



ATOMFIZIKAS UN
SPEKTROSKOPIJAS
INSTITŪTS



cryogenic and
vacuum systems



NĀKAMĀS PAAUDZES TEHNOLOĢIJAS IZSTRĀDE AUGSTAS TĪRĪBAS KRISTĀLU AUDZĒŠANĀ, IZMANTOJOT MHD PSEIDO LEVITĀCIJU

LU ASI Zinātniskais seminārs, 2023. gada 21. decembris, Rīga

PROJEKTA REZULTĀTI

NACIONĀLAIS
ATTĪSTĪBAS
PLĀNS 2020



EIROPAS SAVIENĪBA

Eiropas Reģionālās
attīstības fonds

Projekta numurs:
Nr.1.1.1.1/20/A/070

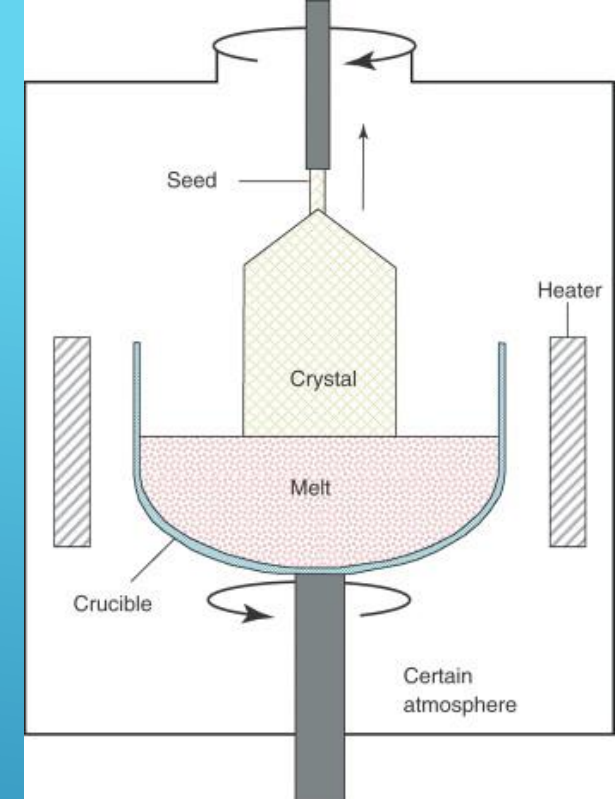
I E G U L D Ī J U M S T A V Ā N Ā K O T N Ē

- ▶ **Projekts:** Nr. 1.1.1.1/20/A/070 Nākamās paaudzes tehnoloģijas izstrāde augstas tīrības kristālu audzēšanā, izmantojot MHD pseido levitāciju ”.
- ▶ **Projekta realizētāji:** Latvijas Universitāte (vadošais partneris), SIA “AGL Technologies” un SIA “Cryogenic and Vacuum Systems”.
- ▶ **Projekta vispārējais mērķis:** Vispārējais mērķis ir pirmo reizi pasaulē pārbaudīt eksperimentāli nākamās paaudzes iekārtas koncepciju ultra-augstas tīrības pakāpes germānija kristālu audzēšanai ar MHD levitācijas metodi pseidolevitācijas apstākļos (nākotnes vajadzības prasa tīrību viens svešais atoms uz 10^{13} germānija atomiem Ge kristālā) ar virsmērķi nākotnē tādus ražot un lietot Latvijā, kā arī eksportēt, licencējot intelektuālo īpašumu.
- ▶ **Projekta realizācijas periods:** 01.04.2021 – 30.11.2023.

LEVITĀCIJAS PROJEKTA APRAKSTS

- ▶ Klasiskās krisālu audzēšanas metodēs kristāls tiek audzēts no kādā traukā izkausēta materiāla.
- ▶ Kausējuma kontakts ar trauka sienām var kalpot kā nevēlamu piemaisījumu avots kausējumā un audzējamajā kristālā.
- ▶ Kausējuma saskari ar trauka sienām var novērst, ja tas atrodas elektromagnētiskās levitācijas (EML) apstākļos.
- ▶ EML spole silda un ceļ tajā ievietotu, elektriski vadošu paraugu.

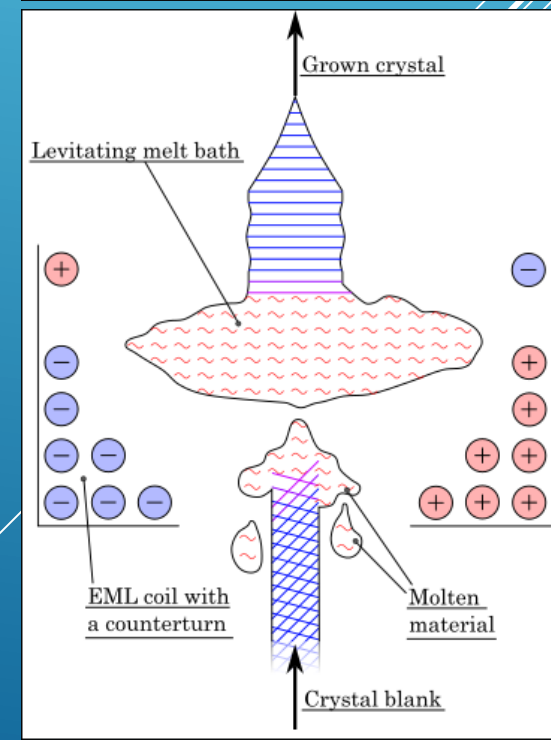
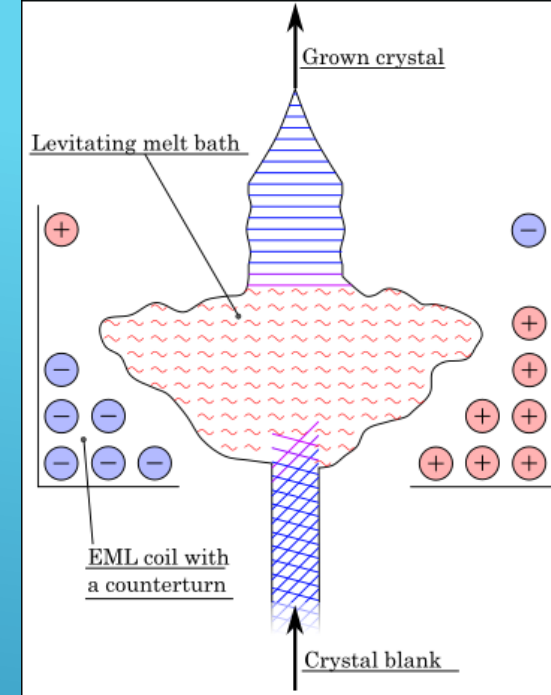
MHD LEVITĀCIJA



- ▶ Lai no izkausēta, levitējoša materiāla varētu izaudzēt liela izmēra kristālus, izkausētais materiāls kristāla augšanas laikā ir jāpapildina lai novērstu tā izsīkšanu.
- ▶ Agrāk ir bijuši mēģinājumi papildināt izkausēto materiālu EML spolē no apakšas, bet tie pagaidām nav vainagojušies panākumiem – materiāls izkūst un izlīst...

MHD LEVITĀCIJA

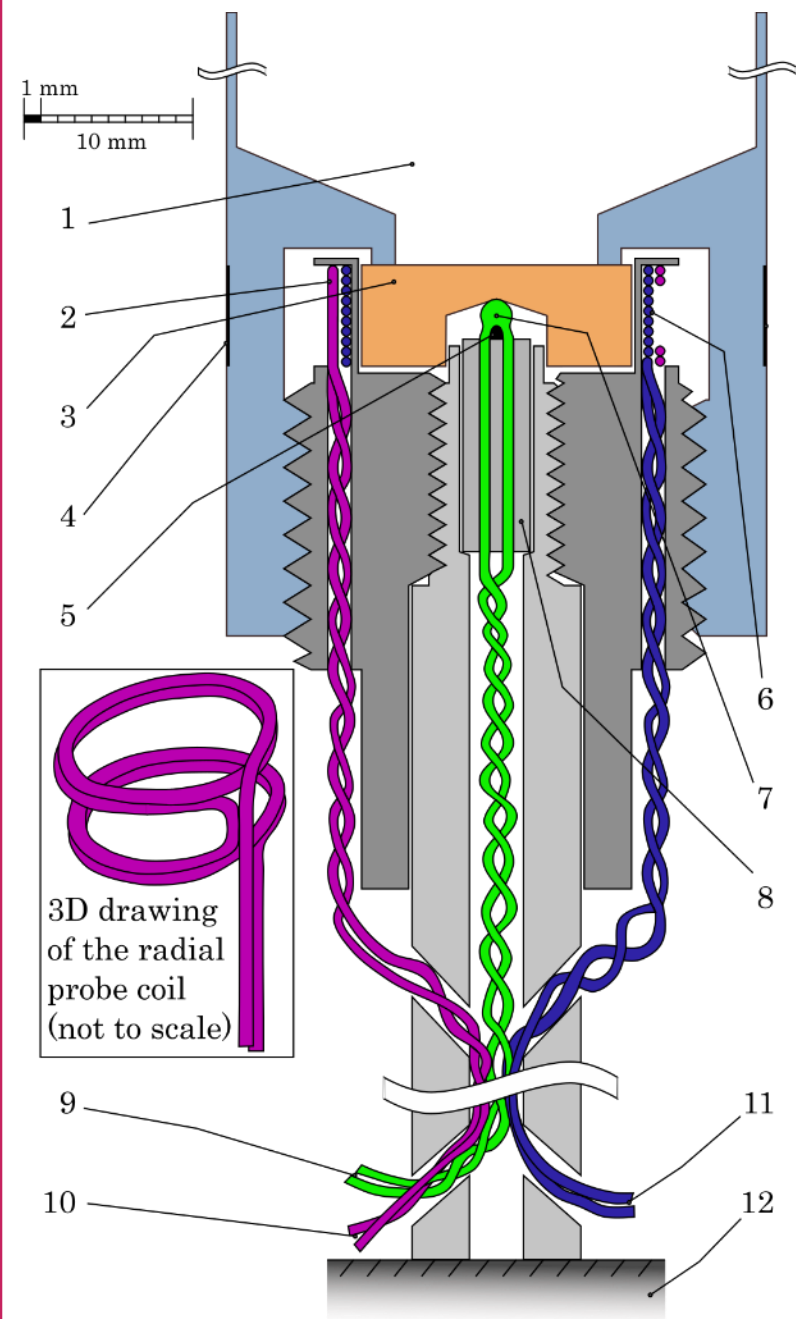
Realitāte Cerības



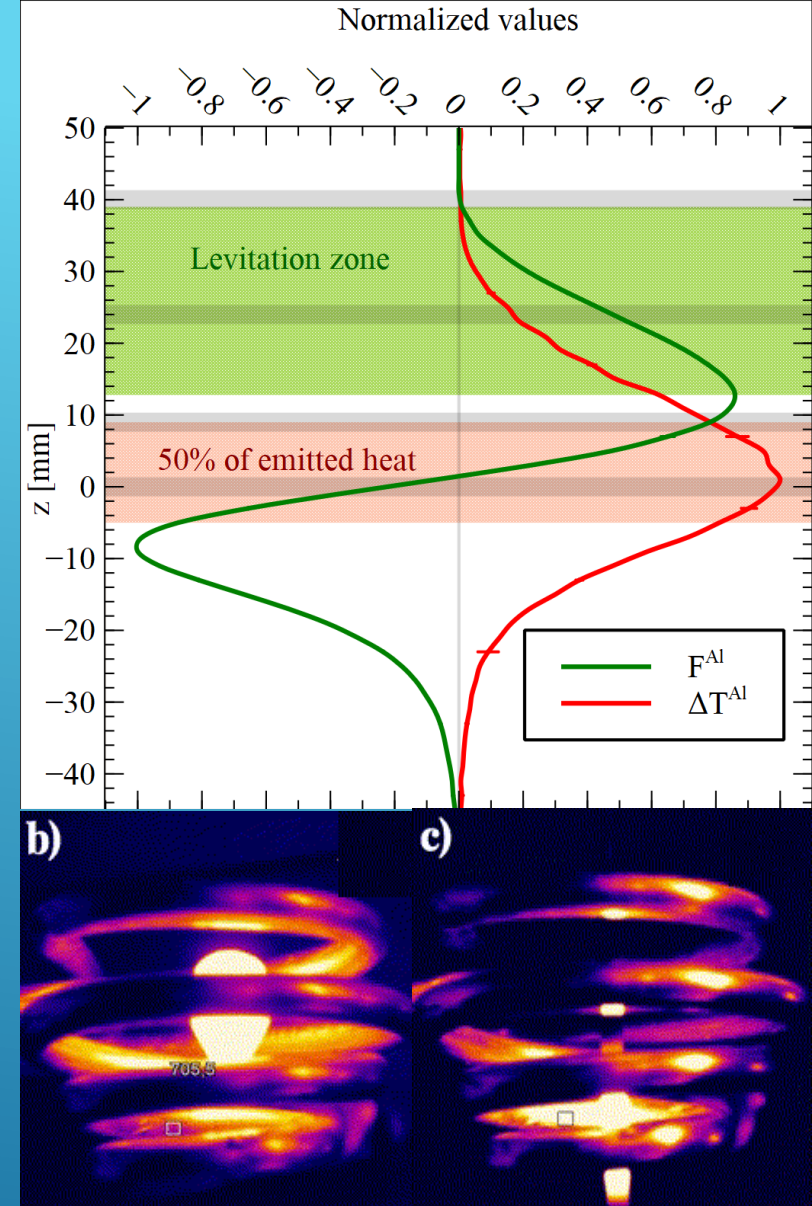
- ▶ Levitācijas projekta ietvaros tika veikti rūpīgi EML spoļu mērījumi, vienlaicīgi mērot to radīto cēlējspēku, silšanu un EM lauku, kas darbojas uz tajā ievietotu paraugu (mērījumu rezultāti ir publicēti vairākos starptautiski recenzētos izdevumos).

EML SPOĻU MĒRĪJUMI

EML spoļē ievietotā mērgaiva

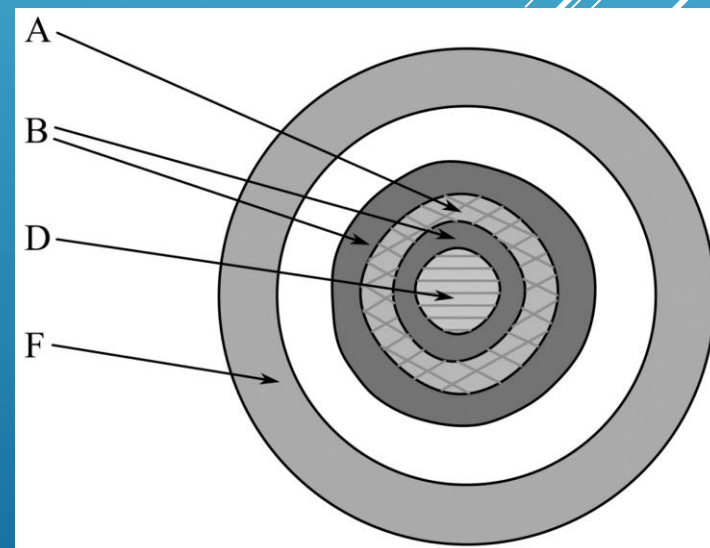
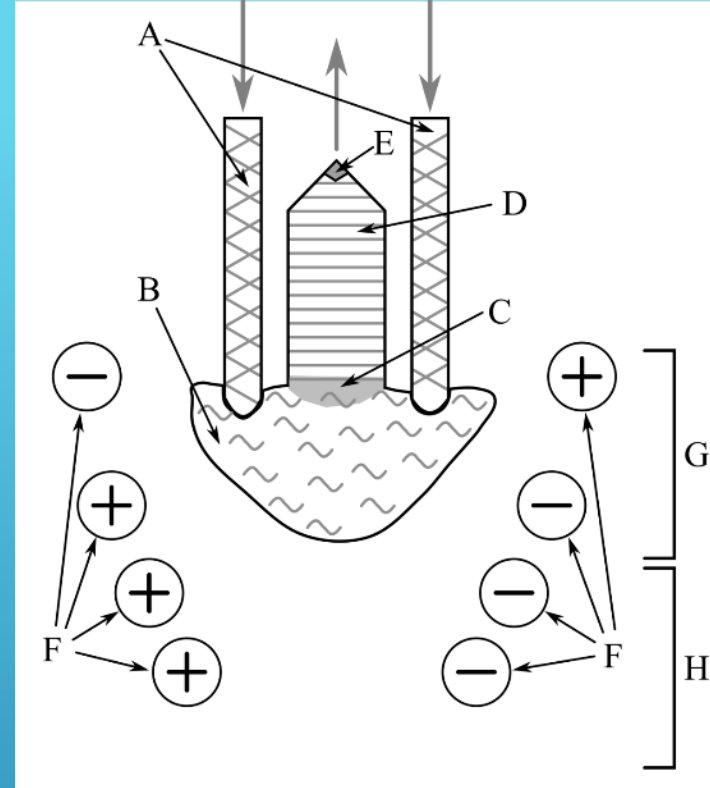


- ▶ Mērījumi uzskatāmi parādīja, ka visintensīvākā silšana EML spolē notiek zem levitācijas zonas. Ja materiāla papildināšanu mēģina veikt caur spoles apakšu, materiāls izkūst pirms nonākšanas levitācijas zonā.
- ▶ Balstoties uz mērījumu rezultātiem, meklējām citus ceļus, kā realizēt materiāla papildināšanu EML apstākļos izkausētam paraugam...



EML SPOĻU MĒRĪJUMI

- ▶ Levitācijas projekta ietvaros tika izstrādāta un patentēta jauna metode, kā veikt levitējošā, izkausētā materiāla papildināšanu virzienā no augšas, vienlaicīgi veicot kristāla audzēšanas procesu.
- ▶ Papildināmais materiāls (materiāla sagatave) ir izveidots caurules formā, kas ietver augošo kristālu, tādejādi ekranējot kristālu no apkārtējā EM lauka (un tā izraisītās silšanas) ietekmes.



IEKĀRTAS #1 PROTOTIPS

- ▶ Ge kristālu audzēšanai ir nepieciešama aizsarggāzu atmosfēra un augsta (ap 1000 °C) kušanas temperatūra.
- ▶ Lai vienkāršotu konceptu pārbaudi, pirmais kristālu audzēšanas iekārtas prototips tika izstrādāts darbam ar materiāliem, kuriem ir zemāka (līdz 300 °C) kušanas temperatūra un nav nepieciešama aizsarggāzu atmosfēra. Pirmie eksperimenti tika veikti ar alumīnija un alvas paraugiem.

IEKĀRTAS #1 PROTOTIPS

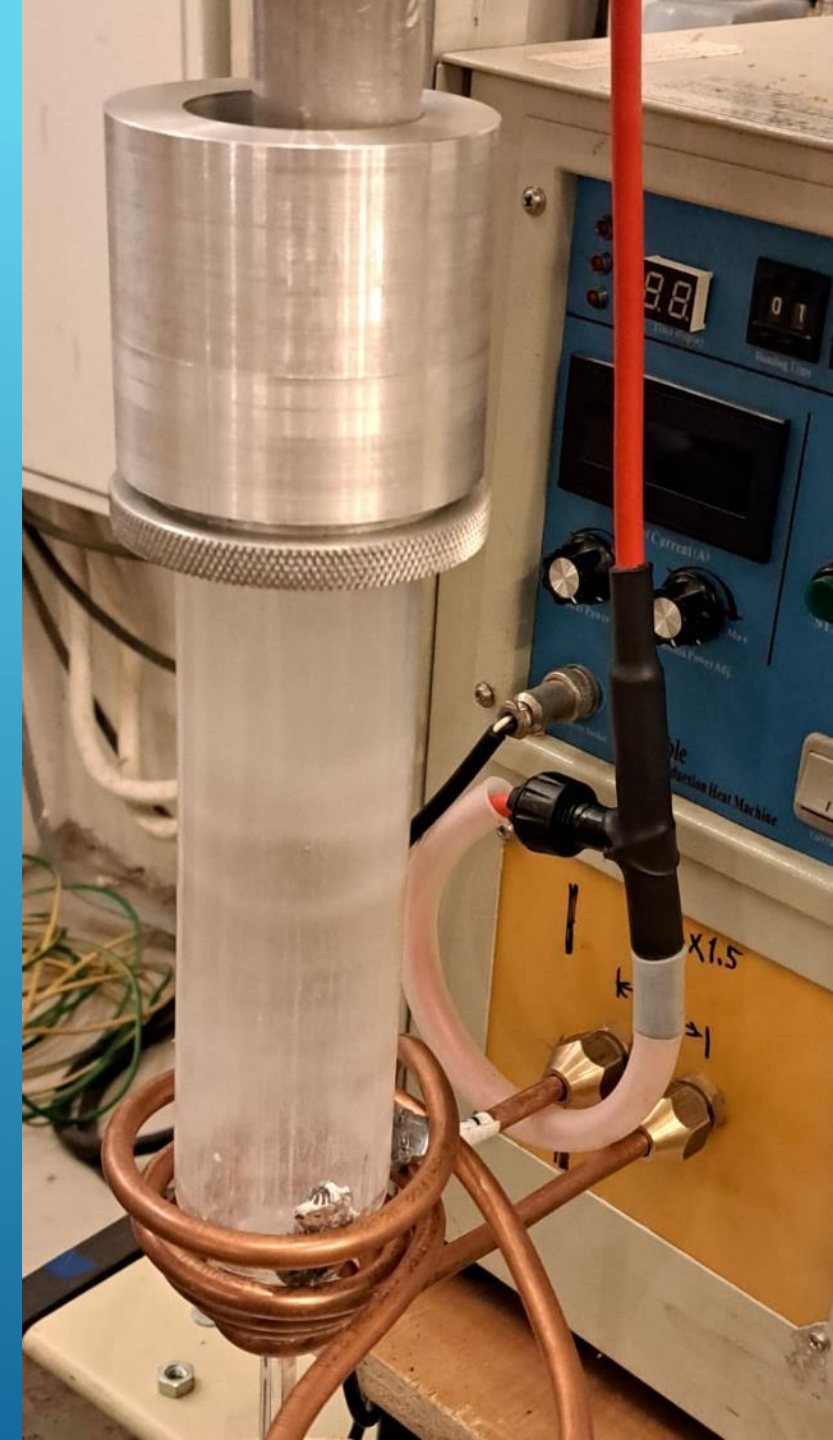


Zem-temperatūras
kristālu audzēšanas
Iekārta
(Prototips#1)

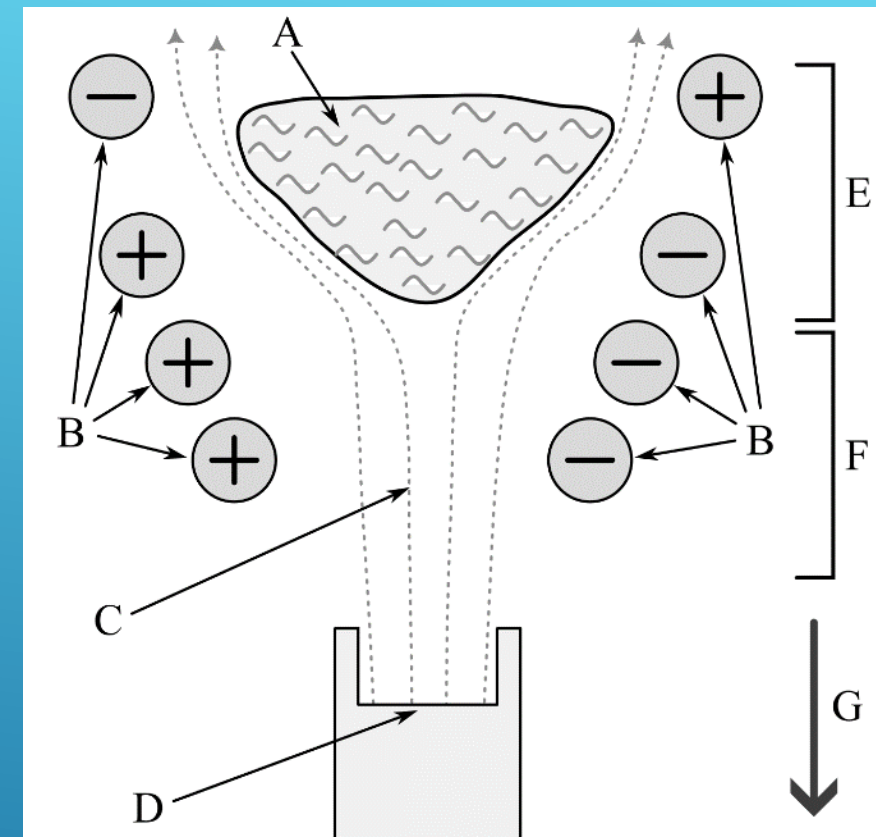


- ▶ Lai piemērotu prototipu #1 germānija kristālu audzēšanai, bija nepieciešams veikt sekojošas modifikācijas:
 - ▶ Vakuuma/tīrgāzu sistēmas ierīkošana;
 - ▶ EM ģeneratora bloka nomaiņa/pārbūve uz jaudīgāku modeli.

IEKĀRTAS #2 PROTOTIPS

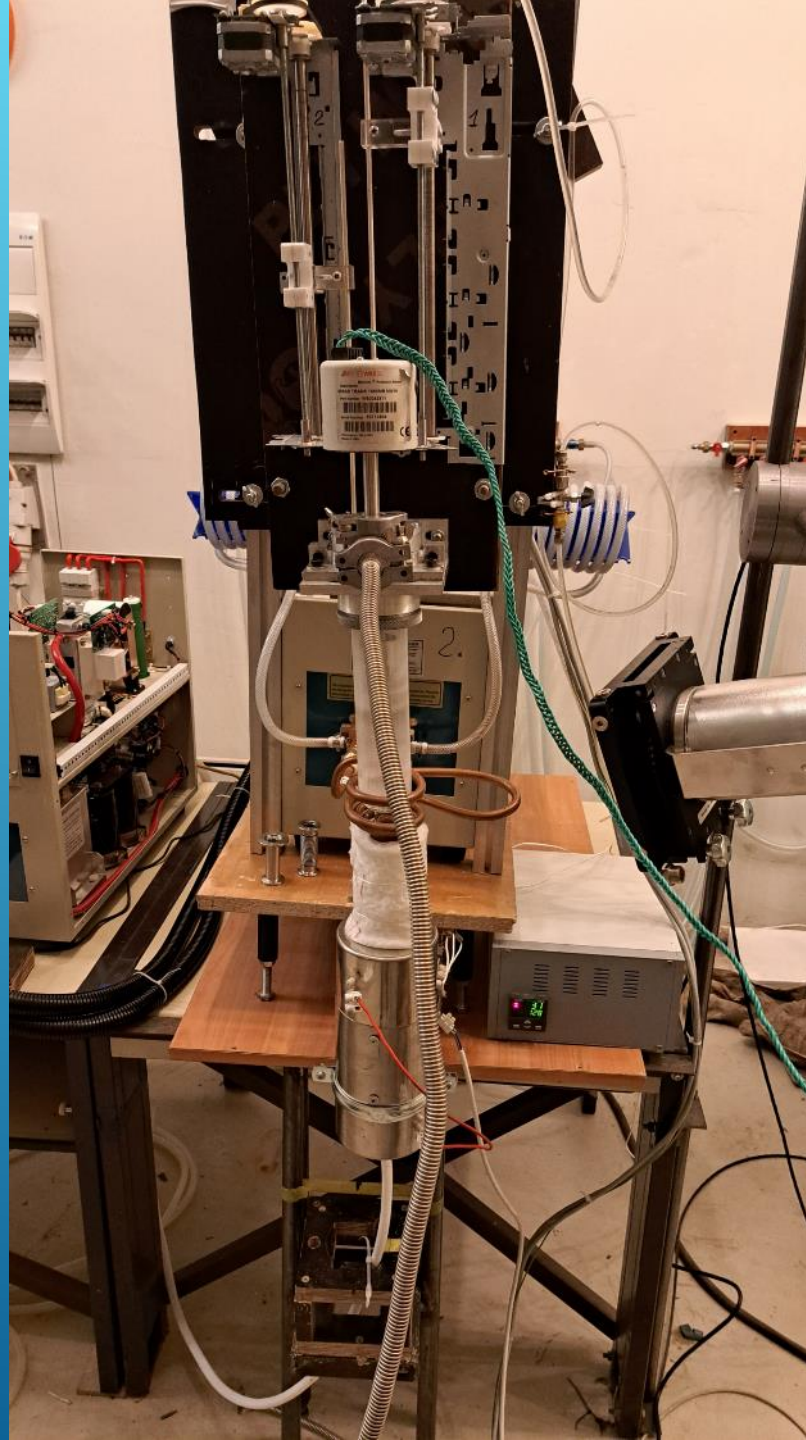


- ▶ Vakuuma/tīrgāzu sistēma iekārtas prototipā #2 pilda ne tikai aizsargatmosfēras nodrošināšanas funkciju.
- ▶ Levitācijas projekta ietvaros tika izstrādāts patents par gāzu plūsmas izmantošanu levitējoša materiāla formas un temperatūras kontrolei.
- ▶ Patentā aprakstītie principi tiek izmantoti prototipa #2 darbībā – argona (Ar) gāzes plūsma (kuru ir iespējams uzkarstēt oīms ievadīšanas vakuuma kamerā) tiek izmantota papildus cēlējspēka ģenerēšanai uz izkausēto materiālu.



IEKĀRTAS #2 PROTOTIPS

Augst-temperatūras
kristālu audzēšanas
lekārta
(Prototips#2)



- ▶ Neskatoties uz skarbu vidusposma vērtējumu no ārvalstu ekspertiem, galvenie projekta mērķi ir veiksmīgi sasniegti.
- ▶ Levitācijas projekta ietvaros ir:
 - ▶ Uzprojektēti, izgatavoti un pārbaudīti **2** kristālu audzēšanas iekārtas prototipi (TRL 3-4), ieskaitot to tehnisko dokumentāciju;
 - ▶ Izstrādāti un publicēti **3** zinātniski raksti (tajā skaitā **2** raksti zinātniskos izdevumos ar augstu citējamību) un 1 raksts apstiprināts publicēšanai;
 - ▶ Projektā veikto pētījumu rezultāti ir prezentēti **4** zinātniskās konferencēs;
 - ▶ Iesniegti un apstiprināti **2** patentu pieteikumi Latvijas Patentu Valdē;
 - ▶ Izstrādāto zinātību izsolē iegādājās LR komersants
- ▶ Lai paaugstinātu projekta ilgspējību, vēl tiek veikti darbi pie rezultātu precizēšanas.

PROJEKTA REZULTĀTU KOPSAVILKUMS

► Publikācijas:

- U. Lācis et.al. Nanoscale sheared droplet: volume-of-fluid, phase-field and no-slip molecular dynamics. *J. Fluid Mech.* 940 (2022), pp.1-45. DOI:101017/jfm.2022.219;
- V. Silamikelis, A. Apsītis, J. Snikeris, A. Pumpurs and S. Biggs. Simultaneous Measurement of the Lifting Force, Joule Heating and Axial/Radial Components of EM Field Inside an Electromagnetic Levitation Coil. *2023 14th International Conference on Measurement, Smolenice, Slovakia, (2023), Conference Proceedings*, pp. 230-233, DOI: 10.23919/MEASUREMENT59122.2023.10164400;
- J. Snikeris, A. Apsītis, U. Lācis, A. Pumpurs, S. Kravchenko, V. Silamikelis. Experimental observation of the vertical displacement between heating and levitation regions in an electromagnetic levitation coil. *J. Phys. D: Appl. Phys.* 57, (2023), 095002, DOI: 10.1088/1361-6463/ad0fbb.
- [apstiprināts publicēšanai] V. Silamikelis, J. Snikeris, A. Apsītis, A. Pumpurs. Experimental measurement of working parameters of conical electromagnetic levitation coils. *Latvian Journal of Physics and Technical Sciences*

► Konferenču tēzes:

- V. Silamikelis, A. Apsitis, V. Avotīnš, A. Ūbelis. Development of next generation technology for ultra purity crystal growth based on MHD semi levitation. The 4th International Conference, Riga, 22-23 April 2021. September 2021, DOI:10.22364/qoph.ul.2021, Publisher: University of Latvia. ISBN: 978-9934-18-708-7;
- V. Silamikelis, A. Apsītis, J. Sniķeris, A. Pumpurs. Electromagnetic levitation for crystal growth – measuring EM field, emitted heat and acting force within an electromagnetic levitation coil. 65th Int.Sci.Conf. of Daugavpils University, 2023, p.92. DOI:10.22364/qoph.ul.2021;
- V. Silamikelis, A. Apsītis, J. Sniķeris, A. Pumpurs. Development of next generation technology for ultra purity crystal growth based on MHD semi levitation. 5th Anniv. Int. Conf. of NSP FOTONIKA-LV “Quantum Sciences, Space Sciences and Technologies – Photonics Riga 2023”;
- [Populārzinātniska publikācija LU mājaslapā] A. Ūbelis, J. Sniķeris. Fotonikas zinātnēm un tehnoloģiju jomām vajadzīgi kristāli ar jaunu īpašību kopumu un tam ir vajadzīgas aizvien izsmalcinātākas iegūšanas metodes, 2022

PROJEKTA REZULTĀTU KOPSAVILKUMS

▶ Intelektuālais īpašums:

- ▶ [LV patents] V. Silamiķelis, A. Apsītis, J. Sniķeris, A. Pumpurs «Paņēmiens izkausētā, levitējošā materiāla papildināšanai audzējot monokristāliskas, polikristāliskas vai citas cietvielas struktūras elektromagnētiskās levitācijas apstākļos» LVP2023000104, 31.10.2023.
- ▶ [LV patents] J. Sniķeris, V. Silamiķelis, A. Apsītis, A. Pumpurs, V. Avotiņš «Elektromagnētiskās levitācijas temperatūras un formas kontrole ar gāzu plūsmas atbalstu» LVP2023000118, 22.11.2023.
- ▶ [zinātnība] V. Silamiķelis, A. Apsītis, J. Sniķeris «Lineāras kustības sistēma kristālu audzēšanas iekārtai»

- ▶ Attīstīt izstrādātos kristālu audzēšanas prototipus uz augstākiem TRL līmeņiem – gatavot jaunus projektu pieteikumus, meklēt investorus;
- ▶ Balstoties uz projektā iegūtajām zināšanām, attīstīt levitācijas pielietojumus kosmosa jomā – rakstīt jaunu projektu pieteikumus Eiropas Kosmosa Aģentūras, Open Space Innovation Platform (OSIP).

NĀKOTNES IECERES PĒC PROJEKTA BEIGĀM

PALDIES PAR UZMANĪBU!



NACIONĀLAIS
ATTĪSTĪBAS
PLĀNS 2020



EIROPAS SAVIENĪBA
Eiropas Reģionālās
attīstības fonds

ĪEGULDĪJUMS TAVĀ NĀKOTNĒ

