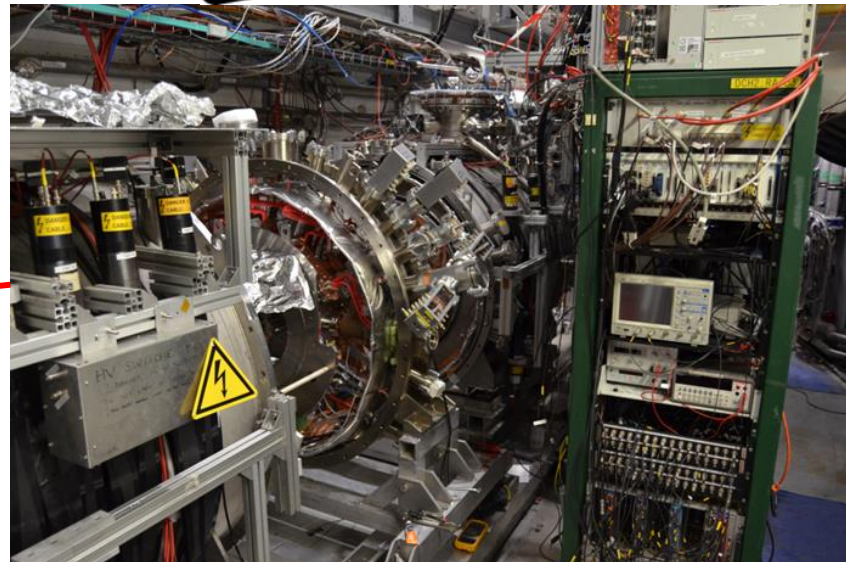
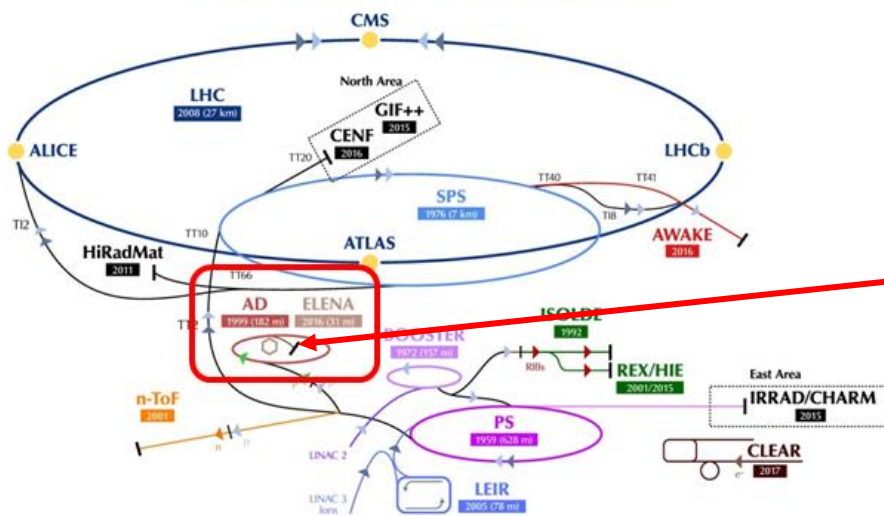


Protonu sadursme \rightarrow *top* kvarku pāris \rightarrow *bottom* kvarku strūkla

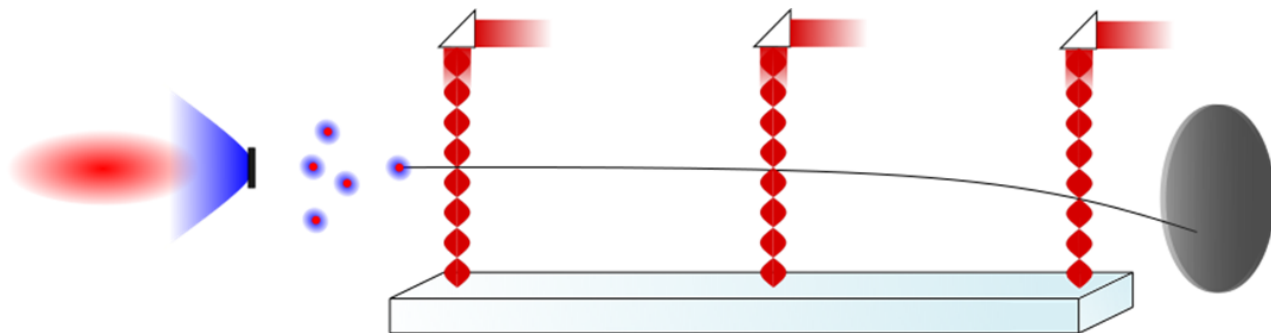
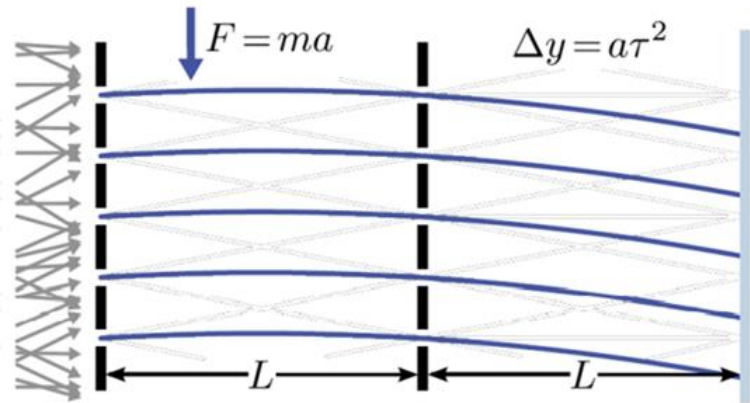
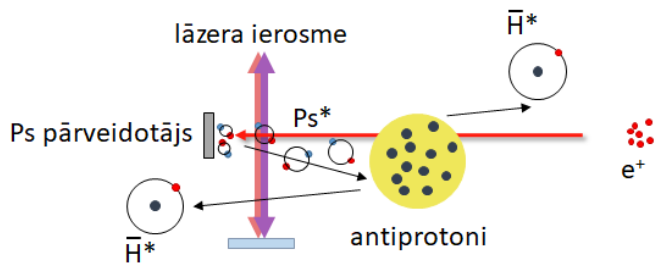
Atomfizika: Antimatērijas pētījumi

AEGIS

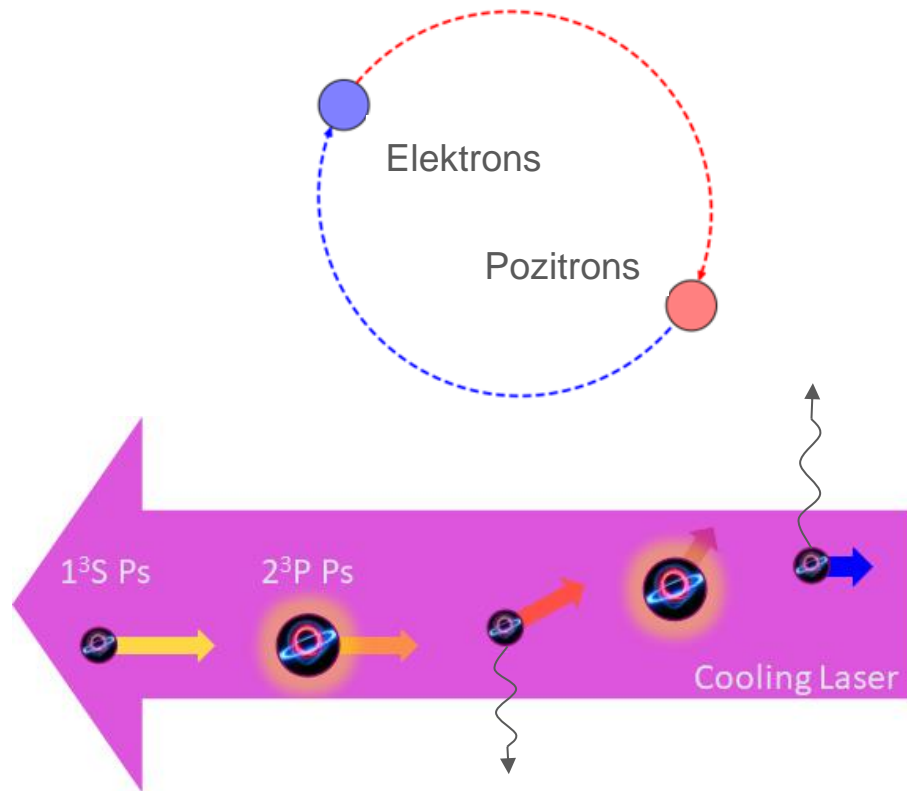
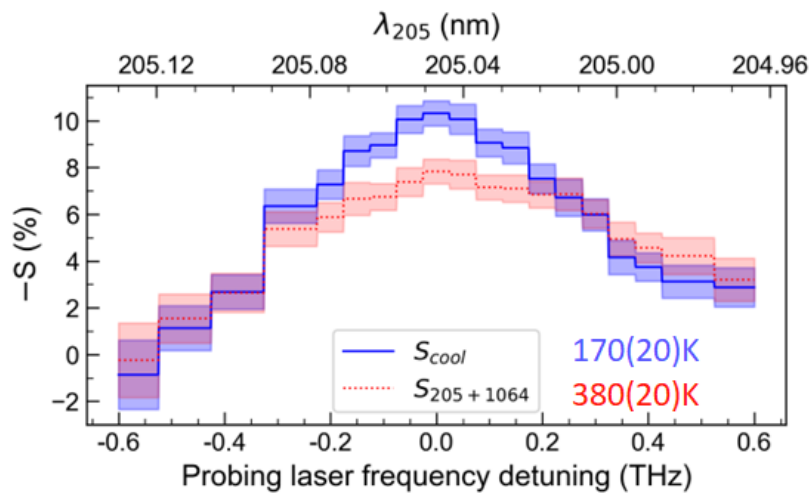
The CERN accelerator complex
Complexe des accélérateurs du CERN



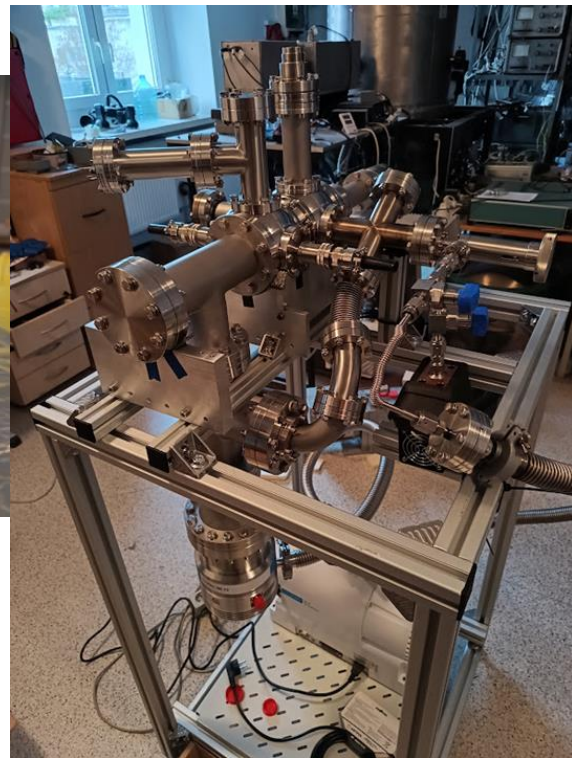
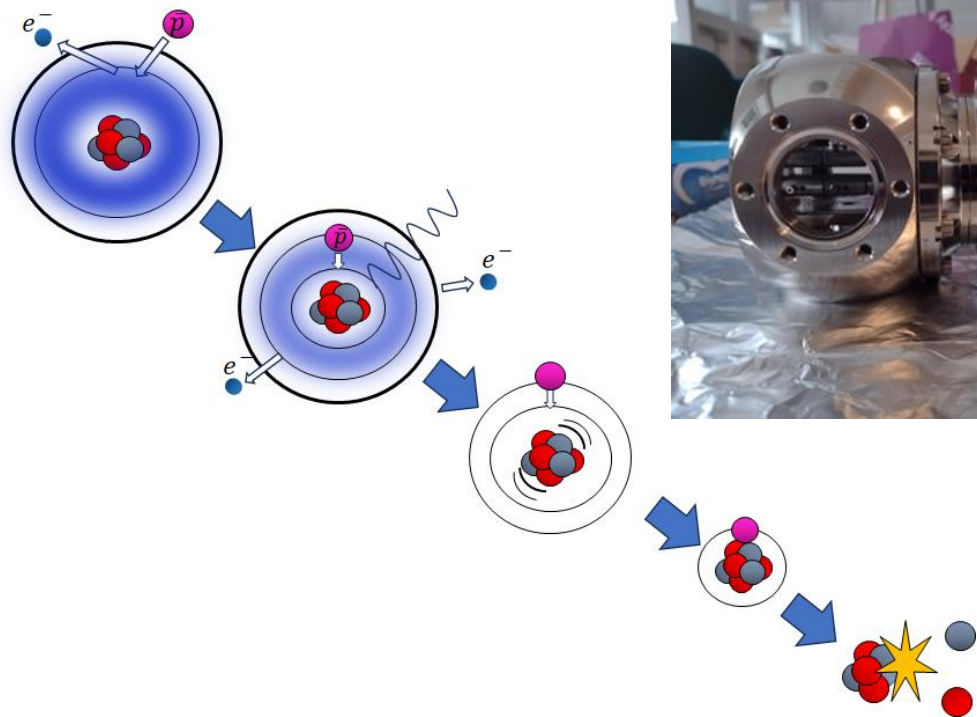
Atomfizika: Gravitācijas programma



Atomfizika: Pozitronija programma



Atomfizika: Antiprotonsko atomu programma



Staru terapija: būtība un mērķis

Būtība:

Vēža ārstēšanas metode, izmantojot jonizējošo starojumu, lai sagrautu vēža šūnu DNS

Ārstnieciskais mērķis:

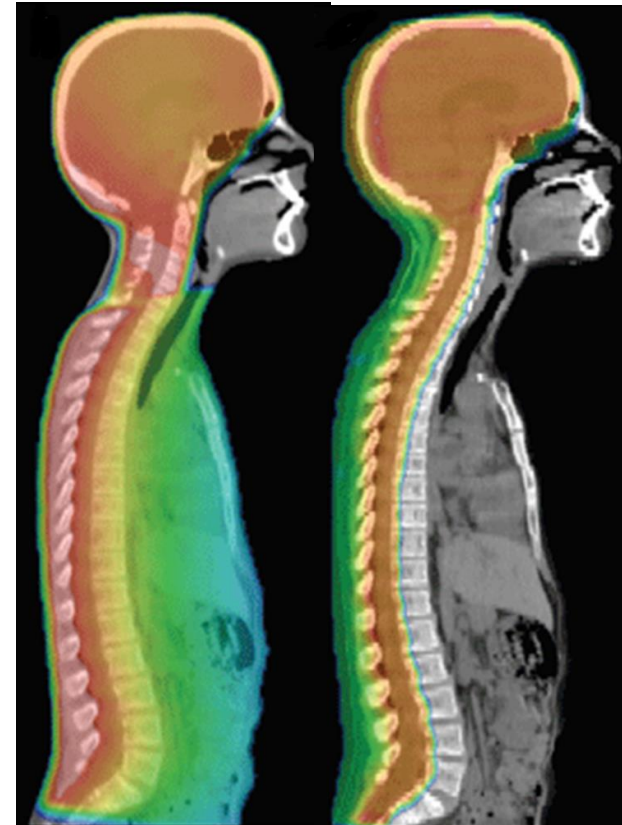
Maksimāla starojuma enerģija **audzēja šūnās** ↑

Minimāla starojuma enerģija **veselajos audos** ↓

Konvencionālā staru terapija un daļiņu terapija

Konvencionālā fotonu terapija - **maksimālā doza tuvu virsmai**

Daļiņu terapija - **kontrolēts, enerģijas atkarīgs maksimums**



CERN un staru terapija ?



~ 415
reizes



CERN izstrādātās paātrinātāju tehnoloģijas ir
pielietojamas medicīniskiem paātrinātājiem

PIMMS (*Proton Ion Medical Machine Study*) - divi jonu terapijas centri Eiropā
Šobrīd darbojamies **NIMMS** (*Next Ion Medical Machine Study*) kolaborācijā

FLASH terapija

UHDR

Ultra-high dose rate

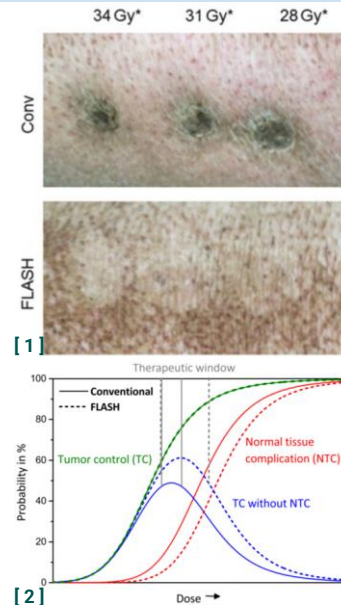
iekārtas tehnoloģiskās iespēja

- Bioloģiski novērots **diferenciāls efekts** – kad apstarošana ar jonizējošo starojumu tiek veikta ar augstu dozas jaudu - **negatīvie starojuma iedarības efekti tiek mazināti veselajos audos, saglabājot terapeitisko efektu audzēja šūnās**
- Cauri gadiem, **dažādas atšķirīgas teorijas, lai izskaidrotu FLASH efekta mehānismu**: pārejoša hipoksija (*"atmesta"*), radikāļu rekombinācija, peroksidētu savienojumu metabolisms un citi

Laika skala: milisekundes

FLASH

Bioloģiskās sistēmas atsaucis izmaiņas pie augstas dozas jaudas apstarošanas



[1] Vozenin M-C, De Fornel P, Petersson K, et al. The Advantage of FLASH Radiotherapy Confirmed in Mini-pig and Cat-cancer Patients. *Clinical Cancer Research* 2019

[2] Schüller A, Heinrich S, Foullade C, et al. The European Joint Research Project UHPulse – Metrology for advanced radiotherapy using particle beams with ultra-high pulse dose rates. *Physica Medica* 2020

FLASH terapija

Lai sasniegtu *FLASH* efektu, starojuma kūlim jānodrošina

Augsta dozas jauda

Terapija jāpiegādā ar
vidējo dozas jaudu ap 40 Gy/s

Atvērtie jautājumi:

- radiācijas laika struktūras loma
- kā definēt dozas jaudu ar sarežģītām apstarošanas metodēm?
- kā šo robežvērtību ietekmē radiācijas veida izvēle?

Augsta doza

Terapija jāpiegādā ar
kopēju reizes dozu vismaz 8-10 Gy

Atvērtie jautājumi:

- vai *FLASH* efektu varētu sasniegt ar klīniski pieņemtām dozām (2 Gy frakcijā)
- vai *FLASH* efekts darbojas ar frakcionāciju un vairākiem starojuma laukiem
- klīniskie gadījumi *FLASH* terapija pielietojumam

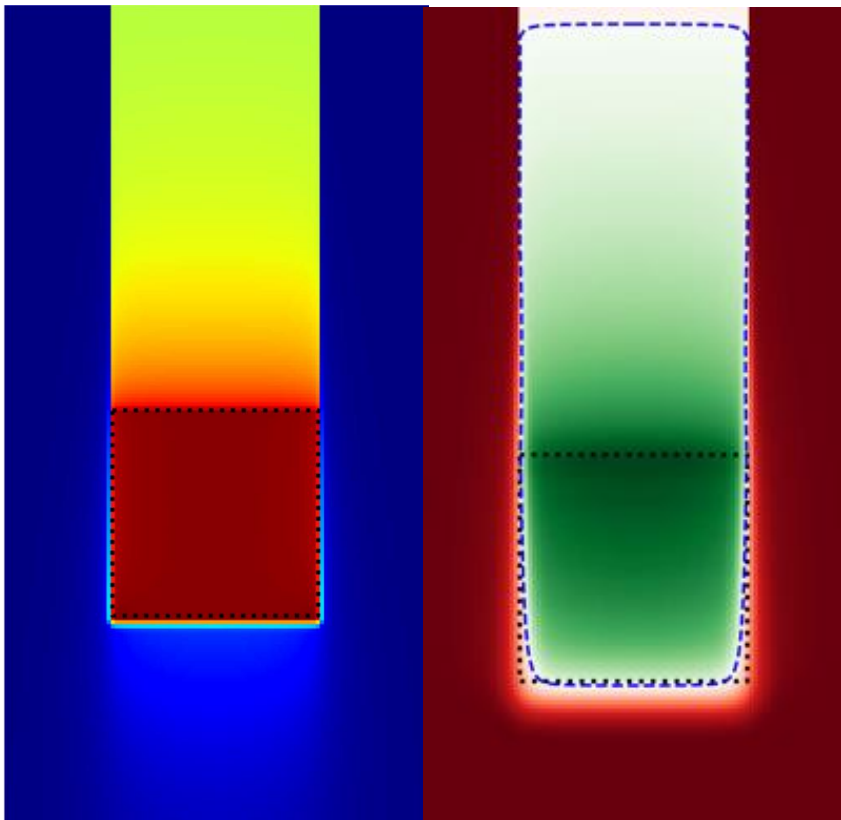
Vai varētu savienot labāko no “abām pasaulēm”?

Fizikālās un bioloģiskās jonu kūļa īpašības

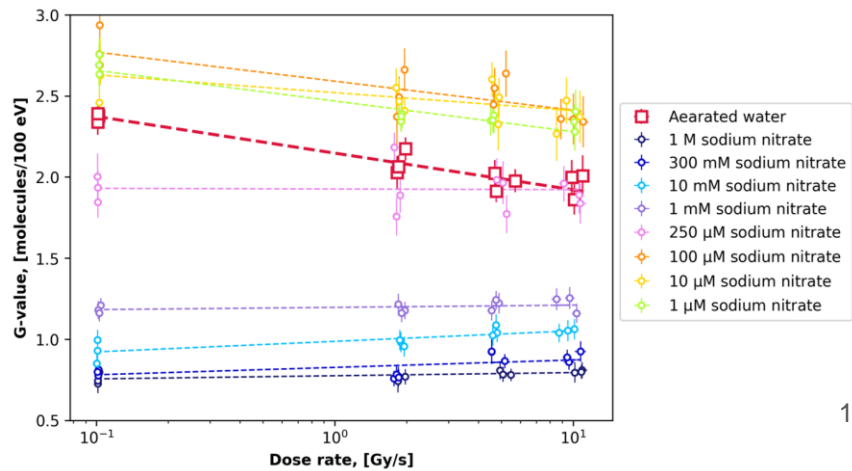


Blakus efektu mazināšana veselajos audos ar *FLASH* efektu

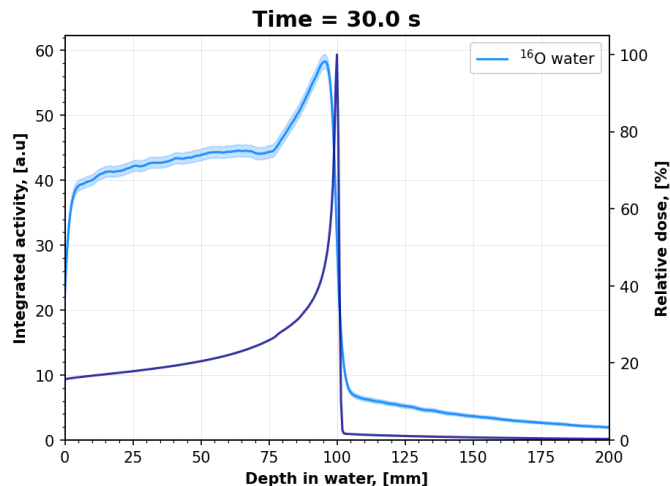
Simulācijas



Eksperimenti

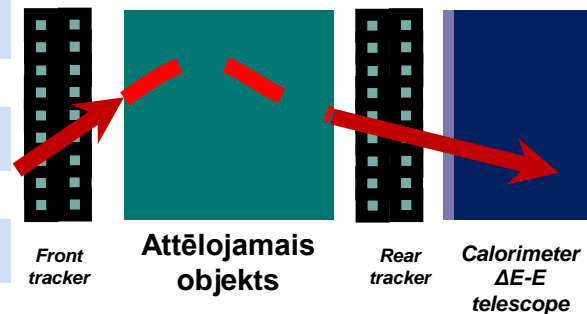
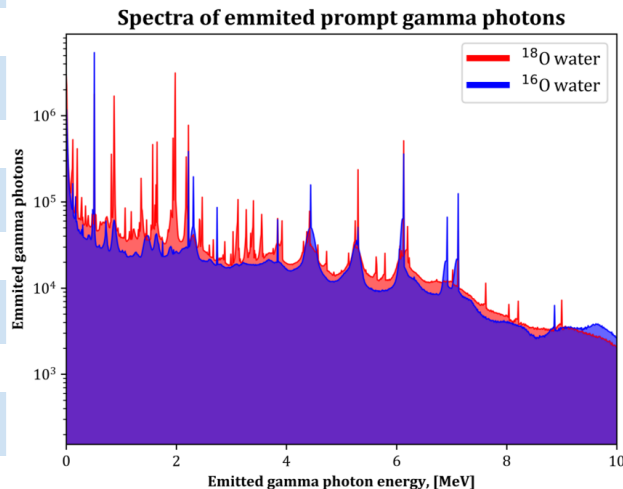


Medicīniskā attēlveidošana hēlija jonu terapijai



Pozitronu emisijas tomogrāfija Brega pīķa verifikācijai

Ātrās gammas Brega pīķa verifikācijai



Daļiņu radiogrāfija

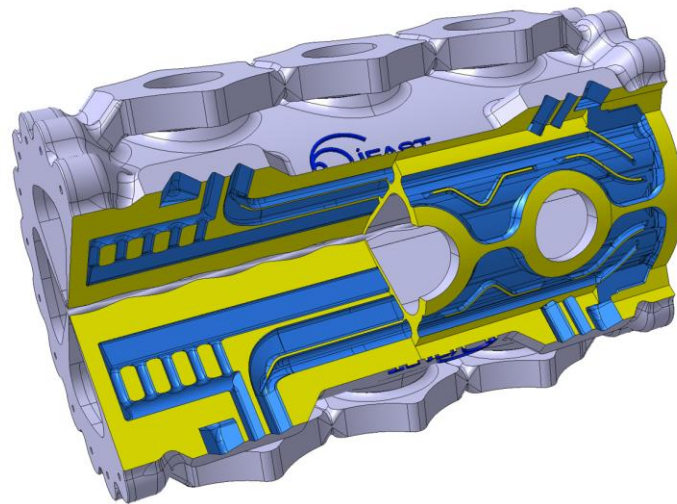
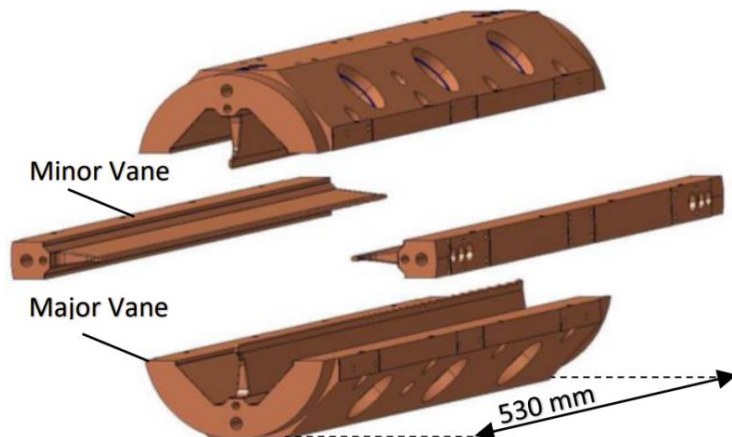
Aditīvās ražošanas pielietojums paātrinātāju tehnoloģijās



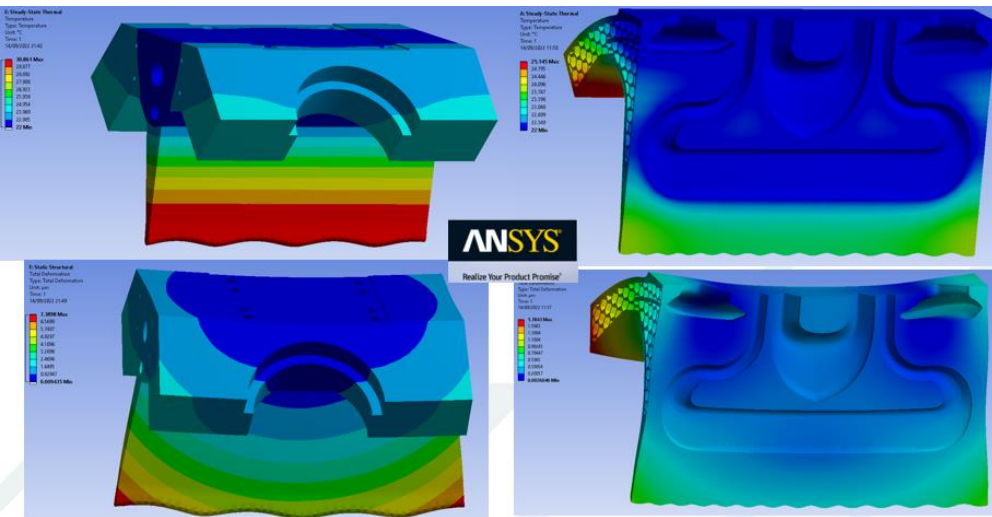
Aditīvi ražota HF-RFQ prototipa izstrāde

HF-RFQ (High Frequency -Radio Frequency Quadrupole 750MHz)

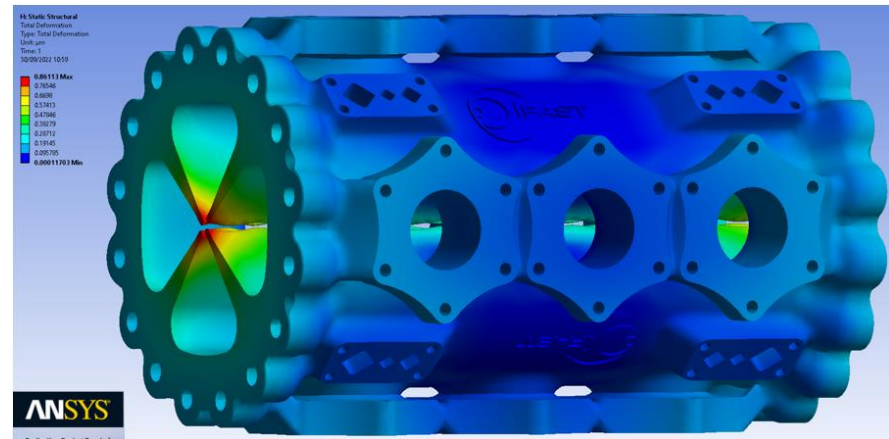
- pirmais posms daļiņu paātrinātājā pēc daļiņu avota;
- sarežģīta un precīza ģeometrija;
- augstas virsmas raupjuma prasības;
- izaicinošs, augstas tīrības materiāls (OFE-Cu, 99,95%)
- izaicinošas ekspluatācijas prasības (augsts vakuums)



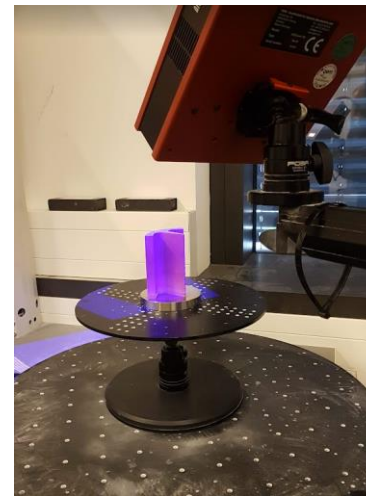
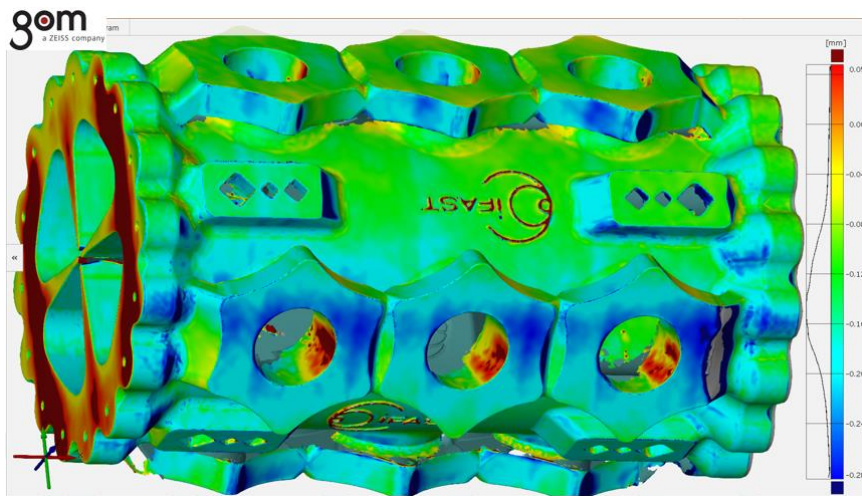
Simulācijas HF-RFQ funkcionālā dizaina uzlabošanai



Temperatūras sadalījuma un temperatūras izraisīto deformāciju simulācijas.



Prototipu ģeometrijas metroloģiskās pārbaudes



Koordinātu mērīšana, 3D optiskā skenēšana, virsmas raupjuma mērīšana, “point cloud” salīdzināšana ar CAD modeli.

AM-RFQ prototipi I.FAST WP10 sadarbībā

2021.07. ¼ - 95mm



printed quarter segment. (image credit: Christoph Wisnack/Fraunhofer IWS).



2022.05. - 250mm



2022.11. - 390mm