

Ymasiad Rheoledig ar y Ddaear - y Torws Cyd-Ewropeaidd (JET)(Addasiad rhydd o adran *Fusion basics* <http://www.jet.efda.org/>)

Mae adweithiau niwclear yn gallu rhyddhau symiau enfawr o egni. Gallwn gynhyrchu adweithiau o'r fath naill ai trwy ymholliad niwclear elfennau â rhif atomig uchel neu drwy ymasiad niwclear elfennau â rhif atomig isel. Mewn astroffiseg, mae adweithiau ymasiad yn cynhyrchu egni yn y sêr ac yn cynhyrchu'r holl elfennau heblaw'r rhai ysgafnaf.

Yng nghanol yr Haul, ar dymreddau o 10-15 miliwn celfin, caiff hydrogen ei drawsnewid yn heliwm trwy ymasiad – gan gynhyrchu digon o egni i gadw'r Haul “ar dân” a chynnal bywyd ar y Ddaear.

Mae rhaglen ymchwil rymus, fyd-eang ar y gweill, gyda'r nod o ddefnyddio egni ymasiad i gynhyrchu trydan ar y Ddaear. Os bydd yn llwyddiannus, bydd hyn yn

cynnig dull arall ymarferol i gynhyrchu egni o fewn y 30-40 mlynedd nesaf - gyda manteision sylweddol dros ein ffynonellau egni presennol o safbwynt yr amgylchedd, cyflenwad a diogelwch.

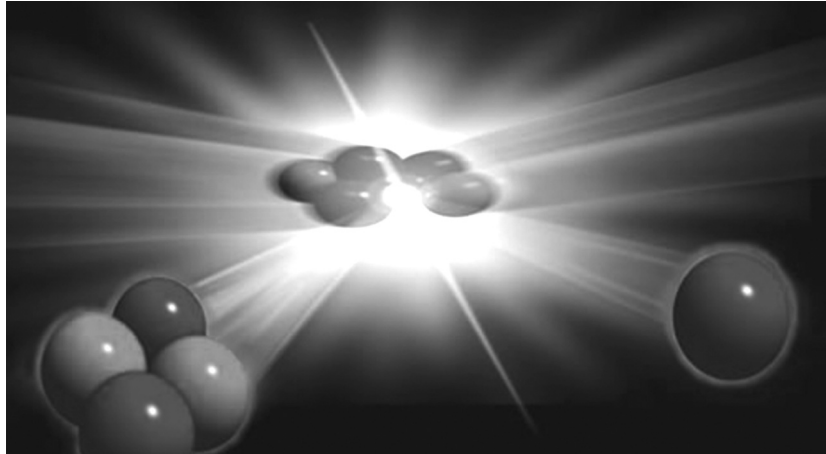


Diagram 1

I fanteisio ar ymasiad ar y Ddaear, mae adweithiau ymasiad gwahanol yn cael eu dewis, sy'n fwy effeithlon na'r rhai sy'n digwydd yn yr Haul, sef y rhai rhwng y ddau isotop hydrogen trwm, dewteriwm (D) a thritiwm (T). Mae gan brotiwm, y ffurf gyffredin ar hydrogen, un proton a dim niwtronau. Mae gan ddewteriwm un niwtron ac mae gan dritiwm ddau. Os caiff dewteriwm a thritiwm eu gwasgu ynghyd, bydd eu niwclysau'n ymasio ac yna yn torri gan ffurfio niwclews heliwm (dau broton a dau niwtron) a niwtron (heb wefr). Mae'r rhan fwyaf o'r egni sy'n cael ei ryddhau yn yr adwaith ymasiad (oherwydd bod cynhyrchion yr adwaith wedi'u bondio ynghyd mewn ffordd fwy sefydlog na'r adweithyddion) yn cael ei rhoi i'r niwtron rhydd fel egni cinetig. O'r 17.6 MeV sy'n cael ei gynhyrchu ym mhob adwaith, mae'r niwtron yn derbyn tua 80% fel egni cinetig ac mae'r niwclews heliwm yn derbyn tua 20% fel egni cinetig.

Dim ond ar egniïon (tymereddau) uchel iawn y mae ymasiad yn digwydd yn ddigon cyflym – ar y Ddaear mae angen tymereddau mwy na 100 miliwn celfin. Ar y tymereddau eithafol hyn mae cymysgedd nwyol o ddewteriwm a thritiwm (D-T) yn dod yn **plasma** (sef nwy poeth, wedi'i wefrun drydanol). Mewn plasma, mae'r electronau'n cael eu gwahanu o niwclysau'r atomau (sy'n cael yr enw “ïonau”). Er mwyn i'r ïonau, sydd â gwefr bositif ymasio, mae'n rhaid i'w tymheredd (egni) fod yn ddigon i oresgyn gwrthryiad naturiol eu gwefrau.

Er mwyn cynnal adwaith ymasiad mewn plasma, mae angen bodloni tair amod seiliedig ar dymheredd y plasma, ei ddwysedd ac amser ei gaethiwed ar yr un pryd. Mae lluoswm y tri pheth hyn yn cael ei alw'n lluoswm triphlyg. Er mwyn i ymasiad D-T ddigwydd, mae'n rhaid i'r lluoswm hwn fod yn fwy na swm arbennig - sy'n deillio o'r hyn a gaiff ei alw'n **Faen Prawf Lawson**, ar ôl John Lawson, y gwyddonydd o Brydain a'i lluniodd ym 1955. Mae'r maen prawf hwn yn sicrhau **Adennill Egni** - sef y pwynt lle mae'r pŵer ymasiad sy'n cael ei ryddhau yn fwy na'r pŵer sydd ei angen i wresogi a chynnal y plasma.

Tymheredd Plasma

Mae adweithiau ymasiad yn digwydd yn ddigon cyflym ar dymreddau uchel iawn yn unig – pan fydd yr ïonau sydd â gwefr bositif yn gallu goresgyn eu grymoedd gwrthyrnu naturiol. Yn nodweddiadol, ym mhrosiect y Torws Cyd-Ewropeaidd (JET), mae angen dros 100 miliwn celfin er mwyn i'r adwaith dewteriwm-tritiwm ddigwydd.

Dwysedd

Mae nifer yr adweithiau ymasiad ym mhob uned gyfaint mewn cyfrannedd fras â sgwâr dwysedd ïonau'r tanwydd. Felly mae'n rhaid i ddwysedd ïonau'r tanwydd fod yn ddigon mawr os yw adweithio ymasiad am ddigwydd yn ddigon cyflym. Bydd llai o bŵer yn cael ei gynhyrchu trwy'r ymasiad os caiff y tanwydd ei wanedu gan atomau amhureddau neu gan ïonau heliwm sy'n cronni o'r adwaith ymasio ei hun. Wrth i ïonau tanwydd gael eu "llosgi" yn y broses ymasio mae'n rhaid cyflenwi tanwydd newydd yn eu lle a thynnu cynhyrchion, sef yr heliwm (y "llwch").

Amser Caethiwed

Mesur yw'r Amser Caethiwed Egni o ba mor hir y mae'r egni yn cael ei gadw yn y plasma. Y diffiniad swyddogol yw'r egni thermol yn y plasma wedi'i rannu â'r mewnbwn pŵer sydd ei angen i gynnal yr amodau hyn. Yn *JET* rydym yn defnyddio meysydd magnetig i ynysu'r plasma poeth iawn oddi wrth waliau cymharol oer y cynhwysydd er mwyn cadw'r egni mor hir ag y bo modd. Mae ffractsiwn sylweddol o'r golled egni mewn plasma sy'n cael ei gaethiwo gan faes magnetig yn digwydd oherwydd pelydriad. Mae'r amser caethiwed yn cynyddu'n sydyn iawn gyda maint y plasma (mae cyfeintiau mawr yn cynnal gwres yn well o lawer na chyfeintiau bach). Mae'r Haul yn enghraifft berffaith, lle mae'r amser caethiwed yn fawr iawn.

I gynnal ymasiad ar y Ddaear, mae'n rhaid bodloni'r amodau canlynol (ar yr un pryd) ar gyfer y plasma.

- * Tymheredd y Plasma (T): 100-200 miliwn celfin
- * Amser Caethiwed Egni (t): 4-6 eiliad
- * Dwysedd Canol y Plasma (n): $1-2 \times 10^{20}$ gronyn m^{-3} (tua 1/1000 gram m^{-3} , h.y. miliynfed dwysedd aer).

Sylwer, ar ddwysedd plasma uwch bydd yr amser caethiwed egni sydd ei angen yn llai ond mae'n anodd iawn cael dwysedd plasma uwch mewn meysydd magnetig realistig.

Caethiwo plasma mewn maes magnetig – y Tocamac

Gan fod plasma'n cynnwys gronynnau sydd wedi'u gwefru, sef ïonau (positif) ac electronau (negatif), gallwn ddefnyddio meysydd magnetig cryf i ynysu'r plasma oddi wrth waliau'r cynhwysydd – gan ein galluogi i wresogi'r plasma i dymereddau dros 100 miliwn celfin. Mae ynysu'r plasma fel hyn yn lleihau'r gwres sy'n cael ei golli trwy ddargludiad thermol trwy'r cynhwysydd ac mae hefyd yn lleihau'r amhureddau sy'n cael eu rhyddhau o waliau'r cynhwysydd i'r plasma a fyddai'n halogi'r plasma a'i oeri ymhellach trwy belydriad.

Mewn maes magnetig mae gronynnau'r plasma sydd wedi'u gwefru yn cael eu gorfodi i droelli o amgylch llinellau'r maes magnetig. Mae'r systemau caethiwed magnetig mwyaf addawol yn doroidaidd (siâp modrwy) ac o'r rhain, y Tocamac yw'r un ar y blaen. Ar hyn o bryd, *JET* yw'r Tocamac mwyaf yn y byd.

Y Tocamac

Mewn Tocamac caiff plasma ei wresogi mewn cynhwysydd siâp modrwy (neu dorws) a'i gadw oddi wrth waliau'r cynhwysydd gan feysydd magnetig sy'n cael eu rhoi.

Maes magnetig o fewn y torws yw'r maes toroidaidd (diagram 2). Mae'n cael ei gynnal gan goilau maes magnetig sy'n amgylchynu'r cynhwysydd gwactod. Mae'r maes toroidaidd yn darparu'r prif fecanwaith ar gyfer caethiwo gronynnau'r plasma.

Caiff tymereddau uchel iawn eu cynhyrchu trwy anwytho cerrynt mawr (hyd at 5 miliwn amper yn y *JET*) yn y plasma.

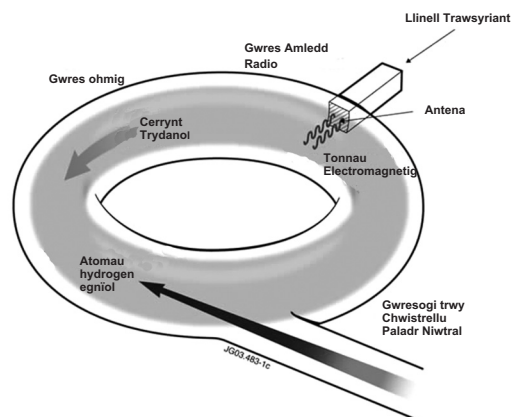


Diagram 2

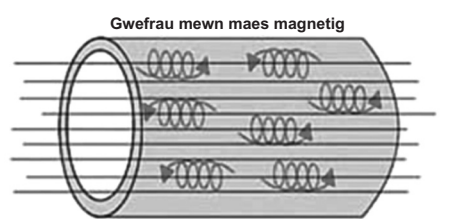
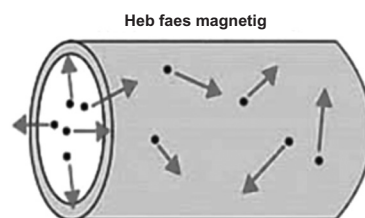


Diagram 3

Ymasiad fel ffynhonnell egni yn y dyfodol

Mae'r galw byd-eang am egni yn dal i dyfu bob blwyddyn wrth i boblogaeth y byd ehangu ac mae cymdeithas yn dod yn fwyfwy dibynnol ar gyflenwadau egni. Mae'r angen i gael hyd i ffynonellau egni newydd yn dod yn fwyfwy pwysig wrth i bryderon amgylcheddol gynyddu oherwydd y CO₂ sy'n cael ei allyrru trwy losgi tanwydd ffosil. 17

Manteision ymasiad**Tanwydd helaeth**

Mae dewteriw yn helaeth gan y gallwn ei echdynnu o bob ffurf ar ddŵr. Petai holl drydan y byd yn cael ei gynhyrchu gan orsafoedd trydan ymasio, byddai'r cyflenwadau dewteriw presennol o ddŵr yn para am filiynau o flynyddoedd. 18

Nid yw tritiwm yn digwydd yn naturiol ond gallwn ei fridio o lithiwm o fewn y peiriant. Felly, unwaith ein bod wedi sefydlu'r adwaith, er ei fod yn digwydd rhwng dewteriw a thritiwm, y tanwyddau allanol sydd eu hangen yw dewteriw a lithiwm. 19

Lithiwm yw'r elfen fetelaidd ysgafnaf ac mae digon ohono yng nghramen y Ddaear. Petai holl drydan y byd yn cael ei gynhyrchu trwy ymasiad, byddai'r cyflenwadau lithiwm hysbys yn para am o leiaf mil o flynyddoedd. 20

Mae'r egni sydd i'w gael o adwaith ymasiad yn enfawr. Er enghraifft, byddai 10 gram o ddewteriw (y gallwn ei echdynnu o 500 litr o ddŵr) a 15 g o dritiwm (sy'n cael ei gynhyrchu o 30 g o lithiwm), wrth adweithio mewn gorsaf drydan ymasio yn cynhyrchu digon o egni i ddarparu'r trydan sydd ei angen ar gyfartaledd ar unigolyn mewn gwlad ddiwydiannol trwy gydol ei oes. 21

Diogelwch cynhenid

Bydd y broses ymasio mewn gorsaf drydan yn y dyfodol yn ddiogel ei natur. Gan fod symiau'r dewteriw a'r tritiwm yn y plasma ar unrhyw adeg yn fach iawn (dim ond ychydig gramau) ac mae'n anodd cynhyrchu'r amodau i ymasiad ddigwydd (e.e. tymheredd y plasma a'i gaethiwed), byddai unrhyw newid o'r amodau hyn yn achosi i'r plasma oeri'n gyflym ac i'r adwaith ddod i ben. Nid oes unrhyw amgylchiadau lle y gall adwaith ymasiad plasma 'redeg i ffwrdd' neu fynd allan o reolaeth neu greu argyfwng. 22

Manteision amgylcheddol

Fel pŵer niwclear confensiynol (ymholliad), **ni** fydd gorsafoedd trydan ymasiad yn cynhyrchu **dim** nwyon 'tŷ gwydr' ac ni fyddant yn cyfrannu at gynhesu byd-eang. 23

Gan fod ymasiad yn broses niwclear daw adeiledd yr orsaf drydan ymasio yn ymbelydrol - trwy effaith y niwtronau egniol a gynhyrchir gan ymasiad ar arwynebau defnyddiau. Fodd bynnag, mae'r ymbelydredd hwn yn dadfeilio'n gyflym a thrwy ddewis defnyddiau actifedd isel yn ofalus, gallwn leihau'r amser cyn ein bod yn gallu eu haildefnyddio a'u trin i ryw 50 mlynedd. Hefyd, yn wahanol i ymholliad, nid oes cynnyrch 'gwastraff' ymbelydrol yn yr adwaith ymasio ei hun. Sgil gynnyrch ymasiad yw heliwm - sy'n nwy anadweithiol a diniwed. 24