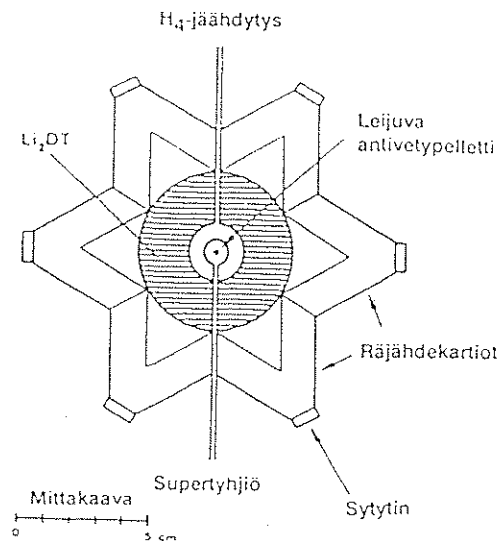


YHDEN KILOTONNIN ANTIVETYPOMMI



Aineen, materianvastapuoli, antimateria on kiihkeän tutkimuksen kohteena. Sitä on onnistuttu pullottamaan magneettisiin loukkuihin Euroopan ydintutkimuskeskuksessa, CERN:ssä. Materia ja antimateria tuhoavat toisensa, annihiloituvat muuntuen energiaksi. Reaktio synnyttää energiaa 300 kertaa enemmän kuin fuusio. 4—5 kg plutoniumatomipommi vetypommin laukaisijana voidaan teoriassa korvata mikrogrammalla antivetyä. Maanalaisista ydinkokeista voidaan siirtyä laboratorioskokeisiin. Annihilointienergia voi korvata rakettien muut työntövoimat. Marsiin matkaaminen lyhenisi kahteen viikkoon. Kilotonnin antivetypommi mahtuu taskuun.

Tässä asidensiiruntavihkosen maailman johtavat fyysikot pohtivat antimateria teknologiaa ja sen sotilaallisen sovellutuksen vaaroja. Rauhanliikkeen on reagoitava sotilaalliseen kehittely- ja tutkimustoimintaan jo laboratoriovaiheessa.

Marek Thee on puolalaissyntyinen aiempi diplomaatti ja vuodesta 1968 Oslon rauhantutkimuslaitoksen tutkija ja Bulletin of Peace Proposals-lehden perustaja sekä päätoimittaja 1988 loppuun asti.

ISBN 951-9193-22-7

Marek Thee (toim): ANTIMATERIA-ASEET

Aseidenriisuntavihkot 31

Suomen Rauhanliitto
YK-yhdistys

ANTIMATERIA-ASEET

Antimaterian käyttö sotilaallisiin tarkoituksiin:
Otteita muistiosta ja fyysikoiden arvioita

Toimittanut Marek Thee
Kansainvälinen rauhantutkimuslaitos, Oslo

Alkuperäisteos: Bulletin of Peace Proposals 3—4/1988 Vol 19.

Suomennos: Markku Tattari

Suomennokseen on saatu avustus Opetusministeriön rauhanpolitiikan tiedotusmäärärahoista.

1. painos — 2000 kpl, helmikuu 1990

ISBN 951-9193-22-7

Oy Kirjapaino Ab, Vaasa 1990

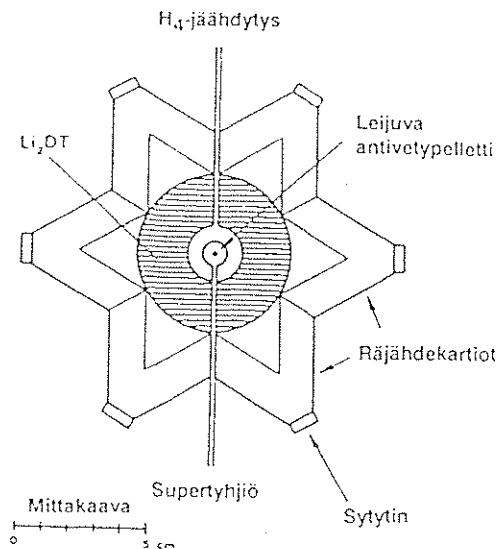
Antimaterian käyttö sotilaallisiin tarkoituksiin:
Otteita muistiosta ja fyysikkojen arvioita

Toimittanut Marek Thee
Kansainvälinen rauhantutkimuslaitos, Oslo

Sisällysluettelo

1. Esipuhe: "Antimateria on todellista"	5
2. André Gsponer ja Jean-Pierre Hurni: Antimateria-aseet	7
3. B.W. Augenstein: Annihilaatioenergian käytön käsite, ongelmat ja mahdollisuudet: Muistiinpanoja lähiajan kehitys-, tutkimus- ja kokeilutoiminnan mahdollisuuksista (Otteita Rand-yhtymän muistiosta)	19
4. Robert Walgate: Puolustuspiirit kiinnostuvat antimateriaista	34
5. Edgar Ulsamer: Lupaava antimateria	37
6. André Gsponer ja Jean-Pierre Hurni: Aliarvioitu antimateria	40
7. William H. Scott/Edwards ABF: Yhdysvaltojen ilmavoimat ennakoivat antimaterian käyttöä työntövoiman lähteenä	42
8. Jeff Hecht: Avaruustiedemiehet tutkivat antimaterian ydintä	46
9. Kysely antimateriateknologian mahdollisesta käytöstä sotilaallisiin tarkoituksiin ja fyysikoiden vastaukset kyselyyn	48
10. Johtopäätös: Antimateriateknologian tutkimuksen suhteen on oltava varuillaan	62

YHDEN KILOTONNIN ANTIVETYPOMMI



Aineen, materianvastapuoli, antimateria on kiihkeän tutkimuksen kohteena. Sitä on onnistuttu pullottamaan magneettisiin loukkuihin Euroopan ydintutkimuskeskuksessa, CERN:ssä. Materia ja antimateria tuhoavat toisensa, annihiloituvat muuntuen energiaksi. Reaktio synnyttää energiaa 300 kertaa enemmän kuin fuusio. 4—5 kg plutoniumatomipommi vetypommin laukaisijana voidaan teoriassa korvata mikrogrammalla antivetyä. Maanalaisista ydinkokeista voidaan siirtyä laboratoriokokeisiin. Annihilointienergia voi korvata rakettien muut työntövoimat. Marsiin matkaaminen lyhenisi kahteen viikkoon. Kilotonin antivetypommi mahtuu taskuun.

Tässä aseidensiiruntavihkosen maailman johtavat fyysikot pohtivat antimateriaateknologiaa ja sen sotilaallisen sovellutuksen vaaroja. Rauhanliikkeen on reagoitava sotilaalliseen kehittely- ja tutkimustoimintaan jo laboratoriovaiheessa.

Marek Thee on puolalaissyntyinen aiempi diplomaatti ja vuodesta 1968 Osion rauhantutkimuslaitoksen tutkija ja Bulletin of Peace Proposals-lehden perustaja sekä päätoimittaja 1988 loppuun asti.

ISBN 951-9193-22-7

1. Esipuhe: "Antimateria on todellista"

Keväällä 1987 minut havahduivat Genevessä päämajaansa pitävän Riippumattoman tieteellisen tutkimuslaitoksen (Independent Scientific Research Institute, Isri) selvitykset, joissa käsiteltiin Euroopan hiukastutkimuskeskuksessa (Cern) tapahtunutta antimateriatutkimuksen läpimurtoa, jolla saattaa olla myös sotilaallista merkitystä. Yli 50 vuotta vanha, tieteiskirjallisuutena pidetty teoria antimaterian olemassaolosta oli vihdoinkin todennettu. Näky äärimmäisen voimakkaan, ydinvoimaa tavattomasti tehokkaan annihiloitioenergian tuottamisesta yhdistämällä hiukkanen ja sen antihiukkanen siirtyi laboratoriokoeasteelle. Heinäkuun 17. ja 18. päivän välisenä yönä Cernissä onnistuttiin ensimmäistä kertaa historiassa vangitsemaan antimateriaa muutamaksi minuutiksi sähkömagneettiseen kenttään. Se herätti suurta innostusta, vaikka vain pieni osa tapauksen historiallisesta tieteellis-teknologisesta merkityksestä ja seurauksista saavutti ulkomaailman.

Armeija tarttui silti innokkaasti uuteen teknologiaan. Pikku-uutisessaan maaliskuun 21. päivänä 1988 Aviation Week & Space Technology raportoi seuraavaa:

Vaikka tiedeyhteisöllä on jatkuvia vaikeuksia antimateriaa ja sen käyttöä voimanlähteenä koskevan tieteiskuvitelman leiman kanssa, antimateriaa tutkitaan nyt vakavasti Euroopassa, Neuvostoliitossa ja Yhdysvalloissa. "Naureskelun aika on ohi. Antimateria on todellista, ja me tiedämme miten sitä valmistetaan ja säilytetään. Se tuntuu lupaavalta", sanoi eversti Ros Nunn, Yhdysvaltojen ilmavoimien avaruuslaboratorion komentaja. Ilmavoimat sponsoroivat jatkuvasti tutkimuksia, "jotta asia pysyisi esillä", hän sanoi.

(William B. Scott/Edwards AFB, "USAF Predicts Antimatter Propellants. Could Be in Use by Early 21st Century." (Yhdysvaltojen ilmavoimat ennakoivat antimaterian käyttöä voimanlähteenä. Se voisi tulla käyttöön ensi vuosisadan alussa.) Aviation Week & Space Technology 21.3.1988.)

Antimateriateknologian sotilaallisella käytöllä on paljon suuremmat mahdollisuudet kuten vain sen soveltaminen rakettien työntövoiman tuottamiseen. Se voi vilkastuttaa eksoottisten aseiden kuin suunnatun energian aseiden (Directed Energy Weapons, DEW) tutkimusta, tai sitä voitaisiin käyttää voimakkaiden lämpöydinaseiden alkuräjähteenä. Hyvin pienten, nanogrammojen (10^{-9} gramman) suuruusluokkaa olevien antimateriamäärien käyttäminen ydinräjähdysten synnyttämiseen voisi poistaa maanalaisen ydinkokeiden tarpeen ja siten jähmettää ydinasekilvan paikoilleen.

Isrin johtajan, tohtori André Gsponerin minulle lähettämät tutkimukset ja materiaali häiritsivät minua, ja niinpä lähetin joukolle maailman tunnetuimpia fyysikkoja kyselyn, jossa tiedustelin heidän arvioitaan antimateriateknologian mahdollisuuksista ja sen käytöstä sotilaallisiin tarkoituksiin. Jäljempänä on otteita muistiosta, joka käsittelee antimateriateknologian mahdollista sotilaallista käyttöä, tekemäni kysely sekä siihen fyysikoilta saamani vastaukset. Vastaukset sisältävät heidän arvioitaan antimateriateknologian näkymistä. Johtopäätöksenäni esitän, että antimateriateknologian tutkimuksen, sen suunnan ja rakenteen suhteen on pysyttävä jatkuvasti valppaana.

2. Antimateria-aseet

André Gsponer ja Jean-Pierre Hurni

Riippumaton tieteellinen tutkimuslaitos (Isri), Geneve

(Käännös artikkelista "Les armes à antimatière", julkaistu *La Recherche*, Vol. 17 No. 182, marraskuu 1986, s. 1440-1443.)

Tohtori André Gsponer on työskennellyt aiemmin fyysikkona Cernissä (josta hän erosi, koska ei voinut hyväksyä työnsä sotilaallisia seurauksia) ja on nyt Geneven riippumattoman tieteellisen tutkimuslaitoksen (Isri) johtaja. Jean-Pierre Hurni on Isrin yhteydessä työskentelevä fyysikko.

Vuoden 1986 kesäkuun 17. ja 18. päivän välisenä yönä antimateriaa saatiin Cernissä (Euroopan hiukastutkimuskeskuksessa) vangittua sähkömagneettiseen loukkuun ensimmäistä kertaa historiassa. Tämän ensimmäisen onnistuneen kokeen vaikeudesta johtuen antiprotonia oli mahdollista säilyttää vain noin kymmenen minuutin ajan. Tämä oli kuitenkin paljon kauemmin kuin amerikkalaiset Bill Kells Fermilabista ja Gerald Gabrielse Washingtonin yliopistosta olivat uskaltaneet toivoakaan.

Kun nämä tutkijat palaavat Cerniin uutta koetta varten, parannettu laitteisto mahdollistaa kymmenien tai satojen antiprotonien sananmukaisen "pullottamisen". Koetekniikan täydellistäminen mahdollistaa sen, että he voivat viedä kotiinsa ainetta, joka on paljon harvinaisempaa ja vaikeampi saada käsiinsä kuin palasta kuusta. Silloin he voivat saattaa loppuun omissa laboratorioissaan fysiikan perusteorian yhtenäistämisen kannalta tärkeimmän kokeen, protonin ja antiprotonin massojen vertaamisen miljardisosan tarkkuudella.

Genevessä toimii muitakin amerikkalaisia tiedemiehiä, jotka tulevat nyt Los Alamosin sotilaallisesta tutkimuslaitoksesta (jossa atomipommi valmistettiin toisen maailmansodan aikana). Hekin odottavat saavansa kiinni ja pulloihinsa antiprotonia, mutta suurempien voimavarojensa ja parempien laitteidensa ansiosta paljon suurempia määriä. Washingtonin yliopiston tavoin

hekin pyrkivät selvittämään protonin ja antiprotonin massojen eron. Heillä on kuitenkin muitakin tutkimuskohteita. He yrittävät tuottaa antivetyä, suihkuttaa antiprotoneita suprajohtavaan heliumiin, etsiä tavallisen aineen rinnakkaismuotoja jne. Näiden ratkaisevien kokeiden pitäisi lähitulevaisuudessa auttaa päättämään, voidaanko antimateriaa käyttää uutena siviili- ja sotilastarkoituksiin käytettävän ydinenergian lähteenä. Vaikeampia kokeitaan varten he voivat varmaankin viedä Los Alamosiin antimateriapullonsa vuosikertaa 1987 ja 1988. Siellä Uuden Mexikon rauhallisessa vuoristossa he voivat valmistaa saasteettomia ydinaseita, sädeaseita, jotka suihkuttavat plasmaa, gamma- tai röntgenlasereita tai joitakin vieläkin salaisempia erikoislisäaseita. Kaikkien käyttövoimana olisi antimateria.

Yli 40 vuotta vanha ajatus

Vaikka nämä aseet voivat tuntua mielikuvituksellisilta ja vallankumouksellisilta, antimaterian - jos sitä pystytään valmistamaan - sotilaallinen merkitys¹ on tiedetty yhtä kauan kuin siitä on tieteiskirjallisuudessa puhuttu. On esimerkiksi täysin mahdollista, että amerikkalaisen vetypommin isällä, Edward Tellerillä oli mielessään sotilaallisiakin sovelluksia, kun hän julkaisi vuonna 1947 yhdessä Enrico Fermiä kanssa artikkelin elektronien raskeampien antimateriahiukkasten vangitsemisesta². Noin puolet Edward Tellerin julkaisemattomista artikkeleista vuodesta 1945 lähtien samoin kuin monet Neuvostoliiton vetypommin isän, Andrei Saharovin artikkeleista ovat käsitelleet tavalla tai toisella antimateriaa³.

Deuteriumin ja tritiumin sekoituksen räjäyttämistä antimateriaa käyttäen tutkittiin jo vuonna 1950, kaksi vuotta ennen ensimmäistä vetypommiä. Tuohon aikaan ei ollut kuitenkaan kokeellista tietoa, jonka perusteella olisi voitu ennustaa tarkoin, mitä tapahtuu esimerkiksi protonin ja antiprotonin kohdatessa. Tämä käy ilmi mm. A.S. Wightmanin artikkelista⁴ (jossa käsitellään erityisesti deuteriumin ja tritiumin kykyä yhdistyä antiprotoneihin) ja J. Ashkinin, T. Auerbachin ja R. Marschakin artikkelista⁵ (jossa yritetään arvioida antiprotonin ja tavallisen aineen ytimen vuorovaikutusta). Perustellut teoreettiset selvi-

tykset auttoivat jo tuolloin ns. annihilaatioreaktion kahden perustavan piirteen ymmärtämistä: reaktiossa alkeishiukkanen ja sen antishiukkanen yhtyvät, jolloin niiden massa muuntuu täydellisesti energiaksi.

Näitä havaintoja pidetään edelleen oikeina, ja juuri ne selittävät kiinnostuksen antimateriaan. Ensinnäkin annihilaatiossa vapautuva energia massayksikköä kohti on suurempi kuin missään muussa ydinreaktiossa. Protoni-antiprotoni -parin annihiloituessa syntyy noin 300-kertainen määrä energiaa verrattuna fission tai fuusioreaktioihin. Toiseksi, kun antimateriaa tuodaan minkä tahansa aineen välittömään läheisyyteen, annihilaatioreaktio alkaa itsestään. Ei tarvita fission edellyttämää kriittistä massaa eikä fuusioon vaadittavaa sytytysenergiaa.

Antimateria on lyhyesti sanoen ihanteellinen ydinräjäyte edellyttäen, että menetelmiä sen tuottamiseksi ja säilyttämiseksi riittävän suurina määrinä voidaan kehittää. Tuolloin 1950-luvulla keinoja antimaterian tuottamiseksi ei vielä tunnuttu, ja monia oleellisia annihilaatioreaktioon liittyviä seikkoja ei ollut havaittu. Siksi soveltava tutkimus keskittyi monien vuosien ajan lupaavampiin ja nopeammin käyttöön otettaviin tekniikkoihin, vaikkakaan ne eivät olleet teoreettisesti yhtä tyylikkäitä. Niinpä vetypommin räjäyttämisen ongelma ratkaistiin käyttämällä atomipommiä laukaisimena, ja antiprotonin olemassaolo pysyi teoreettisena vuoteen 1955 saakka.

Ensimmäiset antiprotonit tuotetaan

Ensimmäinen historiassa havaittu antishiukkanen oli antielektro- ni, jota kutsutaan myös positroniksi. Sen havaitsi vuonna 1932 Carl David Anderson. Kosmista säteilyä tutkiessaan hän löysi hiukkasen, jolla on sama massa kuin elektronilla mutta vastakainen sähkövaraus. Samaa menetelmää käyttäen mutta tuloksitta yritettiin löytää myös antiprotoni. Silloisilla havainnointilaitteilla oli käytännössä mahdotonta tunnistaa varmuudella kosmisesta säteilystä hiukkanen, josta tunnettiin vain sen massa ja varaus. Hiukkanen oli tuotettava keinotekoisesti. Siihen tarvittiin aikaisempaa huomattavasti suurempi hiukkaskiihdytin. Lyhyesti sanoen antimateriaa tuotetaan seuraavasti: protoneita kiih-

dytetään lähelle valon nopeutta, minkä jälkeen ne suunnataan atomeita kohti. Tapahtuva törmäys on niin voimakas, että osa vapautuvasta energiasta muuntuu hiukkas-antihhiukkas -pareiksi. Kun tarvittava hiukkaskiihdytin saatiin rakennettua Berkeleyhin vuonna 1955, antiprotonit "nähtiin" ensimmäistä kertaa.

Ohjaamalla antiprotonit vedyn täyttämään laitteeseen voitiin protonin ja antiprotonin kohdatessa syntyvä energia havaita joukkona muita hiukkasia, erityisesti pioneita, jotka sinkoivat kaikkiin suuntiin ja veivät mukanaan suurimman osan syntyneestä annihilaatioenergiasta.

Edward Teller ja hänen oppilaansa Hans-Peter Duerr eivät lopettaneet vielä tähän.⁶ He esittivät vuonna 1956 hypoteesin: Jos antiprotoni törmäytettäisiin yksinkertaisen vety-ytimen sijasta raskaamman atomin, kuten uraanin tai hiilen ytimeen, maalina oleva ydin sananmukaisesti räjähtäisi. Tuloksena olisi hyvin voimakas energiakeskittymä, mikä taas mahdollistaisi teoriassa monet antimaterian siviili- ja sotilaalliset sovellukset.

Kului 30 vuotta, ennen kuin antiprotonien tuottamiseen ja niiden nopeuden hidastamiseen sovelias laitteisto saatiin rakennetuksi. Ainoa tällainen järjestelmä maailmassa⁷ on Cernissä. Viimein on mahdollista tutkia suuremmissa mittakaavassa antiprotonien ja atomiydinten välisiä reaktioita. Koetulokset ovat osoittaneet niin suuria energiamääriä - vaikkakin pienempiä kuin Teller (ja eräät myöhemminkin)⁸ olivat toivoneet - että antimateriasovellusten sotilaallisesta käyttökelpoisuudesta ollaan vakuuttuneita. Toisaalta on selvää, että antimateriasta ei tule koskaan käyttökelpoista energianlähdettä voimalaitoksiin, koska sen tuottaminen on hyvin kallista ja vaatii suuria energiamääriä.

Cernin tutkimustulosten ansiosta pystyimme julkaisemaan elokuussa 1985 arvion siitä, paljonko antiprotonia tarvitaan laukaisemaan vetypommi tai synnyttämään mikroräjähdyksen pienessä määrässä lämpöydinpolttoainetta.⁹ Arvioimme silloin, että on mahdollista rakentaa vety- tai neutronipommi, jossa yhdellä mikrogrammalla (10^{-6} grammaa) antivetyä korvataan kolmesta viiteen kiloa plutoniumia. Tuloksena olisi sotilaiden "puhtaaksi" kutsuma pommi, ts. ase, josta ei syntyisi saastelaskeumaa lainkaan, koska siinä ei käytetä fissioituvia aineita (kuva 1, s. 15).

Sotilaallinen kiinnostus palaa

Jotta antimaterian sotilaallinen käyttö olisi realistista, tarvittaisiin teknologiaa, jonka avulla voidaan tuottaa vähintään yksi antimateriaräjäyte päivässä. Se vastaisi 10^{13} antiprotonin tuottamista sekunnissa eli miljoonakertaista määrää Cernin kapasiteettiin (10^7 antiprotonia sekunnissa) verrattuna. Teoriassa laitteiston tehoa voidaan kuitenkin kasvattaa monin tavoin.⁹ Mainittua artikkelia kirjoittaessamme olimme tietämättömiä siitä, että kesästä 1983 lähtien Rand-yhtymä oli tehnyt tutkimusta Yhdysvaltojen ilmavoimille "suurten energiamäärien vapauttamiseksi materia-antimateria-annihilaation avulla".¹⁰ Samantapaisia hankkeita on versonut Neuvostoliitossakin.¹¹ Randin tutkimus valmistui vuonna 1984. Vuonna 1985 julkaistussa versiossa arvioidaan vakavasti tällaisen hankkeen kehitysmahdollisuuksia sotilaallisten sovellusten suhteen.

Raportin mukaan on ehdottomasti mahdollisuus, että 10^{13} antiprotonia voidaan tuottaa sekunnissa, käsitellä niitä sekä luoda kuljetettava antiprotonien säilytyslaitteisto viiden-seitsemän vuoden kuluessa. Monia tärkeitä teknisiä ongelmia voidaan tutkia käyttämällä tavallisia hiukkasia antiprotonien sijasta. Samassa raportissa mainitaan sotilaallisten sovellusten neljä pääluokkaa: työntövoima (polttoainekäyttö huippunopeissa torjuntaohjuksissa), voimalaitoskäyttö (kevyitä ja pieniä yksiköitä kiertoradalla olevissa sotilaallisissa rakennelmissa), suunnatun energian aseet (antivetysuikket tai hyvin nopean energianpurkauksen laserit) ja "käyttö salaisissa erikoislisäaseissa" (erilaiset antimaterialla räjäytettävät pommit).

Hyvin suuren energiamäärän ja sytytyksen helppouden lisäksi annihilaatioreaktiolla on kaksi tärkeää piirrettä: energia vapautuu materia-antimateria-annihilaatiossa hyvin nopeasti (10-1000 kertaa nopeammin kuin ydinräjäytyksessä), ja suurin osa energiasta vapautuu suurenergisinä, sähkövarauksen omaavina kevyinä hiukkasina (annihilaatiossa syntyvien pionien energian suhde niiden massaansa on 2000 kertaa suurempi kuin fissio- tai fuusioreaktiossa syntyvien pionien). Magneettikenttiä käyttäen voidaan saada aikaan hyvin tehokkaita pionisuikkuja, joiden voimakkuus on 100 mega-ampeerin suuruusluokkaa mikrogramman

suuruista antiprotonimäärää kohti. Sopiviin laitteisiin suunnattuina tällaiset säteet voivat pyörittää vesivoimalaa, synnyttää sähkömagneettisen pulssin, laukaista sylinterin muotoisen lämpöydinräjähteen tai virittää voimakkaan röntgenlaserin. Esimerkiksi viimeksi mainitussa tapauksessa voitaisiin pionisuihkun energialla synnyttää hyvin tasalaatuista plasmaa esimerkiksi seleenistä tehdyssä sylinterissä. Seleenin ionisoituneilla ytimillä on varaustiloja, joiden purkautuessa on mahdollista tuottaa spontaania, voimakasta ja aallonpituudeltaan samassa vaiheessa olevaa röntgensäteilyä. Tämä on vain yksi teoria siitä, miten antimaterian avulla voidaan kehittää röntgenlasereita, jotka olisivat 10-1000 kertaa tehokkaampia kuin millään muulla energialähteellä toimivat laserit.

Jotta näitä sovelluksia voisi suunnitella, on tehtävä joukko kokeita, joissa on välttämättä käytettävä antimateriaa. Niin kauan kuin antiprotonia voidaan tuottaa Euroopassa (Sveitsin maaperällä), pullottaa ja kuljettaa Yhdysvaltoihin, Rand-yhtymä ei pidä tarpeellisena antiprotonien tuotantolaitteiston rakentamista lähitulevaisuudessa Yhdysvaltoihin, vaikka siitä muutoin olisikin hyötyä.¹²

Perustutkimusta vai sotilaallista tutkimusta

Koska antimateriaalla on huomattavaa strategista merkitystä (se vaikuttaa mm. hyvin kiinnostavalta voimanlähteeltä tähtien sodan röntgenlasereihin), ei ole yllättävää että antimaterian mahdollisista sovelluksista kiinnostuneet neuvostoliittolaiset ja amerikkalaiset tiedemiehet tulevat Cerniin, jolla on tällä hetkellä ainakin viiden vuoden etumatka antimateriateknologiassa. Siksi ei olisikaan yllättävää, että erehdyksiäkin sattuisi.

Virallinen selitys sille, miksi amerikkalaiset fyysikkoryhmät tulevat aselaboratorioista Cerniin, on perustutkimuksen, puhtaan tieteen tekeminen. Siksi amerikkalaisten piti osallistua myös heinäkuussa 1986 Madridissa järjestettyyn neljänteen kansainväliseen uusia ydinjärjestelmiä käsitelleeseen konferenssiin, jonka teemana oli antimateriaenergian käyttö. Juuri tässä konferenssissa meidän piti esittää huomionamme se, että annihilaatioenergian ainoat sovellukset olivat luonteeltaan sotilaallisia.¹³

Kaikkien yllätykseksi amerikkalaiset eivät ilmaantuneet paikalle. He olivat ilmoittaneet kymmenen päivää ennen kokouksen alkua jäävänsä pois siitä antamatta mitään vakuuttavaa selitystä. Konferenssin osanottajat tajusivat pian, että amerikkalaiset viranomaiset olivat epäilemättä arvioineet uudelleen antimaterian sotilaallista merkitystä ja luultavasti estäneet Los Alamosin tiedemiesten tulon Madridiin.¹⁴ Samalla viranomaiset tulivat paljastaneeksi sen, että Cernissä työskentelevillä, Euroopan ulkopuolisesta sotilaallisesta tutkimuslaitoksesta tulleilla tiedemiehillä oli muitakin kuin perustutkimukseen liittyviä, sotilaallisesti arkoja tehtäviä.

Strategisia ja poliittisia johtopäätöksiä

Olivatpa antimateriaalla laukaistavat lämpöydinaseet toteuttamiskelpoisia vai eivät, tai voidaanko annihilaatioenergiaa käyttää muissa aseissa tai ei, on merkityksetöntä. Se tosiasia, että varsin pienillä antimateriamäärillä voidaan laukaista voimakas lämpöydinase, aiheuttaa suuria vaikeuksia strategisen tasapainon säilyttämiselle tulevaisuudessa. Nykyisin voimassa olevat asevalvontasopimukset koskevat vain fissioon liittyviä laitteita ja aineita¹⁵: atomipommeja, ydinreaktoreita ja halkeavia materiaaleja. Kun lämpöydinaseesta poistetaan fissioräjähdde, antimateriaräjähteellä varustettuja vetypommeja ja neutronipommeja voi valmistaa ja sijoittaa minne tahansa, myös ulkoavaruuteen, mikä tahansa maa, joka siihen kykenee.

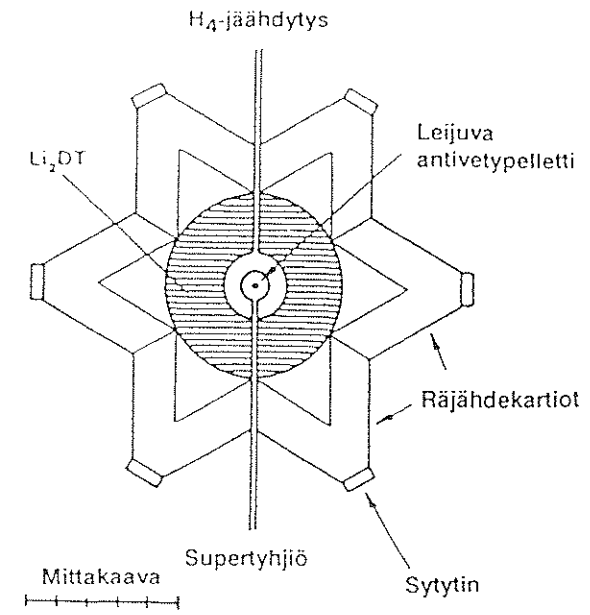
Vaikka tekniset vaikeudet estäisivätkin taktisten antimateriaaseiden valmistamisen, antimateriaalla voitaisiin laukaista laboratorio-olosuhteissa pieniä ja keskikokoisia lämpöydinräjähteitä. Tämä mahdollisuus vähentäisi suuresti maanalaisten ydinkokeiden tarvetta ja samalla tekisi tehottomaksi yritykset jarruttaa asevarustelukilpaa täydellisen ydinkoekiellon avulla.¹⁵ Tällainen uusi ydinkoelaboratorio voitaisiin sijoittaa suuren hiukkaskiihtytimen läheisyyteen¹⁶. Näin taattaisiin riittävä antimaterian tuotanto ja saataisiin mahdollisuus lämpöydinpolttoaineen koonpuristamisen ja räjähtämisen tutkimukseen.

VIITTEET:

1. J. Grinevald, A. Gsponer, L. Hanouz et P. Lehmann: La quadrature du Cern. Editions d'En Bas, CH-1017 Lausanne (1984).
2. E. Fermi and E. Teller: "The capture of negative mesotrons in matter". Phys. Rev. 72 (1947) 399-408.
3. A.D. Saharov: Collected Scientific Works, Marcel Dekker Inc., New York (1982).
4. A.S. Wightman: "Moderation of negative mesons in Hydrogen I: Moderation from high energies to capture by an H_2 molecule." Phys. Rev. 77 (1950) 521-528. (Huom. jatko-osaa ei koskaan julkaistu.)
5. J. Ashkin, T. Auerbach and R. Marschak: "Note on a possible annihilation process for negative protons." Phys. Rev. 79 (1950) 266-271.
6. H-P. Duerr and E. Teller: "Interaction of antiprotons with nuclear fields." Phys. Rev. 101 (1956) 494-495.
7. Vuoden 1986 lopussa käynnistetään Fermilabissa, Chicagon lähellä antiprotonien tuotanto- ja jäähdytyslaitteisto. Kuitenkaan ei ole lopullisia suunnitelmia rakentaa sinne sellaista hidastuslaitteistoa kuten Cernin matalan energian antiprotonirengas (Low Energy Antiproton Ring, LEAR). Neuvostoliiton antimateriaprojekteista ei ole juurikaan tietoja.
8. M.R. Clover et al.: "Low energy antiproton-nucleus interactions." Phys. Rev. C26 (1982) 2138-2151.
9. A. Gsponer and J-P. Hurni: "Antimatter induced fusion and thermonuclear explosions." Isri-85-05 (27.8.1985). Julkaistu Atomkernenergie/Kerntechnik, Vol. 49, No. 4, 1987.
- 10 B.W. Augenstein: "Concepts, problems, and opportunities for use of annihilation energy." Laadittu Yhdysvaltain ilmavoimille, Rand Note N-2303-AF/RC, Kesäkuu (1985).
11. N.A. Vlasov: "Annihilation as an energy process." Soviet atomic energy 44 (1978) 40-45.
12. Ks. 10, s. 43.
13. A. Gsponer and J-P. Hurni: "The physics of antimatter induced fusion and thermonuclear explosions." Isri-86-07. Julkaistavaksi 4. kansainvälisessä uusien ydinjärjestelmien käsittelevässä konferenssissa Madridissa, 30.6.-4.7. (1986).

14. Seuraavat alustukset jäivät pitämättä:
W. Saylor, S. Howe, D. Holtkamp, M. Hynes (pyydetty alustus): "Antimatter production factory - systems tradeoffs."
M.H. Holzscheiter: "Antiproton storage - A new concept for future energy systems."
L.J. Campbell: "Antiproton storage in condensed matter - The promise, the prospects."
S. Howe (pyydetty alustus): "Use of antimatter annihilation products to produce usable power for spacebased applications."
15. A. Gsponer, B. Jasani and S. Sahin: "Emerging nuclear energy systems and nuclear weapon proliferation." Atomkernenergie/Kerntechnik 43 (1983) 169-174.
16. C. Deutch: "Inertial confinement fusion driven by intense ion beams." Annales de Physique 11 (Helmikuu 1986) 1-111.

YHDEN KILOTONNIN ANTIVETYPOMMI



Kuva 1.

On mahdollista rakentaa lämpöydinräjäyte, jossa sytytykseen tarvittava 3-4 kiloa plutoniumia on korvattu mikrogrammalla antivetyä. Tässä kuvitteellisessa pommissa antimateria on pommin keskellä kymmenesosamillin suuruisena siruna. Sitä ympäröi lämpöydinräjähdysaine (sadan gramman ontto pallo Li_2DT :tä), josta se on eristetty. Kun kuoressa olevat räjähteet suuntaavat räjähdysen niin, että pallo painuu kasaan, lämpöydinräjähdetön kosketukseen antivedyn kanssa. Annihilaatioreaktio alkaa itsestään, ja sen tuottama energia laukaisee lämpöydinräjähteen. Jos räjähddepallo puristetaan kasaan voimakkaasti, saadaan pommi, jolla on mekaanisia vaikutuksia. Jos puristus on vähäistä, tuloksena on neutronipommi (ks. La Recherche, syyskuu 1983). Suuremmissa tapauksissa elektromagneettinen pulssi ja radioaktiivisen laskeuma ovat paljon vähäisempiä kuin samankokoisen (1 kg) tavanomaisen atomi- tai vetypommin räjähtäessä.

LIITE

Antiprotonien tuotanto ja varastointi

Relativistinen kvanttiteoria ennustaa perusyhtälöistään johtuen mahdollisuutta, toisiaan vastaavien alkeishiukkasten olemassaolon. Niinpä jokaista hiukkasta kohti on olemassa sen antihiukkanen, jolla on sama massa ja spin mutta vastakkainen sähkövaraus. Lisäksi hiukkaset ja antihiukkaset voivat syntyä ja hävitä pareittain energian muuttuessa aineeksi ja päinvastoin.

Antiprotonit ja positronit lienevät ainoita antimaterian muotoja, joita voidaan valmistaa merkittävässä määrin lähitulevaisuudessa. Niitä tuotetaan kiihdyttämällä protoneita (tai muita hiukkasia) suureen nopeuteen, jolloin niiden liike-energiasta osa muuttuu törmäyksen sattuessa hiukkas-antihiukkas-pareiksi. Kun käytetään kiinteää maalia, suurin antiprotonisaalis saadaan kiihdytettäessä 120 GeV:n energiaan. Koska vain noin yksi törmäys 30:stä johtaa antiprotonin syntymiseen ja koska antiprotonin massa vastaa vain 0,94 GeV:n energiaa, prosessin hyötysuhde on varsin huono. Parempi ratkaisu olisikin käyttää törmäyskehää, jossa antiprotonia tuotettaisiin törmäyttämällä vastak-

kaisiin suuntiin kulkevia protoneita toisiinsa. Teoriassa saalis paranisi vieläkin, jos alkuperäisen "suuren pamauksen" olosuhteet voitaisiin luoda laboratorio-oloissa. Tällöin protoni-antiprotoni -parien tuotanto tapahtuisi itsestään. Nämä olosuhteet voitaisiin luoda suurenergisten raskaiden ionien törmäämisen synnyttämässä kvarkki-gluoni -plasmassa, mitä tutkitaan parhaillaan intensiivisesti. (A)

Kun on saatu syntymään antiprotoneja (jotka kulkevat eri suuntiin erilaisilla nopeuksilla), seuraavana tehtävänä on ottaa ne kiinni ennen kuin ne reagoivat aineen kanssa. Tämä on paljon vaikeammin ratkaistava ongelma kuin niiden tuotanto. Tutkijoilta vei melkein 30 vuotta, ennen kuin Cernissä löydettiin ratkaisu. Se edellytti "stokastisen viilentämisen" keksimistä, millä tarkoitetaan tekniikkaa, jolla antiprotonien nopeuksia tasoitetaan (ks. La Recherche huhtikuu 1984 s. 508-511). Sitä käyttäen on mahdollista koota antiprotonit hyvin kapeaksi suihkuksi, koota ne varastorenkaaseen ja vihdoin hidastaa niitä tarpeeksi, jotta ne voidaan vangita sähkömagneettisiin Penningin loukkuihin.

Penningin loukussa hiukkaset vangitaan sivusuunnassa magneettikenttään ja akselin suunnassa sähköstaattiseen kenttään. Tällaista lieriömäistä loukkua käytettiin Cernin äskeisissä kokeissa, joissa antiprotoneita onnistuttiin pullottamaan ensi kertaa. Washingtonin yliopistossa loukulla on onnistuttu säilyttämään yhtä elektronia yli kymmenen kuukautta. Jotta antiprotoneita voitaisiin säilyttää vuosia, tarvitaan alle 10^{-18} torrin tyhjiö. Se saadaan aikaan vain sinetöimällä sisältö täyttämisen jälkeen ja jäädyttämällä se nestemäisen heliumin lämpötilaan. Tyhjiön "tyhjiyttä" on tällöin mahdotonta mitata, ja vain kokeen tekeminen todentaa sen onnistumisen. Jos menetelmä toimii, on mahdollista valmistaa kuljetettavia pulloja, joihin mahtuu 10^{12} - 10^{13} antiprotonia. (B)

Sitten alkaa antimaterian käytännön sovellusten kehittämisen keskeinen vaihe: onko mahdollista luoda riittävän yksinkertaisia ja vähän tilaa vaativia varastointimenetelmiä? Tämän suhteen on esitetty kahta lähestymistapaa. Ensinnäkin voitaisiin valmistaa antivetyä yhdistämällä antiprotoneita ja positroneja, ja sitten valmistaa kiinteitä antivetypalloja, joita voitaisiin varas-

ktoida ja liikutella sähkömagneettisilla ja optisilla tekniikoilla. Varastointitiheys saataisiin hyväksi, mutta vain kryogeenisessä ympäristössä (lähellä absoluuttista nollapistettä) ja erittäin täydellisissä tyhjiöissä.

Kiintoisin lähestymistapa on antiprotonien säilyttäminen tavallisessa aineessa. Jos kaikilla antimateriahiukkasilla on taipumus annihiloitua välittömästi joutuessaan kosketuksiin tavallisen aineen kanssa (olivatpa syyt sähkömagneettinen vetovoima, kuten protonin ja antiprotonin tapauksessa tai van der Waalsin voima antivedyn suhteen), ei antiprotonien pysyviä tiloja tiiviin aineen sisällä voida sulkea pois a priori. (C) Jos esimerkiksi hyvin matalaenerginen antivetyatomi joutuu kiinteään aineeseen, se jatkaa kulkuaan kunnes sen positroni annihiloituu elektronin kanssa. Silloin antiprotoni saattaa ottaa kadonneen elektronin paikan ja jäädä joissakin tapauksissa määrättyyn kiderakenteen pisteeseen. Tällä hetkellä ei tunneta näin reagoivaa ainetta, mutta kemiallisten yhdisteiden ja erilaisten kiderakennetyyppien monimuotoisuus mahdollistaa sopivan rakenteen etsimisen.

Muitakin, vaikeammin havaittavia ratkaisuja on löydettävissä. Antiprotonit saattavat muodostaa elektronien tavoin nestemäiseen heliumiin joutuessaan kuplan, jonka keskellä ne voisivat säilyä rajattomasti. (C) Samoin antiprotonit voisivat suprajohdavuuden aiheuttavien elektronien tavoin muodostaa Cooperin pareja metalliin joutuessaan. Tällöin ne eivät menettäisi liike-energiaansa törmäysten vaikutuksesta eivätkä voisi siten annihiloitua.

VIITTEET

A. T.A. DeGrand: "Are antibaryons a signal for phase transition in ultrarelativistic nucleus-nucleus collision?" Phys. Rev. D30 (1984) 2001-2004.

B. W. Kells: "Remote antiproton sources." IEEE Trans. Nucl. Sci. NS-32 (1985) 1770-1772.

C. M.V. Hynes: "Physics with low temperature antiprotons." In Physics in the ACOE era with low-energy cooled antiprotons, Editions Frontieres, Gif-sur-Yvette, France (1985) 657-664.

3. Annihilaatioenergian käytön käsite, ongelmat ja mahdollisuudet: Muistintapojen lähiajan kehitys-, tutkimus- ja kokeilutoiminnan mahdollisuuksista

(lyhennetty versio)

B.W. Augenstein

(Yhdysvaltojen ilmavoimia varten laadittu Rand-muistio, kesäkuu 1985, N-2302-AF/RC)

Johdanto

Rand tutki ilmavoimien suojeluksessa kesällä 1983 mahdollisuuksia synnyttää suuria energiapurkauksia materia-antimateria-annihilaation avulla.

Vaikka voidaan olla epäileviä sen suhteen, kyetäänkö lähitulevaisuudessa hyödyntämään annihilaatioenergiaa käytännössä, hyvin suunnitellulla toiminnalla (analyysillä ja kokeilla) voidaan selvittää varhain ja hyvin luotettavasti nyt avoimia hyödyntämiseen liittyviä kysymyksiä suhteellisen pienin kustannuksin. Randin mielestä tällaiseen toimintaan tulisi ryhtyä. Sen mahdolliset äärimmäiset tulokset voisivat vaihdella olla että (a) havaitaan, että käyttöönoton vaikeudet ovat niin suuria, että lähitulevaisuudessa on turha pyrkiäkään annihilaatioenergian hyödyntämiseen, tai että (b) huomataan tietyt lähestymistavat niin arvokkaiksi, että niiden varaan kannattaa rakentaa huolellisesti suunniteltu tutkimus-, kehitys- ja kokeiluohjelma, jonka avulla voidaan saavuttaa hyödyllisten sovellusten käyttöönottoon liittyvät tavoitteet hyväksyttävässä aikataulussa.

Tämä muistio, joka on laadittu ilmavoimien tutkimushankkeelle teknologian sovellusohjelman (Technology Applications Program) kehitysprojektin mukaisesti ja jota Rand on tukenut omillakin tutkimusvaroillaan, keskittyy tiettyihin kehitys- ja tutkimustyön ongelmiin, joiden tarkastelu on välttämätöntä epävarmuuden poistamiseksi tai vähentämiseksi. Useimpia tieteellisiä peruskysymyksiä ei käsitellä kovinkaan perusteellisesti. Liitteenä on kuitenkin lähdeluettelo, jota kiinnostuneet lukijat

voivat käyttää hyväkseen. Muistio korostaa erilaisten tutkimushankkeiden olennaista merkitystä sovellusten perustana ja tieteellisessä tutkimuksessa käytettävän matalaenergisien antimateriaalien tarpeen nopeaa kasvua tulevaisuudessa. Washingtonin yliopiston ja Kansallisen Los Alamosin tutkimuslaitoksen tutkijaryhmien suunnittelemat kokeet kertovat hieman siitä nopeasta tieteellisen mielenkiinnon kasvusta, jota on ilmennyt niin Yhdysvalloissa kuin Euroopassakin.

Suurin osa tämän muistion huolellisesti suunniteltuja tutkimus- ja kehitysohjelmia korostavasta aineistosta on esitetty ensi kertaa tohtori Keith Bruecknerin (Kalifornian yliopisto, San Diego) johtamalle seurantaryhmälle kesäkuussa 1984.

Yhteenveto

Tässä muistiossa käsitellään jokseenkin epäteknisellä tavalla monia kysymyksiä, jotka liittyvät materiaan ja antimateriaan annihiloituessa syntyvän energian hyväksikäyttöön. Joitakin perustavanlaatuisia antimateriaan tuotantoon ja säilyttämiseen liittyviä vaikeuksia tarkastellaan. Jos nämä vaikeudet onnistutaan voittamaan, on todennäköistä, että joukko antimateriaan käyttöön perustuvia sovelluksia syntyy.

Koska antimateriaan tuotantoa ja säilyttämistä koskeviin peruskysymyksiin liittyy monia epävarmuustekijöitä, ei voida arvioida varmasti, että tarvittava teknologia saataisiin käyttöön nopeasti ja että laajamittaisia sovelluksia voitaisiin toteuttaa lähitulevaisuudessa. Samoin ei ole mahdollista tehdä arviota, ettei teknisiä ongelmia voitaisi ratkaista lähiaikoina, vaikka kieltämättä on selvää, että kaikki ratkaisut ovat vaikeita ja monimutkaisia.

Uskomme, että huolellisella analysoinnilla ja koeohjelman laatimisella voidaan nykyisistä epävarmuustekijöistä päästä pian-kin eroon, mikä luultavasti yllättää monet. Silloin ratkaisuja, aikatauluja ja antimateriaan käytön mahdollisuuksia voitaisiin arvioida paljon luotettavammin. Siksi muistiossa tähdennetään fysiikkaan ja insinöörیتieteisiin liittyviä tutkimus-, kehitys- ja koeohjelmia, jotka voisivat helpottaa lopullista arviointia ja poistaa epävarmuustekijöitä.

Tällaisiin ohjelmiin liittyy suunnaton määrä puhdasta tieteenharjoitusta, jonka voi olettaa vetävän puoleensa alan luovia tiedemiehiä.

Ennen antimateriaalla tehtäviä kokeita on aivan välttämättä käytävä läpi vaihe, jonka koejärjestelyissä käytetään vastaavia normaaliaineen hiukkasia. Näillä kokeilla, antiprotonien tuotannon nostamisella 10^8 antiprotonista sekunnissa 10^{13} antiprotoniin sekunnissa sekä kuljettamisen sallivien varastointimenetelmien tutkimisella voidaan ratkaista keskeiset käyttökelpoisuuteen liittyvät kysymykset viiden vuoden kuluessa.

Kiitokset

Tässä dokumentissa käsiteltäviin kysymyksiin ovat antaneet arvokkaita kommenttejaan ja lisäyksiään seuraavat henkilöt: K. Brueckner (Kalifornian yliopisto, San Diego), R. Forward (Hughesin tutkimuslaitos), Fred Mills (Fermion kansallinen hiukkaskiihdytyslaitos), J. Powell (Brookhavenin kansallinen tutkimuslaitos), J. Solem (Los Alamosin kansallinen tutkimuslaitos sekä Randin tutkijat W. Sollfrey ja J. Bonomo. Tästä dokumentista vastaa kokonaisuudessaan Rand.

Sisällysluettelo esitetään ohessa:

ESIPUHE YHTEENVETO KIITOKSET SELVITYKSET

Käsittelyn pääpiirteet

Miksi antimateriaan käyttöä on harkittava?

Antimateriaan taloudellisuus - konservatiivinen kanta

Nykytilanne - perusfysiikka ja insinöörیتieteet

Keskeiset kysymykset - ohjelmallisia näkökohtia

Perustavien kysymysten määrittely - yhteenveto

Arvioita antiprotonien perustuotannosta

Antiprotonien valmistukseen liittyviä kysymyksiä

Antiprotonituotannon voimantarve

Esimerkki tuotantolaitoksesta - sisäinen voimantuotanto

Tuotantokustannusten arviointia
 Mitä antiprotonien tuotannon jälkeen?
 Joitakin mahdollisuuksia tiiviille säilytykselle (lyhyt luettelo)
 Perustutkimus ja koeohjelmat lyhyesti
 Esimerkkejä tuotantoon liittyvistä tutkimus- ja kehityshankkeista
 Joitakin tavallisen aineen säilytykseen liittyviä esimerkkejä
 Antimaterian käyttö työntövoimana
 Kaksi tapausta antiprotonien tuhovoiman arvioimiseksi
 Antimaterian ja hiukkassäteiden tuhovoiman arviointia
 Säteiden tehon arviointia (alumiiniin)
 Esimerkki antimaterian tuotannon kehitysohjelmasta
 Esimerkki kehitysohjelmasta (arviointi, päätöksenteko)
 Laajennettu alkuvaihe, ensimmäisen vuoden kehitysohjelma
 Antimateriaa tutkivan fysiikan ja insinööritieteiden perustutkimuksen keskeisyys
 Yhteenveto
 Viitteet

Otteita

AnniS + laatioenergian käyttö hylätään usein liian vaikeana tai kaukaisena, eikä sovellusten mahdollisuuksia pohdita vakavasti. Kuitenkaan sen paremmin skeptikot kuin innokkaimmat antimaterian puolestapuhujatkaan voi vakuuttavasti pitää kiinni lähtökohdistaan, minkä vuoksi objektiivinen arviointi on tarpeen ja mahdollista.

Neuvostoliitossa on otettu antimateriaan liittyviin ongelmiin ja sen käyttöön järkevä, varovainen ja tasapainoinen kanta, mikä käy selvästi ilmi seuraavasta lainauksesta korkeakouluissa usein käytetystä ydinfysiikan tekstistä:

"Voidaan helposti osoittaa, että fissiossa tai fuusiossa reaktioon osallistuvien ydinten lepomassoista muuntuu energiaksi vain 0,1-0,3 prosenttia. Tietenkin herää kysymys, voitaisiinko loppuosakin muuntaa energiaksi

kaavan $e=mc^2$ mukaisesti. Jotta tähän päästäisiin, nukleonien olisi muunnuttava kevyemmiksi hiukkasiksi: pioneiksi, leptoneiksi, fotoneiksi. Ydinten hajoamisen estää kuitenkin tehokkaasti baryonisen varauksen säilymisen laki.

Kuitenkaan mikään laki ei estä nukleonien muuntumista energiaksi kokonaan niiden annihiloituessa antinukleoneista ja positroneista koostuvan antimaterian kanssa. Annihilaatiossa syntyvä energia olisi kaksinkolminkertainen olemassa olevien voimalaitosten tuottamaan energiaan verrattuna. Antimateriaa ei kuitenkaan esiinny luonnossa, ei ainakaan meitä lähellä olevassa avaruudessa. Antimateriaa voidaan periaatteessa tuottaa, mutta se on hyvin kallista ja vaatii enemmän energiaa kuin annihilaatiossa vapautuu. Siksi annihilaatioenergiaa ei voida käyttää laajamittaisesti voimanlähteenä. Tulevaisuudessa annihilaatioenergiaa voidaan mahdollisesti käyttää pitkien matkojen avaruusrakettien voimanlähteenä." (Y.M. Shirokov ja N.P. Judin: "Nuclear Power", Nuclear Physics, Vol. 2, 1982, s. 140-141.)

...Antimaterian tuotantokustannukset ovat (nykyisin tunnetulla tekniikalla) suuret; tarkkoihin arvioihin palataan myöhemmin. Milloin ja miten annihilaatioenergiaa käytettäisiin tulee olemaan monessa suhteessa taloudellinen kysymys. Taloudellisella kysymyksellä on kaksi puolta:

- Tapaukset, joissa annihilaatiolla yksinkertaisesti korvataan jokin muu käytettävissä oleva vaihtoehto ("konservatiivinen näkökulma")
- Tapaukset, joissa muita vaihtoehtoja ei ole tai ne eivät ole käyttökelpoisia. Näihin kuuluisi esimerkiksi toimiva tähtienvälinen avaruuslentoteknologia.

Tässä muistiossa keskitytään lähinnä konservatiiviseen näkökulmaan. Mallijärjestelmää koskevassa esimerkissä, jota käsitellään seuraavassa, tarkastellaan tiettyjen toimintojen korvaamista avaruusaluksessa. Nämä toiminnot voitaisiin toteuttaa muillakin tavoilla. Kyseessä on tapaus, jossa annihilaatioenergiaa käyttämällä voidaan välttyä huomattavan massan nostamisesta kiertoradalle. Tavanomaisen raskaan laitteiston valmistuksessa ja

kiertoradalle viemisessä säästyviä kustannuksia voidaan sitten verrata vastaavanlaisiin tehtäviin tarvittavan antimateriamäärän valmistus-, varastointi- ja käsittelykustannuksiin. Jos jälkimmäinen summa on pienempi, antimaterian käytölle suotuisat olosuhteet ovat olemassa...

On tärkeää huomata, että kriittiset, antimateriaalla tehtävät kokeet voidaan miltei aina tehdä ensin tavallisella aineella (harvat poikkeukset on helppo tunnistaa).

Tuloksena on kaksi johtopäätöstä:

- Suurin osa kriittisistä kokeista, erityisesti varastointiin liittyvistä, on mahdollista tehdä tavanomaisissa tutkimuslaitoksissa, eikä niiden tarvitse olla yhteydessä niihin harvoihin yksikköihin, jotka pystyvät nykyisin tuottamaan esimerkiksi antiprotoneja.
- Tämä kriittinen kokeilutyö on varsin lähellä nykyisen atomi- ja molekyyلفysiikan, kiinteän aineen fysiikan ja kemian jne. tutkimusmenetelmiä. Sinä voitaisiin soveltaa suoraan monia käytössä olevia kokeellisia menetelmiä.

Tämä tärkeä kokeellinen työ on niin kiinnostavaa ja läheisiä tieteenaloja koskettavaa, että puolustustutkimuksen ulkopuolella (ja tietysti sen sisäpuolellakin) työskentelevät tutkijat pitäisivät sitä virikkeitä antavana ja luovia keksintöjä mahdollistavana.

Kriittisten antimateriakokeiden normaaliaineella tehtyjä vastineita on runsaasti. Hyvin laajalla fyysikkojoukolla on siksi kokemuksia vastaavista kokeista, mikä mahdollistaa laajan yhteistyön. Sen avulla voidaan pian odottaa vastauksia tiettyihin antimaterian avainkysymyksiin. Tutkimusyhteistyö tuottaisi varsin luotettavan arvion antimaterian käyttökelpoisuudesta viiden vuoden kuluessa...

Keskeiset kysymykset - ohjelmallisia näkökohtia

A. Perustutkimus, insinöörیتieteisiin liittyvät kysymykset

- Kohtuullisen laaja tuotanto riittävällä teholla
- Tiivis pitkäaikainen varastointi, joka soveltuisi erityisesti avaruusaluksissa käytettäväksi

B. Joitakin sovelluksia, jos perustutkimukseen ja insinöörیتieteisiin liittyvät kysymykset onnistutaan ratkaisemaan tyydyttävästi

Käyttö työntövoimana:

- Tekniikaltaan laaja kysymys
- Poistosuihkun nopeus: 10-100 km/s
- Mahdollistaa uusia avaruuslentoja
- Nykyisten polttoaineiden korvaaminen riippuu tuotantokustannuksista

Voimantuotanto:

- Kiertoradalla käytettävä pääasiallinen voimanlähde taistelutehtävissä
- Yksinkertaisimmillaan tekniikka toimisi samalla periaatteella kuin työntövoimanakin käytettäessä (kuumenetulla nesteellä)

Käyttö suunnatun energian aseissa:

- Kevyitä järjestelmiä
- Suuri tuhoteho
- Hiukkassäteet tai laserit, jotka toimisivat hyvin lyhyillä energiapurkauksilla
- Joitakin kiinnostavia/ainutlaatuisia ilmiöitä

Muu käyttö:

- Käyttö salaisissa erikoisaseissa
- Yleinen kannettava voimanlähde
- Tuotteen saatavuuden myötä saattaa ilmetä uusia käyttötapoja

Huomioita:

- Eri sovellusten käyttöönoton monimutkaisuus vaihtelee suuresti
- Jotkut järjestelmät voivat käyttää samanaikaisesti eri sovelluksia
- Tuotantokustannusten siedettävyys riippuu sovelluksesta

Nykyään on osoitettu ainakin kaksi tapaa erisuuruisten antimateriamäärien varastoinnille. Muitakin periaatteissa mielenkiintoisia tapoja (jotka voisivat olla käytännön sovellusten kannalta parempia) on esitetty. Näyttää siltä, että varastoinnin keskeisten ongelmien ratkaisemiseksi tarvitaan kokeita. (Näihin ongelmiin kuuluvat mm. onko varastointisovellusten käytännöllisyydestä analyttisiä todisteita puolesta tai vastaan ja ovatko fyysisen käsittelyn ympäristö- ja vuorovaikutussuhteet liian monimutkaisia luotettavan analyysin tekemiseksi.)

Korostamme jälleen seuraavaa kahta seikkaa:

- Annihilaatioenergian käyttöön ei ole helppoa tietä. Käyttöönottoa estävät nykyisin monet perustavanlaatuiset ja käytännölliset epävarmuustekijät.
- Tarvitaan huomattavaa laitteiden ja tuotantokyvyn parantamista, ennen kuin sovellukset olisivat käytännössä mahdollisia, vaikka aiempi epävarmuus hälvenisi.

Miksi sitten harkita annihilaatioenergiaa ylipäänsä? Ensinnäkin sen käyttökelpoisuus ja hyödyllisyys saattaisi olla yksittäisissä sovelluksissa huomattavan korkea. Toiseksi perusongelmien (jatketaanko tutkimuksia vai ei) ratkaisu on lähes varmasti mahdollista lähitulevaisuudessa, ts. viiden - seitsemän vuoden aikana. Kolmanneksi, päädytäänkö tutkimusten jatkamiseen tai ei, siihen mennessä on tehty runsaasti kiinnostavaa ja tuottavaa tutkimustyötä, joka varmasti synnyttää monia fysiikan ja insinööritieteiden alalla käyttökelpoisia menetelmiä...

Tämän muistion pääteemoja kerrataan seuraavissa kahdessa kappaleessa. Vaikka antimateriateknologian kehittämiseen kuluva ajasta on hyvinkin erilaisia arvioita, voidaan todeta, että vaikka sopivaa teknologiaa ei luotaisikaan ennen kuin 20-30 vuoden kuluttua, on silti järkevää ryhtyä sopiviin tämän alan tutkimuksiin.

Meidän kantamme voi esittää yleisluonteisesti seuraavalla tavalla: Tällä hetkellä emme tiedä varmuudella, miten kauan aikaa kuluisi edes vaatimattoman antimateriateknologian kehittämiseen. Tarvittavasta ajasta ja sen mahdolliseen lyhentämiseen johtavista toimista voidaan kuitenkin saada luotettavampi arvio huolellisella alkuvaiheen tutkimus- ja kehitysohjelmalla, jota edellä on luonnehdittu. Erityisen tärkeitä olisivat aiemmin kuvattujen ensimmäisen vuoden tutkimushankkeet. Tällä tavalla voitaisiin jatkuvasti muotoilla ja määritellä seuraavia vaiheita, jotka ovat välttämättömiä tai tarpeellisia "antimateriateollisuuden" synnyttämiseksi. Tällä tarkoitetaan kohtuullisen laajamittaista tuotantoa, jota kolmannen vaiheen toteuttaminen merkitsisi.

Näin menetellen voitaisiin tehdä päätöksiä uusista tutkimuksista ja sitoutua niihin suuria taloudellisia uhrauksia välttäen.

Suosituksemme perustuu siihen, että arviomme mukaan antimateriasta saattaa hyvinkin tulla tärkein kuljetettavan energian lähde, jota voidaan käyttää taloudellisesti hyvin erilaisissa sovelluksissa - aikataulussa, joka ei ole kohtuuttoman pitkä verrattuna aikaisempiin ja käynnissä oleviin energiantutkimushankkeisiin. Tutkimus-, kehitys- ja kokeilutoiminnan käynnistäminen tällä alalla voisi jo sinänsä tuottaa huomattavaa edistystä monilla lähialoilla. Vaikkei tänään kukaan (sen paremmin pessimistit kuin optimistitkaan) voi ennustaa varmasti ensimmäisen, toisen ja kolmannen vaiheen tuloksia, tiedetään ilmeisesti tarpeeksi, jotta tutkimushankkeiden oikealla suunnittelulla voidaan lisätä käyttökelpoisten tulosten todennäköisyyttä. Näiden hankkeiden edellyttämät taloudelliset uhraukset vaikuttavat kohtuullisilta, kun otetaan huomioon niistä saatava tiedon lisääntyminen ja tieto siitä, voidaanko antimateriateknologiaa kehittää ja millä tavalla se tapahtuisi.

Johtopäätökset voi muotoilla lyhyesti vaikka näin:

1. Emme tiedä vielä tarpeeksi, jotta voisimme päättää, ovatko antimateriasovellukset käyttökelpoisia kohtuullisessa ajassa vai kuuluvatko ne kaukaiseen tulevaisuuteen.
2. Me tiedämme, millä tavalla voimme lisätä tietouttamme, jonka perusteella voidaan tehdä täsmällisempiä arvioita.
3. Jos riittävä tuotanto ja varastointi ovat mahdollisia kohtuullisin kustannuksin, monet sovellukset ovat kiinnostavia.
4. Tutkimuksen alkuvaiheen (ensimmäinen vaihe, ensimmäinen vuosi) kustannukset ovat noin 10^6 dollaria, ensimmäisen vaiheen kokonaiskustannukset noin 10^8 dollaria.
5. Antimateriateknologian ymmärtäminen on järkevää ja siksi tällaisten kustannusten arvoista.
6. Tutkimustoiminnan aloittaminen herättää niin laajaa kiinnostusta, että luovat tiedemiehet, joilla on uusia

ajatuksia, saavat mahdollisuuksia uudenlaisen ja jännittävän tieteen tekemiselle.

Esimerkki antimateriatuotannon kehitysohjelmasta

- Kolme vaihetta - 20 vuoden ohjelma

Vaihe 1

- Perustutkimus- ja -kehitysvaihe, tuotannon ja tiiviin varastoinnin ongelmien selvittelyä (vuodet 0-5)
- Sisältö määritellään aiempien tutkimusten mukaisesti
- Vaiheen loppupuolella tehdään päätös hankkeen jatkamisesta tai hylkäämisestä
- Kustannukset: 75-125 miljoonaa dollaria

Vaihe 2

- "Minitehtaan" prototyypin rakentaminen
- Riittävän laajan tuotannon ja varastoinnin kokeileminen
- Kaksi päällekkäistä kehityskohdetta:
- Protonikiihdytin ja sopiva kohdemateriaali (vuodet 0-6)
- Muut tehtaan järjestelmät (vuodet 4-8)
- Kiihdyttimen rakentaminen on hyödyllistä, vaikka tuotantoon ei lopulta ryhdyttäisikään
- Hiukkassuihkun voima 0,1-1,0 milliampeeria, protoneiden vähimmäisenergia 30-70 GeV
- Huomio kiinnitetään sekundaarisiin ja tertiäärisiin hiukkasiin (myonit, neutrinot, kaonit, antiprotonit jne.)
- Antiprotonien tuotantotavoite: 10-100 mikrogrammaa vuodessa ($n. 2 \times 10^{11}$ - 2×10^{12} antiprotonia sekunnissa) tai enemmän
- Kustannukset: 500-1 000 miljoonaa dollaria

Vaihe 3

- Täysimittainen tehdastuotanto, jonka tavoitteena kymmenen milligrammaa vuodessa tai enemmän (vuodet 7-20)
- Vaihe käynnistetään, jos toinen vaihe osoittaa tehdyt suunnitelmat toimiviksi

- Kustannukset: 5-15 miljardia dollaria (riippuu hyötysuhteesta ja tuotannon määrästä)

Jokaisessa vaiheessa muotoillaan suunnitelmia uudestaan ja täydennetään koejärjestelyitä

Antimateriaan liittyvän fysiikan ja insinöörیتieteiden tutkimuksen alkuvaiheen painopisteet:

Käytännössä kaikki sovellukset riippuvat

- Tuotannon riittävästä tasosta ja tehosta
- Tiiviistä pitkäaikaisvarastoinnista

Alkuvaiheen päähuomio on kiinnitettävä tuotantoon ja varastointiin liittyviin kysymyksiin

- Jos antimateriaa voidaan saada taloudellisesti (ja sovellusten kannalta sopivassa muodossa) käyttöön
- Mahdollisten sovellusten määrä on suuri
- Ilmeisesti mahdollisuuksia käyttöön työntövoimana, voimanlähteenä, erilaisissa aseissa
- Käyttöön saamisen myötä ilmenee todennäköisesti muitakin sovelluksia
- Jotkut sovelluksista voivat käyttää hyväkseen samaa tekniikkaa
- Esim. työntövoimana ja voimanlähteenä käyttönesteiden kuumentaminen
- Suositukset tutkimuksen suunnittelun seuraaviksi vaiheiksi:
- Pääpaino tuotantoon ja varastointiin liittyvien kysymysten seurantaan ja arviointiin
- Tiettyihin kriittisiin kokeisiin on ryhdyttävä
- Lisäksi on kiinnitettävä huomiota seuraaviin alueisiin:
- Tekniikan monimutkaisuuteen ja tuottoon liittyvät kysymykset
- Tuotantotason vaihtelun seuraukset
- Kun antimateriateknologia saadaan käyttökelpoiselle tasolle ja taloudellisesti kannattavaksi, voi syntyä kokonaan uusi teollisuuden haara ja ainutlaatuista teknologiaa

- Nämä seuraavat askeleet ovat vaatimattomia, vähäisiä investointeja tulevaisuutta varten

Yhteenveto

Antimaterian käyttöönottoa on harkittava.

Riittävä tieteellinen ja tekninen tieto on olemassa.

Antimateriaan liittyvillä ilmiöillä on kiinnostavia piirteitä.

Järjestelmän käyttöönoton ja hyödyntämisen mahdollisuuksista on nykyisin mahdotonta lausua mitään varmaa.

Mahdollisuuksien arvioimiseksi tarvittavat hankkeet on määriteltävä tarkasti.

Ratkaisevia askeleita ja päätöksiä voidaan tehdä jo hankkeen varhaisessa vaiheessa kokeilutoiminnan avulla.

4. Puolustuspiirit kiinnostuvat antimateriaista

(Nature, Vol. 322, 21. elokuuta 1986)

Robert Walgate

Yhdysvaltojen ilmavoimat näyttää suhtautuvan vakavasti Rand-yhtymän raporttiin, jonka mukaan antimateriaa saatettaisiin käyttää asejärjestelmien osana. Antimaterian räjähdysvoima on valtaisa. Milligramma antimateriaa vastaa annihiloituessaan noin 44 tonnia TNT:tä, mutta ennen kuin hiukkasfyysikot ryhtyivät valmistamaan ja käsittelemään antimateriaa (erityisesti antiprotonia), sen käyttö oli pelkkää tieteiskuvitelmaa. Amerikkalaisen aivoriihen, Rand-yhtymän Yhdysvaltojen ilmavoimille tekemä raportti kuitenkin väittää, että antimaterian käyttöön rakettien työntövoimana, hiukkasaseina ja röntgenlaserin voimanlähteenä liittyvät ongelmat voitaisiin ratkaista viiden vuoden kuluessa. Sotilaallisesti "kiinnostavien" antimateriamäärien - noin kymmenen milligrammaa vuodessa - tuottaminen olisi mahdollista 20 vuoden kuluessa, jos Yhdysvaltojen hallitus olisi valmis käyttämään kehitysohjelmaan 5 000-15 000 miljoonaa dollaria.

Antiprotonien vangitsemiseen liittyvä perustutkimus on jo nyt käynnissä monissa tutkimuslaitoksissa kuten Euroopan hiukastutkimuskeskuksessa Cernissä Geneven lähellä. Randin raportin mukaan vuorovaikutus perustutkimuksen kanssa saattaisi viedä sotilaallista tutkimusohjelmaa eteenpäin: "Me lähdemme siitä, että tämä tärkeä kokeellinen työ... on niin kiinnostavaa ja läheisiä tieteenaloja koskettavaa, että puolustustutkimuksen ulkopuolella (ja tietysti sen sisäpuolellakin) työskentelevät tutkijat pitäisivät sitä virikkeitä antavana ja luovia keksintöjä mahdollistavana." Tämä kiinnostus johtaa Randin mukaan "varsin todennäköiseen arvioon", jonka mukaan viiden vuoden tutkimuksella voitaisiin ratkaista, ovatko sotilaalliset sovellukset mahdollisia.

Mutta voidaanko nykyisin vain hyvin pieninä määrinä tuotettavaa antimateriaa (noin 10^7 antiprotonia päivässä eli esimerkiksi Cernissä 10^{-5} - 10^{-1} milligrammaa vuodessa) todella kerätä ja käyttää? Randin mukaan tuotantoon ja varastointiin liittyvät

ongelmat ovat monimutkaisia, "eikä voida arvioida varmasti", että ne tullaan ratkaisemaan. Monia antimaterian käsittelyyn liittyviä ongelmia voidaan ratkaista tavallisella aineella tehtävillä kokeilla (joissa voidaan käyttää esimerkiksi antiprotonien massaa ja varausta simuloivia negatiivisia vetyioneja) ja muita kysymyksiä nykyisellä antiprotonien tuotantotekniikalla. Antiprotonia voidaan säilyttää staattisissa tai dynaamisissa sähkömagneettisissa loukuissa (esimerkiksi Penningin loukussa), eräissä paikoissa tavallisen aineen sisällä (esimerkiksi nestemäisen heliumin kuplien sisällä), spinpolarisoituna antivetyinä tai kiinteytettynä antivetyinä kryogeenisessä ympäristössä.

Pieninä määrinä antimateriaa on jo kyetty varastoimaan, kuten tapahtui Cernissä tehdyssä Los Alamosin laitoksen tutkimusryhmän johtamassa kokeessa. Kokeen päätarkoituksena oli yksittäisten antiprotonien kerääminen ja jäädyttäminen niiden massan mittaamiseksi (putoavatko antiprotonit ylöspäin?), mutta tämän tutkimuksen osan rahoitusta ei ole vielä saatu järjestetyksi. Kokeen muu osa käsittelee antiprotonien kokoamista Penningin ioniloukkuun. Randin tiedottajan mukaan sillä ei ole mitään tekemistä Randin muistion kanssa.

Riittävän antiprotonimäärän tuottaminen kohtuullisilla energiakustannuksilla voi olla vaikein ongelma, jonka asesuunnittelijat joutuvat kohtaamaan. Jos antiprotonia tuotetaan törmäyttämällä protonia maaliaineeseen, saadaan enintään yksi antiprotoni sataa käytettyä protonia kohti - ja tämä on tulos tehokkaimmalla käytettävissä olevalla hiukassäteellä (120 GeV energia, jonka protonit saavuttavat Fermin kansallisessa hiukaskiihdytyslaitoksessa lähellä Chicagoo). Raportissa arvioidaan (kun otetaan huomioon hiukaskiihdyttimien hyötysuhde ja jos oletetaan, että lähiaikoina ei tapahdu merkittäviä teknisiä parannuksia antiprotonien keräystekniikassa) että sotilaallisesti käyttökelpoisen kymmenen milligramman vuosittaisen antimateriamäärän tuottamiseen tarvittaisiin noin neljä gigawattia ulkoista energiaa. Tämä on huokean suuri ja kallis energiamäärä, mutta aikoinaan ydinasetekniikassa uraani-isotooppien erotteluun käytetyt kaasudiffuusiolaitokset kuluttivat 6 gigawattia. Näillä arvoilla antimaterian tuotantokustannukset olisivat 133 miljoonaa

naa dollaria milligrammalta. "Jotkut sovelluksista" oikeuttaisivat tällaisiin kustannuksiin, sanotaan raportissa.

Antimateriaa voitaisiin käyttää työntövoimana, energiantuotannossa, hiukkassädeaseissa ja "salaisissa erikoisaseissa". Esimerkiksi työntövoimana käytettäessä antivedyn ja vedyn annihilaatio tuottaisi poistosuihkun, jonka nopeus voisi olla kymmenestä kilometristä sekunnissa yli puoleen valon nopeudesta. Sellaiset tehtävät, jotka muuten olisivat mahdottomia tarvittavan polttoaineen painon vuoksi (kuten suunnan kääntäminen vastakkaiseksi maan kiertoradalla), tulisivat mahdollisiksi, jos antimateriaa voitaisiin käyttää.

Energiantuotannossa antimateria voisi olla kiertoradalla olevien laitteiden pääasiallinen voimanlähde "taistelutoiminnassa". Sen avulla voitaisiin rakentaa kevyitä hiukkassädeaseita, käyttää säteitä vastapuolen laitteiden tuhoamiseen tai tuottaa röntgenlasereiden tarvitsemia hyvin lyhyitä energiapurkauksia.

Antimateriaan liittyvien kysymysten ymmärtäminen on Yhdysvaltojen ilmavoimille "järkevä" tavoite, jonka saavuttamiseksi kannattaa sijoittaa miljoona dollaria pelkkään valmistelemaan perustutkimukseen. Jos tulokset näyttäisivät hyviltä, ensimmäisen vaiheen (tuotantolaitoksen prototyyppiä edeltävään) tutkimukseen käytettäisiin sata miljoonaa dollaria. Ilmavoimat näyttää ottaneen muistion suosituksen vakavasti, ja tutkimusohjelma on aloitettu.

5. Lupaava antimateria

(Otteita Air Force Magazinesta, helmikuu 1986)

Edgar Ulsamer

Vanhempi toimittaja (politiikka & teknologia), Air Force Magazine

Vallankumouksellinen uusi työntövoima, joka kiihdyttäisi avaruusalusta jatkuvasti sen sijaan, että se ajelehtisi suurimman osan lennostaan, voi tuoda Marsin vain muutaman viikon matkan päähän meistä.

Sotilaallisia ajatuksia mullistavaa uutta teknologiaa tutkiva ilmavoimien projekti Forecast II (Ennuste II) on nyt keskittynyt antiprotoneihin. Ne ovat antimateriaa, joka näyttää hyvin lupaavalta uudelta avaruusalusten polttoaineelta, jonka tuottama energia ylittää jopa ydinfuusion ja -fission tehon.

Uskalias suunnitelma on saanut uutta vauhtia Sveitsissä sijaitsevasta Euroopan hiukkastutkimuskeskuksesta Cernistä, joka tuottaa hyvin pieniä määriä kahdenlaisia vety-ytimiä, joista toiset ovat positiivisesti varautuneita - ja siis tunnistettavissa protoneiksi - ja toiset negatiivisesti varautuneita, minkä vuoksi niitä kutsutaan antiprotoneiksi. Tämän vaikeatajuisen suurenergiafysiikkaan liittyvän kokeen käytännöllisenä seurauksena voi hyvin olla yhden maailmankaikkeuden energisimmän reaktion löytäminen - ja tuleva hyödyntäminen. Kun vety-ydin osuu kaksoseensa - joka painaa yhtä paljon mutta jolla on yhtä suuri vastakkainen varaus - molemmat annihiloituvat täysin ja muuntuvat puhtaaksi energiaksi.

Vetymolekyylien erottelu protoneiksi ja antiprotoneiksi on tavattoman vaikeaa, kallista ja aikaa vievää. Tällä hetkellä Cernin kiihdytin on huomattavasti parempi tässä erittäin vaativassa tehtävässä kuin Yhdysvalloissa olevat laitokset. Maailmassa tapahtuva antiprotonituotanto kasvaa etanan vauhtia - noin 10^{13} hiukkasen vuositahdilla.

Alustavat amerikkalaiset tutkimukset - joita on tehty Forecast II -projektin puitteissa - viittaavat mahdollisuuksiin lisätä tuleva tuotanto 10^{22} hiukkaseen vuodessa muuntamalla sopivasti

maamme käytössä olevia ja suunniteltuja hiukkaskiihdyttimiä. Tällainen materian ja antimaterian reaktio ei tuota minkäänlaisia sivutuotteita, ja siinä vapautuu paljon enemmän energiaa kuin ydinfissiossa tai -fuusiossa. Tällä hetkellä tiedeyhteisö ei mielellään halua ennustaa, miten paljon energiaa vapautuu protonien ja antiprotonien annihiloituessa keskenään. Varovien laskelmien mukaan näyttää kuitenkin siltä, että yhdellä grammalla materian ja antimaterian sekoitusta - se vastaa noin 10^{22} hiukkasta eli ajateltua Yhdysvaltojen vuosituotantoa - suuri avaruussukkula voitaisiin nostaa 500-1 000 kertaa geosynkroniselle radalle (noin 36 000 kilometrin korkeuteen). Tämä laskelma on täysin teoreettinen, koska siinä otetaan huomioon vain tuotetun energian määrä eikä sitä suhdetta, jolla energia voidaan muuntaa avaruusaluksen työntövoimaksi.

Alkuperäisenä ajatuksena on käyttää materian ja antimaterian annihiloituessa syntyvää lämpöä ja suihkuttaa suurella nopeudella jotain ainetta työntövoiman tuottamiseksi. Käytännössä Forecast II -projektin havainnot merkitsisivät, että jos on mahdollista viedä noin milligramma protoneita ja antiprotoneita avaruuteen ja käyttää niitä kohtuullisen tehokkaan suihkumootorin voimanlähteenä, miehitetty lento Marsiin saattaisi olla miltei mahdollinen. Tällaista voimanlähdettä käyttävä alus voisi kiihdyttää vauhtiaan Marsiin saakka, mikä lyhentäisi nykyistä noin kahden vuoden lentoa viikkoihin, kenties vajaan kuukauteen.

Parhaatkin nykyisen teknologian mahdollistamat työntöjärjestelmät merkitsevät vuosien mittaista matka-aikaa Marsiin, koska ne mahdollistavat vain yhden kiihdytysvaiheen, minkä jälkeen alus vain ajelehtii. Protoni-antiprotoni -järjestelmällä taas kiihdyttäminen olisi mahdollista koko matkan ajan. Tulevaisuudessa antimaterian merkitys ilmaa käyttävissä moottoreissa voisi olla tärkeämpääkin kuin sen käyttö avaruusaluksissa. Tällöin voitaisiin hyödyntää kuumennettua ilmaa työntömateriaalina. Nyt kuitenkin näyttää siltä, että protoni-antiprotoni työntövoima olisi hyödyllisempää avaruussovelluksissa. Tyhjiön sekä magneetti- ja vetovoimakenttien miltei täydellisen puuttumisen vuoksi on helpompaa osua protoneilla antiprotoneihin avaruudessa kuin maan päällä.

Forecast II -projekti saattaa piakkoin muotoilla suunnitelman, jolla tämän ajatuksen käyttökelpoisuutta arvioidaan alustavasti. Kohtuullisilla tutkimuskustannuksilla - jotka olisivat useiden miljoonien suuruusluokkaa - saataneen summittaisia vastauksia sellaisiin kysymyksiin, kuten voiko näitä hiukkasia tuottaa hyödyllisiä määriä siedettävien kustannuksien, mitä hiukkasten varastoinniksi tarvittaisiin ja millaiselta näyttäisi mekanismi, jolla ne muunnetaan energiaksi. Jos 5-10 miljoonaa dollaria maksavalla tutkimuksella voidaan varmistaa ajatuksen periaatteellinen toimivuus, tietysti myös Yhdysvaltojen olisi rakennettava oma Cern-tyyppinen tutkimuslaitoksensa.

Forecast II -projektin tutkijat eivät elättele harhakuvitelmia hankkeen hinnasta. Kyse olisi huomattavasta investoinnista. Vaikka Yhdysvalloissa on kehitetty hiukkaskiihdyttimiä, jotka ovat joissakin suhteissa suurempia ja tehokkaampia kuin Cern, niistä puuttuu viimeksimainitun kyky pommittaa vetyatomeita toisillaan riittävällä voimalla, jotta saataisiin tuotettua riittävästi antimateriaa. On tutkittu myös mahdollisuuksia kerätä antiprotoneita eurooppalaisilta Cerniä hoitavilta tiedemiehiltä, jotta Yhdysvalloissa voitaisiin ryhtyä piakkoin antimateriaa koskevaan tieteelliseen perustutkimukseen.

Näiden nopeiden hiukkasten varastointi on suuri ongelma, minkä ratkaisemiseksi tarvittaneen erittäin kryogeenistä ympäristöä ja hiukkasten kurissapitoa voimakkaiden sähkömagneettisten kenttien avulla. Vaikka protoni-antiprotoni -järjestelmien kehittäminen työntöjärjestelmiksi tai muiksi lupaaviksi sovelluksiksi on luultavasti vielä monien vuosien päässä, Forecast II -projektin keräämä käytettävissä oleva tieto viittaa siihen, että tämä vallankumouksellinen teknologia voi tuottaa hedelmiä ajan myötä.

6. Aliarvioitu antimateria

(Kirje Nature-lehdelle, Vol. 325, 26. helmikuuta 1987)

André Gsponer ja Jean-Pierre Hurni

Ensimmäiset julkaistut tiedot onnistuneesta antiprotonien vangitsemisesta sähkömagneettiseen loukkuun ovat olleet aiheena äskettäisessä Nature-lehden uutispalstan pääartikkelissa (Nature 324, 299; 1986). Vaikka artikkelista saakin hyvän käsityksen tämän historiallisen saavutuksen tieteellisestä tärkeydestä, se antaa mielestämme jokseenkin harhaanjohtavan käsityksen sen todennäköisestä sotilaallisesta merkityksestä.

On totta, että jotkut antimaterian sovellukset, kuten käyttö torjuntaohjusten ja avaruusalusten käyttövoimana, edellyttävät melko suuria antiprotonimääriä. Useimmissa tapauksissa käyttökelpoinen määrä on kuitenkin paljon pienempi. Olemme arvioineet, että esimerkiksi mikrogrammaa pienempikin antiprotonimäärä on riittävä lämpöydinreaktion laukaisemiseksi tai voimakkaan röntgenlaserin virittämiseksi.

Antimateria ei ole vain kevein kaikista suurenergisistä räjähteistä, se on myös ainoa toteutettavissa oleva liikuteltava myonien lähde. Jokaisessa antiprotonin annihilaatiossa syntyy keskimäärin kolme myonia. Niitä voitaisiin käyttää fuusioreaktion synnyttämiseen deuterium-tritium -seoksessa, mikä olisi houkutteleva keino kevyen, avaruuteen sijoitettavan ydinreaktorin rakentamiseksi. Reaktori voisi toimia joko jatkuvasti tai sykäyksittäin.

Lisäksi keräämällä ja jäähdyttämällä myoneja (mikä on suhteellisen helppoa verrattuna antiprotoneiden käsittelyyn) voitaisiin luoda hyvin tehokas säde, jolla kyettäisiin ohjaamaan voimakkaita elektroni- tai protonisädeiskuja ilmakehässä yli kymmenen kilometrin päässä olevaan maaliin. Vielä yksinkertaisempaa olisi pysäyttää myonit sopivaan materiaaliin, joka synnyttäisi tavattoman tehokkaan röntgenlasersäteen, koska myonisoitujen atomien elinaika olisi vain kahden mikrosekunnin luokkaa.

Ulkoavaruudessa matalatehoinen antiprotonipurkaus olisi hyvin sovelias ohjusten aktiivisten taistelukärkien erottamiseen

harhautuslaitteista. Sekä tähän että kahteen aiemmin mainittuun tarkoitukseen tarvittava antiprotonien määrä olisi nanogrammojen luokkaa toimenpidettä kohti. Varovaiset teknisistä ongelmista tehdyt arviot lähtevät mikrogrammojen suuruisten antimateria-määrien päivittäisestä tuottamisesta ja käsittelystä. NykYTEknologia on siis vain parin suuruusluokan päässä tavoitteiden saavuttamisesta.

Me olemme hyvin huolestuneita monien kiistämättä tieteellisesti toteutettavien antimateria-asesuunnitelmien seurauksista ydinaseiden leviämislle.

Sellaisten aseiden kehittäminen kiihdyttäisi huomattavasti nykyistä asevarustelukilpaa. Me vaadimme kaiken antimateriaan liittyvän tutkimuksen välitöntä kieltämistä varsinkin siksi, että tämä työ on välttämätöntä kolmannen polven ydinasejärjestelmien kehittämiseksi.

7. Yhdysvaltojen ilmavoimat ennakoi antimaterian käyttöä työntövoimanlähteenä; käyttöönotto ensi vuosisadan alkupuolella

(Aviation Week & Space Technology, 21. maaliskuuta 1988)

William H. Scott/Edwards ABF

... Ilmavoimien sponsorimat uusia työntöjärjestelmiä käsittelevät tutkimukset vakuuttavat, että rahoituksen järjestyessä suurenergisia kemiallisia yhdisteitä hyödyntäviä raketteja voidaan ottaa käyttöön vuoteen 2000 mennessä ja antimateriaa soveltavat järjestelmät voisivat olla totta ensi vuosisadan alkupuolella...

Antimaterian annihiloituessa - mikä tapahtuu tavallisen aineen ja sen "peilikuvan", antimaterian kohdatessa - vapautuvilla tavattomilla energiamäärillä kuumennettavat työntöjärjestelmät voisivat tuottaa yli 100 000 sekuntia kestävä työntö. Se on sata kertaa suurempi kuin fuusioreaktion tuottama energiamäärä ja satamiljoonakertainen parhaisiin tunnettuihin kemiallisiin reaktioihin verrattuna.

Useita tonneja työntösuihkun synnyttävää ainetta tai työliuosta voitaisiin kuumentaa hyvin voimakkaan työntönsä aikaan saamiseksi vain joillakin milligrammoilla antimateriaa. Yhdysvaltojen ilmavoimien upseerien mukaan esimerkiksi avaruussukulan nestemäisen ja kiinteän polttoaineen sisältämän energian korvaamiseksi tarvittaisiin vain sokeripalan kokoinen määrä antimateriaa.

Antimaterian olemassaolon todistamisesta vuodesta 1932 lähtien tieteiskirjailijat ovat luonnehtineet antimateriaa ihanteelliseksi tähtienvälisen avaruuskäytön työvälineeksi. Vaikka tiedeyhteisöllä on edelleen vaikeuksia päästä eroon antimateriaan ja sen työntövoimakäyttöön liittyvästä tieteiskuvitelman leimasta, antimateriaasta on tullut vakavan tutkimuksen kohde Euroopassa, Neuvostoliitossa ja Yhdysvalloissa.

"Naureskelun aika on ohi. Antimateria on todellista, ja me tiedämme, miten sitä tehdään ja säilytetään. Se on lupaavaa". Näin sanoi Yhdysvaltojen ilmavoimien avaruuslaboratorion (AFAL) komentaja eversti Ross Nunn. Hänen mukaansa ilmavoimat

sponsoroi jatkuvasti tutkimuksia "jotta hanke pysyisi hengissä".

Ilmavoimien tilaustyönä tehty kuusi kuukautta kestänyt Rand-yhtymän tutkimus vakuutti, että on olemassa lähitulevaisuudessa käyttöön otettavia menetelmiä, joilla voidaan tuottaa ja varastoida antimateriaa noin kymmenen miljoonan dollarin kustannuksilla milligrammaa kohti. Yhdysvaltojen hallituksen suunnittelemilla laitteilla kuten "supertörmäytinillä" voitaisiin tuottaa grammoittain antiprotoneita kenties noin miljoonan dollarin kustannuksilla milligrammalta, arvioidaan Brookhavenin kansallisen tutkimuslaitoksen selvityksissä.

Avaruussukkulaa muistuttava laite tarvitsisi noin 35 milligrammaa antimateriaa lentoa kohti. Sellainen laite muistuttaisi kooltaan ja painoltaan brittiläistä HOTOLia, mutta sen kuljetuskapasiteetti olisi McDonnell-Douglasin avaruuskäyttöyhtiön ilmavoimien avaruuslaboratoriossa tekemien tutkimusten mukaan kolmin-nelinkertainen.

Vaikka antimateriaa käyttävien järjestelmien äärimmäisiin lämpötiloihin liittyykin huomattavia teknisiä ongelmia, mahdollinen hyöty on niin suuri, että ilmavoimat otti antiprotoniteknologian yhdeksi Forecast II -projektinsa kohteeksi.

...antimateriateknologiaa pidetään erittäin lupaavana tutkimusalana, joka voisi muuttaa dramaattisesti käsityksiä avaruuskäytön työntöjärjestelmistä. Samanpainoista mutta tavalliselle aineelle vastakkaista antimateriaa esiintyy luonnossa, ja se on eristettynä yhtä vakaata kuin tavallinen ainekin. Esimerkiksi positronilla on sama massa kuin elektronilla, mutta sillä on positiivinen varaus. Kun antimateria ja tavallinen aine joutuvat kosketuksiin, molemmat annihiloituvat niiden massojen muuntuessa kokonaan energiaksi - tehokkaimmassa ihmisen tuntemassa reaktiossa.

Tämän energian muuntamiseksi raketin työntövoimaksi on käytettävissä teknisesti yksinkertainen, lähitulevaisuudessa toteutettavissa oleva mekanismi, jossa annihiloitumisenergia absorboitaisiin kennomaiseen volframiin. Lämpö muunnettaisiin työntövoimaksi johtamalla polttoaineliuos volframin kuumennetun ytimen läpi. Höyrystävä neste laajenisi suuttimessa ja tuottaisi 1 200 sekunnin ajan ehkä 25 000-50 000 kilon työntövoiman.

Työntövoima on 2,5 kertaa suurempi kuin nestemäisen hapen ja vedyn reaktion - mikä on paras nykyisistä kemiallisista järjestelmistä - tuottama voima ja nelinkertainen kiinteisiin polttoaineisiin verrattuna. Tällaisella 1 200 sekuntia kestäväällä impulssilla olisi mahdollista lisätä maasta kiertoradalle kuljetettavan lastin määrää 20 prosenttiin lähtöpainosta nykyisestä kahdesta prosentista. Lisäksi se mahdollistaisi "hävittäjäkoneoperaatiot avaruudessa", sanoi Robert Corley (ilmavoimien avaruuslaboratorion energian varastoinnin soveltavan tutkimuksen johtaja). "Avaruushävittäjä voisi kääntyä vastakkaiseen suuntaan kiertoradallaan ja myös nousta tai laskea 90 asteen kulmassa, jotka ovat mahdottomia liikkeitä kemiallisille raketeille."

Monimutkaisemmat moottorit voisivat käyttää kehittyneitä suprajohtavia magneetteja antihiukkasten pitämiseksi paikoillaan, jolloin polttoaine voitaisiin kuumentaa plasmaksi. Työntösuihku syntyisi tällöin päästämällä plasmaa magneettisesta suuttimesta. Ottamalla talteen prosessissa syntyvät gammasäteet ja ohjaamalla niiden energia takaisin reaktorikammioon, muutamilla antimateriamilligrammoilla voitaisiin tuottaa satojen tuhansien kilojen työntö kenties 20 000 sekunnin ajan. Corleyn mukaan "tämä skenaario mahdollistaisi kaikki kuviteltavat matkat aurinkokunnassa".

Eurooppalaiset ovat johtaneet maailman tiedeyhteisön antimateriatutkimusta tuottamalla antiprotoneita tehokkaissa hiukkaskiihdyttimissä. Euroopan hiukkastutkimuskeskuksessa (Cern) Genevessä on ollut käynnissä merkittävä antiprotoneiden säilytystä koskeva tutkimus. Neuvostoliitto suunnittelee parhaillaan laitosta, jolla voitaisiin tuottaa antiprotoneita huomattavasti nopeammin kuin Cernin kiihdyttimellä.

Yhdysvalloilla ei ole suurta hiukkaskiihdytintä, joka pystyisi hidastamaan antiprotoneita tarpeeksi varastoinnin tutkimiseksi, vaikka kolmen suuren laitoksen kiihdyttimet voitaisiin muuntaa tähän sopiviksi. Nykyisellä menetelmällä, jossa antiprotoneita säilytetään suurissa hiukkaskiihdytinrenkaissa maan alla, ei saada riittäviä tiheyksiä, jotta annihilaation työntövoimana käyttämistä voitaisiin tutkia.

Ilmavoimien tutkijoiden mielestä kiireellisintä alan kehittämiseksi on rakentaa amerikkalainen antiprotonilähde ja kehittää

tuotannossa, varastoinnissa ja käsittelyssä tarvittavia menetelmiä. Tällä hetkellä Cern on ainoa laitos, jossa voidaan vangita antihiukkasia tutkimusta varten, ja Sveitsin puolueettomuus estää heitä luovuttamasta antihiukkasia puolustukseen liittyvään tutkimukseen.

8. Avaruustiedemiehet tutkivat antimaterian ydintä

(New Scientist, 118 (1608), 14. huhtikuuta 1988)

Jeff Hecht

Yhdysvaltojen ilmavoimat ovat poimineet tieteiskirjallisuudesta ajatuksen rakettinsa lennättämisestä ulkoavaruuden uumeniin antimaterian avulla.

Ajatus ei kenties ole niin kaukaa haettu kuin miltä se kuulostaa. Vain 35 milligrammaa riittäisi nostamaan kiertoradalle esimerkiksi NASAn avaruussukkula. Säästöt polttoaineen painossa ja tilavuudessa olisivat valtavia.

Antimateria on tavallisen aineen peilikuva. Se muodostuu atomeja pienemmistä hiukkasista, joilla on päinvastaiset sähkömagneettiset varaukset kuin "materiaalla".

Jokaisen atomytimen olennaisella rakennusaineella, protonilla, on positiivinen varaus. Antiprotoneiden varaus on negatiivinen. Atomydintä hiukkasten ja aaltojen sekamuotoina kiertävillä pikkuruisilla elektroneilla on negatiivinen varaus. Positroneilla, jotka ovat niiden pareja antimateriaissa, taas on positiivinen varaus.

Kun antimateriahiukkanen tapaa tavallisen aineen hiukkasen, ne annihiloituvat ja vapauttavat samalla valtavan energiapurkauksen. Ilmavoimien tiedemiehet toivovat pystyvänsä rakentamaan moottoreita, joissa annihilaatioenergialla höyrystettävällä polttoaineella voitaisiin työntää raketteja eteenpäin. Nyt käytettävien rakettien polttoaineiden tilavuus ja paino rajoittavat avaruusmatkailua.

Antimateriaa ei vielä ole aineena olemassakaan. Fyysikot osaavat valmistaa antiprotoneita ja positroneja tehokkaissa hiukkaskiihdyttimissään. Euroopan hiukkastutkimuskeskuksessa (Cern) ollaan aloittamassa tutkimusohjelmaa, jossa yritetään valmistaa antivetyä antiprotoneista ja positroneista yhdistämällä ne magneettien muodostamassa "ioniloukussa". Vaikka vielä ei ole olemassa kuin jokunen hiukkaskiihdytin, mikä nostaa antimaterian tuotantokustannuksia ja vaikka antimaterian säilyttäminen on vaikeaa, koska se räjähtää niin helposti joutuessaan

kosketuksiin tavallisen aineen kanssa, Yhdysvaltojen ilmavoimat jatkaa ohjelmaansa antimaterian valjastamiseksi.

Tutkimusohjelma on vaatimatonta. Sitä johtavat yhdessä Edwardsin lentotukikohdassa Kaliforniassa sijaitseva ilmavoimien avaruuslaboratorio ja Washingtonissa päämajaansa pitävä ilmavoimien tieteellisen tutkimuksen toimisto. Antimaterian käyttö työntövoimana on yksi niistä 70 ajatuksesta, joita ilmavoimien Forecast II -projekti pitää lupaavina.

Robert Forward, äskettäin Kaliforniassa sijaitsevasta Hughesin tieteellisestä tutkimuslaitoksesta eläkkeelle siirtynyt fyysikko arvioi, että jokainen milligramma antimateriaa on kymmenen miljoonan dollarin arvoinen.

Robert Corley, joka johtaa antimateriaa työntövoimana tutkivia ilmavoimien avaruuslaboratorion projekteja, sanoo ilmavoimien keskittyvän ensin antiprotoneihin.

Tutkimusyksikön tiedemiehet pyrkivät kehittämään tapoja saada hitaampia ja matalampienergisii antiprotoneita, Corley sanoo. Fyysikot koettavat keksiä myös keinoja antiprotoneiden varastoimiseksi joko ioniloukuissa tai suprajohdattavien magneettien avulla.

Antimateria ei saa koskettaa loukun laitoja, koska silloin se räjähtää. "Et halua kävellä ympäriinsä tämä salkussasi", Corley sanoo. Vangitseminen edellyttää hiukkasilta sähkövaraus- ta, mutta koska samanmerkkiset hiukkaset torjuvat toisiaan, varastoitavan hiukkasjoukon koko on rajoitettu, hän lisää.

Turvallisuus ja suojautuminen ovat myös vakavia ongelmia. Annihilaatiossa syntyvät gammasäteet on muunnettava lämmöksi, jotta säteilyvaaralta vältetään. Rand-yhtymän Bruno Augensteinin tekemä yksi ehdotus on, että energia johdettaisiin vetykaasuun, joka täyttää volframista rakennetun mehiläiskennoa muistuttavan sokkelon.

9. Kysely antimateriateknologian mahdollisesta käytöstä sotilaallisiin tarkoituksiin ja fyysikoiden vastaukset kyselyyn

Jäljempänä on kysely, jonka lähetin 2. huhtikuuta vuonna 1987 29 tunnetulle fyysikolle länteen, itään ja etelään. Vastaajien joukossa on amerikkalaisia, neuvostoliittolaisia, kiinalaisia, argentiinalaisia, itävaltalaisia, suomalaisia, unkarilaisia, italialaisia, länsi-saksalaisia, israelilaisia, hollantilaisia, norjalaisia ja ruotsalaisia tiedemiehiä, jotka ovat toimineet Pugwash-konferenssin yhteydessä. Kaksi heistä on nobelisteja, kaksi aiemmin Manhattan-projektissa työskennellyttä fyysikkoa, kaksi aiempaa antimaterian tutkijaa, ja useimmat heistä ovat edelleen aktiivisesti perustutkimuksessa mukana. Vastaajien lukumäärä oli suuri: 29 kyselyyn saatiin 22 vastausta. Oli oireellista, että useimmat vastauksista palautettiin miltei heti vuoden 1987 huhtikuussa. Joitakin tuli vielä toukokuussa. Tätä voidaan pitää kiinnostuksen ja huolestuneisuuden osoituksena. Seuraavassa, kyselyn tekstin jälkeen, on otteita vastauksista.

9.1. Kysely

Lähetän ohessa André Gsponerin ja Jean-Pierre Hurnin La Recherche -lehdessä, Vol. 17, no. 182, 1986, julkaistun artikkelin "Les armes à antimatière", jossa käsitellään antimateriateknologian mahdollista sotilaallista käyttöä. Jos näin todella on, se synnyttää huolestuttavia näkymiä.

Kuten tiedätte, olen hyvin huolestunut tieteelliseen tutkimukseen perustuvan teknologian väärinkäytöstä sotilaallisiin tarkoituksiin ja aseteknologian merkityksestä asevarustelukilvan kiihdyttäjänä. Antimaterian käyttö sotilaallisiin tarkoituksiin - jos se on toteutettavissa - saattaa merkitä vallankumousta modernissa aseteknologiassa. Jos mahdollisuus on olemassa, ennaltachkäiseviin toimiin ryhtyminen olisi välttämätöntä.

Olin hyvin kiitollinen, jos voisit arvioida seuraavia antimateriaan liittyviä seikkoja:

a) Antimateriateknologian soveltaminen sotilaallisiin tarkoituksiin;

b) oletus, että viiden-seitsemän vuoden kuluttua sotilaallista antimateriateknologiaa voitaisiin käyttää uusien eksoottisten asejärjestelmien rakentamisessa hyväksi;

c) hypoteesi, jonka mukaan lähitulevaisuudessa ydinkokeet voitaisiin korvata antimateriateknologialla laboratorio-oloissa.

Odotan vastauksiasi.

Parhain terveisin.

9.2. Fyysikkojen vastaukset

(1) Voidaan esittää hyviä perusteluja sille väitteelle, että maailmankaikkeus olisi materia-antimateria -symmetrinen ja että annihilaatiolla olisi suuri merkitys maailmankaikkeuden kehityksessä - vaikka väitettä ei yleisesti hyväksytä.

(2) Yleisesti ollaan yhtä mieltä siitä, että aurinkokunnassamme ei ole antimateriaa.

(3) Merkittävien antimateriamäärien tuottaminen on äärimmäisen monimutkainen prosessi.

(4) Johtopäätöksenäni on se, että on hyvin epätodennäköistä, että antimaterialla olisi minkäänlaista sotilaallista merkitystä.

Kiitos kirjeestäsi 2.4. Voit rauhoittua mitä tulee antimateria-aseiden mahdollisuuteen. Kukaan ei ole vielä edes onnistunut tuottamaan antimateriaa. Vain yhden antimateriagramman tuottaminen Fermilabissa, jossa on yksi maailman suurimmista hiukkaskiihdyttimistä, veisi noin vuosisadan, jos kone kävisi täysillä koko ajan. Vaikka antimateriaa onnistuttaisiinkin tuottamaan, kenelläkään ei ole aavistustakaan siitä, miten sitä voitaisiin paketoita räjäyttämättä pakettia. Antimateria-aseet ovat kaheli ajatus, joka tulee esille silloin tällöin eri sotilaspiireissä, mutta siihen ei pidä suhtautua vakavasti.

Olen hyvin skeptinen antimaterian sotilaallisen hyödyllisyyden suhteen. Vaikka en olekaan asiantuntija, minusta ajatus sen

käyttämistä aseena on hölynpölyä. Antimateriaa, erityisesti positiivisia elektroneja (positroneja) ja negatiivisia vetyioneja (H- tavallisen H+:n sijasta) on tuotettu niin, että niiden elin-aika on hyvin lyhyt, ja tuotantoprosessi on paljon energiaa vaati-vaa. Olen varma, että niiden tuottamiseen tarvittava energia on paljon suurempi kuin se energia, minkä niistä saisi aseena. Luulen, että voidaan huoletta hylätä ajatus mahdollisista aseista.

Kiitos paljon kirjeestäsi 04/02/87 ja mukana olleesta Gsponerin ja Hurnin artikkelista.

En usko, että viiden-seitsemän vuoden kuluessa sotilaallista antimateriateknologiaa voidaan käyttää minkään uuden ase-
en rakentamisessa.

Huomaa, että kuvassa 1 on tosiasiaa lämpöydinase, jossa käytettävän tavallisen ydinräjähteen sytytyksellä on vain teke-
mistä antimaterian kanssa. Sen käyttäminen olisi paljon vaike-
ampaa kuin räjähteen sytytys pientä plutoniummäärää käyttä-
en.

Olemme varmasti vielä kaukana siitä, että antimateriatekno-
logiaa voitaisiin käyttää sotilaallisiin tarkoituksiin, ja vasta
paljon senkin jälkeen se olisi mahdollista vain kaikkien kehiti-
tyneimmille valtioille.

Mutta varmaankaan ei ole mitään tarvetta avata tätä mato-
purkkia. Cernissä tuotettuja antiprotoneita ei missään tapauk-
sessa voitaisi viedä Yhdysvaltoihin. Voisimme kyllä kuvitella
muutaman antiprotonin kuljettamisen teknisesti, mutta emme
poliittisesti.

Minusta Gsponer on kuvitelmissaan hyvin epäluotettava.
Lisäksi Randin Augenstein elää samanlaisessa haavemaailmassa.
On puhdasta mielikuvitusta väittää, että "Niin kauan kuin Eu-
roopassa (Sveitsin maaperällä) tuotettuja antiprotoneita voidaan
pullottaa ja tuoda Yhdysvaltoihin ... tuottamis- ja kokoamislai-
tosta ... ei tarvitsisi lähitulevaisuudessa rakentaa Yhdysvaltoi-
hin". On vain harvoja asioita, joiden parissa tehtävästä työstä
olen kieltäytynyt, mutta koska minusta Yhdysvalloille ei ole
mitään hyötyä antimateria-aseiden kehittämisestä, olen sanonut

eräälle hyvälle ystävälleni, että "mitä ei kannata tehdä lainkaan,
sitä ei kannata tehdä hyvin".

Mielestäni Gsponer-Hurnin kirje Naturelle 02/26/87 on nau-
rettava. "Myonien keräämisen ja jäädyttämisen" pitäisi tapah-
tua kahdessa mikrosekunnissa, ja siinä ajassa ei taatusti synny-
tetä minkäänlaista "erittäin tehokasta sädettä"...

Vastaukseni kysymyksiisi:

- a) Ei mahdollista toteuttaa ennustettavissa olevassa tulevaisuu-
dessa.
 - b) Väärin.
 - c) Naurettavaa.
-

Gsponerin ja Hurnin La Recherche -artikkeli pikemminkin hu-
vitti kuin huolestutti minua. Siinähan ei rehellisesti sanoen ole
mitään uutta lukuunottamatta annosta teknologista "optimismia"
joka menee kaiken järkevä ajattelun ulkopuolelle.

Tietysti tiedemiehenä olen oppinut, etten sano koskaan
"mahdotonta" tai "ei koskaan", vaikka ideat menisivätkin varsin
pitkälle, kunhan ne eivät riko mitään fysiikan peruslaeista. Sitä
Gsponerin ja Hurnin paperi ei tee. Mutta jos tarkastellaan
vakavasti hiukkasfysiikan alaa, olen vakuuttunut siitä, että
tuollaiset sovellukset ovat vähintään kolmen tai neljän vuosi-
kymmenen päässä, elleivät vieläkin kauempana. Siksi keskityn
mieluummin nykYTEknologian aiheuttamien katastrofien torjumi-
seen, jotka - kuten hyvin tiedät - eivät ole ollenkaan kaukai-
sia.

Luulen, että ennen pitkää jonkin asetutkimuslaitoksen "äly-
pää" ryhtyvät suunnittelemaan sellaisia mahdollisia laitteita.
Tuollaisista hankkeista varoitetaan varmasti tarpeeksi jo enna-
kolta; minä huolestun näistä ongelmista siinä vaiheessa, kun ne
ilmenevät (jos olen yhä mukana).

Oli hauskaa saada kirjeesi 2. huhtikuuta. Tohtori Gsponerin aiemmat selonteot eivät ole huvittaneet minua, ja lähettämäsi artikkeli herätti minussa samanlaisen reaktion.

Vaikkakin protoni-antiprotoni -annihilaatio onkin lopullinen tapa aineen muuttamiseksi energiaksi, minusta hänen pelkonsa ovat aivan katteettomia. Antiprotonien valmistamiseen ja kiihdyttämiseen tarvittavat laitokset ovat pienimmilläänkin pienten tehtaiden kokoisia. Ajatus antiprotonien "pullottamisesta" olisi villi tieteiskirjallisuudessaakin. Siksi en voi olla samaa mieltä Gsponerin kanssa siitä, että tätä teknologiaa voitaisiin käyttää liikuteltavien aseiden suunnittelussa. Tutkimusmäärärahoja hakevat tiedemiehet - ei vähiten Yhdysvalloissa puolustusministeriön tutkimusmäärärahoja hakevat - viittaavat apurahansa varmistukseen usein siihen, että heidän tutkimuksillaan on sotilaallisia sovelluksia. En ole kuullut kenenkään väittävän antimateria-sovelluksia mahdollisiksi, mutta... fyysikot ovat hyvin kekseliäitä, kun kyseessä on tutkimusmäärärahojen myöntäminen!

Ydinkokeista: On testattava sitä, mitä halutaan kehittää. Jos halutaan kehittää fuusioasetta tai kolmannen polven asetta, on kokeiltava juuri sillä, eikä näitä kokeita voi korvata antimateria-kokeilla. Minusta tämäkin väite on katteeton. On paljon tärkeämpiä ja kiireellisempiäkin asioita selvitettäväksi.

Kiitos kirjeestäsi 2. huhtikuuta ja mukana olleesta La Recherchen artikkelista.

Vastaan lyhyesti kysymyksiisi:

- Periaatteessa ei voi sulkea pois sitä mahdollisuutta, että antimateria-teknologialle yritetään keksiä tulevaisuudessa sotilaallisia sovelluksia.
- En kuitenkaan usko, että viidessä-seitsemässä vuodessa (eikä paljon pitemmässäkään ajassa) antimateria-teknologiaa voitaisiin käyttää uudentyypisten eksoottisten asejärjestelmien luomisessa;
- Hypoteesi, jonka mukaan ydinkokeet voitaisiin lähitulevaisuu-

dessä korvata laboratorioissa tehtävillä antimateria-kokeilla on mielestäni hyvin spekulatiivinen.

Kirjoitit mahdollisuudesta käyttää antimateria-teknologiaa sotilaallisiin tarkoituksiin. Tähän haluaisin ottaa kantaa. Mitkään tieteen tuottamista teknologisista edistysaskelista eivät tuota vain hyötyä ihmiskunnalle, vaan niitä voidaan käyttää myös sotilaallisiin tarkoituksiin, kuten esim. ydinvoimaa, laseria, röntgenlaseria jne. Hiukkasen ja sen antihiukkasen törmätessä vapautuu suuri määrä energiaa. Siksi on piilevä mahdollisuus, että antimateria-teknologiaa käytettäisiin myös sotilaallisiin tarkoituksiin. Mutta kuten tiedät, antihiukkasten valmistaminen vaatii paljon energiaa ja suuria, kalliita laitteita. Minun mielestäni sotilaalliset sovellukset ovat vasta kaukaisen tulevaisuuden asia. Niitä ei voida kehittää ainakaan vielä tällä vuosisadalla, eikä ydinkokeita voida täysin korvata laboratorioiden antimateria-teknologialla.

Suullinen vastaus kohtaan c):

Jos olisit kysynyt minulta kaksi vuotta sitten, onko mahdollista räjäyttää ydinpommi antimateria-teknologiaa käyttäen, olisin sanonut ajatuksen olevan täysin naurettavan. Nyt, luettuani Gsponerin artikkelin ja keskusteltuani hänen kanssaan, olen alkanut suhtautua tähän näkymään vakavasti.

Kiitos kirjeestäsi 2. huhtikuuta ja mukana olleesta artikkelista... Luin artikkelin suurella kiinnostuksella, koska olen itse seurannut tätä antiprotoni-annihilaatiotutkimusta monen vuoden ajan.

Artikkeli on tieteellisesti pätevä, mutta siitä saa yhdessä suhteessa väärän käsityksen: se antaa vaikutelman, että Cerniä voitaisiin käyttää amerikkalaisten sotilaallisen tutkimuksen salaamiseen. Cern on täysin kansainvälinen tutkimuslaitos. Kaik-

ki siellä tehtävä tutkimus on kokonaan julkista. Olen varma siitä, että sitä ei voida käyttää väärin sotilaallisiin tarkoituksiin. Tämänäyttypistä perustutkimusta ei voida lopettaa, vaikka se joskus, jossakin saattaisikin johtaa sotilaallisiin sovelluksiin... Perustutkimuksiin liittyvistä kokeista on pitkä, pitkä matka aseiden kehittämiseen.

Sitten kysymyksiä:

a) Teoreettisesti on täysin mahdollista soveltaa antimateriateknologiaa sotilaallisiin tarkoituksiin kaukaisessa tulevaisuudessa, ehkä 30-50 vuoden kuluttua. Antimateriatutkimus on vasta nyt aloittamassa kokeitaan kuten fuusiotutkimus teki 35 vuotta sitten, ja vie vielä ainakin 35 vuotta, ennen kuin merkittävä osa käyttämästämme sähköstä on tuotettu fuusioenergialla.

Juuri sotilaalliset sovellukset tulevat ensin, ehkä kymmenen vuotta ennen kuin muut sovellukset ovat mahdollisia. Antimateria tulee olemaan liian kallista sähköntuotantoon myös tulevaisuudessa.

b) Oletus, jonka mukaan antimateriateknologiaa voitaisiin käyttää viiden-seitsemän vuoden kuluessa uusiin asejärjestelmiin kuulostaa mielestäni aivan liian optimistiselta. Monet suomalaiset teoreettiset fyysikot, jotka ovat tämän alan asiantuntijoita, ovat samaa mieltä.

c) Kyllä, on mahdollista, että joitakin antimateriaalla laukaistavia ydinkokeita voidaan tehdä 5-10 vuoden kuluessa, mutta ne koskisivat vain niitä uusia, äärettömän kalliita asejärjestelmiä, joiden kehittäminen kestää paljon kauemmin.

Halvempia fissioon tai fuusioon perustuvia aseita on kokeiltava eri sytytysjärjestelmällä.

Ranskalainen artikkeli on muutoin varsin hyvä lukuunottamatta liian hälyyttävää kuvaa Cernin väärinkäytöstä.

Kiitos kirjeestäsi 2. helmikuuta ja mukana olleesta artikkelista.

Antimaterian sotilaallinen käyttö on teoreettinen mahdollisuus, josta on keskusteltu jo kauan. Toistaiseksi se on pelkkää tieteiskuvitelmaa. Jopa Cernin uuden laitoksen antimaterian tuotanto on kuusi suuruusluokkaa pienempi kuin mitä sotilaalli-

siin tarkoituksiin tarvittaisiin. Lisäksi tekniset ongelmat olisivat valtavia, koska pitäisi estää antimateriaa pääsemästä kosketuksiin tavallisen aineen kanssa aina aiottuun räjähdysketkeen saakka. Laboratorio-oloissa sen tekeminen on mahdollista sopivilla sähkömagneettisilla kentillä, mutta on vaikea kuvitella tällaista järjestelyä liikuteltavassa aseessa.

Joka tapauksessa olet oikeassa siinä, että tätä kehitystä on seurattava tarkasti. Olisihan "antimateriapommi" aivan uudenlainen ydinase fissio- ja fuusiopommien jälkeen. Tässä vaiheessa minusta näyttää kuitenkin ennenaikaiselta tehdä hälytystä. Sikäli kuin minä tiedän, kukaan ei ole tällaisen projektin kimppussa, ei edes Tähtien Sota -ohjelman parissa! Onneksi tekniset esteet ovat pitemmänkin ajan kuluessa ylittämättömiä. "Vanhan-aikaiset" ydinpommit ovat paljon halvempia. Jos jonakin päivänä toiveemme toteutuu ja ydinaseet kielletään, antimateriapommit tullaan kieltämään niiden mukana.

Olen lukenut antimateria-aseita käsittelevän artikkelin La Recherchestä. Se ei saanut minua vakuuttuneeksi. Luulenpa, että tähän kehitykseen liittyvät kysymykset kannattaa panna sinua huolestuttavien asioiden luettelon häntäpäähän.

Kiitos kirjeestäsi 2. huhtikuuta ja sen mukana tulleesta paperista.

Pidän melko varmana, että antimateriateknologia mahdollistaa lähtökohtaisesti nykyistä tehokkaampien ja vahingollisempien ydinaseiden tuotannon. En kuitenkaan todellakaan tiedä, paljonko aikaa tarvittaisiin tällaisen sotilaallisen teknologian kehittämiseen.

Uskon vakaasti tiedemiesten tajuavan antimateriateknologian vaarat ja heidän tekevän parhaansa kaikkialla maailmassa, jotta näiden tieteellisten saavutusten väärinkäyttö voitaisiin estää.

Minusta antiprotonien tuotanto, niiden säilyttäminen tarvittavissa matalissa lämpötiloissa, etteivät ne pakene mahdollisesta magneettipullosta ja luotettavien laitteiden rakentamiseen liittyvät ongelmat ovat hyvin vaativia.

Vastaankin kysymyksiisi näin:

- a) Fysiikan periaatteiden kannalta katsoen se on mahdollista.
- b) Jos sotilaalliset odotukset, kustannukset ja laitteiden valmistaminen ovat sotilaille vaivan arvoisia, luulen tarvittavan ainakin kymmenen vuotta, jotta saataisiin aikaan hyväksyttävissä oloissa toimiva käyttökelpoinen laite.
- c) Epäilen tätä. Kokeiden tarkoitus ei ole todentaa fysiikan ilmiöitä, vaan kalibroida instrumentteja tarkasti.

Kaiken kaikkiaan uskon, että kehitystä ja erityisesti näin vaativan hankkeen "kustannus-hyöty"-laskelmia on seurattava tarkasti. Ei kuitenkaan pidä olla ennenaikaisesti huolissaan siitä, että antimateriateknologia uhkaksi maailmaa vielä enemmän kuin muut maailmaa nykyisin uhkaavat tekijät.

Kiitos antimateriateknologian väärinkäyttöä käsitelleestä kirjeestäsi. Pelkään, että vastaukseni kohtiin a) ja c) on myönteinen. La Recherchen artikkelissa esitetyt väitteet osoittavat monin tavoin, että antimateriateknologia on lähes ihanteellinen väline uusien asejärjestelmien kehittämiseksi. Tämän mukaisesti pitäisi vastata myönteisesti myös kysymykseesi b). Karkeasti ottaen näyttää siltä, että antiprotonien nykyistä tuotantoa ja varastointia pitäisi lisätä tekijällä, jonka suuruusluokka olisi 10^7 , jotta tuotanto olisi tehokasta. Tämä kerroin on vieläkin melkoisen suuri. Minulla ei ole mahdollisuuksia varmistua "edistyneen" vauhdista tähän suuntaan.

Kiitos kirjeestäsi 2. huhtikuuta ja mukana olleesta antimateriateknologian sotilaallista käyttöä koskevasta lehtileikkeestä. Olemme tutkineet yhdessä ... ydinprojektin ja teknologiajaoston

kanssa artikkelia, johon viittasit, ja esitämme arvionamme seuraavaa:

Jaamme kanssasi huolen, että antimateriaa voitaisiin käyttää sotilaallisiin tarkoituksiin. Gsponerin ja Hurnin artikkelin perusteella on selvää, että kysymyksessä ei ole enää vain teoreettinen mahdollisuus, vaan pikemminkin konkreettinen uhka.

Ensin haluamme kuitenkin tehdä muutamia yleisiä huomautuksia rauhanomaisen käytön mahdollisuuksista, joita ei käsitellä yksityiskohtaisesti artikkelissa, mutta jotka ovat tärkeitä asiassa tehtävien päätösten suhteen. Periaatteessa, jos polttoainetta ei ole saatavissa, sen käyttäminen ei ole taloudellista, koska enemmän energiaa kuluu sen valmistamiseen kuin mitä sitä käytettäessä vapautuu. Energiaongelma ei rajoitu pelkästään valmistukseen, vaan myös varastointi kuluttaa energiaa. Näyttää siltä, että antiprotonien varastoiminen saattaisi osoittautua joissakin tapauksissa tehokkaaksi tavaksi varastoida energiaa, jota voitaisiin käyttää rauhanomaisissa sovelluksissa (kuten rauhanomaisten avaruushjelmien työntövoimana tai energianlähteenä). Kun tämä pidetään mielessä, en pidä mahdollisena pidettävä antimateriaan perustuvaa energiantutkimusta ja kehitystointia.

Mennäkseni kysymyksiisi, uskon, että tämän artikkelin vakuuttavien argumenttien perusteella voidaan vastata myönteisesti kysymykseesi a). Minusta todennäköisin sovellus olisi vetypommin syyttimen korvaaminen annihilaatiolaitteella. Tämä herättää tärkeän kysymyksen asevalvontasopimusten laajentamisesta niin, että fuusio otetaan mukaan.

On hyvin vaikea arvioida, voidaanko uusia eksoottisia asejärjestelmiä ryhtyä valmistamaan antimateriateknologian avulla viidessä-seitsemässä vuodessa. Se riippuu siitä, miten pitkälle salainen tutkimustyö on ehtinyt ja paljonko aikaa ja resursseja tähän asiaan uhrataan. Minun arvioni on se, että koska mainittua ajanjaksoa, jonka kuluessa uusia aseita olisi käytettävissä, ei voida torjuakaan, sitä voidaan käyttää sopivana "työhypoteesina".

Kolmanteen kysymykseesi sanoisin, että laboratoriokokeet eivät voi koskaan korvata täysin kenttäkokeita. Siksi Gsponerin ja Hurnin lausunto siitä, että laboratoriokokeiden mahdollisuus

"tekisi naurettaviksi kaikki yritykset hidastaa asevarustelukilpaa täydellisellä ydinkoekiellolla", on yliarviointia. Täydellinen ydinkoekiello olisi suuri edistysaskel, joka hidastaisi asevarustelukilpaa. Voimaltaan pienten ja keskisuurten räjäytysten laukaiseminen antimateriaalla on pidettävä mielessä, ja havainnointitekniikkaa parantamalla näitä "vuotoja" voitaisiin pitää helpommin kurissa.

Sain kirjeesi antimateriaan liittyvistä ongelmista. ... Fysiikan kannalta katsoen tässä artikkelissa ei ole mitään uutisia. Minusta se oli kuitenkin hyvin mielenkiintoinen. Ensinnäkin se oli sopivaan aikaan tullut huomautus muiden ihmisten ajatuksista fysiikan perustutkimuksen tulosten mahdollisista sovelluksista. Meillä fyysikoilla on usein tapana ajatella, että tutkimustuloksillamme ei ole käytännöllistä merkitystä eivätkä ne kiinnosta ketään. Uppoudumme työhömmme niin helposti. Toiseksi oli kiinnostavaa huomata, kuinka keskeinen asema Cernillä on tässä yhteydessä. Olivatpa tutkimushankkeet kuinka avoimia ja rauhanomaisia tahansa, sotilaspiirit ilmeisesti tarkkailevat niitä hyvin läheltä.

Vaikka nyt onkin vaikeaa uskoa, että antimateriaalla olisi merkitystä aseena tai polttoaineena parin seuraavan vuosikymmenen kuluessa, olisi naivia luulla, että siihen tähtäävä tutkimus loppuisi. Antimateriaa voitaisiin käyttää erityisesti tulevien avaruusmatkojen polttoaineena. Tämä on ala, johon käytetään huomattavia resursseja tulevien vuosien aikana. Ei ole yllättävää, että sotilaspiirit ovat kiinnostuneita tästä mahdollisuudesta, mutta surullista se on yhtä kaikki. Kun otetaan huomioon SDI ja muut tieteiskuvitelmat, joihin uhrataan miljardeja, on selvää, että antimateria on kiehtova mahdollisuus, jota voidaan käyttää hyväksi tehokkaasti vaikuttaessa poliittikkoihin budjettikysymyksissä.

En usko, että tässä nimenomaisessa asiassa on syytä kurittaa Cerniä. Vaikka Cernissä onkin kehitetty teknologiaa, jolla saatetaan olla tulevaisuudessa sotilaallista käyttöä, sama koskee paljoo muutakin nyky-yhteiskunnissa. Entä esimerkiksi tavanomainen

nykyaikainen luonnontieteiden yliopisto-opetus, joka mahdollistaa jatkuvasti nuorten vastavalmistuneiden ihmisten värväämisen sotilaallisiin huipputeknisten aseiden tutkimusprojekteihin? Nykyinen sotilassektori ei kykenisi toimimaan ilman yliopistoja ja tutkimuslaitoksia. On pyrittävä muuttamaan käsitystämme sodasta ja aseista konfliktien ratkaisukeinona eikä lopetettava meitä ympäröivän maailman tutkimista. Edellisen asian suhteen voimme tehdä itse jotain, jälkimmäinen auttaa meitä säilyttämään uskon parempaan tulevaisuuteen.

La Recherchen artikkelin (marraskuu 1986, s. 1440-1443) johdosta:

- s. 1442:2; Jos antivetyypallon eristäminen riippuu magneettikentän synnyttävästä heliumilla jäähdytettävästä suprajohtavasta magneetista, sellaisten aseiden lataamiseen ja kuljettamiseen näyttää liittyvän merkittäviä turvallisuusriskejä.

- s. 1442:3; Suurenerginen varausvirta saattaa "liikuttaa" generaattoria, mutta vain lyhyen aikaa? Tässä tarkoitettaneen sitä, että sitä voidaan käyttää pikemminkin käynnistämisessä kuin käyttämisessä. Ulkoavaruudessa voitaisiin - ehkä - käyttää pienempiä virranvoimakkuuksia, jotka olisivat kiinnostavampia ja kestävämpiä.

- s. 1443; Peruslinja on kestävä - sotilaallinen tutkimus on aivan ilmeisesti keskeinen ja tässä hyvin käsitelty ongelma.

Kiitos kirjeestäsi 2. huhtikuuta 1987. Luin kiinnostuksella mukaan liittämäsi Gsponerin ja Hurnin artikkelin. En ole kuitenkaan erityisen huolestunut heidän johtopäätöksistään.

Olen samaa mieltä siitä, että useiden vuosien kuluttua on teknisesti mahdollista kuljettaa hyvin hitaita antiprotonia, joten sotilaallista käyttöä ei voida sulkea pois. Vaikka uskotaisiinkin, että yksi mikrogramma antimateriaa riittäisi vetypommin räjäyttämiseen, on vaikeaa nähdä, miksi tällaisen neutronipommin "huippupuhtaus" oikeuttaisi tarvittavien valtavien

investointien tekemisen. Aseissa käytettävää fissioituvaa materiaalia on saatavilla yllin kyllin, ja se on käytännöllisesti katsoen ilmaista verrattuna antiprotoneihin. Epäilen myös, että antiprotonien jäädyttämisprosessissa ja niiden pyydystämisessä magneettisiin säiliöihin syntyy huomattavaa hävikkiä.

Mitä tulee eksoottisiin asejärjestelmiin, en usko SDI-ohjelman onnistumiseen, käytettiinpä siinä antiprotoniaseita tai ei.

Kirjeesi artikkeleineen aiheutti minussa sellaisen tunteen, että jos olisi mahdollista, valitsisin kuulumisen johonkin muuhun lajiin kuin ihmisrotuun.

Ei ole paljoa, mitä voisin sanoa jollakin varmuudella. Tässä on se, mitä voin sanoa:

1. Jos on pienimpiäkään mahdollisuuksia, että jotain tekniikkaa voidaan soveltaa ihmisten tappamiseen, kaikki sen alan ammattilaiset tekevät parhaansa, jotta niin tapahtuisi.

2. Ammatilliset järjestöt eivät taatusti kannata sotilaallisen tutkimuksen rajoittamista millään tavalla. Eurooppalaisten fyysikkojen virallinen järjestö, Euroopan fyysikkoseura, on vastustanut ankarasti ja tuloksellisesti kaikkia keskustelua niinkin vaatimattomista ehdotuksista, kuin että fyysikkoja pyydetäisiin välttämään aseiden kehittämistä.

Asiaa on mahdollista lähestyä myös poliittisesti. Vaikka olenkin sitä mieltä, että kaikki antimaterian sovellukset kuuluvat vielä tieteistarinoihin, asia ei ole merkityksetön. Syynä on se, että etääntyminen rehellisestä tieteellisestä työstä, vaikka se olisikin merkitykseltään vain neulan etsimistä heinäsuovasta, on kallista ja demoralisoivaa. Siksi ehdotankin fyysikoista ja muista ihmisistä kootun paneelin järjestämistä pohtimaan sitä, voitaisiinko Cernin johtoa painostaa poliittisin (s.o. taloudellisin) keinoin. Voitaisiin vaatia esimerkiksi kaiken antimaterian luovuttamisen kieltoa, ellei vastaanottava laitos lupaa, ettei antimateriaa käytetä sotilaalliseen tutkimukseen.

Jos tämä ehdotus synnyttäisi vastalauseiden myrskyn siksi, että se on naurettava ajatus, voisi silloin vastata, että tällöinhän kiellosta ei ole mitään haittaakaan. Jos toisaalta joistakin

asesovelluksista tulisi käyttökelpoisia ja jokin laitos salaa välittäisi edelleen Cernistä saamaansa materiaalia, asialle ei voisi tehdä yhtään mitään.

En usko, että yksikään artikkelissa mainituista asioista on käytännössä toteuttamiskelpoinen, mutta kuten edellä sanoin, se on oivallinen tilaisuus testata eurooppalaisten fyysikkojen periaatteita.

Tässä kirjeesi herättämät ensimmäiset ajatukset antimaterian sotilaallisesta käytöstä:

Omat arvioni ovat seuraavat (huolimatta La Recherchen artikkelista):

a) Antimateriateknologian käyttö sotilaallisiin tarkoituksiin näyttää minusta olevan lähellä tieteiskirjallisuutta.

b) En usko, että antimateriatutkimuksen seurauksena syntyy uusia eksoottisia aseita lähimmän kymmenen vuoden aikana.

c) Ydinkokeita ei voida korvata lähiaikoina kokeilla, joissa käytetään antimateriaa laboratorio-oloissa.

Lisähuomautus:

Voidaan kuvitella, että lämpöydinketjureaktio onnistutaan käynnistämään keskittämällä hyvin voimakas lasersäde tai hiukkassuihku tai antihiukkassuihku (protoneita, antiprotonia tai elektroneja), minkä tuloksena syntyisi joko kontrolloitu fuusio tai lämpöydinräjähdys. Se vaatisi kuitenkin todennäköisesti täynnä laitteita olevaa tutkimuslaitosta, joka ei ole sovelias kooltaan pienen sotilaallisen pommin kehittämiseen.

Kaikki edellä olevat huomautukset ovat ensimmäisiä ajatuksia. Rutherford ilmoitti - noin vuonna 1932 - odottavansa, että ydinfysiikka ei synnyttäisi koskaan mitään käyttökelpoisia sovelluksia. Vuonna 1945 meillä oli atomipommi. Olkaamme siis varovaisia.

10. Johtopäätös: Antimateriateknologian tutkimuksen suhteen on syytä olla varuillaan

Kuten edellä olevien fyysikkojen lausunnoista voi havaita, enemmistö heistä suhtautuu epäillen antimateriateknologian käyttökelpoisuuteen lähitulevaisuudessa, mutta harvemmat pitkällä tähtäimellä. Yksikään heistä ei kiistä teoreettisten oletusten paikkansapitävyyttä. Heidän epäilynsä liittyvät vielä ratkaisemattomiin teknisiin ongelmiin, hankkeen suunnattomiin kustannuksiin ja siihen, että antimaterian tuottamiseen tarvittava energia luultavasti on suurempi kuin annihilaatiosta saatava.

Näin jälkeinpäin ajatellen minun on syytä myöntää, että kysymysten muotoilussa ja liitteen kielenkäytössä oli epätarkkuuksia. Ensinnäkin on mahdollista, että kaikkien vastaanottajien ranskan kielen taito ei ollut riittävä La Recherchen artikkelin tutkimiseen (mikä saattaa selittää joidenkin vastausten puuttumisenkin); kun lähetin kyselyni, minulla ei ollut hallussani englanninkielistä käännöstä. Toiseksi, mikä on tärkeämpää, olin tuolloin erityisen paljon tekemisissä sen kanssa, että antimateriaa voitaisiin käyttää ydinaseiden räjäyttämiseen ja kiertää siten täydellistä ydinkoekieltoa korvaamalla ydinkokeet laboratorioissa tehtävillä antimateriakokeilla (ks. artikkelini "Kohti täydellistä ydinkoekieltoa", Journal of Peace Research, Vol. 25, No. 1, 1988). Olen saattanut painottaa liikaa antimateriateknologian lähiajan käyttöä ja liian vähän pitkän aikavälin näkymiä.

Vastaukset kuitenkin tulivat nopeasti, ja ne olivat paljastavia. On merkillepantavaa, että antimateriateknologian mahdollisuuksia koskevat argumentit muistuttavat melkoisesti niitä arvioita, joita 1930-luvulla esitettiin ydinvoiman käytön mahdollisuuksista. Tässä suhteessa on oireellista, että yksi vastaajista viittaa Ernest Rutherfordin lausuntoon vuodelta 1932, jolloin Rutherford ilmoitti odottavansa "että ydinfysiikka ei synnyttäisi koskaan mitään käytännön sovelluksia". Tarkka sanamuoto Rutherfordin syyskuussa 1933 pitämässä alustuksessa oli Timesin mukaan, että "jokainen, joka etsii voimanlähdettä atomien muuntamisesta energiaksi, puhuu roskaa".¹ Rutherford oli suuri brittiläinen ydinfysiikko ja Nobelin palkinnon saaja, joka laski perustan myöhemmän ydinfysiikan kehitykselle tutkimalla radio-

aktiivisuutta, löytämällä alfahiukkasen ja kehittämällä ydinteoriaa atomin rakenteesta.

Tähän liittyen Edward Teller muistaa, että Rutherford piti naurettavina Leo Szillardin ajatuksia ja käsityksiä. Szillard esitti ensimmäisenä ajatuksen atomienergian käytännöllisestä hyödyntämisestä. Sitä epäilivät silloin sellaisetkin auktoriteetit kuin Niels Bohr ja Enrico Fermi, molemmat nobelisteja ja ydin-aikakauden pääarkkitehteja.² Teller kirjoittaa kuunnelleensa Rutherfordia vuonna 1935:

"Hän kuulosti raivostuneelta ja närkästyneeltä puhuesaan ehdotuksista, joiden mukaan atomiytimen suuren energiamäärän voisi valjastaa hyötykäyttöön. Hän tuomitsi siihen uskovat suurina hölmöinä, koska atomin sisuksissa olevaa energiaa suojelee voimakas positiivisesti varautuneiden ydinten sähköinen hylkiminen."³

Olkaamme siis, kuten yksi vastaajista ehdotti, varovaisia arvioissamme. Meidän on ensinnäkin pidettävä mielessämme nykyiseen tieteelliseen tutkimukseen perustuvan sotilasteknologiaan ja sen sisältöön liittyvä opetus: aina, kun sotilaallinen tutkimus- ja kehitystyö on osoittanut uusien aseiden teknologiset mahdollisuudet, mikään voima ei ole pystynyt estämään niiden valmistamista ja käyttöönottoa, vaikka niiden vaarallisista seurauksista olisikin oltu tietoisia. Tämä merkitsee sitä, että uusien asejärjestelmien kehittämistä on mahdollista hillitä ennen kaikkea siinä vaiheessa, kun sotilaallinen tutkimus- ja kehitystyö on käynnissä. Kun otetaan huomioon uusien aseiden käyttöönoton vaatima pitkä aika, kenties juuri nyt - ponnistelujen antimateriateknologian sotilaalliseksi hyödyntämiseksi vasta alkaessa - antimateriatutkimus voitaisiin saada aisoihin. Antimateriateknologia ennakoii asevarustelukilvan uutta laadullista hyppäystä, jonka seurauksia ei voida ennustaa. Tiedeyhteisön, poliitikkojen ja julkisen mielipiteen on syytä olla varuillaan.

Viitteet:

1. Richard Rhodes, The Making of the Atomic Bomb (London, Simon & Schuster, 1986), s. 27.

2. Edward Teller, *Better a Shield than a Sword* (New York, Macmillan, The Free Press, 1987), s. VIII.

3. Sama, s. 45. Tähän voidaan lisätä se, että kun Rutherford itse aloitteli opettajan uraansa McGillin yliopistossa Kanadassa, hänen kemianprofessorinsa julisti hänet typeryiseksi, koska Rutherford väitti radioaktiivisen prosessin muuttavan alkuaineen toiseksi alkuaineeksi.

Aseidenriisuntavihkot

1. Unto Vesa: Yhdistyneet kansakunnat ja aseidenriisunta
2. Kari Möttölä: Ydinaseiden leviämisen torjuminen — ydinsulkusopimuksen vahvistaminen
3. Folke Sundman: Neutronipommi
4. SIPRI: Maailman aseistautuminen
5. Allan Rosas: Sodan oikeussäännöt
6. Jorma K Miettinen: Euroopan asevoimien supistaminen
7. Raimo Väyrynen: Risteilyohjus
8. Osmo Apunen: Voimakeinoista pidättäytyminen
9. Keijo Korhonen: Ydinaseettomat vyöhykkeet
10. Louna Pirilä: Kemiaallinen ase ja sen kieltäminen
11. Reijo Lindroos: Viholliskuvat. Raymond L. Garthoff: 10 virhepäätelmää
12. Pekka Sivonen: Deterrenssi
13. SIPRI: Aseita ja aseidenriisuntaa
14. Pertti Joenniemi: MX-superohjus
15. SIPRI: Maailma aseistautuu
16. Ydinsota Euroopassa
17. Atomipommituksen pitkäaikaisvaikutukset
18. Alva Myrdal: Ydinaseeton Eurooppa
19. Sean MacBride: Vapauden vaatimus
20. Randall Forsberg: Ydinaseiden jäädytys
21. Pohjoismaiset rauhanjärjestöt: Ydinaseeton Pohjola
22. Ruth Leger Sivard: Maailman sosiaali- ja sotilasmenot
23. Hibakushat kertovat— Atomipommituksen uhrien kirjoituksia
24. Vilho Harle: Unilateralismi
25. Allan Rosas: Ydinaseet ja oikeus
26. Ilkka Taipale: Rauhankirjallisuuden bibliografia
27. Peter van den Dungen: Rauhanmuseot
28. Tord Høivik ja Solveig Aas: Costa Rica — maa ilman armeijaa
29. Greenpeace: Meristäkö maailman asevarasto
30. YK:n ympäristöohjelma UNEP: Sodan räjähtävät jätteet
31. Marek Thee (toim.): Antimateria-aseet

Tilausosoite: Suomen Rauhanliitto-YK-yhdistys ry.
Rauhanasema, Veturitori
00520 Helsinki, puh. 90/141 314