

UNIVERSITATEA DIN ORADEA
FACULTATEA DE INGINERIE ELECTRICĂ ȘI TEHNOLOGIA
INFORMAȚIEI
PROGRAMUL DE STUDIU:
FORMA DE ÎNVĂȚĂMÂNT: ÎNVĂȚĂMÂNT CU FRECVENȚĂ

Proiectarea și Realizarea unui Motor Ionic pentru Propulsie Ecologică

COORDONATOR/I ȘTIINȚIFIC/I

Conf.Univ.dr.ing Șoproni Vasile Darie

ABSOLVENT

Onadi Robert Claudiu

ORADEA

2025

Cuprins

Introducere.....	3
I. Partea teoretica.....	5
1.1 <i>Generalitati</i>	5
1.2 <i>Diferenta dintre propulsia chimica si cea electrica</i>	5
1.3 <i>Procesul de functionare</i>	8
1.4 <i>Tipuri de motoare ionice</i>	9
1.5 <i>Aparat spatial cu propulsie ionică</i>	9
1.6 <i>Aeronava cu propulsie ionică de la MIT</i>	12
1.7 <i>Aplicatiile viitoare ale motoarelor ionice</i>	14
1.8 <i>Impactul asupra mediului al motoarelor ionice</i>	15
1.9 <i>Efectul corona</i>	19
1.10 <i>Avantaje si dezavantaje ale tehnologiei motoarelor ionice</i>	20
1.11 <i>Provocări și direcții în dezvoltarea motoarelor ionice</i>	23
II. Partea Practică.....	25
2.1 <i>Rezultate</i>	32
2.2 <i>Probleme întâmpinate</i>	36
Concluzii.....	37
Bibliografie.....	39

Introducere

Motoarele ionice reprezintă o tehnologie avansată de propulsie utilizată în principal în explorarea spațială. Spre deosebire de motoarele chimice convenționale, care se bazează pe arderea combustibilului pentru a genera tracțiune, motoarele ionice folosesc câmpuri electrice pentru a accelera particule încărcate (ioni) și a genera astfel o forță de propulsie.

Această tehnologie a fost dezvoltată pentru a oferi o soluție eficientă și durabilă pentru misiunile de lungă durată în spațiu, deoarece consumă mult mai puțin combustibil comparativ cu motoarele chimice. Deși tracțiunea generată este relativ mică, motoarele ionice pot funcționa continuu pentru perioade îndelungate, atingând în final viteze mult mai mari decât cele ale rachetelor convenționale.

Conceptul de propulsie ionică a fost propus pentru prima dată în anii 1910 de fizicianul rus Konstantin Tsiolkovski, însă dezvoltarea practică a început abia în a doua jumătate a secolului XX. Primul motor ionic operațional, numit SERT-1 (Space Electric Rocket Test 1), a fost lansat de NASA în 1964. Deși misiunea a durat doar 31 de minute, a demonstrat fezabilitatea acestui tip de propulsie.

Ulterior, în 1970, URSS a utilizat motoare ionice pe sateliții Meteor și Zond, iar în anii 1990 și 2000, această tehnologie a fost perfecționată și utilizată pe scară mai largă.

Motoarele ionice au fost utilizate în mai multe misiuni spațiale importante:

- Deep Space 1 (1998) – Prima sondă NASA care a folosit un motor ionic pentru explorarea asteroizilor și a cometelor.
- SMART-1 (2003) – O misiune ESA care a folosit un motor ionic pentru a ajunge pe orbită lunară.
- Dawn (2007) – Sonda NASA care a explorat asteroizii Vesta și Ceres, folosind propulsie ionică pentru a călători între ei.
- Sateliți comerciali – Motoarele ionice sunt folosite în prezent pentru ajustarea orbitelor sateliților de telecomunicații și pentru menținerea poziției acestora.

Această tehnologie continuă să fie dezvoltată, iar viitoarele misiuni către Marte și dincolo de sistemul solar ar putea depinde în mare măsură de propulsia ionică datorită eficienței sale ridicate.

Am ales tema „Motorul ionic” datorită pasiunii mele pentru inovație, tehnologie și surse alternative de propulsie. Într-o lume în care sustenabilitatea energetică și eficiența sistemelor de transport devin tot mai importante, motorul ionic reprezintă o soluție promițătoare, care valorifică principiile fizicii plasmei și ale electromagnetismului pentru a genera mișcare fără părți mecanice în mișcare și fără ardere de combustibili.

Pe lângă componenta teoretică fascinantă, am fost motivat și de dorința de a realiza un sistem experimental funcțional, în care ionii sunt accelerați între două electrozi de cupru, iar mișcarea acestora este direcționată printr-un fir subțire de cupru. Acest principiu, deși simplu în aparență, implică fenomene complexe precum descărcările electrice, efectul corona și interacțiunea dintre câmpurile electrice și materia ionizată — toate acestea fiind subiecte care m-au atras în mod deosebit pe parcursul studiilor mele.

Consider că această temă îmbină armonios cunoștințele teoretice cu aplicațiile practice, oferindu-mi oportunitatea de a înțelege mai bine procesele care stau la baza propulsiei moderne, dar și de a contribui, la scară mică, la dezvoltarea unor soluții alternative, eficiente și inovatoare.

I. Partea teoretică

1.1 Generalitati

Motoarele ionice funcționează pe baza electrostatică sau electromagnetică, accelerând ioni pentru a genera forță de propulsie. Acest proces se bazează pe interacțiunea dintre câmpurile electrice și particulele încărcate, oferind o metodă extrem de eficientă de mișcare în spațiu.

Motoarele ionice utilizează fascicule de ioni (atomi sau molecule încărcate electric) pentru a genera tracțiune, respectând legea conservării impulsului. Deși metodele de accelerare a ionilor pot varia, toate modelele profită de raportul sarcină/masă al ionilor. Acest raport permite obținerea unor viteze mari de eșapament chiar și cu diferențe de potențial relativ mici. Astfel, este necesară o cantitate mai mică de combustibil sau masă de reacție, însă acest lucru vine cu un cost mai mare în ceea ce privește puterea specifică comparativ cu motoarele chimice. Deși motoarele ionice pot atinge impulsuri specifice ridicate, tracțiunea redusă implică o accelerație mică. Acest lucru face ca motoarele ionice să nu fie potrivite pentru lansarea navelor în orbită, dar sunt ideale pentru propulsia în spațiu pe perioade îndelungate.[4]

1.2 Diferența dintre propulsia chimică și cea electrică

Atât rachetele chimice, cât și cele electrice folosesc principiul acțiunii și reacțiunii din a treia lege a lui Newton: dacă o rachetă ejectează masă într-o direcție, ea va fi împinsă în direcția opusă.

A. Propulsia chimică

- Funcționează prin arderea unui combustibil chimic care eliberează energie și gaze fierbinți, ejectându-le printr-o duză pentru a produce forță de propulsie.
- Are o forță de tracțiune mare (thrust), ceea ce ajută la decolări și accelerații rapide.
- Este ineficientă pentru misiuni lungi, deoarece consumă mult combustibil.
- Are o viteză de evacuare mică, între 3-4 km/s. [6]

B. Propulsia electrică

- Utilizează câmpuri electrice și magnetice pentru a accelera particule încărcate (ioni) la viteze foarte mari.
- Ejectează particulele mult mai rapid decât propulsia chimică, atingând 10-100 km/s.
- Este mult mai eficientă deoarece consumă mult mai puțin combustibil pentru aceeași schimbare de viteză.

- Are o forță de tracțiune redusă, deci nu poate fi folosită la lansare, ci doar în spațiu. [6]

Ecuția rachetei (Rocket Equation)

Aceasta descrie relația dintre viteza finală a unei nave și cantitatea de combustibil necesară. Se bazează pe legea conservării impulsului.

Forma generală a ecuației[6]:

$$\Delta v = v_{ex} \ln \left(\frac{m_i}{m_f} \right)$$

Δv - schimbarea vitezei navei spațiale (delta-v);

v_{ex} - viteza de evacuare a gazelor propulsoare;

m_i - masa inițială a navei (inclusiv combustibil);

m_f - masa finală (după arderea combustibilului).

Cu cât viteza de evacuare este mai mare, cu atât avem nevoie de mai puțin combustibil pentru aceeași schimbare de viteză.

Pentru misiuni unde delta-v este mare, este esențial să avem un impuls specific mare.

Motoarele electrice, având un **vex** mare, permit o schimbare mare de viteză cu foarte puțin combustibil..

Impulsul specific (I_{sp}) [6]

Este o măsură a eficienței unui motor de rachetă, exprimată în secunde. [6]

$$I_{sp} = \frac{v_{ex}}{g}$$

Unde:

v_{ex} - viteza de evacuare (m/s) [6]

g = accelerația gravitațională la suprafața Pământului (9.8067 m/s²) [6]

Cu cât un motor are un I_{sp} mai mare, cu atât folosește combustibilul mai eficient. [6]

Motoarele chimice au un I_{sp} între 200-450 s. [6]

Motoarele electrice pot ajunge la 10.000 s. [6]

Viteza de evacuare și impactul său

Este viteza cu care gazele propulsoare sunt expulzate din motor.

La motoarele chimice, viteza de evacuare este limitată de energia chimică (maxim 4 km/s).

La motoarele electrice, viteza de evacuare poate fi mult mai mare deoarece energia vine de la un sistem electric extern, nu din combustibil.

Un motor cu viteza de evacuare mare are un I_{sp} mare, ceea ce reduce drastic necesarul de combustibil.

Relația dintre masa de propulsant și Δv [6]

Ecuatia care arată cât combustibil este necesar pentru o schimbare de viteză este[6]:

$$m_p = m_f \left(e^{\Delta v / v_{ex}} - 1 \right)$$

s

Unde:

m_p - masa de combustibil necesară [6]

m_f - masa finală a navei (fără combustibil) [6]

Δv = schimbarea dorită a vitezei [6]

Pentru o misiune cu un Δv mare, avem nevoie de mult combustibil dacă v_{ex} este mic. [6]

Dacă folosim un motor electric cu v_{ex} mare, consumul de combustibil scade exponențial! [6]

Durata de viața a unui dispozitiv cu propulsie ionică

Motoarele ionice au o tracțiune scăzută, ceea ce înseamnă că trebuie să funcționeze continuu pentru perioade lungi de timp pentru a atinge schimbarea necesară de viteză (delta-v) într-o misiune. Aceste motoare sunt concepute pentru a asigura operare continuă pe intervale de săptămâni sau chiar ani.

- Durata de viață a motoarelor ionice cu grile electrostatice: În designurile electrostatice cu grile, ionii produșii prin schimbul de sarcină între ionii fasciculului și fluxul de gaze neutre pot fi accelerați către grila de accelerator negativ și pot provoca eroziunea acesteia. Sfârșitul duratei de viață este atins atunci când structura grilei eșuează sau când găurile din grilă devin suficient de mari pentru a afecta semnificativ extracția ionilor, de exemplu, prin apariția reîntoarcerii electronilor. Eroziunea grilei nu poate fi evitată și reprezintă principalul factor limitativ al duratei de viață. Cu un design și o selecție corectă a materialelor, durata de viață a grilei poate ajunge la 20.000 de ore sau mai mult. Un test realizat pe motorul electrostatic NASA Solar Technology Application Readiness (NSTAR) a demonstrat o durată de 30.472 de ore (aproximativ 3,5 ani) de funcționare continuă la putere maximă. Examinarea post-test a indicat faptul că motorul nu era aproape de eșec. De asemenea, motorul NSTAR a funcționat timp de ani de zile pe nava Dawn. [4].

- Durata de viață a motoarelor ionice cu efect Hall: Motoarele cu efect Hall suferă o eroziune semnificativă a camerei de descărcare din ceramică, din cauza impactului ionilor energetici. Un test realizat în 2010 a raportat o eroziune de aproximativ 1 mm la fiecare 100 de ore de operare, deși aceasta nu este consistentă cu durata de viață observată în orbita terestră, care este de câteva mii de ore. Sistemul de Propulsie Electrică Avansată (AEPS) este proiectat să acumuleze aproximativ 5.000 de ore de funcționare, iar scopul acestui design este de a atinge un model de zbor care să ofere o durată de viață de cel puțin 23.000 de ore și o viață completă de aproximativ 50.000 de ore[4].

1.3 Procesul de funcționare

Ionizarea combustibilului

- Un gaz nobil (cel mai frecvent xenon) este introdus în camera de ionizare.
- Ionizarea se face fie prin coliziuni electronice (folosind un fascicul de electroni), fie printr-un câmp electromagnetic oscilant (în cazul motoarelor cu undă de ciclotron).
- Rezultatul este formarea ionilor pozitivi de xenon (Xe^{+}).[3]

Accelerarea ionilor

- Ionii pozitivi sunt atrași și accelerați printr-un câmp electric puternic, format între două grile perforate. [3]
- Aceștia sunt expulzați din motor la viteze de până la 50 km/s, generând un impuls de propulsie.

Neutralizarea gazului ionizat

- Pentru a evita acumularea de sarcină electrică pe navă, un neutralizator de electroni eliberează electroni în fluxul de ioni, transformându-i în atomi neutri de xenon. [3]
- Astfel, propulsia nu este afectată de atracția electrostatică dintre navă și ionii expulzați.

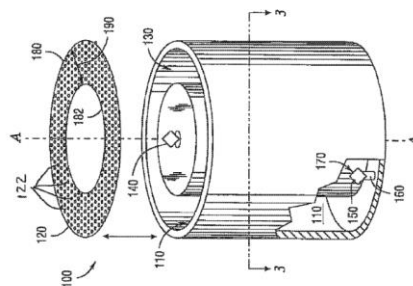


Fig. 1.1 Schița unui motor de propulsie ionică [1]

1.4 Tipuri de motoare ionice

Motoare ionice electrostatice (Ion Thrusters) – NU folosesc magneți

- Acestea sunt cele mai comune și funcționează doar pe baza câmpurilor electrice.
- Exemple: Motorul ionic cu grilă folosit pe sonda Dawn.
- Ionii sunt accelerați printr-un câmp electric puternic, fără a fi nevoie de magneți.

Motoare cu efect Hall (Hall Effect Thrusters - HET) – FOLOSESC magneți

- Acestea utilizează un câmp magnetic radial pentru a menține electronii într-o mișcare circulară, creând o descărcare de plasmă eficientă.
- Exemple: folosit pe sateliți de telecomunicații și unele misiuni spațiale (SMART-1, Starlink). [4]
- Câmpul magnetic ajută la direcționarea ionilor și crește eficiența propulsiei.

Motoare magnetoplasmadinamice (MPD thrusters) – FOLOSESC magneți foarte puternici

- Acestea accelerează plasma prin forța electromagnetică (forța Lorentz).
- Necesită curenți electrici mari și sunt mai potrivite pentru viitoarele nave spațiale cu reactoare nucleare. [4]

1.5 Aparat spațial cu propulsie ionică

Aparat spațial cu propulsie ionică sunt nave spațiale echipate cu motoare ionice, utilizate pentru misiuni de explorare spațială și pentru ajustarea orbitelor sateliților. Aceste vehicule spațiale folosesc propulsia ionică pentru a naviga eficient pe distanțe mari, având avantajul unui consum redus de combustibil și al unei durate lungi de funcționare. [2]

Caracteristicile unui aparat spațial cu propulsie ionică

- Eficiență ridicată – motoarele ionice consumă mult mai puțin combustibil față de cele chimice.
- Viteze mari – pot atinge viteze de peste 50 km/s, deși accelerația este foarte mică.
- Funcționare îndelungată – pot propulsa nave spațiale pe distanțe mari timp de ani de zile.
- Necesită o sursă de energie electrică – de obicei, panouri fotovoltaice sau reactoare nucleare.

Exemple de nave spațiale cu propulsie ionică

1. Deep Space 1 (1998, NASA)

- Prima sondă spațială care a testat cu succes un motor ionic în spațiu.
- A fost utilizată pentru a explora asteroizi și comete.

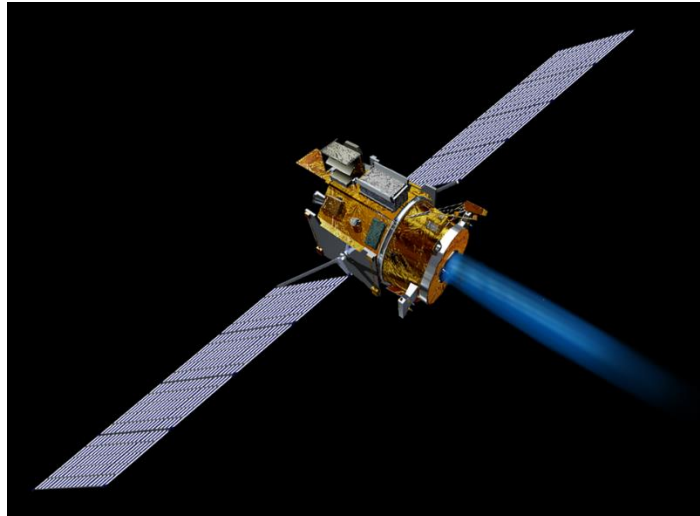


Fig. 1.2 Deep space 1 [13]

2. SMART-1 (2003, ESA - Agenția Spațială Europeană)

- Prima sondă europeană care a folosit propulsia ionică pentru a ajunge pe orbita Lunii.

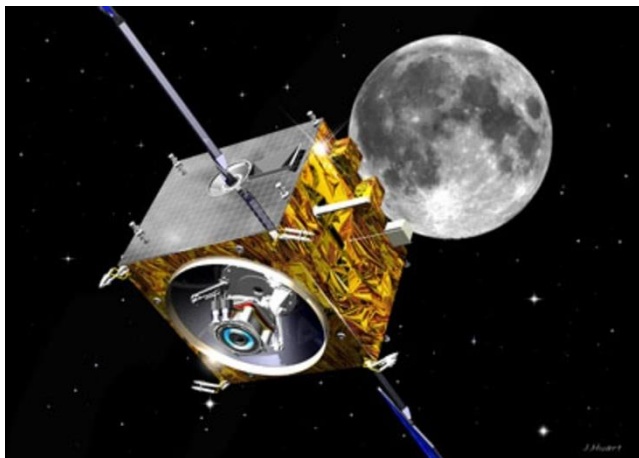


Fig. 1.3 Smart-1[14]

3. Dawn (2007, NASA)

- A folosit propulsie ionică pentru a vizita și studia doi asteroizi: Vesta și Ceres.
- Prima navă care a intrat pe orbită în jurul a două corpuri cerești diferite.

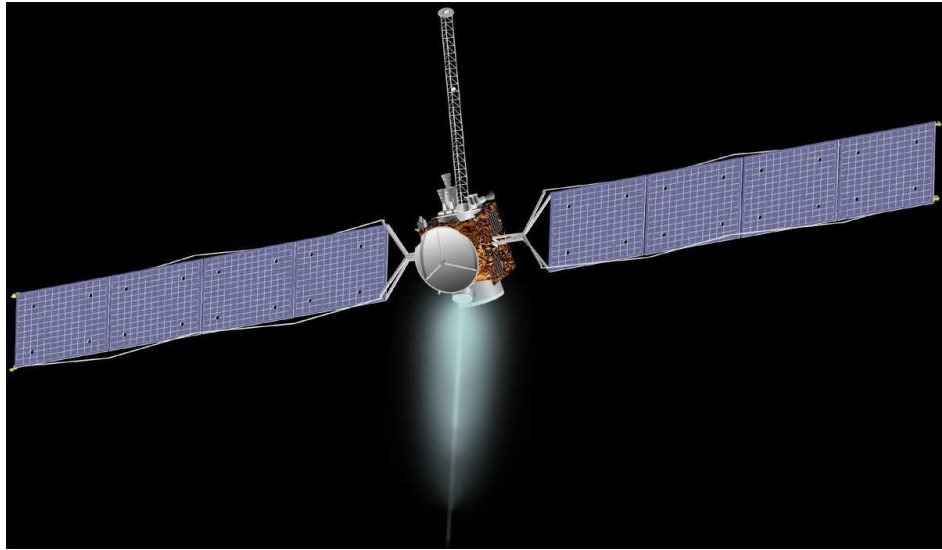


Fig 1.4 Dawn [15]

4. BepiColombo (2018, ESA și JAXA - Japonia)

- Misiune în desfășurare spre Mercur, folosind propulsie ionică pentru a-și ajusta traiectoria.



Fig. 1.5 BepiColombo [16]

5. Starlink (SpaceX)

- Sateliții din constelația Starlink utilizează motoare cu efect Hall pentru menținerea orbitelor.

Aceste nave spațiale demonstrează avantajele propulsiei ionice, făcând călătoriile interplanetare mai accesibile și eficiente. În viitor, această tehnologie ar putea fi esențială pentru misiuni cu echipaj uman spre Marte și dincolo de sistemul solar.

1.6 Aeronava cu propulsie ionică de la MIT

În anul 2018, o echipă de cercetători de la Massachusetts Institute of Technology (MIT) a reușit o performanță remarcabilă în domeniul propulsiei alternative: construirea primei aeronave capabile să zboare folosind exclusiv propulsia electrohidrodinamică (EHD), adică fără elice, fără turbine și fără părți mobile. Această realizare a demonstrat pentru prima dată că vântul ionic poate genera suficientă forță pentru a propulsa un vehicul autonom într-o atmosferă terestră. [8]

Principiul de funcționare

Aeronava MIT funcționează pe baza efectului EHD: un câmp electric intens generat între un electrod subțire (fir conductor) și o grilă metalică distantă accelerează ionii din aer. În timpul acestui proces:

1. Ionizarea aerului are loc la nivelul electrozilor pozitivi (fir subțire de oțel).
2. Ionii pozitivi sunt accelerați spre electrozii negativi (grilă colectoare), împingând moleculele neutre de aer.
3. Acest proces creează un flux de aer direcționat, denumit „vânt ionic”, care generează tracțiune și permite deplasarea aeronavei.

Această metodă de propulsie este complet silențioasă și are zero emisii de carbon, ceea ce o face deosebit de atractivă pentru aplicații viitoare în medii sensibile la zgomot sau poluare.

Date tehnice relevante

- Anvergura aripilor: ~5 metri [9]
- Greutate totală: ~2,5 kg [9]
- Număr de electrozi: 10 șiruri de electrozi amplasați de-a lungul aripii [9]
- Tensiune aplicată: până la 40.000 V (cu surse HV de înaltă eficiență) [9]
- Viteză de zbor: aproximativ 4,8 metri pe secundă [9]
- Distanță de zbor: ~60 metri în linie dreaptă în teste de laborator [9]

Importanța proiectului

Acest avion experimental nu este destinat aplicațiilor comerciale directe, ci are un rol demonstrativ: arată că vântul ionic poate fi folosit pentru propulsia în atmosferă, nu doar în vid (cum este cazul sateliților echipați cu motoare ionice). Este o inovație care deschide noi direcții de cercetare, mai ales în domenii precum:

- Drone silențioase cu aplicabilitate militară sau medicală

- Sisteme de răcire fără ventilatoare (bazate pe curent ionic)
- Propulsie pentru vehicule în atmosferă rară (ex: pe Marte)
- Sisteme de suspensie sau levitație în domeniul roboticii

Relevanță pentru lucrarea de față

Prototipul de motor ionic realizat în cadrul acestei lucrări se bazează pe același principiu fundamental ca și dispozitivul MIT: accelerarea particulelor printr-un câmp electric puternic pentru a genera un flux de aer. Deși la o scară mai redusă, proiectul prezent validează experimental conceptul de vânt ionic și îl aplică într-un context didactic și aplicativ.

Astfel, cercetarea MIT servește ca punct de referință științific, oferind atât confirmarea fezabilității acestei tehnologii, cât și o viziune clară asupra posibilelor direcții de dezvoltare viitoare.

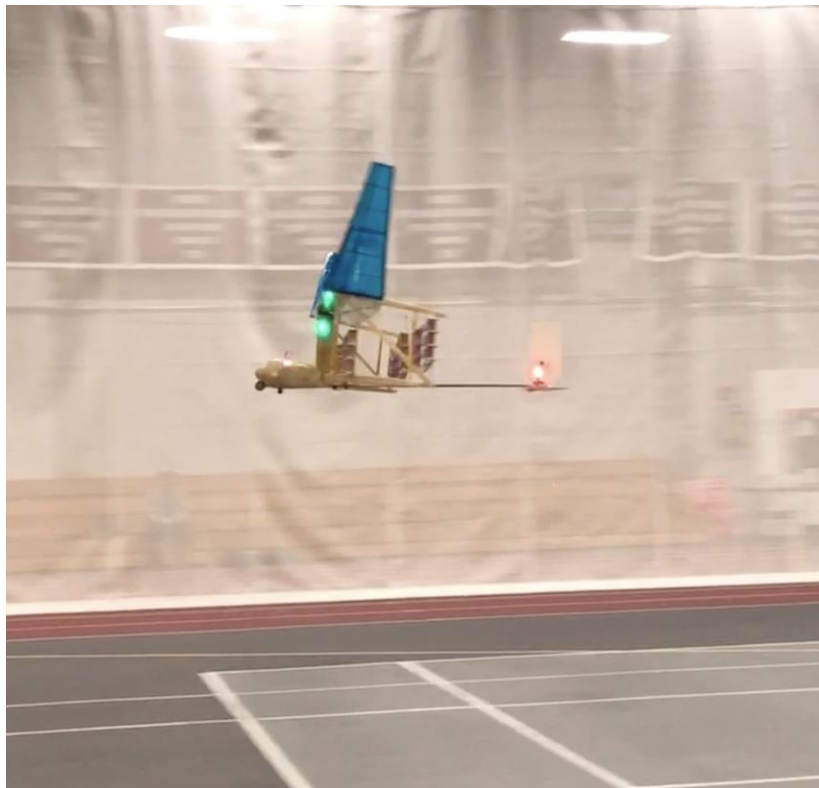


Fig. 1.6 Aeronava cu propulsie ionică de la MIT[9]

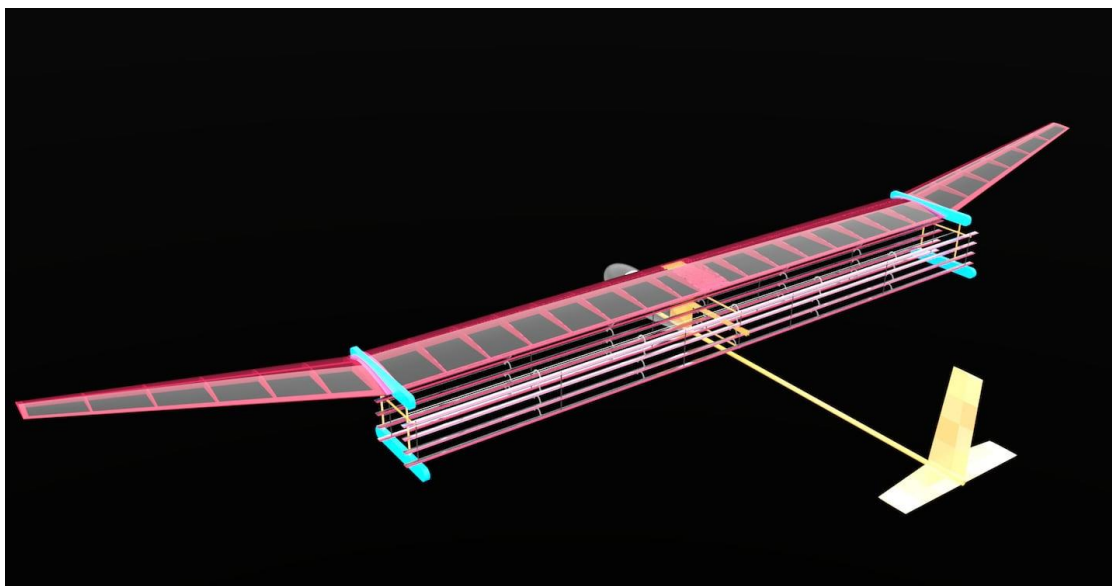


Fig. 1.7 O schita pentru un avion MIT propulsat de vânt ionic[9]

1.7 Aplicații viitoare ale motorului ionic

Deși tehnologia propulsiei ionice este încă în stadiu experimental pentru utilizarea în atmosferă, aceasta prezintă un potențial semnificativ în multiple domenii tehnologice. Pe măsură ce eficiența surselor de înaltă tensiune și a materialelor izolatoare crește, iar miniaturizarea componentelor electronice avansează, motoarele ionice atmosferice ar putea deveni o alternativă viabilă la sistemele convenționale de propulsie sau ventilație. [10]

1. Vehicule aeriene silențioase (dronă cu propulsie ionică)

Motoarele ionice pot genera tracțiune fără părți în mișcare și complet silențios. Astfel, o posibilă aplicație viitoare o reprezintă dronele de recunoaștere sau livrare în zone unde zgomotul reprezintă o problemă — spitale, arii naturale protejate sau operațiuni militare. De asemenea, eliminarea elicei reduce riscul de accidentare în spații închise.

2. Sisteme de ventilație fără piese în mișcare

Una dintre cele mai realiste aplicații pe termen scurt este integrarea motoarelor ionice în sisteme de răcire sau ventilație pentru echipamente electronice, precum laptopuri, servere sau panouri solare. Acestea pot înlocui ventilatoarele tradiționale, crescând fiabilitatea sistemelor și reducând nivelul de zgomot.

3. Rachete pentru zbor în atmosferă rară

Motoarele ionice pot fi optimizate pentru funcționarea în atmosfere rarefiate, cum este cea de pe planeta Marte. Spre deosebire de elicele clasice, care necesită o densitate a aerului mai mare, motoarele ionice pot funcționa chiar și în condiții de presiune atmosferică scăzută, oferind o soluție de propulsie pentru sonde sau drone marțiene.

4. Platforme de levitație sau suspensie electromagnetică

În combinație cu alte tehnologii (precum magneți permanenți sau câmpuri electromagnetice), motoarele ionice pot contribui la dezvoltarea unor sisteme de levitație controlată pentru roboți sau platforme mobile. Acestea ar putea fi utile în transportul automatizat pe distanțe scurte sau în medii sensibile (laboratoare, camere curate).

5. Educație și demonstrații științifice

Datorită principiului său vizual și ușor de demonstrat, motorul ionic are un potențial educațional ridicat. El poate fi folosit în școli și universități pentru a demonstra concepte fundamentale de fizică: câmp electric, mișcarea ionilor, legea lui Coulomb, forța electrostatică, etc. Mai mult, este o platformă ideală pentru prototipuri și cercetare didactică.

6. Sisteme de propulsie în spațiu (pentru comparație)

Deși lucrarea de față vizează aplicațiile în atmosferă, merită menționat că tehnologia motoarelor ionice este deja folosită cu succes în propulsia spațială, în special pentru sateliți. Motoarele cu xenon sau argon sunt extrem de eficiente pe termen lung, chiar dacă generează forțe de tracțiune mici. Proiectele prezentate în această lucrare pot fi văzute ca un pas premergător către astfel de sisteme, demonstrând principiul la o scară accesibilă.

1.8 Impactul asupra mediului al motoarelor ionice

Motoarele ionice sunt o tehnologie emergentă care promite să transforme domenii de activitate diverse, de la transportul aerian până la aplicațiile de ventilație în medii sensibile. Unul dintre cele mai atractive aspecte ale acestei tehnologii este potențialul său de a reduce impactul negativ asupra mediului, comparativ cu metodele tradiționale de propulsie. [11]

1. Reducerea emisiilor de gaze cu efect de seră

În comparație cu motoarele cu ardere internă sau motoarele electrice convenționale, motoarele ionice nu generează emisii directe de gaze cu efect de seră. Întrucât acestea nu implică arderea combustibililor fosili și nu depind de combustibili chimici, emisii de CO₂ și alți poluanți atmosferici sunt minime sau inexistente în procesul de propulsie. [11]

De exemplu, în aplicațiile aeriene, motoarele ionice pot contribui la reducerea amprentei de carbon a industriei aviatice, un sector major în ceea ce privește emisiile de gaze cu efect de seră. Aceste motoare ar putea fi folosite pentru zboruri regionale sau pentru drone de livrare, eliminând necesitatea de combustibil lichid și reducând dependența de resursele fosile.

2. Utilizarea energiei electrice regenerabile

Motoarele ionice se bazează pe surse de energie electrică pentru a crea câmpuri electrice care accelerează ionii și generează vântul ionic. În acest context, ele pot fi alimentate de surse de energie regenerabilă, precum energia solară sau energia eoliană, ceea ce le face compatibile cu un viitor sustenabil. De exemplu, o dronă alimentată de panouri fotovoltaice și propulsată de un motor ionic ar reprezenta un sistem complet ecologic, fără emisii de carbon, eficient energetic și cu un impact minim asupra mediului.

3. Lipsa părților mobile și a zgomotului

Un alt avantaj al motoarelor ionice este faptul că nu conțin părți în mișcare (precum elicele sau turbinele). Acest lucru reduce uzura mecanică și necesitatea de întreținere frecventă, iar în ceea ce privește impactul asupra mediului, acest aspect contribuie la reducerea deșeurilor generate de piesele uzate. Mai mult, tehnologia este complet silențioasă, ceea ce poate avea un impact pozitiv asupra calității vieții în zonele urbane sau în habitatul animalier. [11]

4. Eficiență energetică

Deși în prezent motoarele ionice nu sunt la fel de eficiente ca motoarele tradiționale în generarea de forță de tracțiune, cercetările și dezvoltările tehnologice continuă să îmbunătățească acest aspect. În viitor, eficiența lor ar putea să ajungă la un nivel comparabil cu al altor tipuri de propulsie, reducând semnificativ consumul de energie per unitate de mișcare. Aceasta ar putea duce la o reducere a necesității de infrastructuri energetice masive și la o utilizare mai eficientă a resurselor naturale.

5. Posibile riscuri ecologice și provocări

În ciuda avantajelor evidente, există și câteva provocări de care trebuie să ținem cont. De exemplu, tehnologia de propulsie ionică necesită surse de înaltă tensiune, iar producerea și manipularea acestora poate implica riscuri de siguranță. De asemenea, materialele utilizate pentru a crea electrozii și alte componente ale motoarelor ionice trebuie să fie selectate cu grijă pentru a evita efectele nocive asupra mediului, precum poluarea sau generarea de deșeuri toxice.

Un alt punct critic este legat de eficiența pe termen lung a motoarelor ionice, care nu a fost pe deplin demonstrată în condiții de operare reală. În funcție de aplicație, ar putea fi necesare modificări ale materialelor și tehnologiilor de construcție pentru a asigura sustenabilitatea pe termen lung.

Tehnologia Ionică: O Soluție Curată pentru Mediu și Purificarea Aerului

Motoarele ionice reprezintă o inovație tehnologică deosebit de promițătoare, având potențialul de a revoluționa nu doar domeniul transportului, ci și diverse aplicații în care calitatea aerului și eficiența energetică sunt factori cruciali. O caracteristică importantă a acestora este că nu generează emisii poluante directe, ceea ce le face o opțiune atractivă în contextul actual al crizei climatice și al necesității de a găsi soluții sustenabile pentru reducerea poluării.

1. Principiul de Funcționare și Generarea Ozonului

Motoarele ionice funcționează prin accelerarea ionilor de aer, care, în urma unui câmp electric aplicat, creează un flux de aer (vânt ionic). Acest proces de ionizare, pe lângă faptul că produce mișcare mecanică, poate duce și la formarea de ozon (O_3), un gaz ce apare atunci când moleculele de oxigen (O_2) din aer sunt separate și apoi se reunesc pentru a forma ozonul.

Ozonul, în concentrații mici, are un rol important în purificarea aerului, având proprietăți puternic oxidante care pot distruge poluanții, bacteriile și virușii. Astfel, motoarele ionice nu doar că generează un flux de aer util în diverse aplicații (de exemplu, pentru ventilație sau propulsie), dar pot și contribui activ la îmbunătățirea calității aerului.

2. Impactul asupra Calității Aerului

Unul dintre principalele avantaje ale motoarelor ionice este că, prin producerea de ozon, ele pot contribui la purificarea aerului din mediul înconjurător. În medii industriale sau în locuri unde calitatea aerului este compromisă de poluanți, cum ar fi zonele cu emisii ridicate de gaze toxice sau camerele curate, motoarele ionice pot fi utilizate pentru a curăța aerul și pentru a reduce concentrațiile de particule periculoase.

Mai mult, datorită faptului că motoarele ionice nu au piese în mișcare, acestea nu generează zgomot sau vibrații semnificative, ceea ce le face ideale pentru aplicații în zonele unde zgomotul este o preocupare (de exemplu, spitale, laboratoare sau zone rezidențiale).

3. Beneficii Ecologice

Motoarele ionice sunt o tehnologie ecologică din mai multe perspective:

- Absența emisiilor de gaze cu efect de seră: Spre deosebire de motoarele cu combustie internă sau de propulsia tradițională pe bază de carburant, motoarele ionice nu generează emisii poluante, ceea ce le face o alegere sustenabilă pentru viitor. Utilizarea lor într-o varietate de aplicații, de la vehicule aeriene la sisteme de ventilație pentru echipamente electronice, poate contribui semnificativ la reducerea emisiilor de CO₂.
- Consumul redus de energie: Deși motoarele ionice nu sunt încă la fel de eficiente ca motoarele tradiționale în termeni de tracțiune generată, cercetările și dezvoltările în domeniu sugerează că acestea ar putea ajunge să aibă o eficiență energetică mai bună pe măsură ce tehnologia avansează. Folosirea energiei regenerabile, cum ar fi energia solară sau energia eoliană, pentru a alimenta motoarele ionice ar putea face aceste dispozitive complet ecologice.
- Lipsa pieselor în mișcare: O altă caracteristică care contribuie la sustenabilitatea tehnologică a motoarelor ionice este faptul că acestea nu au piese în mișcare, ceea ce le face mai durabile și mai puțin susceptibile la uzură. Astfel, nu există riscul de a crea deșeuri generate de piesele mecanice uzate, ceea ce reduce impactul asupra mediului în comparație cu motoarele tradiționale care necesită întreținere constantă.

4. Provocări și Riscuri

Cu toate beneficiile sale, utilizarea motoarelor ionice nu este fără provocări și riscuri. De exemplu, producerea de ozon în cantități mari poate deveni o problemă, deoarece, în concentrații mari, ozonul poate fi un poluant toxic pentru sănătatea umană și pentru ecosisteme. Ozonul poate provoca iritații ale căilor respiratorii și poate afecta vegetația în mediile de utilizare.

De aceea, este important ca orice aplicație a motoarelor ionice să fie monitorizată cu atenție, pentru a asigura că nivelurile de ozon nu depășesc limitele sigure pentru mediu și sănătatea umană. În plus, trebuie dezvoltate strategii de filtrare a ozonului generat pentru a evita acumularea acestuia în spațiile închise.

5. Viitorul Tehnologiei Ionice în Mediul Construit și Industrial

Pe măsură ce tehnologia motoarelor ionice evoluează, acestea vor putea fi utilizate din ce în ce mai frecvent pentru a curăța aerul în diverse medii, de la fabrici și centre de date până la spații rezidențiale. În plus, vor putea fi folosite pentru drone de livrare sau pentru vehicule aeriene ușoare, înlocuind astfel tehnologiile de propulsie pe bază de combustibil fosil cu o alternativă mai curată și mai eficientă.

Pe termen lung, dacă dezvoltarea tehnologică continuă, motoarele ionice ar putea deveni o parte integrantă a soluțiilor pentru orașele inteligente și sustenabile, unde calitatea aerului și reducerea poluării sunt priorități majore.

Tehnologia motoarelor ionice nu doar că oferă o soluție inovativă pentru propulsie, dar contribuie și la purificarea aerului prin producerea de ozon. Cu toate acestea, utilizarea acestei tehnologii va trebui reglementată și monitorizată cu atenție pentru a evita posibilele riscuri legate de nivelurile de ozon. Pe măsură ce cercetările avansează, motoarele ionice au potențialul de a transforma industria întregi, devenind o soluție curată și eficientă pentru viitorul nostru ecologic.

Motoarele ionice oferă un set de avantaje notabile, mai ales în contextul în care căutăm soluții de propulsie mai ecologice și mai eficiente. În ciuda acestora, există și provocări semnificative, precum eficiența limitată pentru aplicațiile mari sau riscurile legate de producerea de ozon. Totuși, cu progrese continue în cercetare și tehnologie, motoarele ionice au potențialul de a deveni o componentă importantă a unui viitor sustenabil, cu aplicații diverse în domeniul transportului, ventilației și purificării aerului.

1.9 *Efectul corona*

Efectul corona este un fenomen electric care apare la tensiuni ridicate, atunci când câmpul electric din jurul unui conductor depășește pragul de ionizare al aerului sau al altui gaz dielectric. Acest fenomen este deosebit de important în domeniul ingineriei electrice, fiind considerat atât o problemă, cât și o oportunitate tehnologică în diverse aplicații, inclusiv în propulsia electrică. [7]

Efectul corona apare datorită interacțiunii dintre un câmp electric intens și gazele din jurul unui conductor. Principalele condiții care favorizează acest fenomen sunt:

- Intensitatea câmpului electric: Atunci când diferența de potențial dintre doi conductori sau dintre un conductor și mediul înconjurător este suficient de mare, câmpul electric poate accelera electronii liberi până la energii care provoacă ionizarea moleculelor de aer.
- Forma conductorului: Conductoarele cu suprafețe ascuțite sau cu raze mici de curbura au câmpuri electrice mai intense, ceea ce favorizează apariția descărcărilor corona.
- Presiunea și compoziția aerului: Presiunea atmosferică influențează distanța la care apare ionizarea. De asemenea, umiditatea ridicată poate modifica pragul de ionizare al aerului.

Efectul corona este vizibil și detectabil printr-o serie de fenomene:

- Emisii luminoase: Descărcările corona pot produce o strălucire albastruie-violet în jurul conductorilor, mai ales în condiții de întuneric.
- Zgomote caracteristice: Se pot auzi sunete de bâzâit datorate mișcării ionilor în aer.
- Pierderi de energie: Energia electrică este consumată prin ionizarea aerului și emisia de radiații electromagnetice.
- Generare de ozon și oxid de azot: Efectul corona poate duce la formarea de ozon (O_3) și oxizi de azot (NO_x), care pot fi corozivi pentru echipamentele electrice.
- Interferențe electromagnetice: Descărcările corona pot genera unde electromagnetice care afectează transmisiunile radio și sistemele de telecomunicații.

Efectul corona este adesea considerat o problemă în sistemele de transport al energiei electrice, deoarece duce la pierderi de energie și degradarea izolației conductorilor. Pe liniile de înaltă tensiune (110 kV și peste), acest efect poate cauza pierderi de ordinul megawaților, reducând eficiența transmisiei. [7]

Măsuri pentru reducerea efectului corona:

- Utilizarea conductorilor cu diametru mai mare pentru a reduce intensitatea câmpului electric.
- Folosirea conductorilor cu profil special (cablu fasciculat) pentru a diminua neuniformitățile de câmp electric.
- Creșterea distanței dintre conductoare pentru a preveni formarea descărcărilor.

Deși este de multe ori considerat o problemă, efectul corona este exploatat în anumite aplicații tehnologice:

- Propulsia ionică: Motoarele ionice utilizează efectul corona pentru a genera și accelera particule ionizate, creând tracțiune fără a fi necesară arderea unui combustibil chimic.
- Precipitatoare electrostatice: Aceste dispozitive folosesc efectul corona pentru a separa particulele fine de praf și poluanții din aer în industrii precum termocentralele.
- Imprimante laser și fotocopiatoare: Crearea imaginilor pe tamburul fotosensibil al imprimantelor se bazează pe descărcări corona controlate.

1.10 Avantaje și Dezavantaje ale Tehnologiei Motoarelor Ionice

Motoarele ionice reprezintă un pas semnificativ înainte în domeniul tehnologiilor de propulsie ecologică și curată. Cu toate acestea, ca orice tehnologie emergentă, acestea vin cu atât avantaje

importante, cât și provocări. În această secțiune, vom explora atât beneficiile, cât și limitările motoarelor ionice pentru a oferi o înțelegere completă a potențialului lor. [12]

Avantaje ale Motoarelor Ionice

1. Sustenabilitate Ecologică

Motoarele ionice nu generează emisii de gaze cu efect de seră sau poluanți tradiționali, precum CO₂ sau oxizi de azot (NO_x), ceea ce le face o alternativă ecologică față de motoarele cu combustie internă sau tehnologiile convenționale de propulsie.

Pot contribui la reducerea poluării aerului, mai ales în zonele urbane sau în aplicații industriale, prin eliminarea emisiilor nocive și prin producerea de ozon care poate purifica aerul.

Reducerea Zgomotului și a Vibrațiilor

Motoarele ionice sunt extrem de silențioase comparativ cu motoarele tradiționale pe combustie sau cele electrice. Aceasta le face ideale pentru aplicații în care zgomotul reprezintă o preocupare, cum ar fi în spitale, zone rezidențiale sau laboratoare.

Lipsa pieselor în mișcare reduce semnificativ vibrațiile și uzura mecanică, contribuind la durabilitatea și fiabilitatea sistemului.

2. Eficiență Energetică

Tehnologia motoarelor ionice poate ajunge să fie extrem de eficientă în termeni de consum de energie, având în vedere că nu necesită combustibil sau arderea acestuia. În plus, motoarele ionice pot funcționa eficient cu surse de energie regenerabilă, cum ar fi energia solară sau energie eoliană, oferind o soluție sustenabilă pe termen lung.

3. Fără Piese Mecanice Mobile

Un alt avantaj major este absența pieselor în mișcare, ceea ce face ca motoarele ionice să necesite mult mai puțină întreținere decât motoarele tradiționale. Fără combustibil, fără ulei sau componente care să se deterioreze rapid, acestea pot opera pe perioade îndelungate fără defecțiuni majore.

4. Posibilități de Integrare în Diverse Domenii

Motoarele ionice pot fi aplicate într-o varietate largă de domenii, inclusiv transportul aerian, ventilație industrială, curățarea aerului în spații închise, dar și în aplicații de mică propulsie pentru drone și vehicule aeriene ușoare. Acestea pot fi utilizate pentru a dezvolta soluții inovatoare în transporturi, reducând impactul ecologic al acestora.

Dezavantaje ale Motoarelor Ionice

1. Eficiență Limitată pentru Aplicații de Mare Putere

În ciuda progreselor tehnologice, motoarele ionice sunt încă mai puțin eficiente comparativ cu motoarele convenționale atunci când vine vorba de aplicații de mare putere, cum ar fi transportul maritim sau aerian de mari dimensiuni. În prezent, ele sunt mai potrivite pentru aplicații ușoare și de mică propulsie.

De asemenea, pentru a obține o putere semnificativă de propulsie, motoarele ionice necesită o cantitate mare de energie electrică, ceea ce le face mai puțin eficiente pentru aplicațiile care necesită o autonomie mare pe distanțe lungi.

2. Producerea de Ozon în Cantități Mari

Unul dintre efectele secundare ale procesului de ionizare este formarea de ozon, care, în concentrații mari, poate deveni periculos pentru sănătate. Expunerea prelungită la ozon poate irita căile respiratorii și poate avea efecte negative asupra sănătății, mai ales în spațiile închise unde ozonul nu poate fi dispersat rapid.

De asemenea, în medii naturale, ozonul poate dăuna vegetației sau altor ecosisteme, dacă nu este reglementat corect.

3. Costuri Inițiale și Complexitatea Tehnologică

În prezent, dezvoltarea și implementarea motoarelor ionice necesită investiții semnificative în cercetare și tehnologii avansate. Producția acestora la scară largă poate fi costisitoare și presupune echipamente specializate care nu sunt încă disponibile pe scară largă.

În plus, tehnologia nu este încă complet maturizată, ceea ce face ca aceasta să necesite îmbunătățiri constante și investiții suplimentare pentru a atinge performanțe mai bune.

Limitări în Termeni de Control și Stabilitate

Motoarele ionice sunt încă un domeniu de cercetare și dezvoltare, iar controlul precis al fluxului ionic și al puterii generate poate fi o provocare. Aceste motoare pot suferi de instabilități în anumite condiții de operare, ceea ce poate afecta performanța lor în aplicațiile mai exigente.

Dependența de Surse de Energie Electrică

Motoarele ionice necesită o sursă de energie constantă pentru a funcționa eficient. Aceasta poate însemna o dependență de bateriile electrice sau de alimentarea cu energie electrică din rețelele publice, care, în unele cazuri, pot să nu fie disponibile în locații izolate sau în medii de operare extrem de solicitante.

1.11 Provocări și Direcții Viitoare în Dezvoltarea Motoarelor Ionice

Motoarele ionice reprezintă o tehnologie inovatoare cu un mare potențial în domeniul propulsiei ecologice și al eficienței energetice. Cu toate acestea, la fel ca orice tehnologie emergentă, motoarele ionice se confruntă cu o serie de provocări care trebuie depășite pentru a ajunge la aplicabilitate pe scară largă. În această secțiune, vom explora principalele dificultăți întâmpinate în dezvoltarea motoarelor ionice, precum și direcțiile de cercetare care promit să îmbunătățească performanțele și să extindă utilizarea lor în viitor. [10]

Provocările Tehnologice ale Motoarelor Ionice

Eficiența Energetică și Performanța Limitată

În prezent, motoarele ionice nu sunt capabile să atingă performanțele de propulsie ale motoarelor convenționale pe combustie sau ale motoarelor electrice în aplicațiile de mare putere. Acestea sunt mai eficiente în cazul aplicațiilor de mică propulsie, cum ar fi dronele sau vehiculele mici, dar pentru aplicații de transport de mari dimensiuni, cum ar fi avioanele comerciale sau navele, eficiența lor rămâne un punct de limitare. [10]

Eficiența energetică a motoarelor ionice depinde de factori precum intensitatea câmpului electric, densitatea fluxului ionic și materialele utilizate în construcția acestora. Optimizarea acestor parametri pentru a îmbunătăți eficiența rămâne una dintre principalele provocări.

Autonomia Limitată

Motoarele ionice necesită o sursă continuă de energie electrică pentru a produce fluxul de ioni, iar pentru a atinge o autonomie mare, este necesară o sursă de energie care să poată susține funcționarea motorului pentru perioade extinse. În acest sens, tehnologia de stocare a energiei și eficiența bateriilor sau a altor surse de alimentare joacă un rol crucial.

De asemenea, autonomia este afectată de perioadele de încărcare și de eficiența procesului de ionizare, iar până când nu vor fi disponibile soluții mai bune de stocare a energiei, autonomia motoarelor ionice rămâne un factor limitativ.

Costurile de Producție

În prezent, costurile de producție ale motoarelor ionice sunt ridicate, în mare parte datorită materialelor specializate și tehnologiilor avansate necesare pentru fabricarea acestora. Spre exemplu, materialele utilizate pentru electrozi și sursele de alimentare cu înaltă tensiune sunt costisitoare.

De asemenea, integrarea acestor motoare în sisteme de propulsie pentru vehicule comerciale sau alte aplicații la scară largă ar necesita investiții substanțiale în infrastructură și producție, ceea ce poate întârzia adopția pe scară largă.

Direcții de Cercetare și Dezvoltare

Îmbunătățirea Eficienței Energetice

O direcție importantă în cercetarea motoarelor ionice este optimizarea performanței acestora prin îmbunătățirea eficienței energetice. Aceasta poate include cercetarea unor noi materiale cu conductivitate mai bună, îmbunătățirea tehnologiilor de ionizare și dezvoltarea unor metode mai eficiente de transfer al energiei. [10]

Cercetările recente în domeniul materialelor avansate pentru electrozi și izolație ar putea duce la motoare ionice mai eficiente, care pot genera un flux ionic mai puternic folosind mai puțină energie.

Surse de Energie Regenerabilă și Stocare a Energiei

Un alt domeniu de cercetare este integrarea motoarelor ionice cu surse de energie regenerabilă, precum energia solară sau energia eoliană. Prin utilizarea acestor surse de energie curată, motoarele ionice ar putea deveni o soluție cu adevărat sustenabilă pentru aplicațiile de propulsie ecologică.

În același timp, îmbunătățirea tehnologiilor de stocare a energiei, cum ar fi bateriile pe bază de litiu-ion sau alte tehnologii emergente, ar putea contribui la creșterea autonomiei motoarelor ionice, reducând dependența de rețelele externe de alimentare. [10]

Miniaturizarea și Aplicații Diversificate

În prezent, motoarele ionice sunt utilizate în aplicații mici, precum dronele sau vehiculele ușoare. Cu toate acestea, cercetările în direcția miniaturizării ar putea permite integrarea acestora în vehicule mai mari, deschizând noi posibilități de utilizare.

Pe măsură ce tehnologia evoluează, motoarele ionice ar putea fi utilizate pentru o gamă mai largă de aplicații, inclusiv propulsia spațială, sisteme de ventilare inteligente și echipamente de curățare a aerului.

Tehnologii de Control și Stabilitate

O altă direcție importantă este îmbunătățirea controlului și stabilității motoarelor ionice. În prezent, menținerea unei performanțe constante în condiții variabile de operare este o provocare. Dezvoltarea unor sisteme de control mai sofisticate, bazate pe algoritmi avansați și senzori de înaltă precizie, ar putea spori performanța și fiabilitatea motoarelor ionice.

II. Partea practică

În lucrarea de față, se va analiza principala tehnologie de propulsie utilizată în cadrul misiunilor spațiale de lungă durată, respectiv propulsia ionică, cu accent pe principiul de funcționare, aplicabilitatea în misiuni spațiale, precum și designul motorului ionic utilizat. Obiectivul principal al acestei lucrări este de a explora detaliile tehnice ale unui motor ionic.

În primă fază am început prin a printa 3D anumite componente care vor ajuta la crearea șasiului. Pentru partea de printare am folosit o imprimantă de tip Bambulab X1C, iar pentru modelare 3D am utilizat software-ul Fusion 360. Printarea șasiului și totodata a distanțierelor a durat aproximativ 8 ore pentru a-l finaliza pe tot.

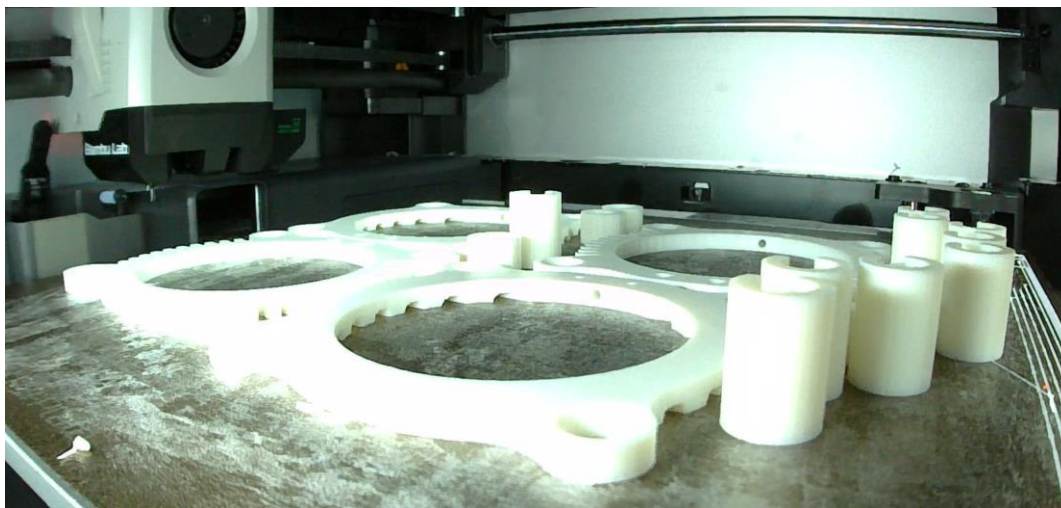


Fig. 2.1 Șasiul printat 3D

Materialul folosit pentru acest proiect este plastic PLA Matte făcut de Bambulab [5], deoarece este ușor de utilizat nu necesită atenție sporită printării și totodata costurile sunt relativ scăzute în comparație cu alte tipuri de plastic (ex. ASA, ABS, PETG etc.). Șasiul este format din 3 componente, prima componentă fiind cel care susține firul de cupru, apoi cel care susține bările/foile de aluminiu/cupru și totodată distanțiere între cele 2 punți.

Un prim prototip, pe care l-am realizat a fost folosind un fir de cupru, pe care l-am slefuit pentru a îndepărta izolația acest procedeu având un avantaj în puterea de propulsie a ionilor, și niște bări din aluminiu. Bările de aluminiu le-am fixat între 2 parti de șasiu imprimat 3D prins apoi cu banda adezivă pentru o susținere mai bună.



Fig. 2.2 Șasiu imprimat 3D cu firul de cupru integrat

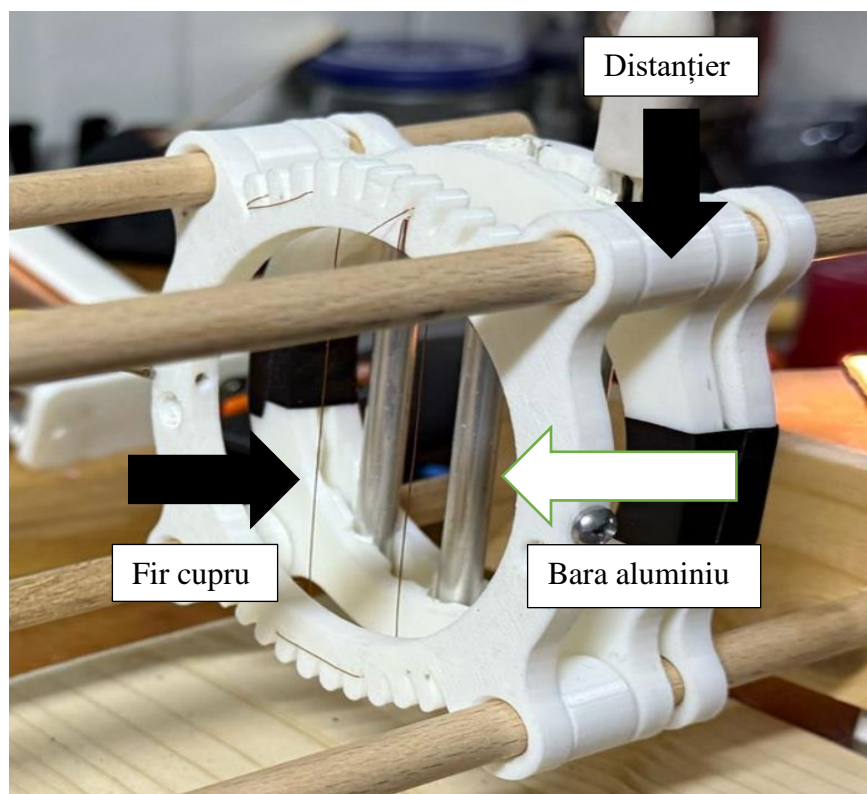


Fig. 2.3 Structura prototipului motorului ionic

În imaginea 2.3 de mai jos am pus in aplicare prototipul creat. Pentru alimentarea dispozitivului am folosit un transformator de tip HV achiziționat de pe TEMU cu o putere maximă de 500KV(puterea de intrare este de 3,6-6V si 2-5A), iar pentru alimentarea transformatorului am folosit o sursa de laborator pentru a putea modifica usor valorile de intrare. Pe un fir de cupru am atasat unul din firele care produce HV, iar pentru barele de aluminiu am folosit celelalt fir de HV. Distanțerele sunt egale fiecare avand de 1cm fiecare. Pentru măsurarea intensității vântului am luat și un anemometru. La început pentru a putea verifica daca dispozitivul funcționeaza am folosit o lumanare pe post de a vedea daca întradevăr se produce vântul ionic. După cum se poate observa in imaginea 2.6 flacăra este pe cale de a se stinge de la vântul creat de prototip.



Fig. 2.4 Anemometrul



Fig. 2.5 Sursa de laborator

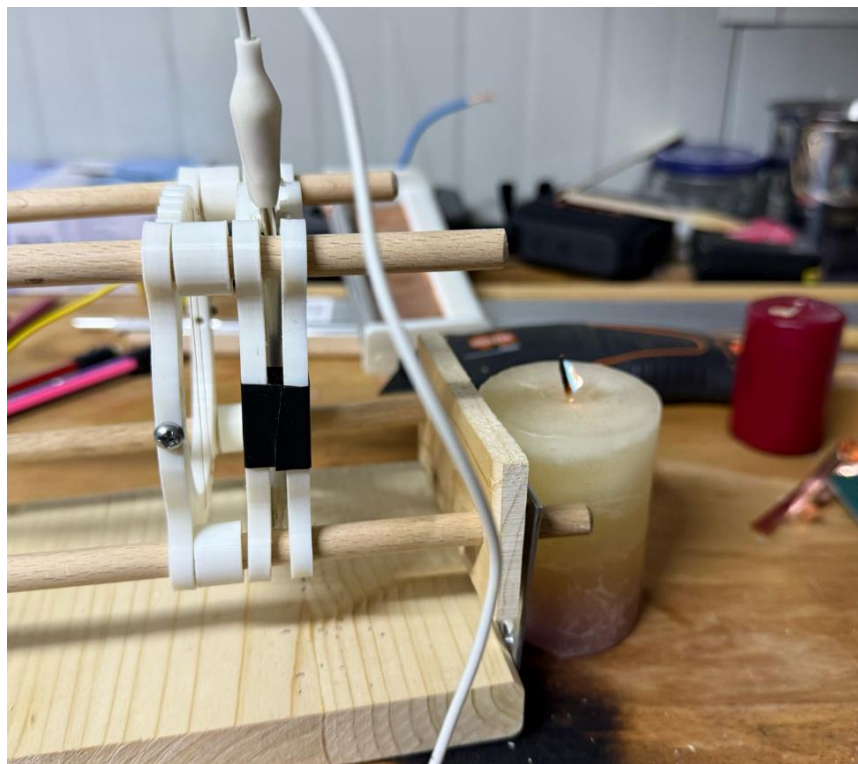


Fig. 2.6 punerea in aplicare a prototipului

Al 2-lea prototip creat era identic cu primul, doar ca am schimbat barile de aluminiu cu un fir de cupru. Pentru a vedea daca se modifica intensitatea vântului produs de catre dispozitiv.

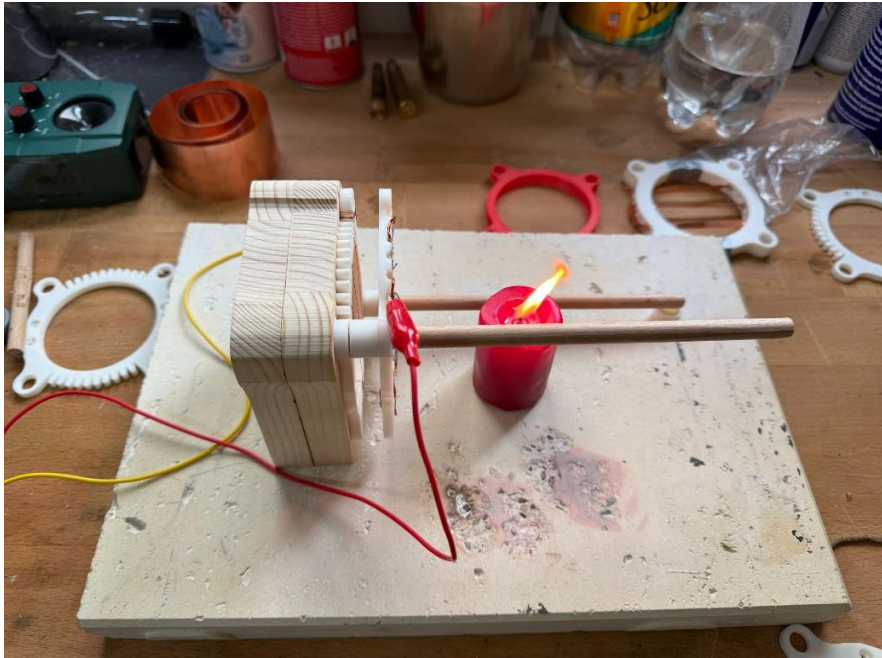


Fig. 2.7 Al 2-lea prototip

Acest prototip este nu a dat randament mai mare ci din contră puterea intensității vântului ionic a scăzut fata de cazul anterior.

Ultimul prototip a fost ca să modific din nou ultima parte a dispozitivului si in loc de fir de cupru sau bară de aluminiu am folosit foaie de cupru groasa de 1mm și am refăcut modelarea 3D pentru un design mai estetic și mai compact. Sunt facute 9 găuri astfel încât să poată fi introdusă foaia de cupru în mod egal și sincron. Șasiul are o lungime de 86mm si o lățime de 83mm, iar gaurile pentru a fi introdus cuprul este de 3mm lățime si 6mm lungime. Am optat pentru o variantă dreptunghiulară deoarece este mai ușor de utilizat atunci când vine vorba despre introducerea foii de cupru in locurile destinate cu acest scop.

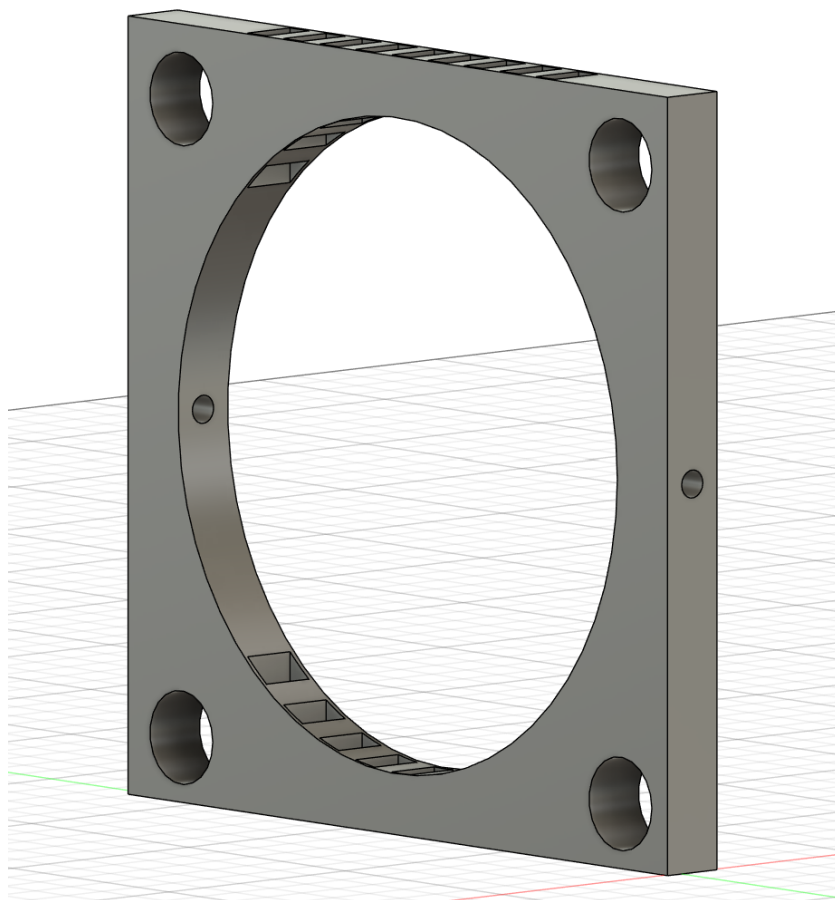


Fig. 2.8 Design 3D pentru susținerea foii de cupru

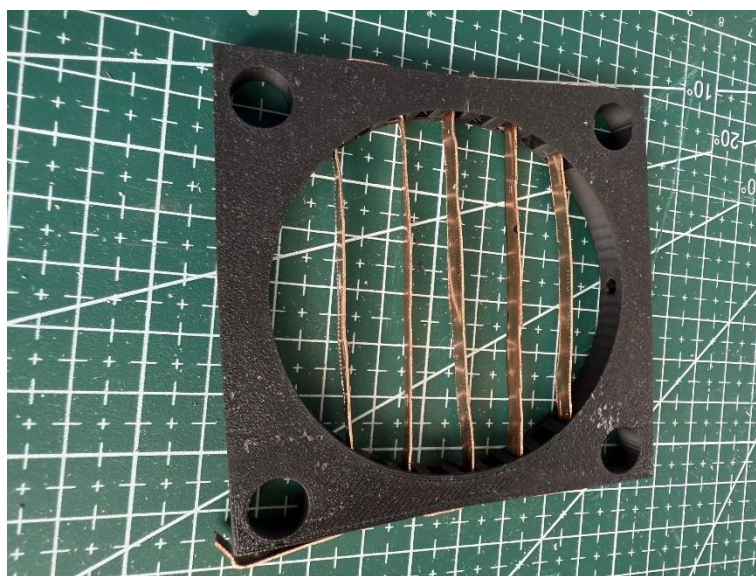


Fig 2.9 Șasiu imprimat 3D cu folia de cupru integrată

Pentru partea de susținere am făcut un design propriu care este conceput din plastic PLA și are gauri pentru fixare la baza ei. Produsul finit este de culoare albastru.

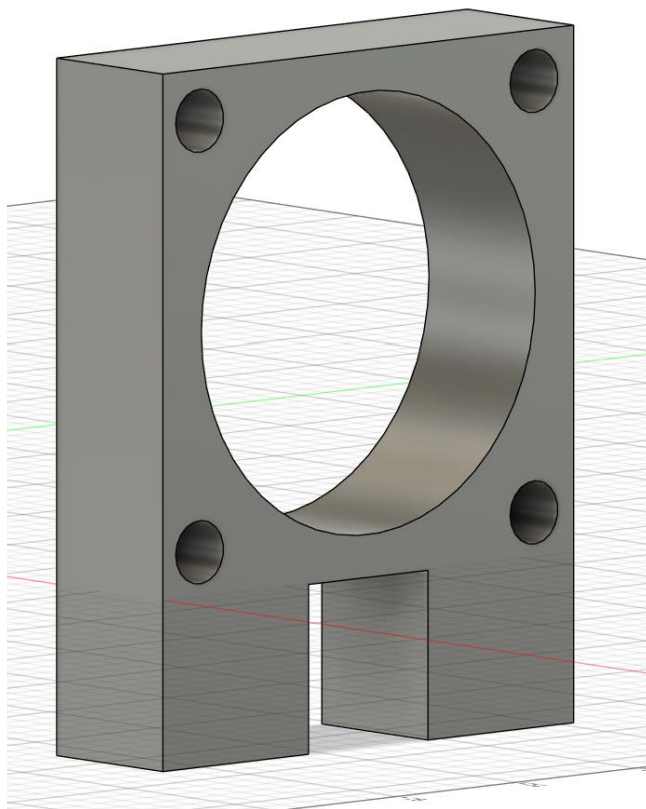


Fig. 2.10 Partea de susținere modelată 3D

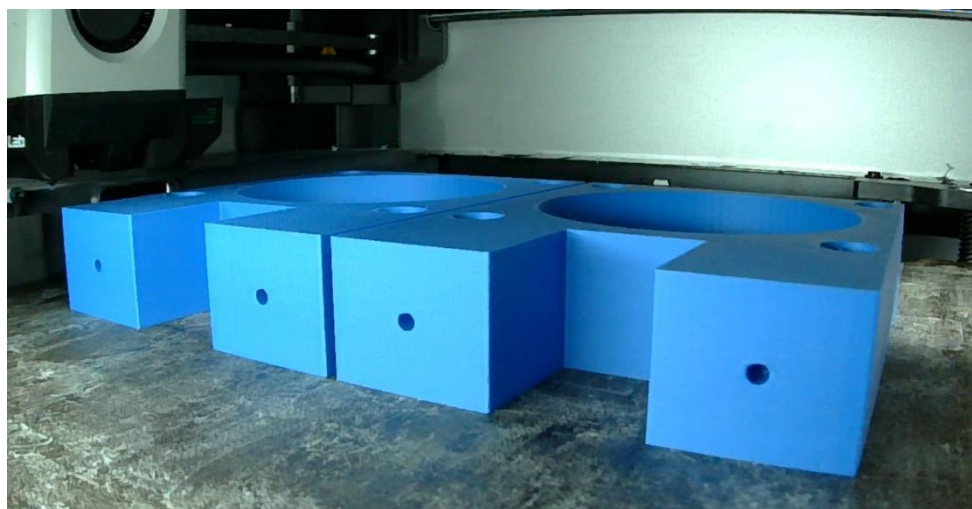


Fig. 2.11 Produsul finit după imprimare

În figura de mai jos este realizat prototipul final pentru crearea dispozitivului. Fiecare parte din șasiu este bine evidențiată din baza culorii, pentru o evidențiere și urmarire mai ușoară a

componentelor. Partea albastră este concepută pentru susținerea șasiului, cea albă este pentru firul subțire de cupru, iar partea neagră fiind cea care ține foaia de cupru. Foaia de cupru a fost tăiată astfel încât să fie dintr-o singură bucată pentru a nu îngreuna partea de construcție a dispozitivului trebuind mai apoi să fie lipit și făcut legăturile între ele. Ceea ce ține mai exact întregul ansamblu sunt 4 băni de lemn fiecare introdusă în spațiul alocat pentru susținerea suspendată a șasiului.

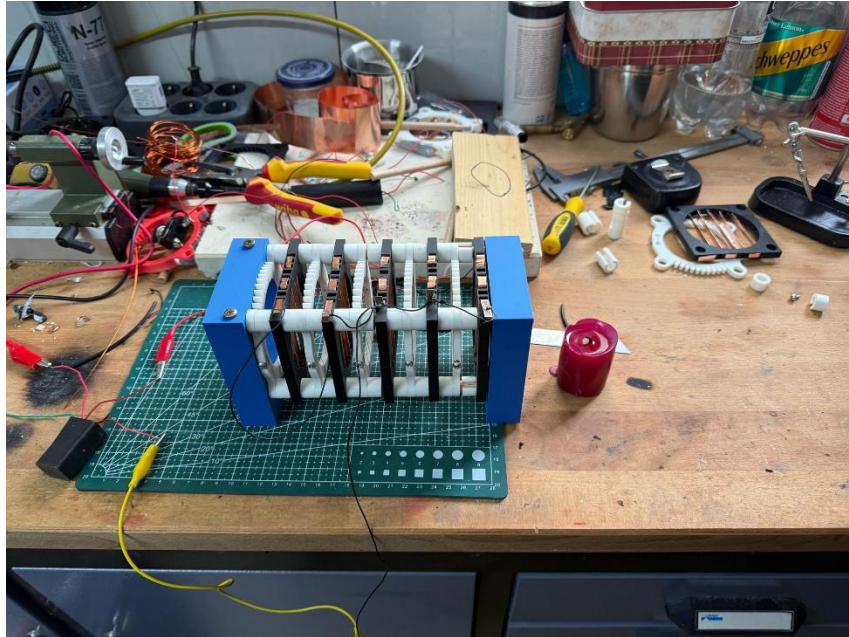


Fig. 2.12 Design-ul final pentru dispozitiv

Pentru design-ul final am făcut 6 sectoare pentru crearea vântului ionic, un sector fiind alcătuit dintr-o componentă albă și una neagră, făcând anumite teste am putut să observăm faptul că la un singur sector puterea vântului era relativ nesemnificativă. Pe măsură ce am adăugat sectoare puterea vântului a crescut semnificativ, putând fi totodată măsurabilă. Am făcut legătura pentru firele și foile de cupru fiecare fiind conectate în serie (firele separat, foile separat).

2.1 Rezultate

Mai departe am folosit un anemometru pentru a măsura intensitatea vântului venind de la dispozitiv cu ultima reglementare de prototip.

Pentru început am amplasat anemometrul chiar la capatul dispozitivului pentru a măsura cea mai mare intensitate produsă de motor. Toate valorile rezultate sunt măsurate în m/s, iar temperatura fiind puțin mai ridicată cu 3 grade la capatul motorului ionic, adică de 23 grade celsius, pe când la o depărtare de minim 1 cm se modifică la aproximativ 20 de grade celsius.

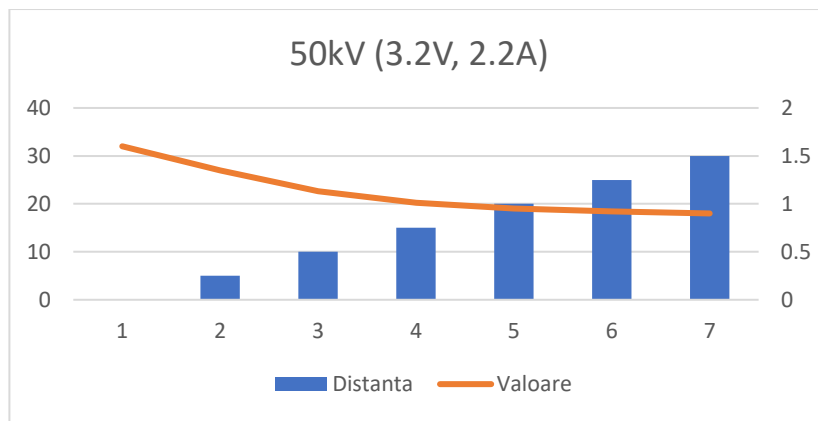


Fig. 2.13 Amplasarea dispozitivului de masurare

Pentru inceput am folosit un dispozitiv HV care are o tensiune de iesire de 50kV. La sursa de laborator i-am dat o tensiune de intrare de 3.2V si 2.2A. Masuratorile le-am facut din 5 in 5 cm.

Distanta	Valoare(m/s)(50kV)
0	1.6
5	1.35
10	1.13
15	1.01
20	0.95
25	0.92
30	0.9

Tabelul 2.1 Valorile masurate de un dispozitiv HV de 50kV

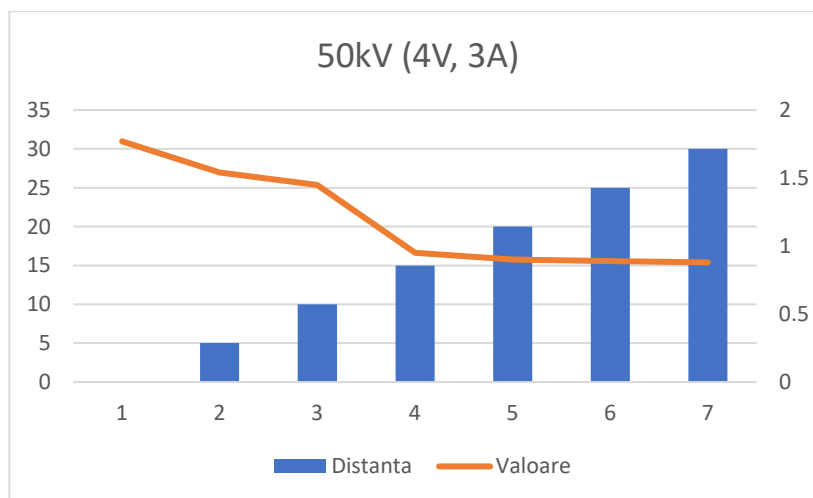


Graficul 2.1 Graficul dintre distanta si valoare

Am crescut tensiunea de intrare la 4V, 3A pentru a face a 2-a masuratoare. Valorile sunt afisate in tabelul de mai jos.

Distanta	Valoare(m/s)(50kV)
0	1.77
5	1.54
10	1.45
15	0.95
20	0.9
25	0.89
30	0.88

Tabelul 2.2 Valorile masurate la o tensiune de 4V 2.8A

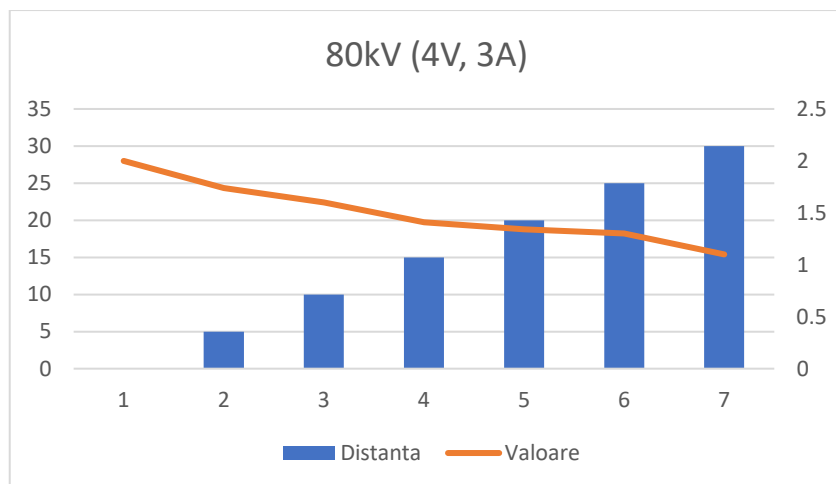


Graficul 2.2 Graficul dintre distanta si valoare

Pentru ultima masuratoare am schimbat dispozitivul transformatorului HV cu unul mai puternic ce ofera 80kV. Am introdus la intrare valorile de 4V, 3A pentru a putea face o comparatie intre cele 2 transformatoare. Rezultatele sunt afisate in tabelul de mai jos:

Distanta	Valoare(m/s)(80kV)
0	2
5	1.74
10	1.6
15	1.41
20	1.34
25	1.3
30	1.1

Tabelul 2.3 Valorile masurate cu transformatorul de 80kV

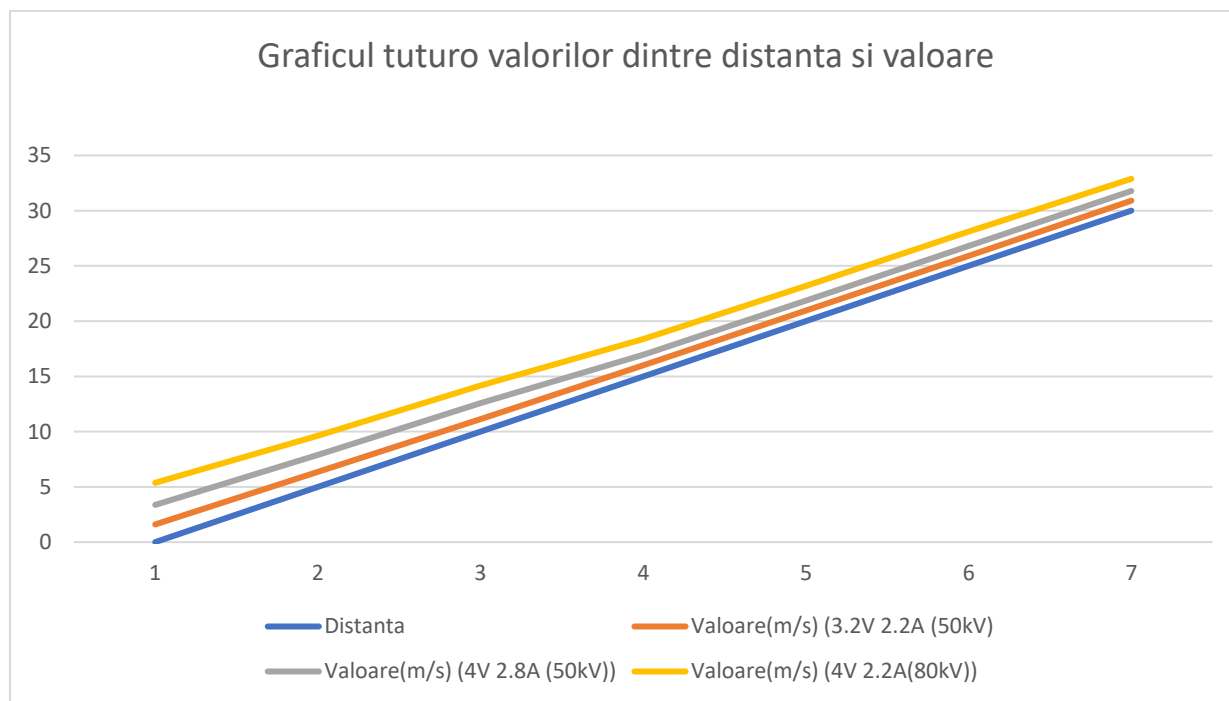


Graficul 2.3 Graficul dintre distanța și valoare

Mai jos atasez tabelul și graficul celor 3 valori combinate pentru o vizualizare cât mai bună.

Distanța	Valoare(m/s) (3.2V 2.2A (50kV))	Valoare(m/s) (4V 2.8A (50kV))	Valoare(m/s) (4V 2.2A(80kV))
0	1.6	1.77	2
5	1.35	1.54	1.74
10	1.13	1.45	1.6
15	1.01	0.95	1.41
20	0.95	0.9	1.34
25	0.92	0.89	1.3
30	0.9	0.88	1.1

Tabelul 2.4 Tabelul tuturor valorilor



Graficul 2.3 Graficul tuturo valorilor dintre distanta si valoare

2.2 Probleme întâmpinate

În cadrul proiectului, am întâlnit și un fenomen electric important, respectiv arcul electric, care joacă un rol semnificativ în accelerarea ionilor. Acesta este strâns legat de efectul corona, un fenomen în care se formează o descărcare electrică în jurul unui conductor, adesea într-un câmp electric foarte intens. Efectul corona este relevant în contextul propulsiei ionice, întrucât influențează eficiența procesului de extracție și accelerare a ionilor din plasma de propulsie. Uneori chiar oprind crearea vantului ionic si crearea unor sunete puternice de arc electric.

Am reușit într-un final să găesc mai exact distanța potrivită pentru ca dispozitivul meu să nu creeze astfel de fenomen. Problema însă constă la faptul ca nu pot modifica după plac intensitățile de intrare, deoarece având în vedere că distanța între cele 2 puncte + și – este constantă atunci când doresc să dau o intensitate mai mare sunt șanse ridicate să apară fenomenul de descărcări electrice puternice în anumite zone ale dispozitivului.

Concluzii

Intensitatea câmpului electric influențează direct viteza particulelor accelerate. Atât din punct de vedere teoretic, cât și experimental, s-a confirmat că o tensiune mai mare aplicată între electrozi determină o creștere a forței de atracție/repulsie asupra ionilor, ceea ce duce la o viteză mai mare a vântului ionic generat. Acest efect a fost evident în graficele obținute, unde s-a observat o evoluție progresivă a valorilor înregistrate.

Alegerea sursei de înaltă tensiune are un impact considerabil asupra performanței. Comparând cele două transformatoare utilizate – unul de 500 kV și celălalt de 800 kV – s-a constatat că, la aceeași tensiune de alimentare, cel de 800 kV a generat un flux ionic mai intens. Acest aspect se explică prin capacitatea superioară a transformatorului de a susține curenți de ieșire mai mari fără pierderi semnificative, dar și printr-o distribuție mai stabilă a câmpului electric.

Distanța dintre senzorul de măsurare și dispozitiv afectează semnificativ rezultatul. Odată cu creșterea distanței față de electrozi, viteza vântului ionic a scăzut. Acest lucru se datorează disipării sarcinilor în atmosferă și pierderii eficienței de transfer energetic pe măsură ce ionii interacționează cu moleculele neutre de aer. Acest comportament este în concordanță cu modelul teoretic al propagării fluxului ionic.

Distribuția spațială a vântului ionic nu este uniformă. Pe parcursul testelor, s-a observat că poziționarea senzorului pe axa verticală influențează semnificativ valorile înregistrate. De exemplu, ridicarea turbinei de măsurare cu câțiva centimetri deasupra nivelului de referință a dus la înregistrarea unor viteze mai mari. Acest fenomen poate fi explicat prin modul în care se formează câmpul electric tridimensional și prin direcția naturală de propagare a ionilor, care nu este strict paralelă cu solul, ci are o componentă ascendentă, posibil favorizată de curenți de convecție locală sau de efecte corona.

Prototipul confirmă fezabilitatea unui motor ionic simplu și funcțional, fără piese în mișcare. Acest aspect este deosebit de relevant din perspectiva fiabilității și întreținerii, întrucât reduce numărul componentelor susceptibile la uzură. Totodată, absența zgomotului și a vibrațiilor mecanice îl face potrivit pentru aplicații speciale, precum ventilație silențioasă, sisteme de răcire pasive sau chiar în cercetarea soluțiilor de propulsie alternativă în condiții de microgravitație.

Motoarele ionice atmosferice reprezintă un pas important în tranziția către tehnologii de propulsie curate, eficiente și sustenabile. Deși în prezent sunt încă limitate de constrângeri tehnice

precum tensiunea necesară, randamentul redus și influența condițiilor atmosferice, evoluțiile rapide în domeniul electronicii de înaltă tensiune și al materialelor dielectrice pot transforma această tehnologie dintr-un experiment de laborator într-o soluție aplicabilă în lumea reală. În viitor, este foarte posibil să vedem drone, sisteme de răcire sau chiar vehicule aeriene silențioase, propulsate exclusiv prin „vânt ionic” – marcând o schimbare profundă în modul în care înțelegem mișcarea mecanică, fără angrenaje, zgomot sau combustibil.

Motoarele ionice reprezintă o tehnologie cu un impact pozitiv semnificativ asupra mediului. Prin eliminarea emisiilor de gaze poluante și reducerea zgomotului, acestea oferă o alternativă ecologică și eficientă în domenii ca transportul aerian, ventilația și chiar explorarea spațială. Totuși, ca orice tehnologie emergentă, va trebui să fie evaluată atent în termeni de sustenabilitate pe termen lung, având în vedere materialele utilizate și eficiența energetică. Pe măsură ce cercetările avansează și eficiența motoarelor ionice se îmbunătățește, aceste dispozitive vor putea contribui la un viitor mai verde și mai curat.

Bibliografie

- [1] Electric propulsion apparatus, Michael J. Patterson
- [2] Enhanced thrust from ion-propelled spacecraft via tethered ion blocker, The Boeing Company
- [3] <https://headedforspace.com/ion-thrusters-and-ion-propulsion/>
- [4] https://en.wikipedia.org/wiki/Ion_thruster
- [5] <https://eu.store.bambulab.com/en-ro/collections/bambu-lab-3d-printer-filament/products/pla-matte>
- [6] Fundamentals of Electric Propulsion: Ion and Hall Thrusters Dan M. Goebel and Ira Katz March 2008
- [7] https://en.wikipedia.org/wiki/Corona_discharge
- [8] Miele, A., & Li, X. (2019). "A Study on the Feasibility of Ionic Wind Propulsion for Aircraft." *MIT Research Journal*, 45(2), 121-129.
- [9] <https://www.bostonglobe.com/news/science/2018/11/21/send-down-shuttlecraft-scotty-mit-engineers-design-airplane-engine-with-moving-parts/TvXpZmTjZTopEkoY5YRwoM/story.html>
- [10] Becker, A., & Smith, J. (2020). "Challenges in the Development of Ionic Propulsion Systems." *Journal of Sustainable Energy*, 37(4), 45-56.
- [11] Garcia, F., & Evans, M. (2020). "Ionic Wind and Its Potential for Air Purification." *Environmental Technology*, 45(6), 722-735.
- [12] Vazquez, A., & Thompson, H. (2018). "The Advantages and Limitations of Ionic Wind Propulsion." *Journal of Aerospace and Mechanical Engineering*, 22(4), 123-137.
- [13] [https://en.wikipedia.org/wiki/File:Deep_Space_1_clean_\(PIA04242\).png](https://en.wikipedia.org/wiki/File:Deep_Space_1_clean_(PIA04242).png)
- [14] https://www.esa.int/Science_Exploration/Space_Science/SMART-1_celebrates_its_first_anniversary
- [15] <https://nssdc.gsfc.nasa.gov/nmc/spacecraft/display.action?id=2007-043A>
- [16] <https://ro.wikipedia.org/wiki/BepiColombo>