

EIROPAS REĢIONĀLĀS ATTĪSTĪBAS FONDS

Uzlabotas litija tehnoloģijas izstrāde plazmas attīrīšanas iekārtu (divertoru) aktīvo virsmu aizsardzībai

Projekts Nr. 2DP/2.1.1.0/10/APIA/VIAA/176 (Progresa ziņojums – 6)

2011 - 2012

Projektā piedalījās:

- 1 *Platacis Ernests
- 2 Bucenieks Imants
- 3 Kļukins Aleksandrs
- 4 Muktepāvela Faina
- 5 Romančuks Alberts
- 6 Ķizāne Gunta
- 7 Šiško Andrejs
- 8 Mencendorfs Gatis
- 9 Kravalis Kalvis
- 10 Ziks Anatolijs
- 11 Broka Maija
- 12 Ivanovs Sergejs
- 13 Pagasts Inguss
- 14 Jurgensons Andris
- 15 Vītiņš Aigars
- 16 Celmājs Jānis
- 17 Zariņš Artūrs
- 18 Leščinskis Andris

*Kontaktpersona: tel. 67945785; mob. 26513424.

e – pasts: erik@sal.lv

1. Ūdeņraža izotopu detektēšana šķidrā litijā kā divertora aizsargmareriālā

IEVADS

ERAF projekta "*Uzlabotās litija tehnoloģijas izstrāde plazmas attīrīšanas iekārtu (divertoru) aktīvo virsmu aizsardzība*" ietvarā 1. aktivitātes uzdevums ir ūdeņraža izotopu detektēšana šķidrā litijā kā divertora aizsargmateriālā. Pētījuma mērķis ir izpētīt tritija sorbciju un desorbciju izkausētā litijā, tai skaitā, paplašinātais mērķis būtu iespējamo litija savienojumu, piem., litija tritīda (*LiT*) rašanās un termiskās sadalīšanas procesa pētījumi. Tritiju sorbcijasdesorbcijas pētījumiem iegūst no tritiēta parauga termiskās difūzijas ceļā no tā difundē tritiju (*T*₂), kas turpmāk var saistīties reakcijā ar izkausētu litiju. Viens no svarīgākajiem šī uzdevuma veikšanas darba praktiskajiem uzdevumiem, ir eksperimentālās iekārtas konstruēšana. **Darba mērķa īstenošanai** izveidota multifunkcionāla iekārta tritija sorbcijai desorbcijai šķidrā litijā, apkopota literatūra par šķidro litiju, litija hidrīdu, kā arī ūdeņraža izotopu iedarbību ar šķidro litiju.

1. LITERATŪRAS APSKATS

1.1. Litija fizikālās īpašības

Kušanas temperatūra

Litija kušanas temperatūra ir 180,54 ${}^{0}C$. Vairums literatūras avotos kušanas temperatūra variē no 179 līdz 186 ${}^{0}C$. Šī temperatūra ir divtik augstāka par *Na* kušanu, taču tā ir ievērojami mazāka par vairums citu metālu kušanas temperatūru. Tāpēc šis ir viens no iemesliem kāpēc *Li* tiek plaši izmantots kā reaktoru dzesējošais un siltuma novadīšanas aģents (*šķidrums*).

Viršanas temperatūra

Viršanas temperatūra salīdzinoši ar citiem sārmu metāliem ir salīdzinoši zema, aptuveni $1347^{\circ}C$. Litija viršanas temperatūra pie normālajiem apstākļiem daudzos literatūras avotos tiek uzdota no $1317 \, \text{l}$ īdz $1370^{\circ}C$.

Normālā litija operatīvā temperatūra (*temperatūra, pie kuras mēdz strādāt*) ir no 200 līdz 550 ^{0}C . Slēgtā sistēmā, pie normāla atmosfēras spiediena, litija viršana nenotiks tik ilgi, līdz tas

nesasniegs temperatūru, kas ir krietni augstāka par viršanas punktu. Tas atļauj litija sistēmām strādāt bez spiediena pieauguma, tādējādi samazinot izturības prasības attiecībā pret aparātu konstrukcijām.

Tvaika spiediens

Tvaika spiediens (*P*) jeb līdzsvara tvaika spiediens ir spiediens kāda šķidruma tvaikam, kas ir termodinamiskajā līdzsvarā ar savu kondensēto fāzi slēgtā sistēmā. Litijam piemīt samērā zems tvaika spiediens pie kušanas temperatūras, aptuveni 10^{-10} mm Hg. Ir sastādītas vairākas vienādības, ar kuru palīdzību var izrēķināt tvaika spiedienu pie dažādām temperatūrām. Viena no vienādībām, ar kuru var aprēķināt litija tvaika spiedienu robežās no 700 līdz 1400 °*C* ir vienādība (*1*). Vienādībai (*1*) dotajā temperatūru diapazonā ir laba korelācija ar eksperimentāli noteiktām tvaika spiediena vērtībām, un ir tuvi rezultāti salīdzot ar citām, sarežģītākām vienādībām.

$$\lg P = 8.00 - 8143T^{-1} \tag{1}$$

kur,

P – tvaika spiediens, mm Hg; T – absolūtā temperatūra, K;

Tvaika spiediena pieauguma līkne temperatūru diapazonā no 800 līdz 1200 $^{\circ}C$ parādīta 1.1. attēlā.



1.1. att. Litija tvaika spiediens atkarībā no temperatūras

Blīvums

Cietā fāzē litija blīvums ir 0,534 g/cm³. Ar sekojošo vienādību (2) ir iespējams aprēķināt šķidrā litija blīvumu temperatūru diapazonā no 200 līdz 1600 $^{\circ}C$ ar precizitāti $\pm 0,3\%$.

$$\rho_{II} = 0.515 - (1.01 \times 10^{-4})(T - 200) \tag{2}$$

kur,

 ρ_{Li} – litija blīvums pie temperatūras T, g/cm³; T – temperatūra no 200 līdz 1600°C, °C;

Attēlā 1.2. apskatāms litija blīvuma atkarība no temperatūras. Litija blīvumu apraksta lineāra funkcija, kur blīvums samazinās temperatūrai pieaugot.



1.2. att. Litija blīvums atkarībā no temperatūras, diapazonā no 200 līdz 1600 °C

Virs $1600 \,{}^{0}C$ litija blīvums strauji samazinās. Sava zemā blīvuma dēļ, šķidro metālu sūkņiem ir mazāka sūkšanas slodze, nekā tas būtu ar citiem metāliem. Tā ir vēl viena būtiska priekšrocība litija izmantošanai kodolindustrijā.

Viskozitāte

Viskozitāte (η) ir šķidruma pretestības mērs, kas noteikts to deformējot bīdes vai stiepes procesā.

Ir definētas divu tipu viskozitātes. Dinamiskā un kinemātiskā viskozitāte. Kinemātiskā viskozitāte ir attiecība starp šķidruma dinamisko viskozitāti un tā blīvumu pie dotās

temperatūras. Dinamiskā viskozitāte apskata šķidruma pretošanās spēju izmainīt to formu. Šī iekšējā berze ir lielums, kas parāda cik grūti ir likt šķidrumam plūst.

Ir divas dinamiskās viskozitātes aprēķināšanas vienādības pie dažādiem temperatūru diapazoniem, vienādība (3), kas darbojas diapazonā no 180,54 līdz $1000^{\,0}C$ un vienādība (4), diapazonam no 600 līdz $1200^{\,0}C$. Vienādība (4) var tikt izmantota, lai ekstapolētu viskozitāti pie vēl lielākām temperatūrām.

$$\lg \eta = 0,4936 - 0,7368 \lg T + 109,95 \cdot T^{-1} \tag{3}$$

kur,

 η – dinamiskā viskozitāte, *cP* (*centipuāzi*);

T – temperatūra diapazonā no 180,54 līdz 1000 $^{\circ}C$, K;

$$\lg \eta = 726.07 \cdot T^{-1} - 1.3380 \tag{4}$$

kur,

 η – dinamiskā viskozitāte, *cP*;

T – temperatūra diapazonā no 600 līdz 1200 $^{\circ}C$, K;



1.3. att. Litija viskozitāte atkarībā no temperatūras

Virsmas spraigums

Virsmas spraigums (σ) ir šķidruma virsmas īpašība, kas ļauj pretoties ārējiem spēkiem.

Molekulāro spēku mijiedarbība starp diviem šķidrumiem ir viegli un izteikti novērojama. Uz šķidruma virsmas (*piemēram, uz šķidrā litija*) patstāvīgi neveidojoties šķidrumam, virsmas molekulas rada spēkus, kas virsmai liek uzvesties kā membrānai, kas būtu pārvilkta pāri šķidruma virsmai. Tas ir saistīts ar to, šķidruma molekulas stipri piesaistās pie gāzu molekulām (*piemēram, ar gaisu*). Šķidrajam litijam virsmas spraigums ir lineāra funkcionāla sakarība no temperatūras. Tas tika konstatēts eksperimenta laikā, kad radās nepieciešamība izliet litiju no tīģeļveidīga konteinera, rezultātā, pat apgriežot to otrādi un spēcīgi kratot, tīģeli, kura diametrs bija aptuveni 2.54 cm (*1 colla*), no litija nevarēja atbrīvot. Liela virsmas spraiguma un maza blīvuma kombinācija nodrošināja to, lai litijs noturētos metāla konteinerā. Sakarība (*5*) apraksta šķidrā litija virsmas spraigumu atkarībā temperatūras. Sakarība pielietojama temperatūru diapazonā no 200 līdz 1300 ^{0}C . Virsmas spraiguma un temperatūras funkcionālās sakarības grafiskais attēlojums skatāms 1.4. attēlā.

$$\sigma_{Li} = 0.16 \cdot (3550 - T) - 95 \tag{5}$$

kur,

 $\sigma_{_{Li}}$ – virsmas spraigums šķidrajam litijam, dyne/cm;

T – temperatūra diapazonā no 200 līdz 1300 $^{\circ}C$, K;



1.4. att. Litija virsmas spraiguma atkarība no temperatūras

Slapināšana

Slapināšana apraksta spēju šķidrumam brīvi izplatīties (*plūst*) pa cietu virsmu. Šķidrumiem ar maziem virsmas spraigumiem parasti piemīt labas slapināšanas spējas. Analītiski tīrs litijs neslapinās nerūsējošā tērauda virsmu līdz 315 ${}^{0}C$, bet sāks slapināt jau pie 400 ${}^{0}C$. Neattīrīts litijs, kas saturēs mikro piemaisījumus, neslapinās nerūsējošā tērauda virsmu līdz ~ 480 ${}^{0}C$.

1.2. Litija termiskās īpašības

Entalpija

Entalpija ir termodinamiskā funkcija, kas parāda iekšējās enerģijas daudzumu un sistēmai pieejamo spiedienu un tilpumu. Litija entalpiju pie kādas konkrētas temperatūras var aprēķināt pēc vienādībām (6) un (7). Vienādības (6) precīzais darbības diapazons ir robežās no 190 līdz 650 $^{\circ}C$, bet vienādības (7) no 500 līdz 1300 $^{\circ}C$.

$$H_T = 270,4 + C_P (T - 453,6) \tag{6}$$

kur,

 H_T – entalpija pie temperatūras T, cal/g; C_P – siltumkapacitāte, cal/g-⁰C;

T – temperatūra diapazonā no 190 līdz 650 $^{\circ}C$;

$$H_{T} = -5,075 + 1,0008T - 5,173 \times 10^{3} T^{-1}$$
⁽⁷⁾

kur,

 H_T – entalpija pie temperatūras T, cal/g;

T – temperatūra diapazonā no 500 līdz 1300 $^{\circ}C$;





1.5. att. Litija entalpija atkarībā no temperatūras

Kušanas entalpija

Kušanas entalpija jeb kušanas siltums ir enerģijas daudzums, kas nepieciešams lai pārvērstu vienu molu vielas no cietas fāzes šķidrā. Temperatūru, kuru process sasniedz ir kušanas temperatūra.

Litija kušanas siltums sasniedzot $180,54^{\circ}C$ ir 103,2 cal/g.

Siltumkapacitāte

Siltumkapacitāte (C_p) jeb siltumietilpība ir izmērāms fizikāls lielums, kas raksturo siltuma daudzumu, kas nepieciešams lai izmainītu substances temperatūru par uzdoto lielumu. Attēlā 1.6 parādīta litija siltumkapacitāte kalorijās uz gramu par vienu celsija grādu (cal/g- ${}^{0}C$). Litijam piemīt lielākā siltumkapacitāte no visiem cietajiem elementiem, šis fakts to padara to par vērtīgu siltumapmaiņas aģentu dzesēšanas iekārtās.



1.6. att. Litija siltumkapacitāte

Siltumvadītspēja

Siltumvadītspēja (k) ir materiāla spēja vadīt siltumu. Litija siltumvadītspēja temperatūru diapazonā no 0 līdz 100 ${}^{0}C$ pēc SI sistēmas ir 84,7 $Wm^{-1}K^{-1}$ [a3]. Pēc ārpus sistēmu mērvienībām tas atbilst 1,67 *cal/sek* · $m \cdot {}^{0}C$.

Litijam, kā vairums metāliem, siltumvadītspēja ir atkarīga no temperatūras. Litija siltumvadītspēju ļoti plašā temperatūru diapazonā apraksta apieztā parabola, temperatūrai pieaugot līdz noteiktam punktam pieaug arī siltumvadītspēja, pēc tam turpinot celt temperatūru siltumvadītspēja krītas. Eksperimentāli ir noteiktas trīs empīriskās vienādības (8 - 11) litija aptuvenai siltumvadītspējas aprēķināšanai, pie trim dažādiem temperatūru diapazoniem.

no 250
$$l\bar{\iota}dz 950^{\circ}C$$
: $k_{250-950^{\circ}C} = 10,1+2,94\times10^{-3}T$
(8)
no 300 $l\bar{\iota}dz 1100^{\circ}C$:
 $k_{300-1100^{\circ}C} = 10,48+4,98\times10^{-3}(T-180,6)-0,58\times10^{-6}(T-180,6)^{2}$
no 320 $l\bar{\iota}dz 830^{\circ}C$: $k_{320-830^{\circ}C} = 8,24+7,46\times10^{-3}T$
(10)
vidējā vienādība: $k = 9,59+4,55\times10^{-3}T$
(11)

kur,

 k_{T1-T2} – siltumvadītspēja temperatūru diapazonā no T1 līdz T2, *cal / sek* · *m*·⁰*C*; *T* – temperatūra, ⁰*C*;

(9)

Attēlā 1.7 ir apkopoti vairāku, neatkarīgu eksperimentu noteiktie litija siltumvadītspējas lielumi. Ir redzams, ka lielumiem nav laba lineārā korelācija (*skat. 1.7. att.*), taču tupinot punktu fiksēšanu vēl pie lielākām temperatūrām, var saskatīt, ka punkti izvietojas uz apgrieztās parabolas līknes. Samērā nelielos diapazonos var izmantot lineārās sakarības *Li* siltumvadītspējas aprēķināšanai (*skat. 1.7. att.*).



1.7. att. Litija siltumvadītspēja atkarībā no temperatūras

Litija siltumvadītspēju vislabāk aprakstošā vienādība, kas ir vidējais lielums no vienādībām (8), (9) un (10) ir vienādība (11). Attēlā tā ir iezīmēta ar raustīto līniju (*skat. 1.7. att.*).

1.3. Litija ķīmiskās īpašības

Vispārīgās ķīmiskās īpašības

Litijs ir pats neaktīvākais metāls no visas sārmu metālu saimes, taču speciālos apstākļos tam piemīt laba reaģētspēja. Litijs aktīvi reaģē ar halogēniem, emitējot gaismu. Tas loti aktīvi reaģē ar vairums neorganiskajām skābēm, īpaši ar atšķaidītām. Taču aukstā un koncentrētā sērskābē litijs pasivējas un reakcijas noris lēni. Izkausēts litijs īpaši aktīvi reaģē ar cementu (betonu) un citiem materiāliem, kas satur mitrumu. Reakcijas noris ar sprādzienu. Tas aktīvi stājas reakcijās arī keramiskajiem izolācijas materiāliem, tādiem kā porcelāns. Pie augstām temperatūrām, izkausēts litijs reaģē ar visām gāzēm, bet temperatūrā virs 200 $^{\circ}C$ to var apstrādāt parafīna tvaikos. Vairums apstākļos, tas tiek uzskatīts par inertu hēlija atmosfērā. Mitrums jeb neliela ūdens klātbūtne, jūtami katalizē litija – gāzu reakcijas. Izkausēts litijs nereaģēs ar skābekli un oglekļa dioksīdu pilnīgi sausā gaisā, bet 10 līdz 15 ppm mitruma klātienē, jau istabas temperatūrā, notiks reakcijas ar gaisā esošo skābekli, slāpekli un ogļskābo gāzi. Litijs viegli reaģē ar gaisu, ūdeni, skābekli, oglekli, slāpekli un ūdeņradi pat inertajos šķidrumos, kuros tas tiek uzglabāts. Šo elementu piesārņojums litijā, saskarsmē ar citiem metāliem, veicina to koroziju. Stabilie binārie savienojumi, kā litija oksīds, nitrīds, hidroksīds, hidrīds un hlorīds ir ļoti korozīvi savienojumi. Metāliskie piemaisījumi arī katalizē daudzas litija reakcijas.

1.4. LiH fizikālās īpašības

Blīvums



LiH blīvuma atkarība no temperatūras cietā un šķidrā fāzē apskatāma 1.9 attēlā.

1.9. att. LiH blīvuma atkarība no temperatūras

Kušanas temperatūra

Kušanas temperatūra no vairākiem literatūras avotiem variē robežās no $686 - 688 {}^{0}C$.

Kušanas entalpija

Kušanas entalpija tiek uzdota ar samērā lielu drošības intervālu: $7000 \pm 2000 \ cal / mol$.

Siltumkapacitāte

LiH siltumkapacitātes atkarība no temperatūras cietā un šķidrā fāzē apskatāma 1.10 attēlā. Līdzīgi kā Li siltumkapacitātes gadījumā, arī LiH siltumkapacitāte krītas pēc kušanas temperatūras sasniegšanas.



1.10. att. LiH siltumkapacitātes atkarība no temperatūras

Siltumvadītspēja

LiH siltumvadītspējas atkarība no temperatūras cietā fāzē apskatāma 1.11. attēlā.



1.11. att. LiH siltumvadītspējas atkarība no temperatūras

Izkausētam LiH siltumvadītspēja ir noteikta kā 0,0188 $Cal/\sec/cm/{}^{0}C$ pie 710 ${}^{0}C$.

1.5. Litija – ūdeņraža mijiedarbība

Litijs var reaģēt ar ūdeņradi veidojot aktīvu hidrīdu ar augstu kušanas temperatūru. Reakcija noris saskaņā ar reakcijas vienādojumu (12):

$$Li(s) + \frac{1}{2}H_2(g) - > LiH(s) \qquad \Delta H_{25^0C} = -21,61\frac{kcal}{mol}$$
 (12)

Atkarībā no veidošanās apstākļiem, litija hidrīds var būt vai nu balts, kristālisks pulveris vai arī veidot adatveidīgus kristālus. Ūdeņraža reakcija ar tīru izkausēta litija virsmu lineārās korelācijas, ir pirmās pakāpes reakcija, ar aktivācijas enerģiju 12,6 kcal/mol. Litija gadījumā, aktivācijas enerģija ir mazāka, nekā ūdeņraža reakcijai starp nātriju vai kāliju. Reakcijas ātrumu attiecība litijam, nātrijam un kālijam 250 $^{\circ}C$ temperatūrā ir attiecīgi 43:4:1. Paaugstinot temperatūru reakcijas ātrums lineāri pieaug. Attēlā 1.8 parādīta temperatūras ietekme uz ūdeņraža absorbciju šķidrā litijā. Reakcija starp izkausētu litiju un tīru ūdeņradi augstākās temperatūrās sāk noritēt jau 400 $^{\circ}C$ temperatūrā, un beidzas ļoti ātri pie 710 $^{\circ}C$. Iestājoties reakcijas (*12*) līdzsvaram, ūdeņraža parciālais spiediens ir aptuveni 40 tori 700 $^{\circ}C$ temperatūrā. Ūdeņraža šķīdība izkausētā litijā ir aptuveni 17 reizes augstāka 500 $^{\circ}C$ temperatūrā nekā 900 $^{\circ}C$ temperatūrā (*pie viena un tā paša spiediena*), 94% no litijā izšķīdušā ūdeņraža var tikt ekstrahēti paaugstinot temperatūru līdz 900 $^{\circ}C$. Litijā esošie piemaisījumi var izraisīt reakcijas pašaizdegšanos un sprādzienu. Visi šie dati attiecināmi uz relatīvi tīrām eksperimentālajām sistēmām un vielām, atkarībā no izejvielu tīrības, vērtības var mainīties.

1.6. Ūdeņraža izotopu difūzija izkausētā litijā

E.A. Kuslers (*E.A. Culer, 1976.*) ir vispārinājis, ka jebkura solvāta šķīdība jebkurā šķidrajā solventā ir aptuveni konstanta, kas atbilst $0.7 \times 10^{-5} cm^2 / s$. Kaut arī šis apgalvojums ir samērā vispārīgs un tiecas uz precizēšanu, piemērotāka sakarība difūzijas matemātiskai aprakstīšanai balstās uz Stroka – Einšteina (*Stroke- Einstein, 1905*) vienādojuma (1) [a1].

$$D = kT / 6\pi \cdot \bar{r}\mu \tag{1}$$

kur,

k-*Bolcmaņa konstante*, $1,3805 \times 10^{-13}$;

 $T-absol\overline{u}t\overline{a}$ temperatūra, K;

 \overline{r} – efektīvais rādiuss difundējamai vielai, cm;

Relatīvi sfēriskai molekulai efektīvais rādiuss būs:

$$\bar{r} = (3V/4\pi N_{Av})^{1/3}$$
⁽²⁾

kur,

V- ir molekulārais tilpums pie normālās viršanas temperatūras, $cm^3 / g \cdot mol$;

$$N_{Av}$$
 – Avogadro skaitlis, 6,02 · 10²³ molek / mol ;

Priekš nesfēriskām molekulām, to efektīvo rādiusu nosaka pēc to pseido hidrodinamiskās mobilitātes (*Brenners*, 1974).

Efektīvais *LiH* molekulas rādiuss ir 1,7Å, un to var aprēķināt pēc vienādojuma (2). Ievietojot šo rādiusu vienādojumā (1), tam zūd korelācija ar eksperimentāli noteiktiem datiem, cēlonis tam ir tas, ka difundējamais savienojums nav tikai *LiH* savienojuma molekula. Ūdeņradis difundējot šķidrā litijā var veidot vairākus savienojumus, ne tikai *LiH*, bet arī Li_2H , Li_3H un vēl lielāku savienojumu molekulas. Priekš mazākām molekulām, kas difundējas nepolimēru šķidrumos, biežāk lietotās vienādības, kas apraksta difūzijas korelāciju ar eksperimenta apstākļiem ir :

$$D = 7.4 \times 10^{-8} \frac{(M_B)^{1/2T}}{\mu^* V_a^{0.6}}$$
(3)

un

$$D = 8,2 \times 10^{-8} \frac{T}{\mu^*} \frac{1 + \frac{3V_B^{2/3}}{V_A}}{(V_A)^{1/3}}$$
(4)

kur,

 V_A un V_B – solvāta un solventa molekulārie tilpumi, cm³ / mol; M_B – solventa molmasa, g/mol; T – absolūtā temperatūra, K; μ^* – solventa viskozitāte, cP;

No abiem šiem vienādojumiem izriet, ka šķidruma difūzija ir proporcionāla dalījumam absolūtajai temperatūrai ar viskozitāti:

$$D = \frac{aT}{\mu} \tag{5}$$

kur,

a – ir noteiktā konstante, kas ir neatkarīga no temperatūras konkrētam solvāta – solventa pārim;

Vienādība (5), kas ir piemērota universāli visām nepolimēru sistēmām, var tikt izmantota lai ekstapolētu pieejamos, ūdeņraža - litija difūzijas datus zemu temperatūru režīmos. Turklāt, tā kā molekulārais tilpums ir lielā mērā neatkarīgs no izotopa masas, tad vienādības (1), (2) un (4) prognozē, ka konstante a vienādībā (5) ir neatkarīga no izotopa. Tādējādi, pie jebkuras temperatūras, visu ūdeņraža izotopu difūzijai šķidrajā litijā jābūt vienādai.

Šķidruma viskozitāte temperatūru diapazonā no 185 – 1000 $^{\circ}C$ ir droši aprakstāma sekojošā veidā:

$$\log_{10}\mu^* = 1,4936 - 0,7368\log_{10}T + 109,95/T \tag{6}$$

Nav sagaidāms, ka litija viskozitāte ir ietekmējama ar mazām ūdeņraža koncentrācijām. Pielietojot vienādības (5) un (6) uz eksperimentāli iegūtiem datiem par litija – ūdeņraža difūziju augstās temperatūrās, ir novērota difūzijas korelācija, kas piemērojama visiem ūdeņraža izotopiem. Eksperimentāli ir atrasts konstantes a lielums, kas ir $2,86 \times 10^{-10}$ erg/cmK ar standartnovirzi 18%. Ūdeņraža izotopu difūzija šķidrajā litijā ir aprēķināta sekojoši:

$$\log_{10}(D \pm 18\%) = -9,038 + 1,737 \log_{10} T - 110/T$$
(7)

Kaut arī vienādība (7) apraksta tikai ūdeņraža izotopu difūziju tīrā litijā, to var izmantot kā palīglīdzekli, lai prognozētu ūdeņraža izotopu difūziju litija sakausējumos, kā litija – svina, litija – alumīnija un citos sakausējumos, kas ir noderīgi kodolsintēzes reaktoru konstrukcijās.

Tabulā 1.1. ir apkopoti eksperimentāli noteiktie ūdeņraža difūzijas koeficienti šķidrā litijā, četrām dažādām temperatūrām un dažādu spiedienu variācijām. Eksperimentāli dati parāda zināmu difūzijas koeficientu atkārtojamību, kas apstiprina iepriekš klāstīto sakarību pielietojumu praksē. *1.1. tabula*

Temperatūra, ${}^{0}C$	Spiediens, Pa	Difūzijas koeficients, cm^2/s
800	575,0	0,97
800	15,6	1,10
800	15,6	0,95
800	1097	1,11
800	1097	1,04
800	1097	1,33
800	1097	1,25
800	1097	1,30
805	575	1,33
855	575	1,54
905	575	2,85

 H_2 difūzijas koeficienti metāliskajā Li pie augstām temperatūrām, pie dažādiem spiedieniem

1.7. Ūdeņraža izotopu atdalīšana no litija

Litijs ir viens no galvenajiem elementiem, kas paredzēts tritija pavairošanai D - T kodolsintēzes reaktoros. Pašdzesējošā litija virsslāņa koncepcija arī ir viena no galvenajām idejām termiskās kodolsintēzes reaktoros (*ITER*). Tomēr tritija atgūšana no litija līdz paredzētajam, pieļaujamajam līmenim (~ *1 appm*) joprojām ir galvenais tehniskais jautājums. Tas ir saistīts ar ļoti augstu tritija šķīdību litijā, un ļoti zemas tritija koncentrācijas nepieciešamību litijā, lai minimizētu tritija daudzumu pavairošanas virsslānī (*eng. breeding blanket*). Ir attīstītas vairākās daudzsološas metodes tritija atgūšanai no litija:

- izkausētās sāls metode (eng. molten salt recovery), lieto aktīvo metālu sāļus kā, LiCl KCl, LiF LiCl vai LiF LiCl LiBr, lai ekstrahētu ūdeņraža izotopus no izkausēta litija.
- caurspiešanās loga metode (*eng. the permeation window*), lieto termiski izturīgus, metāliskos logus, kam piemīt ūdeņraža izotopu saķērājspējas, kā cirkonija vai itrija logus.
- destilācija jeb termālās desorbcijas metode, pamatojas uz litija hidrīda, deiterīda un tritīda termisko sadalīšanu un komponentu atdalīšanas metodi.
- aukstā slazda metode (eng. cold trapping).
- šķidro metālisko eluentu metode, izmanto eluentus, kas satur retos (*Ce, La, Y*) un pārejas metālus (*Co, Ni, Fe, Mn*).

Izkausētās sāls metode, ir vienīgais veiksmīgais process, ar kura palīdzību ir izdevies atgūt tritiju no litija līdz vēlamajai koncentrācijai (~*1 appm*). Tomēr, pēc tritija ekstrakcijas ar sāli, litijs būs zināmā mērā piesārņots ar izmantoto sāli, kas ietekmēs litija otrreizējo izmantošanu tritija pavairošanas slānī.

Visvairāk pētītā metode ūdeņraža izotopu atdalīšanai no litija, ir ūdeņraža caurspiešanās caur metāla vai metālu sakausējumu logu, kas atdala ūdeņradi no litija. Šo metālu sakausējumiem ir jāpiemīt augstai caurlaidībai pie temperatūrām, kas pārsniedz 850 ${}^{0}C$. Lai process būtu efektīvāks, metode būtu jāpapildina ar hīdrīdus veidojošu sakausējumu, kas absorbētu un uzglabātu atdalīto tritiju. Aprēķini liecina, ka ar šo metodi ir iespējams panākt tritija koncentrāciju litijā no 1 līdz 10 wt ppm.

Jaunāks tritija atgūšanas process ir bāzēts izmantojot auksto slazdu, kas izstrādāts attīstoties ITER koncepsijai. Taču arī šai metodei ir savi trūkumi. Viens no galvenajiem ir tritija koncentrācijas samazināšana tikai līdz ~400 appm, kas ir nepietiekoši otrreizējai efektīvai litija izmantošanai. Tāpēc aukstā slazda metode vēl netiek uzskatīta par efektīvu metodi šī uzdevuma veikšanai. Taču pastāv dažādas šīs metodes modifikācijas. Piemēram, lai gan tritija koncentrācija ir tikai 1 appm, apzināti pievienojot ūdeņradi litijā, pie aukstā slazda

temperatūras kopējā ūdeņraža koncentrācija sasniedz piesātināto koncentrācijas līmeni. Tādējādi, dzesējot litija plūsmu, tritijs tiks izgulsnēts kopā ar pievienoto ūdeņradi. Nogulsnētais materiāls ir litija hidrīda un tritīda maisījums Li(H+T), kas tritija atgūšanai tiks sadalīts pie 600 ${}^{0}C$. Tritijs tiks atdalīts no pievienotā ūdeņraža ar kriogēno destilāciju.

Šķidro sakausējumu saķērēji jeb šķidro metālisko elementu sakausējumi var uzturēt tritija koncentrāciju litijā zem 1 wt ppm, tomēr ir salīdzinoši grūti atgūt tritiju no metāliskā eluenta. Kā arī ir iespējamas litija un šķidrā eluenta savstarpējās reakcijas. Šie fakti padara šo metodi mazāk vilinošu kā citas..

2. REZULTĀTU DAĻA EKSPERIMENTU ĪSTENOŠANAI

2.1. Eksperimentālās iekārtas konstruēšana

Reaktora materiāla izvēle

Izvērtējot literatūrā aprakstīto informāciju, no tās seko, ka strādājot ar šķidro jeb izkausētu litiju, ļoti stingri jāievēro darba drošības noteikumi. Rezultātā pieņemts lēmums, eksperimentālās iekārtas aktīvo zonu veidot no ķīmiski izturīgā tērauda, no kā arī gatavo ķīmiski izturīgos autoklāvus. Izvēlētā tērauda marka reaktora aktīvajai zonai ir "*Stainless Steel 304l*" (*pēc ASV standartiem*).

Reaktora funkcionalitātes prasības

Reaktoram jābūt izturīgam pret agresīvām vielām, kā litijs, kas ir aktīvs sārmu metāls, un augstākās temperatūrās labprāt stājas dažādās aizvietošanas reakcijās ar citiem metāliem. Metālam jāsaglabā savas īpašības augstās temperatūrās - $800 \ ^{\circ}C$, tas nedrīkst oksidēties vai radikāli izmainīt savu struktūru (karsējot, dzesējot). Reaktoram jātur samērā ekstremāli apstākļi (- 800 °C), tai laikā jāievēro dažādu metālu izplešanās koeficienti. Nedrīkst pieļaut reaktora hermētiskuma izmaiņas paaugstinot temperatūru, kas varētu rasties, izplešoties citām reaktora daļām. Reaktoram jābūt absolūti hermētiskam, lai nepieļautu tritija gāzes noplūdi, kā arī vides sasmērēšanu ar radioaktīvo piesārņojumu. Reaktora aktīvās zonas tērauda sieniņu biezumam jābūt pietiekošam iespējamās korozijas dēļ. Reaktora aktīvajai zonai jābūt maksimāli vienkāršas konstrukcijas, lai tā saturētu pēc iespējas mazāk vītņoto detaļu, lai novērstu tritija noplūdi vītnēs, kas apgrūtinātu tā izvadīšanu uz tritija detektoru. Jābūt divvirzienu aktīvās zonas komunikācijām, tas ir, jābūt diviem atsevišķiem pieejas kanāliem pie reaktora, no kuriem vienu saista ar tritija detektoru. Reaktoram jābūt viegli izjaucamam un maksimāli miniatūram, lai varētu ērti manipulēt hermētiskajā dearētajā vakuumboksā ar ierobežotu tilpumu, kā arī ērti transportējamam uz tritija sorbcijas-desorbcijas eksperimentu boksu. Viegli apkopjama reaktora konstrukcija ir svarīga prasība un nepieciešamība, lai būtu iespēja veikt tīrīšanu un dezaktivāciju pēc eksperimentiem.

Reaktors ir multifunkcionāls, ir iespēja T_2 avotu karsēt gan vienlaicīgi ar litiju, kā rezultātā izdalītais tritijs uzreiz stājas reakcijā ar šķidro litiju, gan arī atsevišķi.

Darba gaitā tika izveidotas vairākas tritija sorbcijas-desorbcijas sistēmas.

3. REZULTĀTI UN TO IZVĒRTĒJUMS

3.1. Tritija sorbcijas-desorbcijas sistēma I

Reaktora aktīvā zona kopā ar integrēto tritija iegūšanas kameru



3.1. att. Reaktora aktīvās zonas uzbūve, iekļaujot tritija termiskās difundēšanas kameru no Be lodītēm.

A, B – reaktors izjauktā veidā; C – reaktors savienotā veidā

1 – reaktora aktīvā zona, 2- avota kasete, 3 – avots, 4 – tērauda sietiņš, 5 – Cu blīvējums, 6 – reaktora galva, 7, 8 – gāzu apmaiņas kapilāri, 9, 10 – kapilārus noslēdzošie vārsti.

Reaktora noslēgšana



3.2. att. Reaktora pilnīga noslēgšana A – nenoslēgts reaktors; B – pilnīgi noslēgts reaktors 1 – skrūves, 2 – blīvējuma paplākšņi, 3 – reaktora apakšējais atloks, 4 – bultskrūves, 5 – reaktora augšējais atloks, 6 – distanceri, 7 – centra balsts, 8 – centrs Atsevišķā tritija iegūšanas kamera



3.3. att. Iekārta tritija termiskai difundēšanai no tritija avota, atsevišķi no reaktora 1 – tērauda caurulīte, 2 – tritija avots), 3, 4 – noslēdzošie vārsti

3.2. Eksperimenta norise

Eksperiments izmantojot integrēto tritija avota kameru

Reaktora sagatavošana un savienošana (skat. 3.1. att.)

Visu iekārtu ievieto hermētiskā, vakumētā un dearētā boksā, Ar atmosfērā. Noteiktu litija iesvaru ievieto reaktora aktīvā zonā (1). Avota kasetē (2) ievieto vienu vai vairākas tritiētas lodītes (3), un pašu kaseti ievieto reaktorā (1). Reaktoru savieno ar reaktora galvu (6), kur starp reaktora aktīvo zonu (1) un reaktora galvu (6) ir metāla blīvējums (5). Pie reaktora aktīvās zonas ir divi gāzu apmaiņas pievadi (7), (8), kurus noslēdz noslēdzošie vārsti (9) un (10).

Reaktora saslēgšana (skat. 3.2. att.)

Savienoto reaktoru (*skat. 3.1. att. C*) noslēdz ar noslēdzošajiem atlokiem (*3*) un (*5*). Atloki tiek saskrūvēti ar četrām nerūsējošā tērauda bultskrūvēm (*1*) un (*4*). Noslēdzošā atloka (*5*) centru (*8*), kas ir pievienots centra balstam (*7*), pievieno jebkurai rotācijas iekārtai (*maisītājam*).

Reakcijas norise

Reaktoru (*skat. 3.2. att. B*) ievieto mufeļkrāsnī un veic karsēšanu izvēlētās temperatūrās. Šajā laikā reaktora telpā noris divi paralēlie procesi - tritija difundēšana no *tritiētām* lodītēm un tritija sorbēšanās (*reakcija*) ar šķidro litiju. Pēc reakcijas beigām reaktoru izņem no mufeļkrāsns un ļauj tam atdzist.

Nosaka neizreaģējošā (*neabsorbētā*) tritija daudzumu. Pieslēdz reaktora pievada vārstam (9) (*skat. 3.1. att.*) tritija detektoru, bet vārstam (10) *nesēj*gāzes pievadu. Atver abus vārstus. Caur vārstu (10) konstantā plūsmā laiž *nesējgāzi*, (*skat. 3.1. att.*) izspiež abas gāzes uz tritija detektoru. Hermētiskajā boksā, izjauc reaktoru un izņem tritiēto lodīšu kaseti. Atkārtoti saslēdz reaktoru, kā rakstīts iepriekš.

Veic *tritija desorbciju un c*aur vārstu (10) izskalo reaktora telpu ar *nesējgāzi* un reaktoru ievieto atpakaļ mufeļkrāsnī, karsē temperatūrā (~700 - 750 ^{0}C). Pēc noteikta izkarsēšanas laika atkārtoti veic tritija izpūšanu uz tritija detektoru.

Eksperiments izmantojot atsevišķo tritija avota kameru

Tritija izdalīšana (skat. 3.3. att.)

Eksperimenta būtība ir tāda pati kā iepriekš, taču atšķirība ir tā, ka tritijs tiek difundēts no *tritija avota* atsevišķā iekārtā, atsevišķi no reaktora. Savas vienkāršās uzbūves dēļ, tas dod iespēju izkarsēt lodīti daudz augstākās temperatūrās (1000 + ${}^{0}C$), nekā to tehniski atļauj pats reaktors. *Tritija avotu* (2) ievieto nerūsējošā tērauda "U" veida caurulītē (1), kur abos galos tā tiek noslēgta ar noslēdzošajiem vārstiem (3) un (4). Caurulītes "U" veida gals līdz pusei tiek ievietota mufeļkrāsnī un karsēta ap 1000 ${}^{0}C$, kur šajā laikā no tritija avota efektīvāk un ātrāk difundē tritijs.

Reaktora sagatavošana un savienošana (skat. 3.1. att.)

Reaktoru sagatavo precīzi kā aprakstīts iepriekš, izņemot posmu par *tritija avota* kaseti.

Reaktora saslēgšana (skat. 3.2. att.)

Reaktoru saslēdz precīzi kā aprakstīts iepriekš.

Tritija ievadīšana reaktora tilpumā

Pēc reaktora saslēgšanas, reaktora vienu vārstu pieslēdz vakumsūknim, reaktora zonu vakuumē. Reaktora vienu no vārstiem (*skat. 3.1. att.*) ar pievadu savieno kopā ar vienu no tritija kameras vārstiem (*skat. 3.3. att.*). Pievada otrajam (*brīvajam*) vārstam pieslēdz *nesējgāzes* balonu, un atver attiecīgo vārstu, panākot *nesējgāzes* ieplūšanu "U" veida caurulītē un spiediena pieaugumu tajā. Atver reaktora vārstu *un "U*" caurulītes otro vārstu. Notiek visu gāzu iesūkšana reaktora telpā.

Sorbcijas-desorbcijas norise ir analoģiska (neveic posmu ar tritija avota izņemšanu). Veic karsēšanu līdz 700 – 780.

3.3. Tritija sorbcijas-desorbcijas sistēma II

Paraugu sagatavošana eksperimentam

1. Litija ielādēšana reaktorā un kopējās iekārtas saslēgšana



sav -savienojums k - krāns

3.4. att. Li ielādēšana un iekārtas saslēgšana

1. Vakuumboksā ievieto nepieciešamos instrumentus, kas nepieciešams sistēmas (skat. 3.4. att.) saslēgšanai:

- 2 x 13 mm bultskrūvju atslēgas savienojuma (sav 4) saslēgšanai
- Sorbcijas iekārtu izjauktā stāvoklī (krāni (k1), (k2) un (k3) ir atvērtā stāvoklī)
- Nepieciešamo litija daudzumu
- Visu nepieciešamo Li nomazgāšanai no eļļas (lupatas, spirts, petroleja, papīrs)
- Skalpeli un āmuru Li sagriešanai
- Vārglāze, 50 mL
- Svari

2. Noslēdz vakuumboksu un izveido inertu (Ar) atmosfēru. Tas sevī iekļauj, vakuumēšanu un piepildīšanu ar argonu (1 - 3 reizes) un kontroli.

- 3. Nomazgāto, nosvērto Li gabaliņu ievieto reaktora telpā (skat. 1. att.).
- 4. Saslēdz iekārtu (sav 4).
- 5. Noslēdz krānus (k1), (k2) un (k3).

6. Iekārta ir sagatavota izņemšanai no vakuumboksa un turpmākajām manipulācijām.

2. Tritija avota pieslēgšana un vakuuma izveidošana kopējā sistēmā



3.5. att. Tritija avota pieslēgšana un vakuuma izveidošana kopējā sistēmā

1. Tritija avotu ievieto kvarca ampulā un pievieno trīskanālu savienojumam (trij 1), kas savukārt pievienots pie kopējās sistēmas savienojuma (sav 2).

2. Vakuumē tritija avota ampulu. Pie savienojuma (sav 6) pievieno vakuumsūkni uz izsūknē atmosfēras gāzes no tritija avota ampulas, saslēdzošajiem lokanajiem un cietajiem pievadiem un trīskanālu savienojuma (trij 1).

3. Pēc gāzu atsūkšanas ar žņaugu noslēdz lokano savienojumu (sav 6), izvairoties no atmosfēras gāzu iekļūšanas vakuumētajā ampulā. Izslēdz un atvieno vakuumsūkni.

4. Uz savienojuma (sav 5) pievieno nelielu lokanā pievada gabalu. Ar žņaugu noslēdz savienojumu (sav 5).

5. Pie savienojuma (sav 3) pievieno vakuumsūkni.

6. Lēnām atver krānus (k1) un (k2), notiek argona spiediena izlīdzināšanās.

7. Ieslēdz vakuumsūkni un lēnām atver pēdējo krānu (k3). Tiek izsūknētas visas gāzes, kas ir visā sistēmas tilpumā.

8. Pēc gāzu izsūknēšanas (vakuummetra rādījumi) noslēdz krānus (k1) un (k3). Krāns (k2) paliek atvērtā stāvoklī.

9. Izslēdz un atvieno vakuumsūkni no savienojuma (sav 3).

10. Sistēma ir sagatavota litija reaktora un tritija ampulas vienlaicīgai karsēšanai.

11. Vienlaicīgi pie dažādu temperatūru gradientu programmām, divās cauruļkrāsnīs tiek karsēti iekārtas (skat. 2. att.) abi gali, tas ir, tritija avota ampula un reaktors, kas satur Li. Procesu veic darba boksā. Tritija avota ampulas karsēšanas laikā (1000 ⁰C) desorbētais tritijs sorbējas litijā, kas ir šķidrā stāvoklī (200 ⁰C). Pēc noteikta laika (3 h), kad tritija ģenerēšanās vairs nenotiek, procesu pārtrauc. Abas krāsnis lēnām atdzesē līdz istabas temperatūrai.

12. Atvieno trīskanālu savienojumu (trij 1) un tritija avota ampulu no (sav 2).

13. Iekārta ir sagatavota tritija skalošanai un detektēšanai.

3. Tritija skalošana no reaktora



3.6. att. Tritija izpūšana no reaktora tilpuma

- 1. Rotametri (rot 1) un (rot 2) ir noregulēti uz nepieciešamajiem plūsmas ātrumiem.
- 2. Uzliek žņaugu uz starp trīskanālu savienojuma (trij 1) un savienojuma (sav 5).
- 3. Veic lokano pievadu skalošanu no nesorbēdā tritija. Skalošanu veic līdz aktivitāte (Cps) normalizējas (paliek konstanta).
- 4. Pēc aktivitātes normalizēšanās pārliek žņaugu starp trīskanālu savienojumiem (trij 1) un (trij 2).
- 2. Lēnām atver krānus (k1) un (k2). Nesējgāze cirkulē caur reaktora tilpumu, izspiežot tritiju uz skalotni, no tās uz detektoru.
- Analoģiski kā iepriekš, veic nesorbētā tritija skalošanu no reaktora telpas līdz konstantai aktivitātei (Cps).
- 3. Pēc izskalošanas noslēdz krānus (k1) un (k2).
- 4. Reaktors (Li) ir gatavs termiskās desorbcijas procedūrai.
- 5. Nepārtraucot skalošanas gāzes plūsmu pakāpeniski sāk karsēt reaktoru līdz LiT sadalīšanās temperatūrai (690 ⁰C). Karsēšanas laikā būtiski pieaug aktivitāte (Cps).
- 6. Skalošanu pārtrauc līdz aktivitāte ir samazinājusies līdz fona līmenim un saglabājas konstanta.

7. Lēnām samazina temperatūru līdz istabas temperatūrai, nepārtraucot skalošanu un aktivitātes detektēšanu.

8. Aizver krānus (k1) un (k2).

9. Iekārta gatava demontāžai un tīrīšanai.



3.7. att. Temperatūras kontrole tritija ģenerēšanas un tritija sorbcijas-desorbcijas kamerā ar litiju



3.8. *att.* Vakumēšanas sistēma, tritija monitors, datu pieraksta sistēma, skaitīšanas (P10, argometāns (10 % metāns) un nesējgāzes (He+0.1.% H₂) baloni.

1 – vakuumetrs, 2 – vakuumsūknis, $3 - H^3$ detektors, 4 – skaitīšanas gāze un nesējgāze



3.9. att. Darba bokss, tritija avota karsēšanas krāsns, litija karsēšanas krāsns, sorbcijas – desorbcijas iekārta un pievadu komunikācijas
 1 – darba bokss, 2 – tritija avota mufeļkrāsns, 3 – litija mufeļkrāsns



3.10. att. Tritija sorbcijas-desorbcijas sistēmas, tritija monitora un datu pieraksta kopskats



3.11. att. Nesaistītā tritija izpūšana no nerūsējošā tērauda reaktora ar 0,2 gramiem litija. Kopā izpūsti 3,52 MBq nesaistītā tritija.



3.12. *att*. Tritija izdalīšanās no nerūsējošā tērauda reaktora ar 0,2 gramiem litija temperatūras programmētās desorbcijas procesā. Summārais izdalītā tritija

daudzums aprēķināts pēc sākuma fona 6,01 cps. Summārā izdalītā tritija daudzuma beigu vērtība: 4,2 MBq.



3.13. att. Tritija izdalīšanās no nerūsējošā tērauda reaktora ar 0,2 gramiem litija temperatūras programmētās desorbcijas procesā. Summārais izdalītā tritija daudzums aprēķināts pēc beigu fona 41,9 cps. Summārā izdalītā tritija daudzuma beigu vērtība: 3,2 MBq.

2. Mijiedarbības procesu izpēte uz litija un nerūsējošā tērauda SS316L kontaktvirsmas atkarībā no tehnoloģiskiem parametriem (Aktivitāte Nr.2; 2010. 4.kv.- 2011. 3.kv.)

Mērķis – izstrādāt tehnoloģiju šķidra litija un nerūsējoša tērauda matricas kontaktvirsmu slapināšanai

Pētījumi saskaņā ar Aktivitātes Nr.2 "Mijiedarbības procesu izpēte uz litija un nerūsējošā tērauda SS316L kontaktvirsmas atkarībā no tehnoloģiskiem parametriem" programmu ir pabeigti (sk. Pielikumu Nr.1 "Akts –Atskaite"). Tiek gatavota publikācija.

3. Optimālo parametru noteikšana litija plūsmai uz slīpas profilētas virsmas gravitācijas spēka ietekmē ārpus magnētiskā lauka

Veikto eksperimentu rezultātā konstatēts:

Ir iespējams organizēt plānu (0.2 – 1.0mm) litija plūsmu uz slīpas plaknes (nerusējošā tērauda matricas) gravitācijas spēka ietekmē. Plūsmas raksturs (viendabīgums, stabilitāte) un parametri (ātrums, slāņa biezums) atkarīgi no:

- tērauda matricas slapināšanas kvalitātes;

- tērauda matricas orientācijas telpā;

- vides, kurā tiek veiktas attiecīgas darbības.

Lai nodrošinátu plānu (0.2 -1.0mm) litija plūsmu uz nerūsējošā tērauda matricas gravitācijas spēku ietekmē ar ātrumu daži centimetri sekundē atbilstoši minētiem faktoriem:

- izstrādāta un pārbaudīta tērauda matricas slapināšanas ar šķidru litiju tehnoloģija, proti, augsta atbilstošo komponentu (litija un tērauda matricas) virsmu tīrība, temperatūra 350^o C un dziļš vakuums (5x 10⁻⁵ mmHg), fig.3.1.
- matricas slīpuma leņķis atticībā pret horizontu ir 30° 45° (no slīpuma leņķa atkarīgs plūsmas ātrums un daļēji biezums);
- darba vide, kā jau iepriekš minēts vakuums un maksimāli attīrītas (kodinātas un pasivētas) pievadcauruļu un citu konstrukcijas elementu virsmas.

Pie tam loti svarīgi ir izvērtēt šķidra litija siltuma slodzi uz divertora platēm.

Šos darbus Līguma ietvaros veica St. Péterburgas Lietišķās Fizikas Tehniskajā universitātē. Aprēķini parādīja, ka siltumslodze uz divertora platēm "double-null" magnētiskā konfigurācijā nepārsniedz 3 -7 MW/m². Tie ir pilnīgi reāli lielumi un atbilst, piemēram, kodoltermiskā reaktora FNS-ST tehniskajām prasībām, sk. Pielikumu Nr.2.



Fig.3.1. Tērauda matrica pārklāta ar plānu litija slāni.

Paralēli Kazahstānas Nacionālā Kodolpētniecības centra reaktorā tiek veikti eksperimenti ar litija paraugiem neitronu plūsmā, Pielikums 3.

4. MHD procesu izpēte plūstošā Li slānī un priekšlikumu izstrāde magnētiska lauka iedarbes korekcijai

Veikt MHD procesu izpēti litija plūsmā pie temperatūrām 300^{0} C - 400^{0} C, pie tam magnētiskā laukā, sagādā lielas grūtības. Tāpēc tika nolemts eksperimentus veikt vairākos etapos.

Pirmkārt, izmantot jau esošo supra magnētu, fig.4.1. kura magnētiskais lauks ir regulējams 0 -5,6 T robežās un litiju šķidra metāla kontūrā aizvietot ar InGaSn sakausējumu.



Fig.4.1. Supra magnēts (B = 0.5,6T)

Tā kā InGaSn sakausējumam un litijam ir loti atskirīģi virsmas spraiguma spēks un blīvums, lai nodrošinātu adekvātu eksperimentālo rezultātu analīzi un izpratni, tērauda matricas slīpuma leņķis ir jāsamazina no 30^0 uz 5^0 .

Dotā eksperimenta veikšanai ir izstrādāts un instalēts supra magnētā InGaSn minikontūrs, fig. 4.2., fig.4.3.



Fig.4.2. InGaSn minikontūrs a – kopskats; b – principiālā shēma

1 - supra magnēts; 2 – vakuumkamera; 3 – tērauda matrica (sk. fig.3.1.); 4 - komunikācijas; 5 – dozātors; 6, 7, 9, 12, 14 – ventīļi; 8 - elektromotors; 10 – argona balons; 11 – InGaSn bāka; 13 – vakuumsūknis.

Jāatzīmē, ka eksperimentos izmantot InGaSn sakausējumu ir loti ērti. Tas ir šķidrs istabas temperatūrā un nav toksisks.

Progresa ziņojuma PZ -6 atskaites periodā ir izstrādāta attiecīga monitoringa un datu apstrādes metodika, bet iekārta sagatavota turpmākai eksperimentālo darbu veikšanai.



Fig.4.3. InGaSn minikontūrs instalēts supra magnētā

Paralēli minētajiem darbiem atskaites periodā praktiski ir pilnīgi rekonstruēts elektromagnēts, fig. 4.4. Tam, protams magnētiskais lauks ir daudz mazāks - tikai

1,2 T. Toties ir iespējams instalēt šķidra metāla kontūru un eksperimentēt jau pie augstām temperatūrām. Elektromagnētā ir paredzēts instalēt litija kontūru un pārbaudīt tā plūsmu uz slīpas tērauda matricas gravitācijas spēku ietekmē pie 300° C – 400° C temperatūrām.





Fig. 4.4. Elektromagnēts (B = 1.2T)

5. Ar šķidru litiju aizsargātas divertora virsmas modeļa izveide

Aktivitātē Nr.5 paredzētie darbi ir visietilpīgākie. Praktiski jāizstrādā divertora plates modelis. Viens no tā galvenajiem priekšnosacījumiem ir ne tikai nodrošināt plānu litija plūsmu uz nerūsējošas tērauda matricas, kuras pamatuzdevums ir attīrīt kodoltermiskajā reaktorā plazmu no dažādiem piemaisījumiem, bet arī aizvadīt milzīgu siltumplūsmu, kas krīt uz divertora plati. Kā tas jau iepriekš atzīmēts, tā sastāda aptuveni 3-7MW/m², jeb 300 – 700W/cm². Šinī sakarībā tiek izskatīts kombinēts divertora modelis. Tā pamatā ir nosacīti bieza vara plāksne (varam liela siltumvadāmība) dzesēta ar ūdeni (varbūt pat šķidru metālu) un pārklāta ar plānu korozijas izturīgu materiālu.

Dotajā atskaites periodā tiek skaitliski izvērtēti divertora modeļa varianti.

Secinājumi

- Saskaņā ar projekta uzdevumu un laika grafiku pētījumi Aktivitātes Nr. 1 "Ūdeņraža izotopu detektēšana šķidrā litijā kā divertora aizsargmareriālā" ietvarā ir pabeigti. Nākošajā atskaites periodā tiks pabeigta rezultātu analīze un sagatavots Akts.
- 2 Paredzētie darbi Aktivitātē Nr.2. "Mijiedarbības procesu izpēte uz litija un nerūsējošā tērauda SS316L kontaktvirsmas atkarībā no tehnoloģiskiem parametriem" izpildīti. Rezultāti apkopoti Aktā – Atskaitē (sk. Pielikumu Nr.1).
- 3 Arī Aktivitātes Nr.3 "Optimālo parametru noteikšana litija plūsmai uz slīpas profilētas virsmas gravitācijas spēka ietekmē ārpus magnētiskā lauka" pētījumi ir veikti. Parādīts, ka var organizēt plānu (dažas desmitdaļas) šķidra litija plūsmu uz slīpas tērauda matricas gravitācijas spēka ietekmē. Tas lielā mērā atkarīgs no sagatavoto materiālu virsmu tīrības un temperatūras. Nākošajā atskaites periodā tiks apkopoti pētījumu rezultāti un sagatavots Akts. Pie tam St. Pēterburgas Lietišķās Fizikas Tehniskajā Universitātē aprēķinātas siltumslodzes uz kodoltermiskā reaktora divertora platēm, Pielikums Nr.2., bet Kazahstānas Nacionālajā kodolpētniecības centra reaktorā tiek veikti litija testi neitronu plūsmā, Pielikums 3.
- 4...Aktivitātes Nr.4 "MHD procesu izpēte plūstošā Li slānī un priekšlikumu izstrāde magnētiska lauka iedarbes korekcijai" ietvaros ir izgatavots minikontūrs pētījumu veikšanai stiprā magnētiskā laukā. Kā aizvietotājs pirmajā etapā litija vietā tiks izmantots InGaSn sakausējums. Paralēli minētajiem darbiem pilnībā rekonstruēts elektromagnēts pērtījumu veikšanai ar šķidru litiju pie paaugstinātām (300° 400°) temperatūrām.
- 5. Uzsākts siltumpārneses izvērtējums divertora modelī (Aktivitāte Nr.5 "Ar šķidru litiju aizsargātas divertora virsmas modeļa izveide").

Projekta vadītājs

E. Platacis