https://farid.ps/articles/electroaerodynamic_propulsion/ur.html

الیکٹروایروڈائنامک پروپلشن - میکسویل اور کو Lom ب کی طاقت سے

اس مضمون میں پیش کیے گئے بصیرت دائیں 2016 سے 2018 کے درمیان مصنف کی طرف سے کیے گئے درجنوں تجربات سے حاصل ہوئی ہیں، جو مختلف طاقت کے ذرائع (AC اور DC)، الیکٹروڈ جیومیٹریز اور آئن ایمیٹر کی اقسام کے ساتھ الیکٹروایروڈائنامک پروپلشن کی تلاش کر رہے تھے۔ ان تحقیقات نے نیچے دکھائے گئے 80 سینٹی میٹر روٹر کی تعمیر میں اپنے عروج کو پہنچایا، جس نے 6 کلو وولٹ سے کم اور صرف تقریباً 100 ملی واٹ کی برقی ان پٹ پاور کا استعمال کرتے ہوئے 18 آر پی ایم کی گردش کی رفتار حاصل کی۔

اس تجرباتی مہم نے یہ ظاہر کیا کہ کارکردگی ہوا کی حرکت یا آئن کرنٹ خود سے کہیں زیادہ الیکٹروسٹیٹک فیلڈز کی تقسیم اور جیومیٹری پر منحصر ہے۔ ان مشاہدات نے الیکٹروایروڈائنامک پروپلشن کی تھیوریکل ری فریمینگ کا بنیاد رکھا جو آگے آتا ہے۔

الیکٹروایروڈائنامک پروپلشن - خاموش انجن

الیکٹروایروڈائنامک (EAD) پروپلشن - اکثر الیکٹروہائیڈروڈائنامک (EHD) تھرسٹ یا "آئن ونڈ" کہا جاتا ہے - ان نایاب ٹیکنالوجیز میں سے ایک ہے جو سائنس فکشن کی طرح لگتی ہے: ایک ڈیوائس جو بغیر حرکت پذیر حصوں، بغیر جلن اور بغیر نظر آنے والے اخراج کے ہوا میں خاموشی سے حرکت کرتی ہے۔ عوام نے اس کے بارے میں پہلی بار 2000 کی دہائی کی ابتداء میں یک گیارڈ "لفٹر" پروجیکٹس کے ذریعے سنا، اور پھر 2018 میں جب MIT نے ایک "آئن پلین" کو جمنازیم کے پار gliding کرتے ہوئے دکھایا۔

تاہم، بنیادی فزکس کا ایک لمبا اور پیچیدہ تاریخ ہے۔ تقریباً ایک صدی پہلے، تھامس ٹاؤنسیڈ براؤن اور پال بیفیلڈ نے دیکھا کہ ہائی وولٹیج کیپیسٹرز ایک چھوٹا لیکن مسلسل تھرسٹ پیدا کر سکتے ہیں۔ براؤن نے اس اثر کو "اینٹی گریویٹی" کا کریڈٹ دیا۔ جدید سائنس، میکسویل اور کو Lom ب کے قوانین سے مسلح، تسلیم کرتی ہے کہ سچائی زیادہ باریک ہے - اور بہت سے طریقوں سے، زیادہ گہری۔

EAD پروپلشن آئنز سے ہوا اڑانے کے بارے میں نہیں ہے۔ یہ **الیکٹرک فیلڈز کو تراشنے** کے بارے میں ہے تاکہ نتیجہ خیز **الیکٹروسٹیٹک تناؤ** ایک خالص مکینیکل فورس پیدا کرے۔ اس معنی میں، EAD ڈیوائسز میکسویل اور کولومب کی طاقت سے چلتی ہیں: الیکٹرک فیلڈ کی جیومیٹری اور ڈائنامکس سے۔

آئن ونڈ کا غلط فہمی

زیادہ تر انجینئرز سے EHD پروپلشن کے بارے میں پوچھیں تو آپ ایک سادہ کہانی سنیں گے: ایک تیز ایمیٹر کرونا ڈسچارج کے ذریعے آئنز پیدا کرتا ہے؛ یہ آئنز جمع کنندہ الیکٹروڈ کی طرف ایکسلریٹ ہوتے ہیں، راستے میں نیوٹرل ایئر مولکولز سے ٹکراتے ہیں اور ان کو مومنٹم ٹرانسفر کرتے ہیں۔ نیوٹرل گیس حرکت کرتی ہے - مشہور "آئن ونڈ" - اور نیوٹن کے تیسرے قانون کے مطابق، ڈیوائس ایک برابر اور مخالف تھرسٹ کا تجربہ کرتی ہے۔

یہ تصویر غلط نہیں ہے، لیکن یہ نامکمل ہے۔

عملی طور پر، آئنز کی ماس نظر انداز کی جا سکتی ہے۔ ان کی نیوٹرلز کے ساتھ ٹکراؤ بار بار ہوتے ہیں، ہاں، لیکن ہر ٹکراؤ میں ٹرانسفر ہونے والی مومنٹم چھوٹی ہے۔ اس سے بھی اہم بات، **سوزن کی نوک یا جمع کنندہ پر کوئی اہم مکینیکل فورس براہ راست کام نہیں کرتی۔** "ونڈ" پروپلشن کا ضمنی پروڈکٹ ہے، نہ کہ ذریعہ۔

حقیقی انجن ان آئنز کو ایکسلریٹ کرنے والے **الیکٹرک فیلڈ** میں پوشیدہ ہے - جب اسپیس چارج تشکیل پاتا ہے اور بہتا ہے تو الیکٹروسٹیٹک انرجی کی ری ڈسٹری بیوشن میں۔

فیلڈ پریشر اور میکسویل سٹریس

میکسویل کے مساوات بیان کرتے ہیں کہ الیکٹرک فیلڈز **میکسویل سٹریس ٹینسر** کے ذریعے مومنٹم کیسے سٹور اور ٹرانسفر کرتے ہیں:

$$\mathbf{T} = \varepsilon_0(\mathbf{EE} - \tfrac{1}{2}E^2\mathbf{I})$$

اس ٹینسر کو کسی بھی باڈی کی سطح پر انٹیگریٹ کرنے سے اس پر کام کرنے والا خالص **الیکٹروسٹیٹک پریشر** ملتا ہے۔ یہ پریشر - ہوا کی حرکت نہیں - EHD تھرسٹر کو آگے دھکیلتا ہے۔

جب کرونا ڈسچارج ہوتا ہے، تو ایمیٹر کے ارد گرد آئنز کا بادل تشکیل پاتا ہے۔ یہ آئنز دو اہم چیزیں کرتے ہیں:

1. وہ ایمیٹر کے الیکٹرک فیلڈ کو جزوی طور پر شیلڈ کرتے ہیں۔ ٹپ کے قریب مقامی فیلڈ سٹرینتھ گر جاتی ہے، لیکن ارد گرد کے حجم میں مضبوط رہتی ہے۔
2. وہ مجموعی فیلڈ جیومیٹری کو مسخ کرتے ہیں۔ ایمیٹر کے ایک طرف، فیلڈ لائنز قریب کی چارجڈ سرفسز یا گراؤنڈڈ سٹرکچرز پر ختم ہوتی ہیں۔ دوسری طرف، وہ باہر کی طرف پھیلتی ہیں، جزوی طور پر اسپیس چارج سے نیوٹرلائزڈ۔

نتیجہ ایمیٹر-کلکٹر سسٹم پر الیکٹروسٹیٹک پریشر میں عدم توازن ہے - ایک خالص فورس۔ مومنٹم فیلڈ سے الیکٹروڈز کی طرف بہتا ہے، نہ کہ مالیکیولر ٹکراؤوں کے ذریعے۔

کو Lom ب کا قانون کام میں

سب سے سادہ سطح پر، شامل فورسز کو Lom ب کے قانون سے بیان کیا جاتا ہے:

$$\mathbf{F} = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{q_1q_2}{r^2}\hat{r}$$

EHD سٹرکچر کے ہر چارجڈ سرفس عنصر اس کے ماحول میں ہر دوسرے چارجڈ علاقے کو اپنی طرف کھینچتا یا دھکیلتا ہے۔ کل تھرسٹ ان بے شمار کو Lom بی انٹریکشنز کا ویکٹر سم ہے، جو حرکت پذیر آئنز سے مسلسل دوبارہ تشکیل دیا جاتا ہے جو فیلڈ کو ماڈولیٹ کرتے ہیں۔

ایک سٹیڈی سٹیٹ کرونا میں، ہائی وولٹیج ایمیٹر اور نسبتاً منفی کلکٹر (یا ارد گرد کا ماحول) کے درمیان مثبت آئنز کی پتلی شیٹ بیٹھتی ہے۔ یہ آئنز میڈیٹرز کے طور پر کام کرتے ہیں: وہ ایمیٹر اور کلکٹر کے درمیان کشش کو جزوی طور پر شیلڈ کرتے ہیں، اور حرکت سے، فیلڈ کی عدم توازن کو مسلسل ری سیٹ کرتے ہیں۔ مستقل برقی ان پٹ اس عدم توازن کو برقرار رکھتا ہے، الیکٹروسٹیٹک پوٹینشل انرجی کو مکینیکل فورس میں تبدیل کرتا ہے۔

ناسا سے سبق اور آئن ونڈ پیراڈائم کی حدود

2000 کی دہائی کی ابتداء میں، ناسا اور اس کے کنٹریکٹرز نے گریوی ٹیک اور ٹیلی AIAA سٹڈیز کے تحت بیفیلڈ-براؤن قسم کی ڈیوائسز کی دوبارہ جانچ کی۔ ایٹموسفیرک اور ویکیوم ماحول میں ہائی وولٹیج ایسیمیٹرک کیپیسٹرز کا استعمال کرتے ہوئے، تجربات کا

مقصد یہ ٹیسٹ کرنا تھا کہ کیا اثر ہوا کی عدم موجودگی میں برقرار رہ سکتا ہے۔

نتائج غیر مبہم تھے - اور نادانستہ طور پر ظاہر کرنے والے۔

ایٹموسفیرک موڈ میں، روٹرز نے مشکل سے ناپنے والی گردش (1–2 آر پی ایم) اور 10–100 μN رینج میں تھرسٹ حاصل کیا - اگر ڈیوائسز واقعی گریوی ٹیشنل اثر کا فائدہ اٹھا رہی ہوتیں تو متوقع سے آرڈرز آف میگنی ٹیوڈ کم۔ حرکت مکمل طور پر روایتی کرونا ڈسچارج اور کمزور آئن ونڈ کو منسوب کی گئی۔

ویکیوم میں، 10^{-6} Torr تک دباؤ پر، حرکت مکمل طور پر رک گئی۔ کوئی بھی ٹرانزینٹ سگنل آؤٹ گیسنگ یا ریزڈیو سرفس چارج کو ٹریس کیا گیا۔ آئونائزیشن کو برقرار رکھنے کے لیے ایئر مولکولز کے بغیر، الیکٹروسٹیٹک فیلڈ سمٹرک ہو گیا، اور فورس غائب ہو گئی۔

تحقیق کاروں نے نتیجہ اخذ کیا کہ تھرسٹ ایئر ڈینسٹی کے ساتھ تقریباً لکیری طور پر اسکیل کرتا ہے - ایک فائنڈنگ جو اکثر EHD پروپلشن کو ویکیوم میں ناممکن قرار دینے کے لیے "ڈیبنک" کرنے کے لیے حوالہ دی جاتی ہے۔ لیکن یہ واقعی کچھ گہرا ظاہر کرتا تھا: **اسپیس چارج کو کیری کرنے والے میڈیم کے بغیر، الیکٹرک فیلڈ الیکٹروسٹیٹک پریشر گراڈینٹس پیدا کرنے والی عدم نوازن کھو دیتا ہے۔**

دوسرے الفاظ میں، وہ ابتدائی ٹیسٹس نے اتفاقاً **میکسویل-سٹریس انٹرپریٹیشن** کی تصدیق کی الیکٹروایروڈائنامک پروپلشن کی۔ یہ گریویٹی نہیں تھی، نہ ہی محض آئن ڈریگ - یہ **چارج-میڈیئٹڈ فیلڈ عدم توازن** کی موجودگی تھی جو اہمیت رکھتی تھی۔

گریوی ٹیک ڈیوائسز، سادگی اور سمٹری کے لیے بنائی گئی، کسی بھی اہم **چارج ریزروار یا فیلڈ-شیپنگ ڈائی الیکٹرک** کی کمی تھی۔ ان کی کھلی جیومیٹریز فیلڈ لائنز کو اردگرد میں پھیلا دیتی تھیں، الیکٹروسٹیٹک انرجی کا زیادہ تر ضائع کر دیتی تھیں۔

اس کے برعکس، یہاں بیان کردہ EPS-ایلومینیم روٹر نے ایک اچھی طرح سے بیان کردہ کنڈکٹو سکن کے ساتھ چارج کو کنسنٹریٹ کیا، اسپیس چارج ریجن کو **لوکل فیلڈ کو تراشنے** کی اجازت دی۔ نتیجہ: 6 کلو وولٹ سے کم اور تقریباً 100 ملی واٹ پر استعمال ہونے والا تھرسٹ - انرجی کی کارکردگی میں تقریباً دو آرڈرز آف میگنی ٹیوڈ بہتر کارکردگی۔

یہ دریافتیں ایک مسلسل تھیم کو گونجتی ہیں: **الیکٹروایروڈائنامک کارکردگی وولٹیج یا ایئر فلو سے نہیں، بلکہ چارج ٹاپولوجی اور فیلڈ جیومیٹری کے کنٹرول سے ابھرتی ہے۔**

چارج-ریزروار اثر

ایک سخت، انسولیٹنگ کور پر ہلکی فائل صرف ایک کنڈکٹر کی طرح برتاؤ نہیں کرتی - یہ بڑے علاقے **چارج ریزروار** تشکیل دیتی ہے جو الیکٹرک فیلڈ کی عدم توازن کو بڑھاتی ہے۔ موجودہ ڈیزائن میں، ایکسپینڈڈ پولی سٹائرین (EPS) خالص طور پر **ہلکی سٹرکچرل سپورٹ** کے طور پر کام کرتا ہے، اس کی پوری سطح ایلومینیم فائل میں لپٹی ہوئی ہے جو **ہائی وولٹیج سپلائی کے ساتھ برقی طور پر مسلسل** ہے۔ EPS نئی الیکٹریکل فنکشن شامل کرتا ہے؛ اس کی قدر کم سے کم ماس پر بڑی کنڈکٹو سطح کو ممکن بنانے میں ہے۔

یہ وسیع کنڈکٹو سکن براہ راست پاور سپلائی سے چارج سٹور کرتی ہے، کرونا ڈسچارج کو ہر سائیکل میں صفر سے تعمیر کرنے کے بجائے **پری-چارجڈ الیکٹروسٹیٹک فیلڈ** کے خلاف کام کرنے کی اجازت دیتی ہے۔ فائل کا اعلیٰ **سطحی علاقہ موثر کیپیسٹنس** کو ڈرامائی طور پر بڑھاتا ہے - 10–100 pF cm⁻² کے آرڈر پر، سطحی ٹیکسچر اور کروچر پر منحصر - اور ایک معتدل اطلاق شدہ وولٹیج کو بہت مضبوط لوکل الیکٹرک-فیلڈ گراڈینٹ میں تبدیل کرتا ہے۔

جب کرونا سلگتی ہے، تو فائل ایک سٹیبلائزنگ پوٹینشل ریفرنس کے طور پر کام کرتی ہے۔ ایمیٹڈ آئنز لوکل فیلڈ کو ہلکا ماڈولیٹ کرتے ہیں لیکن اسے غالب نہیں کرتے؛ اس کے بجائے، سٹورڈ سرفس چارج ایک مستحکم عدم توازن برقرار رکھتا ہے جو بہت کم پاور پر مسلسل تھرسٹ پیدا کرتا ہے۔

میکسویل-سٹریس نقطہ نظر سے، فورس فیلڈ سٹرینتھ اور اس کے گراڈینٹ کے انٹیگریل کے متناسب ہے:

$$F \approx \varepsilon_0 \int (E \cdot \nabla E), dV$$

اور بڑا، اچھی طرح سے چارجڈ فائل دونوں ٹرمز کو زیادہ وولٹیج یا زیادہ کرنٹ کی ضرورت کے بغیر زیادہ سے زیادہ کرتی ہے۔ یہ واضح کرتا ہے کہ کم پاور، کم وولٹیج روٹر اہم گردش کیوں حاصل کر سکتا تھا: اس نے روایتی "آئن-ونڈ" جیومیٹریز کی بھاری آئن کرنٹ لاسز کے لیے **سٹورڈ الیکٹروسٹیٹک انرجی** کو سبسٹیٹیوٹ کیا - **الیکٹروسٹیٹک کارکردگی** کا ایک عملی روپ۔

کارکردگی کی جیومیٹری

ایک EHD تھرسٹر کی کارکردگی ایئر فلو سپیڈ سے طے نہیں ہوتی، بلکہ **الیکٹرک فیلڈ کو تراشنے کی تاثیر** سے۔ کلیدی پیرامیٹرز میں شامل ہیں:

- **فیلڈ عدم توازن:** الیکٹروسٹیٹک پریشر گراڈیئنٹ کا خالص ڈائریکشنل کمپونینٹ۔
- **چارج ڈینسٹی ڈسٹری بیوشن:** آئن کلاؤڈ اس فیلڈ کو جزوی شیلڈنگ کے ذریعے کیسے ترمیم کرتا ہے۔
- **کیپیسیٹو کپلنگ:** اطلاق شدہ وولٹ فی فیسنگ سرفسز پر سٹورڈ کل چارج۔
- **لاس چینلز:** کرونا لاسز، ری کامبینیشن، اور ڈائی الیکٹرک لیکیج۔

ڈیزائنز جو فیلڈ کو کنفائن اور تراشتے ہیں - مثال کے طور پر، ایمیٹر کے قریب ایک وسیع، مخالف چارجڈ سرفس رکھ کر - واٹ فی تھرسٹ میں آرڈرز آف میگنی ٹیوڈ کی بہتری حاصل کر سکتے ہیں۔ الیکٹرک فیلڈ کام کرتا ہے؛ آئنز صرف فیلڈ کو عدم توازن اور ڈائنامک رکھنے کی اجازت دیتے ہیں۔

بیفیلڈ-براؤن کا دوبارہ جائزہ

براؤن کی ابتدائی مشاہدات ایسیمیٹرک کیپسٹرز سے تھرسٹ ہماری جدید پلازما فزکس کی سمجھ سے پہلے کی ہیں۔ میکسویل سٹریس یا اسپیس-چارج ڈائنامکس کے فریم ورک کے بغیر، یہ سوچنا فطری تھا کہ اثر گریویٹی کو شامل کر سکتا ہے۔ EHD تھرسٹرز کی طرف سے فیلڈ ویکٹر "کے خلاف" فورس پیدا کرنے (اور کبھی کبھار عمودی طور پر اوپر) کا حقیقت صرف راز کو گہرا کر دیا تھا۔

آج کی لینس کے ذریعے دیکھا جائے تو، براؤن کی "اینٹی گریویٹی" صرف الیکٹروسٹیٹک پریشر کو نظر آنے والا بنانا تھا۔ ریاضیاتی شکل میں مشابہت - دونوں گریوی ٹیشنل اور الیکٹروسٹیٹک پوٹینشل انرجیز $1/r^2$ کی طرح گرتی ہیں - الجھن کو تاریخی طور پر سمجھنے کے قابل بناتی ہے، لیکن فزکس مکمل طور پر الیکٹرومیگنیٹک ہے۔

نقطہ نظر اور جدید سیاق و سباق

حال ہی کی تجزیات اور ساتھی بحثیں الیکٹروایروڈائنامک پروپلشن کی اس ری فریمینگ کو **فیلڈ-گراڈیئنٹ فنومینن** کے طور پر مضبوط کرتی ہیں نہ کہ آئن-ونڈ انجن کے طور پر۔ کلاسیکی لفٹر کنفیگریشنز میں، دس ہزاروں وولٹ پر ملی ایمپیئر کے آرڈر کی کرونا کرنٹس واٹ فی مائیکرو- سے ملی-نیوٹن رینج میں تھرسٹ ڈینسیٹیز پیدا کرتی ہیں - الیکٹرک-فیلڈ انرجی کا کتنا کم ڈائریکٹڈ مکینیکل سٹریس میں ختم ہوتا ہے اس کا عکس۔ اس کے برعکس، فائل-لپیٹا EPS روٹر اسی فزیکل لا کو **چارج-ڈرائون** پروسیس میں

بندیل کرتا ہے: وسیع کنڈکٹو سرفس کم از کم کرنٹ کے ساتھ مضبوط E-گراڈینٹ برقرار رکھتا ہے، ڈرفٹ لاسز کو سٹورڈ-فیلڈ انرجی کے لیے ٹریڈ کرتا ہے۔

یہ فرق معاصر تحقیق میں وسیع تر شفٹ کو گونجتا ہے۔ **ڈائی الیکٹرک-بیریئر ڈسچارج ایکٹیویٹرز** ایروڈائنامک کنٹرول میں میکسویل سٹریس سے اپنی سرفس فورس حاصل کرتے ہیں نہ کہ بلک ایئر فلو سے، جب الیکٹروڈ جیومیٹری عدم توازن کے لیے ٹیون کی جاتی ہے تو 10–100 $N\,kW^{-1}$ کی کارکردگی حاصل کرتے ہیں۔ **فلوٹنگ-الیکٹروڈ اور کنفائنمنٹ جیومیٹریز** ONERA میں اور EU EHD پروگرامز میں مطالعہ کے تحت آئن شیٹ کو تراشنے سے تھرسٹ میں دو- سے پانچ-گنا اضافہ دکھاتے ہیں- بالکل چارج-ریزروار روٹر کے ڈیزائن لاجک۔ اور **پتلی-ایئر ماحول** میں، جیسے اپر سٹریٹوسفیئر یا مریخ کی ایٹموسفیئر، جہاں آئن ڈریگ کمزور ہوتا ہے لیکن الیکٹروسٹیٹک سٹریس برقرار رہتا ہے، چارج-رچ سرفسز روایتی ڈیزائنز کی ناکامی کے بعد طویل عرصے تک پروپلشن کو برقرار رکھ سکتے ہیں۔

فزکس کلاسیکل الیکٹرومیگنیٹزم کے پائنٹنگ-مومنٹم فریم ورک سے خوبصورتی سے ہم آہنگ ہے: تھرسٹ فیلڈ-انرجی ڈینسٹی کے گراڈینٹ سے مطابقت رکھتا ہے،

$$F \approx \varepsilon_0 \int (E \cdot \nabla E), dV$$

یہ مطلب ہے کہ سسٹم الیکٹرومیگنیٹک فیلڈ سے براہ راست مومنٹم کھینچتا ہے۔ آئنز عدم توازن کو برقرار رکھنے والے کیٹالسٹ ہیں، نہ کہ ری ایکشن ماس خود۔ یہ واضح کرتا ہے کہ ویکیوم تجربات میں جہاں فیلڈ سمٹرک ہو جاتا ہے، تھرسٹ کیوں غائب ہو جاتا ہے - ∇E ٹرم کالپس کر جاتا ہے۔ اس کے برعکس، فائل-ریزروار روٹر میں، کیپیسیٹو سکن E کو تیز اور ڈائریکشنل رکھتی ہے، صرف 100 mW ان پٹ پاور سے تقریباً 0.1–1 mN ٹارک-ایکوئی ویلنٹ تھرسٹ پیدا کرتی ہے - آئن-ڈریگ ڈیوائسز کی کارکردگی سے 10–100 گنا۔

پیرامیٹر	روایتی آئن-ونڈ ڈیزائن	فائل چارج-ریزروار روٹر	اثرات
وولٹیج	20–50 kV	< 6 kV	بریک ڈاؤن کا خطرہ کم، آسان اسکیلنگ
پاور	1–10 W	≈ 0.1 W	10–100× زیادہ تھرسٹ / W

پیرامیٹر	روایتی آئن-ونڈ ڈیزائن	فائل چارج-ریزروار روٹر	اثرات
تھرسٹ میکانزم	آئن-نیوٹرل ٹکراؤ	فیلڈ گراڈینٹ (میکسویل سٹریس)	ہوا کی ڈینسٹی پر بڑے پیمانے پر آزاد
کلیدی انیبلر	ایمیٹر-کلکٹر گیپ	کیپیسیٹو فائل ریزروار	سٹورڈ چارج > ٹرانزینٹ کرنٹ
کارکردگی ($N\,kW^{-1}$)	0.1–0.01	10–1 (انفر کی شدہ)	مائیکرو-UAVs کے لیے ممکن

ایسی موازنہ ایک کنسیپچوئل پائی ووٹ کو اجاگر کرتے ہیں: **کرنٹ-ڈرائون سے چارج-ڈرائون پروپلشن**، مادہ کی حرکت سے فیلڈز کو تراشنے تک۔ اگلی سرحد کو **الیکٹروسٹیٹک آرکیٹیکچر** کہا جا سکتا ہے۔ کمپیوٹیشنل آپٹیمائزیشن اور ایڈوانسڈ میٹریلز (کاربن-نانو ٹیوب ایمیٹرز، پیٹرنڈ فائلز، میٹا میٹریل ڈائی الیکٹرکس) کا استعمال $\int E \cdot \nabla E$ کو زیادہ سے زیادہ کرنے کے لیے۔ ہائبرڈ پلسڈ-ڈی سی موڈز ٹرانزینٹ چارج سٹوریج کا مزید استحصال کر سکتے ہیں جبکہ کیمیکل بائی پروڈکٹس کو کم کرتے ہیں۔

نتیجہ - میکسویل اور کو Lom ب کی طاقت سے

الیکٹروایروڈائنامک پروپلشن ایک عجیب تجسس یا پسیوڈو سائنسی انوملی نہیں ہے۔ یہ میکسویل اور کو Lom ب کے قوانین کی براہ راست ظاہری شکل ہے - ایک میکروسکوپیک مشین جو کنٹرولڈ فیلڈ عدم توازن کے ذریعے الیکٹروسٹیٹک پوٹینشل انرجی کو موشن میں تبدیل کرتی ہے۔

جہاں ابتدائی مونٹرز "اینٹی گریویٹی" دیکھتے تھے اور جدید پروجیکٹس "آئن ونڈ" دیکھتے ہیں، حقیقی کہانی سادہ اور گہری ہے: **الیکٹرک فیلڈز میں تناؤ ہوتا ہے**۔ اس تناؤ کو تراشو، اور آپ بغیر حرکت پذیر حصوں، بغیر ایندھن اور بغیر آواز کے ہوا کے ذریعے خود کو کھینچ سکتے ہیں۔

یہ الیکٹروایروڈائنامک پروپلشن کی خاموش جینئس ہے - واقعی، **میکسویل اور کو Lom ب کی طاقت سے**۔

حوالہ جات

1. Talley, C. et al. بیفیلڈ-براؤن اثر کا جائزہ: ویکیوم اور ایٹموسفیئر میں ایسیمیٹرک کیپیسٹر تھرسٹر ٹیسٹس۔ AIAA Paper 2003-1023, NASA Marshall Space Flight Center, 2003.

2. Brown, T. T. الیکٹروکائینیٹک اپریٹس۔ U.S. Patent No. 3,187,206, 1965.

3. Wilson, S., Barrett, S. R. سالیڈ سٹیٹ آئن پروپلشن کے ساتھ ایک طیارے کی پرواز۔ **Nature 563**, 532–535 (2018).

4. Moreau, E. نان- تھرمل پلازما ایکٹیویٹرز سے ایئر فلو کنٹرول۔ **J. Phys. D: Appl. Phys. 40**, 605–636 (2007).

5. Ronney, P. D. **EHD** فلو کنٹرول اور پلازما ایکٹیویٹرز۔ NASA Technical Reports Server, 2015.

6. ONERA EHD پروگرام: الیکٹروہائیڈروڈائنامک پروپلشن اور فلو کنٹرول۔ اندرونی رپورٹس 2018–2023.