

(12)

CERERE DE BREVET DE INVENȚIE

(21) Nr. cerere: **a 2022 00212**

(22) Data de depozit: **21/04/2022**

(41) Data publicării cererii:
30/09/2022 BOPI nr. **9/2022**

(71) Solicitant:
• INSTITUTUL NAȚIONAL DE
CERCETARE-DEZVOLTARE PENTRU
TEHNOLOGII IZOTOPICE ȘI
MOLECULARE, STR.DONAT NR.67-103,
CLUJ-NAPOCA, CJ, RO

(72) Inventatori:
• BRĂTFĂLEAN RADU TIBERIU,
STR.SALVIEI, NR.17, CLUJ-NAPOCA, CJ,
RO

(54) SURSĂ CRIOGENICĂ DE VAPORI DE AZOT LICHID CU EFICIENȚĂ RIDICATĂ

(57) Rezumat:

Invenția se referă la o sursă criogenică de vapori de azot lichid cu eficiență ridicată. Sursa criogenică, conform invenției, cuprinde o butelie (1) de stocare a azotului gazos, echipată cu un robinet (2) pentru închiderea și deschiderea buteliei, la ieșirea robinetului (2) fiind conectat un reductor de presiune (3) pentru a controla presiunea azotului livrat din butelie (1) prin intermediul unui tub metallic către un vas dewar (7) conținând azot lichid, tubul metallic continuându-se în interiorul vasului dewar sub forma unei spirale plasate la fundul vasului, ce constituie un schimbător de căldură (8) cu rolul de a facilita schimbul de căldură între azotul gazos introdus și azotul lichid din vasul dewar (7), azotul gazos criogenic format în vasul dewar fiind evacuat prin intermediul unui tub metallic de ieșire (5).

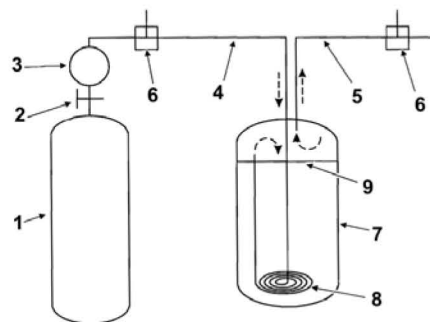


Fig. 1

Revendicări: 1
Figuri: 3



OFICIUL DE STAT PENTRU INVENȚII ȘI MĂRCI
Cerere de brevet de invenție
Nr. a 2022 00212
Data depozit 21-04-2022

48

SURSĂ CRIOGENICĂ DE VAPORI DE AZOT LICHID CU EFICIENȚĂ RIDICATĂ

- DESCRIEREA INVENȚIEI -

Domeniul tehnic

Domeniul tehnic în care poate fi aplicată invenția, care face obiectul prezentei cereri de brevet, este cel al criogeniei, adică al tehnicii de producere a temperaturilor joase, temperaturi care, prin convenție, sunt considerate a fi situate sub valoarea de -150°C .

Stadiul actual al tehnicii

Vaporii de azot lichid, adică azotul gazos cu o temperatură apropiată de temperatura sa de lichefiere, reprezintă un agent de răcire des utilizat în aplicațiile de criogenie. Există chiar și anumite aplicații în care sistemele criogenice respective nu pot fi alimentate direct cu azot lichid, ci doar cu vaporii de azot lichid. Acest lucru se impune atunci când, prin vaporizarea azotului lichid în interiorul sistemului criogenic deservit, ar putea să apară creșteri periculoase ale presiunii care astfel ar putea distruge acel sistem criogenic.

La stadiul actual, producerea vaporilor de azot lichid se bazează, în principal, pe încălzirea azotului lichid până la punctul lui de fierbere, de 77 K, temperatură la care azotul lichid este transformat în vaporii de azot lichid. Ca și agent de încălzire pentru vaporizarea azotului lichid se folosește de obicei o rezistență electrică care este imersată în azotul lichid și care, atunci când este străbătută de un curent electric, prin efect Joule, va ceda căldură azotului lichid, căldură care va determina vaporizarea azotului lichid. Un astfel de exemplu de sursă de vaporii de azot lichid este descrisă în articolul „A simple liquid nitrogen gas-flow for variable temperature laser luminescence studies” publicat în Review of Scientific Instruments, volumul 65, numărul 2, din Februarie 1994, la paginile 503-504, unde un fir metalic de constantan cu o rezistență electrică de 15 ohmi este folosit pentru a încălzi azotul lichid. O astfel de sursă de vaporii de azot lichid, ce se bazează pe încălzirea electrică a azotului lichid, va genera o masă de vaporii de azot lichid care, în mod evident, este egală cu masa de azot lichid ce s-a vaporizat în acest scop.

Un astfel de tip de evaporator, ce folosește efectul Joule, pentru a evapora un gaz lichid criogenic și ulterior, pentru a încălzi vaporii rezultați până la o anumită temperatură, a făcut subiectul unui cereri de brevet de invenție ce a fost depusă în anul 1967 la United States Patent Office, patentul fiind acordat în anul 1969. Titlul acestui brevet este **Cryogenic Vaporizer** iar brevetul poate fi vizualizat prin accesarea link-ului [1499076818697329491-03435623 \(storage.googleapis.com\)](https://storage.googleapis.com/1499076818697329491-03435623).

Un alt tip de evaporator folosit pentru evaporarea gazelor lichide criogenice, ce folosește apă ca și agent de încălzire, a făcut subiectul unei alte cereri de brevet de invenție, ce a fost depusă la United States Patent Office în anul 1985, brevetul fiind acordat în anul 1986. Titlul acestui brevet este **Cryogenic Liquid Heat Exchanger** iar brevetul poate fi vizualizat prin accesarea link-ului [1499067435605326012-04590770 \(storage.googleapis.com\)](https://storage.googleapis.com/1499067435605326012-04590770)

Mai recent există un alt tip de evaporator criogenic, care folosește ca agent de încălzire aerul ambiental și pentru care s-a acordat un patent din partea United States Patent Office în anul 2014. Principiul de funcționare al acestui tip de evaporator criogenic este relativ des folosit la evaporatoarele comerciale actuale de tip industrial, astfel de produse regăsindu-se în gama de servicii și produse a mai multor firme. Exemple în acest sens sunt o firmă din Japonia - [Cryogenic liquefied gas evaporator | Japan Chemical Engineering & Machinery Co.,Ltd. \(nikkaki.co.jp\)](https://www.nikkaki.co.jp) și una din Belgia - [Cryogenic liquid evaporators | Almeco](https://www.almecco.com).

Tipul de sursă de vapori de azot lichid, care, probabil, este cea mai asemănătoare cu cea propusă în prezenta cerere, este o sursă de vapori de azot lichid ce a fost instalată la Institutul de Tehnologii Izotopice și Moleculare din Cluj-Napoca, în anul 1985 de către firma UNIPAN Scientific Instruments, o filială a Academiei de Științe din Polonia. Această sursă de vapori a fost instalată la institutul din Cluj-Napoca pentru a răci probele care se măsurau la instalația de Rezonanță Electronică de Spin. Ca principiu de generare a vaporilor de azot lichid, această sursă, pe lângă efectul electric de tip Joule, putea genera vapori de azot lichid și prin barbotare de azot gazos în azot lichid. Deci, această variantă de generare a vaporilor de azot lichid este întrucâtva asemănătoare cu cea propusă în prezenta cerere deoarece și în acest caz agentul de încălzire a azotului lichid este un flux de azot gazos iar acest agent de încălzire devine și el, în cele din urmă, agent criogenic util. Totuși, deși principiul de funcționare este întrucâtva asemănător cu cel al sursei de vapori propusă în prezenta cerere, el nu este același.

Astfel, în soluția propusă în prezenta cerere, azotul gazos nu trece prin azot lichid prin barbotare, el ieșind din tubul metalic în spațiul de deasupra suprafeței libere a azotului lichid, unde se amestecă cu azotul lichid ce s-a vaporizat. Un astfel de principiu de funcționare este mai bun decât cel prevăzut prin barbotare, deoarece dacă transferul de căldură între faza gazoasă și faza lichidă a azotului este mediat prin intermediul unui tub metalic ce este imersat în azot lichid atunci se poate asigura un control mai fin al fluxului de azot gazos criogenic generat și, de asemenea, se poate asigura o valoare constantă a fluxului de azot gazos criogenic, care nu prezintă fluctuații în timp asociate variațiilor de presiune care sunt specifice procesului de barbotare. În cazul principiului care folosește barbotarea azotului gazos în azot lichid variațiile de presiune nu se datorează doar fenomenului de barbotare în sine ci și faptului că procesul de barbotare nu poate asigura un transfer de căldură uniform în timp între faza gazoasă și faza lichidă a azotului.

Problema tehnică propusă spre rezolvare

Invenția care face obiectul prezentei cereri propune un nou tip de sursă de vapori de azot lichid, care să aibă o eficiență criogenică superioară celei tradiționale, care a fost descrisă mai sus. Această eficiență criogenică superioară trebuie să se concretizeze prin generarea unei mase de azot gazos criogenic care să fie mai mare decât masa de azot lichid ce se consumă în acest scop.

Expunerea invenției

Obiectul prezentei cereri de brevet de invenție este o sursă criogenică de vapori de azot lichid ce se distinge prin faptul că aceasta generează o cantitate de azot gazos criogenic care este mai mare decât cantitatea de azot lichid consumată în acest scop. Astfel se oferă o eficiență criogenică superioară sursei criogenice tradiționale care se bazează pe încălzirea electrică a azotului lichid.

O astfel de eficiență criogenică, supraunitară, care aparent contrazice legea conservării masei, este totuși posibilă deoarece agentul de încălzire folosit pentru vaporizarea azotului lichid nu este un dispozitiv electric ci un flux de azot gazos ce are temperatura mediului ambiant.

65

Acest flux de azot gazos se va introduce printr-un tub metalic de intrare, care intră în dewar prin intermediul unei treceri etanșe din capacul dewarului. În interiorul dewarului, fluxul gazos de azot va circula printr-un tub metalic care se prezintă sub forma unei spirale care este imersată în azotul lichid, pe fundul vasului dewar. Acest tub metalic spiralat din interiorul dewarului are rol de schimbător de căldură, în sensul de a facilita transferul de căldură de la fluxul de azot gazos, care circulă prin tub, la azotul lichid din dewar, în care tubul este imersat. În cele din urmă, azotul gazos, ce s-a răcit ca urmare a trecerii sale prin tubul imersat în azot lichid, se va amesteca cu vaporii de azot lichid ce s-au format pe suprafața exterioară a schimbătorului de căldură și care s-au ridicat deasupra suprafeței libere a azotului lichid, acest amestec dintre cele două componente gazoase de azot având loc în interiorul dewarului, numai deasupra suprafeței libere a azotului lichid. Deci, azotul gazos introdus în dewar nu se barbotează în azotul lichid și acest lucru este important deoarece realizarea unui transfer de căldură între azotul gazos introdus în dewar și azotul lichid din dewar prin intermediu unui tub metalic schimbător de căldură permite un control mai precis al fluxurilor de intrare și ieșire a azotului gazos, în și, respectiv, din dewar, în același timp cu o mai bună posibilitate de a menține aceste fluxuri la valori constante în timp.

Astfel, în dewar, cantitate totală de azot gazos criogenic ce va fi generată va fi un amestec între componenta de azot lichid din dewar ce s-a vaporizat, și componenta de azot gazos ce s-a introdus în dewar și care s-a răcit ca urmare a cedării de căldură către azotul lichid din dewar, pentru vaporizarea acestuia din urmă. De aceea cantitatea total generată de azot gazos criogenic va fi mai mare decât cantitatea de azot lichid care se consumă prin vaporizare deoarece la aceasta din urmă se adaugă și azotul gazos care a fost introdus în dewar și care s-a răcit tocmai ca urmare a vaporizării azotului lichid.

O dată format acest amestec gazos de azot criogenic el va fi scos din dewar prin intermediul unui tub metalic de ieșire, care va ieși din dewar printr-o altă trecere etanșeizată făcută în capacul dewarului.

Deci, existența unui flux de azot gazos la temperatura ambientală, care intră în dewar prin tubul metalic de intrare va determina existența unui flux de azot gazos criogenic de ieșire, care iese din dewar prin tubul metalic de ieșire. Astfel, acest flux de azot gazos criogenic de ieșire va putea fi livrat, ca și agent de răcire, în diverse aplicații de criogenie.

Trei exemple de realizare a unei astfel de surse de vapori de azot lichid

Un prim exemplu de configurație pentru sursa criogenică ce face obiectul prezentei cereri poate fi văzută în diagrama din figura 1.

În această figură se poate observa și echipamentul de livrare a azotului gazos ce se introduce în dewar, echipament ce include o butelie de stocare a azotului gazos (1), stocare care se face la o presiune maximă standard de 200 bari.

Această butelie de azot gazos este echipată cu un robinet (2) pentru închiderea și deschiderea buteliei. La ieșirea robinetului se conectează un reductor de presiune (3) ce permite controlarea fluxului de livrare a azotului din butelie, prin controlarea presiunii azotului la ieșirea din reductor. Presiunea maximă de ieșire a reductorului trebuie astfel aleasă încât să nu depășească presiunea maximă ce poate fi admisă în interiorul vasului dewar. Această presiune maximă admisă este specifică fiecărui dewar în parte și este situată de obicei în jurul valorii de 1,5 bari peste presiunea atmosferică ambientală. Ca o măsură suplimentară de protecție a dewarului împotriva unor posibile suprapresiuni accidentale a azotului care se introduce în interiorul dewarului se va instala atât pe linia de alimentare (4) cu azot, adică între reductorul de presiune și vasul dewar, cât și pe linia de ieșire (5) a vaporilor de azot lichid din dewar, câte o supapă de presiune de siguranță (6). Această supapă va fi astfel dimensionată încât ea să se deschidă - și deci să permită refularea azotului în mediul ambiant - atunci când presiunea azotului ajunge la 90% din valoarea presiunii maxime admise din interiorul dewarului. În acest fel, supapele de siguranță vor proteja vasul dewar de posibile creșteri accidentale și nedorite ale presiunii din interiorul acestuia, creșteri de presiune ce ar putea rezulta fie ca urmare a unei manevări necorespunzătoare a reductorului sau ca urmare a unor defecțiuni ale acestuia.

Introducerea azotului gazos în vasul dewar (7) ce conține azot lichid se face printr-un tub metalic care intră în dewar printr-o trecere etanșeizată din capacul vasului. Acest tub metalic se continuă în interiorul dewar-ului pentru a forma un schimbător de căldură (8) cu rolul de a facilita schimbul de căldură dintre azotul gazos ce se introduce în dewar și azotul lichid din dewar. De aceea, în interiorul dewarului, tubul metalic ia forma unei spirale, ce este amplasată pe fundul vasului dewar pentru ca această spirală să fie cât mai bine imersată în masa azotului lichid. Capătul de ieșire al spiralei se află tot în interiorul dewarului și este poziționat deasupra nivelului suprafeței libere a azotului lichid (9). Astfel, azotul gazos ce se

introduce în dewar, și care se răcește pe măsură ce parcurge spirala de transfer termic, împreună cu vaporii de azot lichid care se formează pe suprafața spiralei și care, după aceea, se ridică la suprafață, vor forma, deasupra suprafeței libere a azotului lichid (9), o cantitate de azot gazos criogenic a cărui masă va fi mai mare decât cea a azotului lichid consumat prin vaporizare.

Azotul gazos criogenic astfel format va ieși din dewar printr-un tub metalic de ieșire (5), tub metalic care va ieși din dewar printr-o a doua trecere etanșezată din capacul vasului. Capătul de intrare în acest tub metalic de ieșire este și el poziționat tot deasupra suprafeței libere a azotului lichid din dewar. Astfel, azotul gazos criogenic ce se formează în partea superioară a vasului dewar va putea ieși din dewar prin tubul metalic de ieșire și va putea fi livrat ca și agent gazos criogenic, pentru răcire, pentru diverse aplicații criogenice. Săgețile cu linie întreruptă din figurile 1 și 2 indică circuitul azotului gazos de la intrarea în dewar până la ieșirea din dewar.

Pentru tubul metalic cu rol de schimbător de căldură ce este situat la interiorul vasului dewar, mai există alte două configurații de instalare ale acestuia, configurații care se pot vedea în figura 2.

În configurația cu numărul 2, ce se poate vedea în jumătatea stângă a figurii 2, spirala schimbătoare de căldură este legată nu la ieșirea tubului de intrare, ca și în prima configurație care este descrisă mai sus, ci este legată la intrarea tubului metalic de ieșire. Deci în această configurație, azotul ce se introduce în dewar la temperatura mediului ambiant ajunge mai întâi în spațiul situat deasupra suprafeței libere a azotului lichid. Aici el se amestecă cu vaporii de azot lichid care există deja în acest spațiu pentru ca, după aceea, amestecul astfel format să intre prin spirala schimbătoare de căldură ce este imersată în azot lichid. După parcurgerea spiralei, amestecul de azot gazos criogenic, astfel răcit, iese din dewar prin tubul metalic de ieșire. Deci, în această configurație, azotul care este introdus în dewar la temperatura mediului ambiant este mai întâi amestecat cu vaporii de azot lichid existenți deasupra suprafeței libere a azotului lichid și doar după aceea, acest amestec astfel format, este răcit prin trecerea lui prin spirala schimbătoare de căldură ce este imersată în azot lichid.

Configurația cu numărul 3, ce se poate vedea în jumătatea dreaptă a figurii 2, combină primele două configurații, în sensul că azotul gazos ce este introdus în dewar este supus unui proces de răcire atât înainte cât și după amestecarea acestuia cu vaporii rezultați din

vaporizarea azotului lichid. De aceea, în interiorul dewarului se află două spirale schimbătoare de căldură, prima fiind conectată la ieșirea tubului de intrare iar cea de-a doua fiind conectată la intrarea tubului de ieșire.

Volumul vasului dewar se proiectează la valoarea care asigură autonomia care se urmărește a se obține între două alimentări succesive ale acestuia. Diametrul interior și exterior al tubului metalic schimbător de căldură, cât și lungimea și materialul acestuia se aleg în funcție de plaja pe care se dorește a se regla fluxul de ieșire a azotului gazos criogenic cât și în funcție de plaja pe care se dorește a se regla temperatura de ieșire a acestuia. Calculul teoretic al tuturor acestor caracteristici este unul relativ dificil și, de aceea, metoda practică de obținere a acestor caracteristici este cea care presupune încercări experimentale succesive până se ajunge la acele valori care asigură regimul de utilizare dorit.

Funcționalitatea soluției propuse

Deci existența unui flux de azot care intră în dewar prin tubul metalic de intrare, la o temperatură de intrare corespunzătoare mediului ambiant, va determina existența unui flux de azot gazos criogenic – adică un flux de vapori de azot lichid - care va ieși din dewar prin tubul metalic de ieșire. Acest flux gazos de ieșire va avea o temperatură criogenică atâta timp cât încă există destul azot lichid în dewar care să asigure o bună imersare a schimbătorului de căldură. Temperatura de ieșire a vaporilor de azot lichid va crește cu temperatura și fluxul azotului ce se introduce în dewar și va scade cu creșterea eficienței de transfer termic a schimbătorului de căldură care este imersat în azotul lichid. Această eficiență de transfer termic poate fi crescută prin creșterea suprafeței schimbătorului de căldură sau prin alegerea unui metal cu conductivitatea termică mai ridicată pentru schimbătorul de căldură.

Un alt factor care influențează temperatura vaporilor de azot lichid ce ies din dewar este rata de vaporizare inerentă a azotului lichid din dewar, rată de vaporizare inerentă ce este determinată de gradul de izolare termică a dewarului și care, deci, este specifică fiecărui dewar în parte. Cu cât este mai mare rata de vaporizare inerentă cu atât va fi mai mică temperatura de ieșire a vaporilor de azot lichid din vasul dewar. Această rată de vaporizare inerentă va avea un rol neglijabil în determinarea temperaturii de ieșire a vaporilor de azot lichid din dewar atunci când rata de vaporizare inerentă este semnificativ mai mică decât fluxul de intrare al azotului în dewar.

Avantajele soluției propuse

Un prim avantaj al acestei sursei criogenice este faptul că aceasta nu are nevoie de o sursă de energie electrică, așa cum este cazul variantei care ar fi echipată cu un dispozitiv electric de încălzire pentru vaporizarea azotului lichid. Acest lucru înseamnă că această sursă de vapori de azot lichid poate fi folosită independent de existența sau nu a unei surse de energie electrică la locul unde este nevoie de livrarea acestui agent criogenic.

De asemenea, lipsa dispozitivului de încălzire electrică înseamnă o componentă mai puțin care se poate defecta. De aceea, această sursă criogenică, care nu are componente electrice, poate fi considerată ca fiind mai fiabilă decât varianta care este echipată cu un dispozitiv de încălzire electrică pentru a vaporiza azotul lichid.

Totuși avantajul definitoriu al acestei surse de vapori de azot lichid, relativ la varianta în care pentru vaporizarea azotului lichid se folosește un dispozitiv electric de încălzire, sau o altă metodă de încălzire decât cea propusă în prezenta cerere de brevet de invenție, constă în faptul că azotul care se introduce în dewar, la temperatura mediului ambiant, pentru a încălzi și vaporiza azotul lichid din dewar, devine și el parte a agentului criogenic util generat. Astfel, pe lângă vaporii de azot lichid ce rezultă în mod direct din vaporizarea azotului lichid, apare o cantitate suplimentară de azot gazos criogenic constituită din azotul gazos care a fost introdus în dewar și care s-a răcit pe seama vaporizării azotului lichid. Astfel, această sursă de vapori de azot lichid, utilizează mai eficient capacitatea criogenică a azotului lichid consumat, în comparație cu soluția clasică, unde vaporizarea azotului lichid ar avea loc ca urmare a utilizării unui dispozitiv electric de încălzire, sau a unui alt mijloc de încălzire. Astfel, în cazul acestei surse de vapori de azot lichid, pe care o propunem, raportul dintre azotul gazos criogenic generat și azotul lichid consumat, raport pe care, prin convenție, îl numim raport de eficiență criogenică, va avea o valoare supraunitară.

În figura 3 se poate vedea un grafic care prezintă modul în care depinde valoarea acestui raport de eficiență criogenică de temperatura de echilibru la care ajunge să se formeze azotul gazos criogenic generat. Această temperatură, pe care o notăm cu T_e , este temperatura de echilibru ce rezultă în urma realizării amestecului dintre vaporii de azot lichid, rezultați în urma vaporizării azotului lichid, și azotul gazos ce s-a introdus în dewar și care s-a răcit pe seama vaporizării azotului lichid.

Pentru calcularea dependenței raportului de eficiență criogenică de temperatura de echilibru T_e , vom lua în considerare un kg de azot lichid care, în urma introducerii unei cantități de azot în dewar, la temperatura ambiantă de 20°C , se va vaporiza și, prin amestecare cu azotul introdus în dewar, va forma un azot gazos criogenic la temperatura de echilibru T_e . Dependența raportului căutat o vom calcula pentru valori ale lui T_e cuprinse în intervalul (-196°C , 0°C).

Pentru a calcula acest raport va trebui să calculăm mai întâi căldura care trebuie să o primească kg-ul de azot lichid pentru a se vaporiza, căldură care o notăm cu H_{vap} . După aceea vom calcula căldura necesară ca vaporii rezultați să se încălzească până la temperatura T_e , căldură care o notăm cu H_{inc} .

Suma dintre căldurile H_{vap} și H_{inc} va trebui să fie egală cu căldura pe care azotul introdus în dewar o va pierde în procesul de răcire de la temperatura de 20°C la temperatura de echilibru T_e .

Pentru a calcula căldura H_{vap} , pe lângă masa azotului lichid luat în considerare pentru vaporizare, care este de 1 kg, mai avem nevoie să cunoaștem și care este căldura specifică latentă de vaporizare a azotului lichid. Această valoare poate fi obținută de pe NET la următorul link :

[Nitrogen - Thermophysical Properties \(engineeringtoolbox.com\)](http://engineeringtoolbox.com)

Valoarea acestei călduri latente specifice de vaporizare este de 199000 J/kg .

Deci căldura H_{vap} poate fi calculată și are următoarea valoare:

$$H_{\text{vap}} = 1 \text{ kg} \times 199000 \text{ J/kg} = 199000 \text{ J}$$

Pentru a calcula căldura H_{inc} este necesar să cunoaștem căldura specifică a azotului gazos pe intervalul de temperatură (-196°C , T_e). Dependența acestei călduri specifice pe intervalul de temperatură (175 K , 300 K) poate fi găsită pe NET la următorul link:

[Nitrogen - Specific Heat \(engineeringtoolbox.com\)](http://engineeringtoolbox.com)

Acolo putem vedea că această mărime are valoarea de $1039 \text{ J/(kg} \times \text{K)}$ pe intervalul de temperatură (175 K , 275 K) și are valoarea de $1040 \text{ J/(kg} \times \text{K)}$ la temperatura de 300 K . Ca urmare a acestui lucru se poate spune, cu bună aproximație, că, pentru intervalul de

temperatură (-98°C , 27°C), căldura specifică a azotului este de $1039 \text{ J}/(\text{kg} \times \text{K})$. Din păcate, în literatura de specialitate, nu există informații cu privire la căldura specifică a azotului pe intervalul de temperatură (-196°C , -98°C). De aceea, pentru acest interval, (-196°C , -98°C), vom face presupunerea că valoarea constantă a căldurii specifice din intervalul (-98°C , 27°C) poate fi extrapolată și pe intervalul (-196°C , -98°C).

Atunci valoarea căldurii H_{inc} se poate calcula și ea va avea următoarea valoare:

$H_{inc} = 1 \text{ kg} \times 1039 \text{ J}/(\text{kg} \times \text{K}) \times (T_e - 77 \text{ K})$, unde T_e va fi exprimată în grade Kelvin.

Deci suma dintre căldura H_{vap} și căldura H_{inc} va fi egală cu căldura pe care o va ceda azotul gazos ce se introduce în dewar pentru ca el să se răcească până la temperatura T_e . Deci putem scrie că :

$$H_{vap} + H_{inc} = H_{rac} = m \times 1039 \text{ J}/(\text{kg} \times \text{K}) \times (293 \text{ K} - T_e),$$

unde m este masa azotului gazos ce se introduce în dewar la temperatura ambiantă de 20°C .

Ecuția de mai sus poate fi rescrisă în felul următor:

$$199000 \text{ J} + 1 \text{ kg} \times 1039 \text{ J}/(\text{kg} \times \text{K}) \times (T_e - 77 \text{ K}) = m \times 1039 \text{ J}/(\text{kg} \times \text{K}) \times (293 \text{ K} - T_e)$$

sau

$$m = (199000 \text{ J} + 1 \text{ kg} \times 1039 \text{ J}/(\text{kg} \times \text{K}) \times (T_e - 77 \text{ K})) / (1039 \text{ J}/(\text{kg} \times \text{K}) \times (293 \text{ K} - T_e))$$

O dată calculată valoarea lui m în funcție de T_e , se poate calcula valoarea raportului de eficiență criogenică R în funcție de valoarea lui m , după cum urmează:

$$R = (m+1 \text{ kg}) / 1 \text{ kg}.$$

În raționamentul de mai sus am făcut presupunerea că azotul lichid ce urmează a se vaporiza se află la temperatura de lichefiere de 77 K . În realitate, întotdeauna, temperatura la care se află azotul lichid în interiorul unui dewar este ceva mai mică de 77 K . Acest lucru va face ca valoarea raportului R să fie ceva mai mare decât cea prezentată în graficul din figura 3, care rezultă în baza raționamentului de mai sus.

Pe de altă parte, raționamentul de mai sus nu ia în considerare valoarea ratei de vaporizare inerentă a azotului lichid, ce este specifică dewar-ului în care se află azotul lichid. Acest lucru va face ca valoarea raportului R să fie ceva mai mică decât cea prezentată în graficul din

figura 3. Totuși, corecția care trebuie adusă la valoarea lui R din cauza acestui factor este neglijabilă dacă rata totală de generare a azotului gazos criogenic este semnificativ mai mare decât rata de vaporizare inerentă a azotului lichid, care este caracteristică aceluși dewar.

37

SURSĂ CRIOGENICĂ DE VAPORI DE AZOT LICHID CU EFICIENȚĂ RIDICATĂ**- REVENDICĂRI -**

Se revendică:

O sursă de vapori de azot lichid

caracterizată prin aceea că

agentul de încălzire folosit pentru vaporizarea azotului lichid este un flux de azot, la temperatura mediului ambiant, care se răcește pe măsură ce determină vaporizarea azotului lichid, și care, după răcire, împreună cu vaporii de azot lichid rezultați din vaporizarea azotului lichid, va forma o cantitate totală de azot gazos criogenic util, ce va putea fi livrată pentru diverse aplicații care au nevoie de un astfel de agent de răcire, rezultând astfel o cantitate de azot gazos criogenic util ce este mai mare decât cantitatea de azot lichid consumată cu un factor de 1,9 (+/- 0,5%), ceea ce face ca această sursă de vapori de azot lichid să aibă o eficiență criogenică mai mare decât orice sursă de vapori de azot lichid ce a fost documentată în literatura de specialitate, până în prezent.

SURSĂ CRIOGENICĂ DE VAPORI DE AZOT LICHID CU EFICIENȚĂ RIDICATĂ

- DESENE EXPLICATIVE -

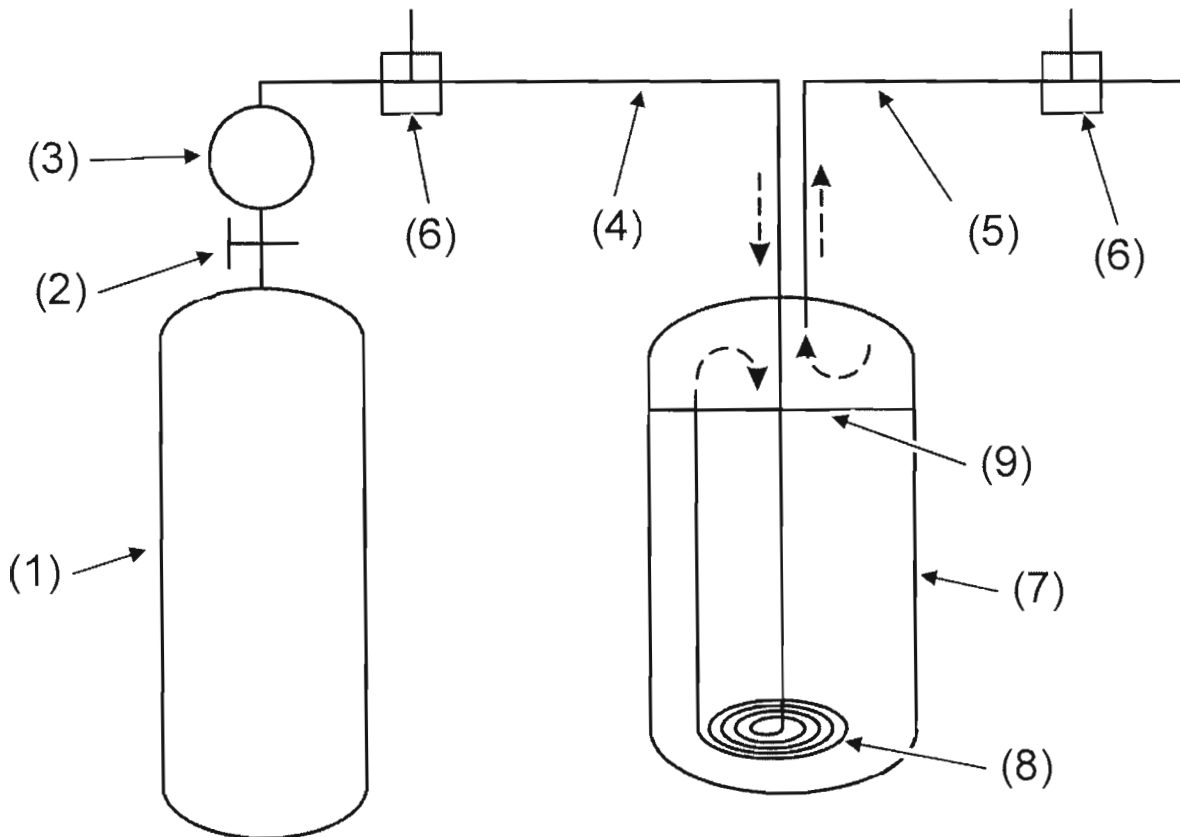


Figura 1

35

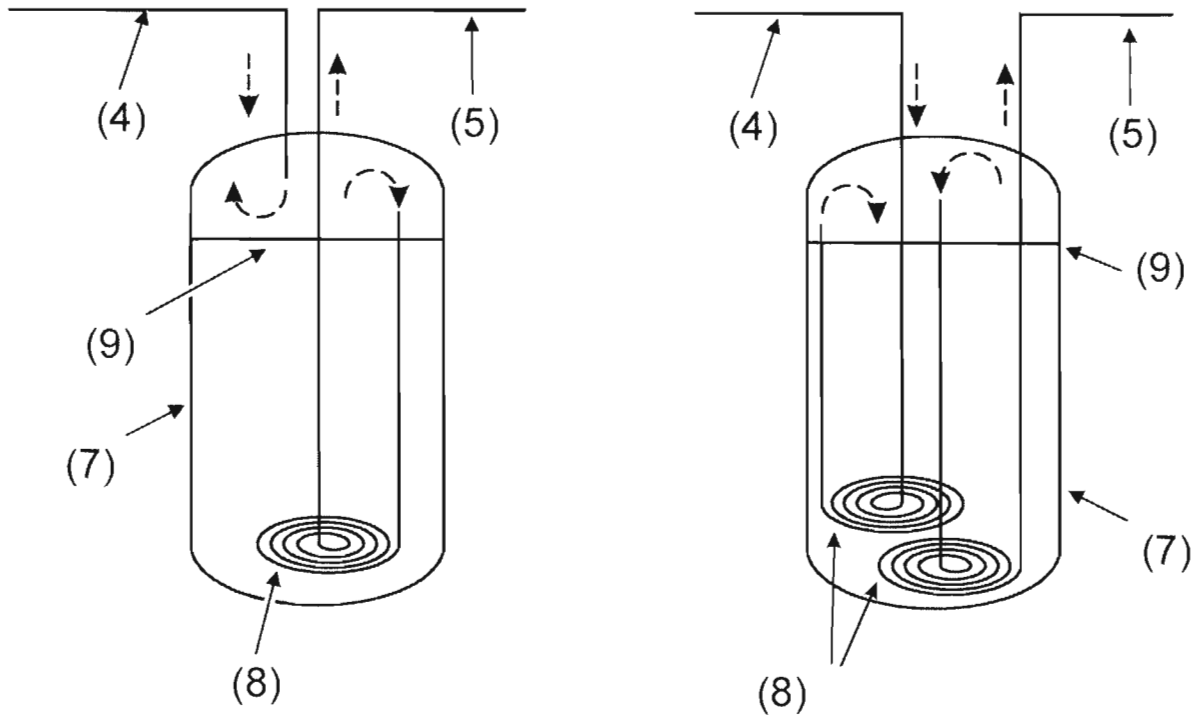


Figura 2

34

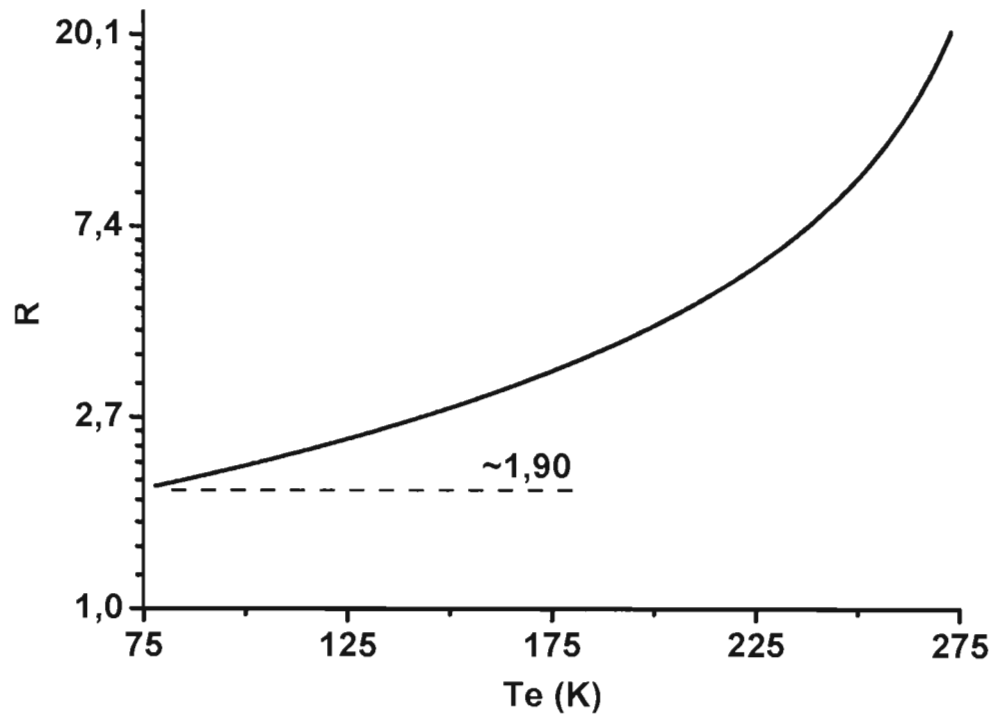


Figura 3