

FUSIOA; ENERGI ITURRI AGORTEZINA

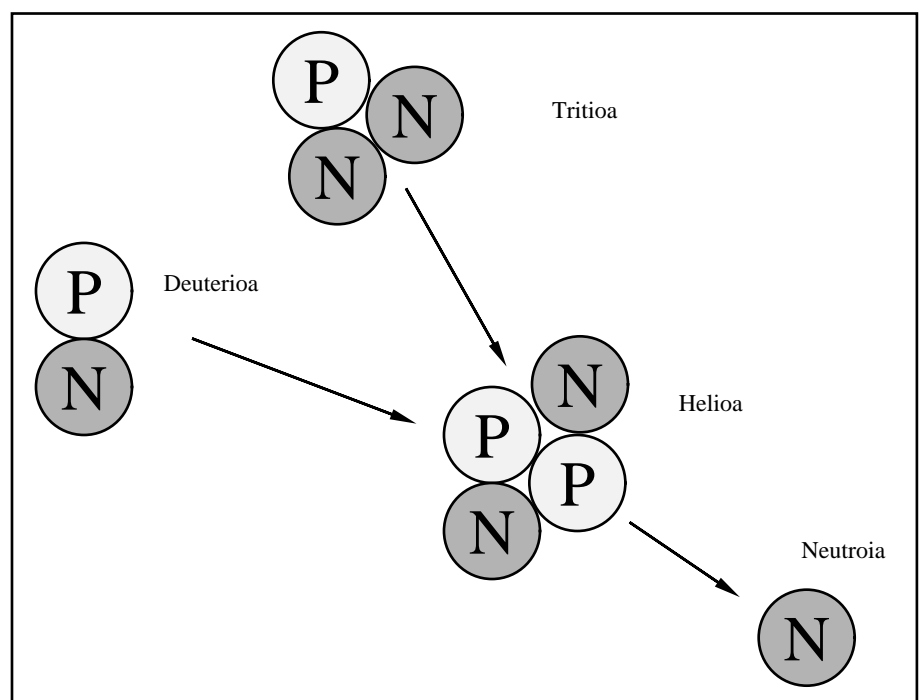
Jose Antonio Legarreta

Gizakiok aspalditik jasaten ari garen energi premia dela eta, zientzilariren batek energi iturri agortezinik lortuko balu, bere izena (Gizateriak dirauen bitartean) ez litzateke sekula ere ahaztuko. Gaur egun zenbait energi iturri (energia geotermikoa, hidraulikoa, eguzkitikoa, nuklearra,...) ikertzen ari badira ere, zientzilaria gehienen helburua fusio-erreakzioetan sortzen den energia ikaragarria menderatzea da. Azken batean, unibertsoaren gakoa izarren barnean gertatzen diren fusio-prozesuetan datza.

Fusio nuklearra bi nukleo arin batuz nukleo astunago bat sortzeko prozesua da, energi kantitate handia askatzen delarik. Hauxe da ezagutzen ditugun energi iturri guztietatik energi kantitate handiena ematen duena.

Energi kantitate ikaragarri hori erreakzioan suertatzen den masa-galera dela bide sortzen da. Baina, zer

SUTASUN-PUNTUA. Hidrogenoaren tritio eta deuterio isotopoen nukleoak konprimatuz, beren fusioa lortzen da. Beronen ondorioz, helio-nukleo bat, neutroi libre bat eta energi kantitate handia ateratzen dira. Ondorengo orriko irudiak erakusten duenez, kanpoko presioa etengabea izatekotan neutroi libreak beste nukleo batzuen kontra talka egiten du, fusionaraztea lortuz.

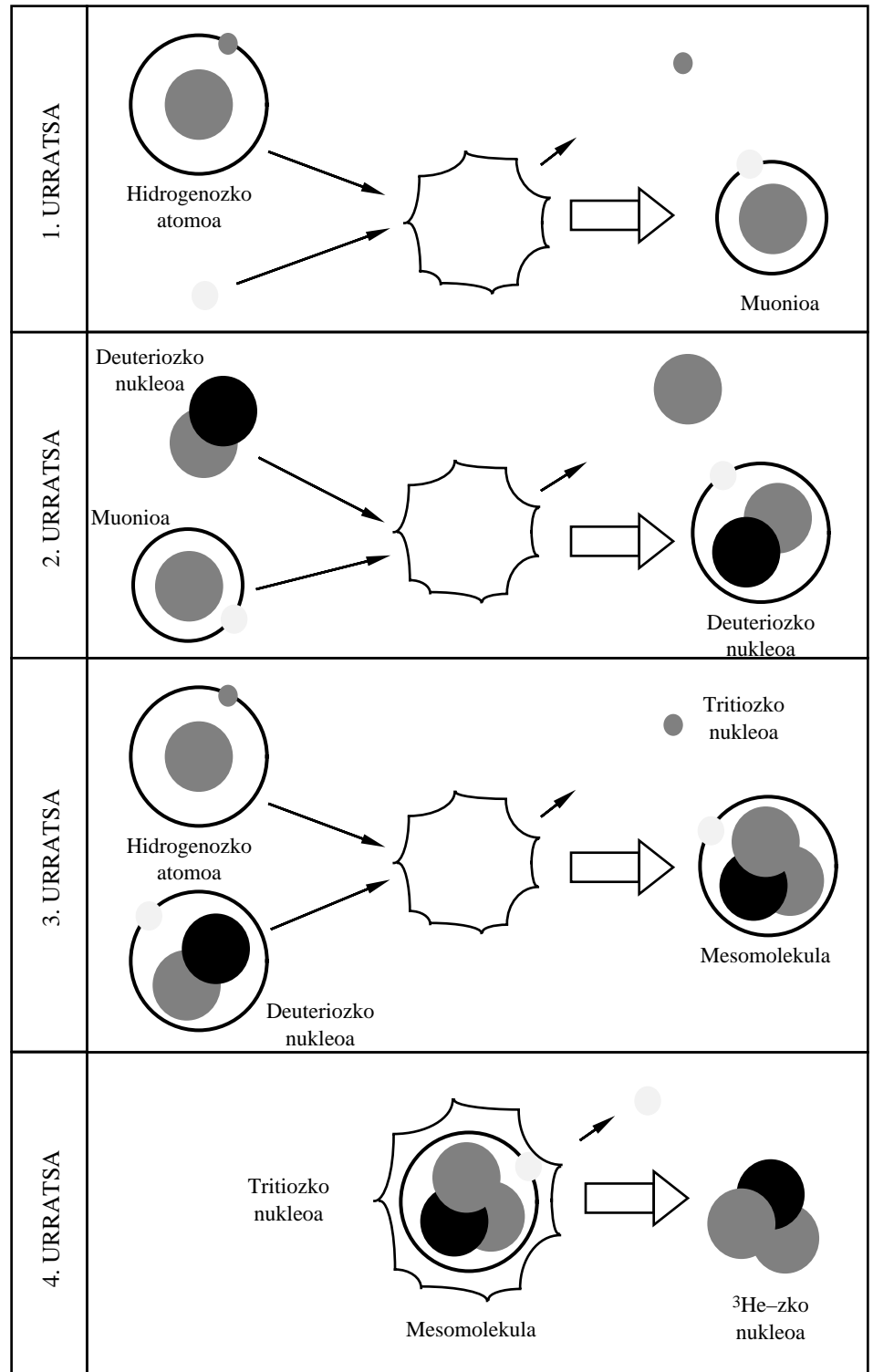


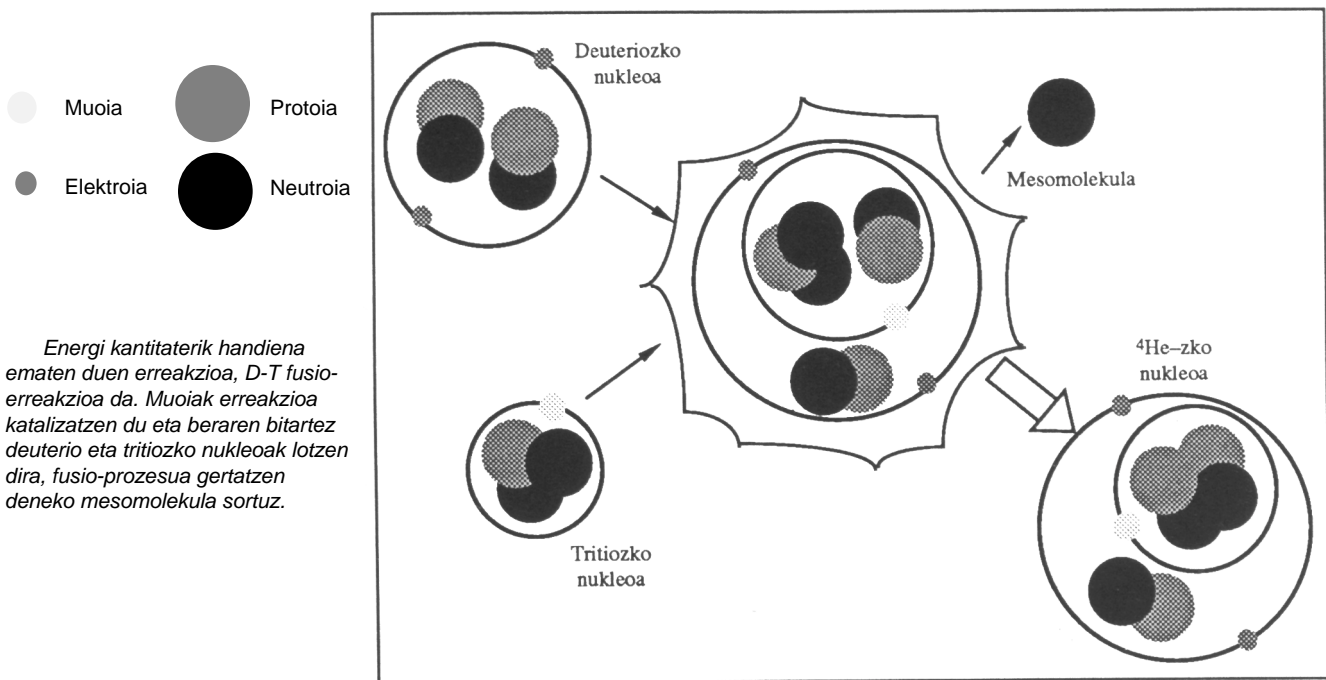
kina denez, atomoaren erradioa masurekiko alderantziz proportzionala da. Beraz, muoidun hidrogenozko atomoa elektroiduna baino 200en bat aldiz barnebilduagoa litzateke eta

muoia nukleotik askoz hurbilago legoke. Beronen ondorioz, muoiak nukleoaren karga positiboa mozortu egiten du eta nukleo honen eta beste nukleoren baten arteko indar

aldaratzaillea intentsitate txikiagokoa bide da, langa elektrostatikoa aiseago gainditua delarik. Beraz, ez dugu tenperatura nuklear handietaraino berotu beharrik.

Irudi honetan F. C. FRANKek adierazitako fusio-prozesuaren lau urratsak azaltzen dira





Metodo honek fisiogintzan aurrerapauso handia dakarren arren, ez dugu arazo guztiak garbitu ditugunik pentsatu behar. Egia esan, orain arte aipatutako guzita teoria baino ez da eta praktikara eramatekotan teknologi arazoei irtenbideak eman beharko zaizkie.

Ikus dezagun F.C. Frank-ek muoi bidez katalizatutako fusio-erreakzioa nola azaldu zuten. Frankek garaturiko fusio-prozesua, ondoko lau urratsotan gertatzen da:

1. urratsa: Muoiak hidrogeno-atomoaren elektroia bere orbitatik egotzi egiten du, muoidun hidrogenoa sortuz.

2. urratsa: Muoidun hidrogeno-atomoaren inguruan deuterio edo tritiozko nukleorik egonez gero, muoia hidrogenotik deuterio edo tritioa pasatuko litzateke, zeren muoiak nukleo pisutsuagoaren inguruan grabitatzean energia txikiagoko orbitalean egongo bait litzateke. Gogora dezagun termodinamikaren arabera sistema fisiko guztiek, eta gure kasuan muoiak, energiari txikieneko egoerara edo mailara jotzen dutela. Beraz, muoidun deuterioa lortu dugu.

3. urratsa:

Muoia bere oraingo nukleotik oso hurbil dagoenez, bere karga negatiboak nukleoaren karga positiboa matorrotu egiten du, indar aldaratzaile elektrostatikoa gainditzeko erraztasun handiagoa egoten delarik. Orduan, muoidun deuterioak eta inguruko hidrogeno-atomoaren batek elkarren kontrako talka egin lezakete. Talkaren ondorioz, hidrogeno-atomoaren elektroia muoiak egotzia izango litzateke eta muoiaren bidez deuterioa eta protoia elkartuko lirateke, mesomolekula eraturaz.

Bi nukleok elkarrengandik oso hurbil daudenez eta bibratzen ari direnez, langa elektrostatikoa gainditu eta fusionatzeko aukera ezinhobean daude.

4. urratsa:

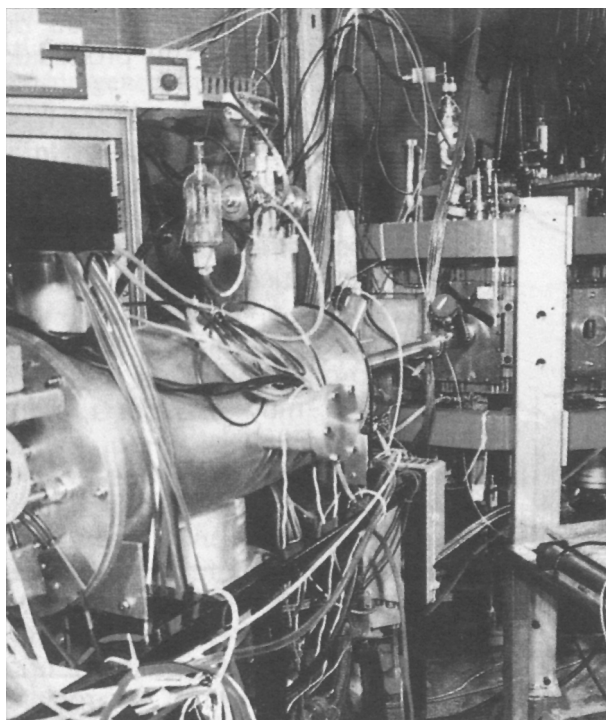
Frankek irudikatutako azken urrats honetan muoia desagertu egingo litzateke, desintegrazioz edo nukleoaren absortzioz, eta ^3He -zko nukleoa sortuko litzateke. Beraz, fusioa burutu egin da.

Frankek egindako kalkuluen arabera, azaldutako erreakzio-multzoa 10^{-12} s-tan gertatzen da. Muoiaren batezbesteko bizitza $2,2 \cdot 10^{-6}$ s-koa denez, prozesua burutu daiteke, muoia

desagertu aurretik fusioa gertatzen da eta.

Guzti hau plazaratu zenean, asmakeriatzat hartu zuten. 1956.era arte teoria honek ez zituen bere lehenengo oinarri esperimentalak izan. Berkeley-ko zientzilari-talde batek (LUIS ALVAREZ fisikariaren zuzendaritzapean) kaio izeneko partikulen ezaugarriak ikertzen ziharduelarik, aipaturiko oinarri esperimentalak burbuila-ganbaran suertatu ziren. Esan dezagun burbuila-ganbara Fisika Nuklearrean erabiltzen den partikula-detektatzailea dela. Burbuila-ganbara 1952.ean D. A. GLASERek eta L. ALVAREZek sortua da. Ganbarara bere irakite-puntuaren inguruko tenperatura duen likidoa sartzen da. Likidoaren gaineko presioa txikiagotzean beraren irakite-tenperatura jaitsi egiten da. Presioa nahikoa txikiagotuz gero, irakite-tenperatura likidoarena baino txikiagoa izatea lortuko dugu, likidoa gainberotze-egoerara eramango dugularik. Likidoa gainberotze-egoeran dagoela, lurrinkorra da eta lurrintze-zentrurik izatekotan (partikula solidoak edo ioiak, esaterako) lurrindu egiten da. Beraz, baldintza hauetan partikula ionizatzaileek likidoa zeharkatzen badute, ioien inguru-

Gaur egun fusio-saioak burutzen diren laborategietako ikerlariak oso tresna aurreratuak darabiltzate



ruan gas-burbuilak sortuko dira. Gas-burbuilek partikularen ibilbidea erakutsiko lukete eta ibilbidearen kurbadura neurtuz, partikulak identifikatu eta zein energiatakoak izan diren esan daiteke. Luis Alvarez-ek hidrogeno likidoa erabili zuen eta gainberotze-egoeraraino eraman zuen. Ondoren, kaioi-sorta bat burbuila-ganbarako hidrogeno likidoan zehar pasarazi zuen eta ioien ibilbidean kurbadura neurtuz, kaoiez gain muoiak identifikatu zituen. Gogora dezagun kaioak partikula eze-gonkorrak direla eta beren deskonposaketaren ondorioz, besteak beste, muoiak sortzen direla. Bestalde, ganbarako hidrogenoak deuterioa zuen 1/50.000-eko proportzioan. Hona hemen, beraz, Frankek irudikatutako fusio-prozesua gerta dadin bete behar diren baldintzak. Franken fusio-prozesurako baldintzak, azareak bildu bide zituen.

Baina, deuterio eta tritioaren arteko fusio-erreakzioak energi kantitate handiagoa ematen duenez, zientzialariek Franken metodoa D-T erreakziorako erabil zitekeela proposatu zuten.

L.I. PONOMAREV eta S.S. GERSTEIN ikerlari sobietarrek D-T erreakzioa hurrengo erara kataliza-

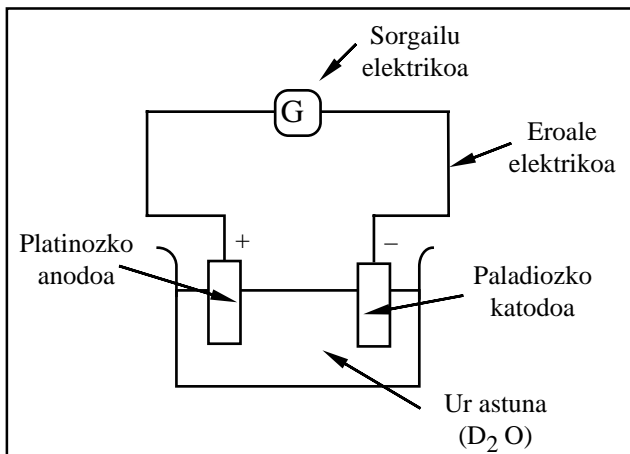
zitekeela proposatu zuten: hasieran, muoia tritiozko nukleoari atxekitzen zaio. Muoidun tritioa deuterio-molekularen batetik hurbil egonez gero, supermolekularen antzeko bat eratu-ko litzateke, zeinean deuterioa eta tritioa muoiaz lotuta bait leudeke.

Mesomolekularen barruan gertatzen da fusioa, lehenago deskribatutako prozesuaren antzera, baina badago desberdintasun nabari bat: kasu honetan mesomolekula azkarrago eraten denez, fusioa azkarrago gertatzen da. Jarraian, deskribatutako prozesuaren egingarritasuna aztertu zuten sobietarrek eta egin zituzten kalkuluen arabera muoia desintegratu aurretik, 100 erreakzio baino gehiago katalizatuak izan zitezkeela fro-

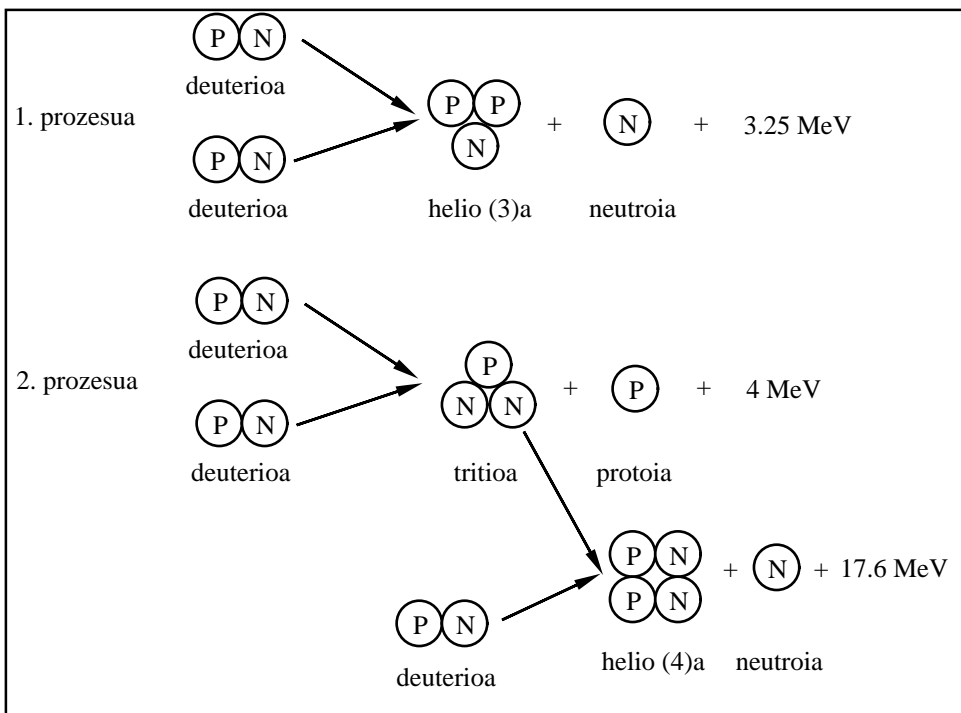
gatu zuten. Egindako kalkulu teori-koen arabera, muoi bidezko fusio-prozesua burutzea posible zela ikusita, ikerlariak prozesuaren energi errentagarritasuna aztertzeari ekin zioten.

1983.ean Steven Jones-ek eta bere ikertaldeekideek egindako esperimentuetan muoiko 80 D-T fusio-erreakzio neurtu zituzten. Kopuru ona izanik ere, energi errentagarritasunaren ikuspegitik oso txikia zen; prozesuan gastatutako energia lortutakoa baino handiagoa bait zen. Muoia lortzeko bide batzuk dauden arren, pioi izeneko partikularen desintegrazioz lortu ohi dira, metodorik errentagarriena eta onena da eta. Pioiak nukleoien arteko talken ondorioz sortzen dira, gehienetan karbono-nukleoien eta protoien artekoak erabiltzen direlarik. Esan dezagun azaldutako muoiaren lorbidean 5 GeV-eko energi kantitatea behar dela eta Steven Jonesek bere esperimentuetan muoiko neurtutako 80 D-T fusio-erreakzioetatik 1,4 GeV-eko energi kantitatea lor daitekeela. Beraz, muoiko 300 edo 400 fusio-erreakziok gertatu behar lukete, prozesua errentagarri izan ledin. Hona hemen lehia!

Izan ere, fisikariek saioak hobetzeko premia ikusi zuten. Idaho-ko Unibertsitateko fisikariek egindako saioetan, muoiko 170 fusio lortuak dituzte eta halako bi lortuko dituztelakoan daude. Gainera, fisikari teorikoek oso emaitza onak iragarri dituzte, eta esperimentuak zein teknika hobetuz, muoiko 10^3 fusio-erreakzio



Irudian agertzen den bezain tresneria sinplea erabili omen dute S. Ponsel eta M. Fleischmanek beren fusio-saioa burutzeko



2. prozesuaren lehenengo erreakzioan 4 MeV-eko energia askatzen da eta bigarrenarenean, aldiz, 3,25 MeV-ekoa. Beraz, energi balantzearen ikuspegitik bigarren prozesua izango litzateke suertatzeko probabilitaterik handiena duena; energi kantitaterik handiena sortzen duena bait da. Dena dela, maiatzera arte itxaron beharko dugu, Pons, eta Fleischmann-en esperimenduaren zehaztasunak jakin arte; bi prozesuotatik zein gertatzen den jakiteko alegia.

lor litezkeela esaten dute. Bestalde, muoiak energi kostu txikiagoz lortzeko metodoak ikertzen hasiak dira.

FUSIO HOTZA LORTUA?

Iragarpen hauen aurrean fusio-gintzan aritzen diren beste ikerlari batzuk adorez bete dira eta gogor ekin diete beren fusio-saioei. Ikerhelburuak giro-tenperaturaren burututako fusio-prozesuan, hau da, gaur egun fusio hotza izenaz ezagutzen denekoan, daude. Izan ere, STANLEY PONSek eta MARTIN FLEISCHMANNek aurtengo martxoaren 23an Estatu Batuetako Utah-ko Unibertsitatean egindako prentsaurrekoan, berriki burutua duten fusio-prozesuaren berri eman zuten. Ikerlari hauek esperimendua 27°C-ko tenperaturan burutu zuten, eta paladio eta platinoko elektodoak erabiliz, ur astunez (D₂O) betetako upela elektrolitikoan deuterio-atomoen fusioa lortua zutela adierazi zuten. Prentsaurrekoan ez zuten zehaztasun handirik eman eta emaitzak "Nature" aldizkariaren aurtengo maiatzaren alean argitaratuko zirela esan zuten. Osteko astean Steven Jones-ek Estatu Batuetako Columbia-ko Unibertsitatean

eskaintako hitzaldian fusio hotzaren arloan egin dituen azkeneko esperimenduaren berri eman zuen eta azaldu zuenaren arabera bere emaitzak S. Pons eta M. Fleischmann-enak baino fidagarriagoak dira, energi kantitate txikiagoa lortu arren. Gogora dezagun Steven Jones-ek azken 5 urteok fusio hotzaren ikerkuntzan eman dituela. Beronen emaitzak ere "Nature" aldizkarian plazaratuko omen dira. Beraz, maiatzera arte itxaron egin beharko dugu. S. Pons eta M. Fleischmann-ek azken 40 urteotan fusiogintzan ihardun dira, hidrogeno-fusioa lortu nahiz. Hiru ikerlariok elkar ezagutzen dute eta garai batean fusio-ikerketak laborategiberean eta elkarrekin burutu zituzten, baina, batek daki zergatik, banandu egin ziren eta oso lehiatsu ibili dira beraien artean.

Esperimenduaren berri jaso eta zenbait ikerlari aurreaioak burutzen hasiak dira, lehen esanda bezala S. Pons eta M. Fleischmann-en fusio-prozesua egiaztatzearen.


Estatu Batuetan fusio-energiatz diharduten ikerlarien koodinatzaile den STEPHEN DEAN, Pons eta Fleischmann-ek iragarritako emaitzen aurrean harritu egin da, zeren eta Brigham Young-eko Unibertsitatean

teko fisikari batzuek ere esperimendua bera egin eta ez bait dute Pons eta Fleischmann-ek beste energia lortu. S. Dean-en aburuz, metodo honen bidez ez dago energi kantitate handirik lortzerik.

Estatu Batuetako Fisika-Erakundearen kide den ROBERT PARKek beren neurketak nola egin dituzten inor ez dakiela adierazi du. Deuterio-atomo biren fusioaldiren lehenengo erdian tritio-atomo bat eta protoi bat —R. Park-en ustez— sortzen dira eta beste erdian He (4)-atomo bat eta protoi bat. Sortutako neutroiaren norabideak eta energi espektroek fusioa gertatu den ala ez dagoen tresneria dela bide behinik behin. Beronen ustez, X izpiek interferentziarik sor dezakete; neutroien norabide eta energi kantitate berbera ematen bait dituzte.

Britainia Haundiko Energia Atomikoaren Erakundean DAVID WILLIAMSen zuzendaritzapeko ikerlari batzuek azken egunotan beharrezko saioak egin dituzte S. Pons eta M. Fleischmann-en saioaren fidagarritasuna ikusteko. Saioak Harwell-eko ikertokian egin dituzte eta ez dute neutroirik aurkitu. Egia esan, neutroien presentzia ezinbesteko da fusioa gertatu dela frogatzeko. Azken 50 urteotan Estatu Batuetan

milaka milioika pezeta gastatu dira fusiogintzan. Hidrogeno-atomoak fusionaraztearren era guztietako metodoak erabili dira, hala nola, konfinamendu magnetikoaren bidezkoak, laser bidezkoak. Beraz, ez da batere harrigarria fisikarigoa bi kimikariek oso tresneria sinplea erabiliz lortutako emaitzen aurrean mesfidati agertzea.

Eritziak eritzi, S. Pons eta M. Fleischmann-en esperimenduaren gorabeherak jakiteko, esana denez, "Nature" aldizkariak argitaratuko duenaren zain egon beharko dugu. Baina, antza denez, honelaxe gertatzen da: korrante elektrikoak ur astunean zehar pasarazten dute. Korrante elektrikoak ur astuna disoziatu egiten du, O^+ (oxigenoa) eta D^+ (deuterioa) ioiak emanez. Orduan, D^+ ioi positiboek paladiozko elektrodo negatibora (katodoa) jotzendute. Katodoan D^+ ioi-kantitate handia pilatzen denean, deuterioioiek (batabestetik oso hurbil daudenez) fusio-natu baino ez dute beste aukerarik. Baina, erreakzio-produktuak era desberdinetakoak izan daitezke. Esaterako, helio (4)-nukleo bat eta 3.25 MeV-eko energi neutroi bat sor daitezke. Bestalde, baliteke tritio-atomo bat eta 4 MeV-eko protoi bat sortzea, eta, ostean, tritio-atomo horrek deuterio-atomo batekin erreakzionatzea, helio (4)-nukleo bat eta 17,5 MeV-eko neutroi bat emanez. Ikerlariak ez dira ados jartzen. Batzuen eritzitan lehenengo erreakzioa suertatzen da eta beste batzuek, ostera, bigarrena suertatzen dela diote. Somatzen denez, ez dago ideia-faltarik eta epe laburrean gizakiak fusio-prozesuaren barneko energia ikaragarria kontrolatzea lortuko bide du. Amaitzeko, azken hitzok partikula-fisikagintzari eskaini nahi nizkioke, irakurlea fisikaren arlo honek dituen erabiltzeko aukerez ohar dadin. Jakina denez, atomoaren osagai diren elektroia, protoia eta neutroia aurkitu zirenez geroztik, fisikagintzaren historian zehar beste hainbat partikula (muoia, kaoia, pioia, positroia, ...) aurkitu dira. Partikula berriren bat aurkitzen zenero, fisikarigoa alde batetik lortutako aurkikundea zela eta poztu egiten zen, eta bestetik mundua gero eta korapilatsuagoa ikusten zuten. Horrelaxe jaio zen partikula-fisika eta orain arte beronen erabileria ia-ia kosmologiara eta astrofisikara mugatu izan arren, espero dezagun gizakiontzat hain beharrezko eta praktikoa den energi iturri gisa ezezik beste giza beharretarako ere erabilpen praktikoa hemendik aurrera izan dezan. 

Oharra: artikulu hau apirilaren erdi aldera idatzi da eta geroztik gai honi buruz sortuko diren albisteen berri ematen saiatuko gara.