

Peiriant Gwrthdaro Hadron Mawr (Addasiad rhydd o Wikipedia)

Y Peiriant Gwrthdaro Hadron Mawr (*LHC*) yw'r cyflymydd gronynnau mwyaf a mwyaf egniol yn y byd. Y nod yw y bydd pelydr o ronynnau, naill ai protonau ag egni 7 TeV pob gronyn neu niwclysau plwm ag egni 574 TeV am bob niwclews, yn gwrthdaro'n benben. Adeiladwyd y Peiriant Gwrthdaro Hadron Mawr gan y Sefydliad Ymchwil Niwclear Ewropeaidd (*CERN*) gyda'r nod o roi prawf ar wahanol ragfynegiadau mewn ffiseg gronynnau egni uchel, gan gynnwys bodolaeth y boson Higgs a ragfynegwyd. Mae'r peiriant wedi'i leoli mewn twnnel â chylchedd 27 cilometr (17 milltir), cymaint â 175 metr (570 troedfedd) o dan y ffin rhwng Ffrainc a'r Swistir ger Genefa, y Swistir. Cafodd ei ariannu a'i adeiladu mewn cydweithrediad â mwy na 10,000 o wyddonwyr a pheirianwyr o dros 100 o wledydd, yn ogystal â channoedd o brifysgolion a labordai.

Ar 10 Medi 2008, cafodd y pelydr o brotonau eu gyrru'n llwyddiannus o gwmpas prif gylch yr *LHC* am y tro cyntaf. Ar 19 Medi 2008, daeth y gwaith i ben oherwydd nam difrifol rhwng dau fagnet plygu tra-dargludol. Oherwydd yr amser oedd ei angen i drwsio'r difrod a achoswyd ac i ychwanegu mesurau diogelwch ychwanegol, trefnwyd y byddai'r *LHC* yn dechrau gweithredu eto yng nghanol mis Tachwedd 2009.

Diben

- Rhagwelir y bydd y peiriant gwrthdaro yn dangos bodolaeth y boson Higgs, sydd eto heb ei weld, a dyna'r gronyn olaf sydd heb ei weld ymhlith y rhai y mae'r **Model Safonol** yn eu rhagfynegi.

Yn fwy cyffredinol, mae ffisegwyr yn gobeithio y bydd yr *LHC* yn helpu i ateb cwestiynau allweddol fel:

- A yw electromagnetedd, y grym niwclear cryf a'r grym niwclear gwan yn wahanol amlygiadau o un grym sylfaenol, fel y mae gwahanol **Ddamcaniaethau Uno Mawr** yn ei ragfynegi?
- Beth yw natur **mater tywyll** ac **egni tywyll**?

O'r holl ddarganfyddiadau y gallai'r *LHC* eu gwneud, y posibilrwydd y gallai'r gronyn Higgs gael ei ddarganfod yw'r un y mae ffisegwyr yn fwyaf awyddus i'w weld – rhywbeth y maent wedi disgwyl amdano ers dros 30 mlynedd. Wrth sôn am yr Higgs, dywedodd Stephen Hawking mewn cyfweiliad gyda'r BBC: “Rwy'n credu y bydd yn fwy cyffrous os na fyddwn yn dod o hyd i'r gronyn Higgs. Bydd hynny'n dangos bod rhywbeth o'i le a bydd yn rhaid i ni ailfeddl. Rwyf wedi gwneud bet o gant o ddoleri na fyddwn yn dod o hyd i'r gronyn Higgs. Beth bynnag y bydd yr *LHC* yn dod o hyd iddo, neu'n methu â dod o hyd iddo, bydd y canlyniadau'n dweud llawer wrthym am adeiledd y bydysawd.”

Gwrthdaro ïonau

Mae rhaglen ffiseg yr *LHC* yn seiliedig ar wrthdrawiadau proton–proton yn bennaf. Fodd bynnag, bydd cyfnodau byr, un mis y flwyddyn fel rheol, pan fydd gwrthdrawiadau rhwng ïonau trwm wedi'u cynnwys yn y rhaglen. Er bod ïonau ysgafnach hefyd yn cael eu hastudio, bydd y rhan fwyaf o'r gwaith yn ymdrin ag ïonau plwm. Bydd hyn yn galluogi'r rhaglen arbrolfol sydd ar waith ar hyn o bryd i symud ymlaen. Nod y rhaglen ïonau trwm yw edrych ar gyflwr mater a oedd yn nodweddu cyfnod cynnar bywyd y bydysawd.

Dyluniad

Yr *LHC* yw'r cyflymydd gronynnau mwyaf a mwyaf egniol yn y byd. Mae'r peiriant gwrthdaro wedi'i leoli mewn twnnel crwn, â chylchedd o 27 cilometr (17 milltir) ar ddyfnder sy'n amrywio o 50 i 175 metr dan y ddaear. 8

Cafodd y twnnel, sydd â lled o 3.8 m ac sydd wedi'i leinio â choncrit, ei adeiladu rhwng 1983 ac 1988 a bu gynt yn gartref i'r Peiriant Mawr Gwrthdaro Electron-Positron. Mae'n croesi'r ffin rhwng y Swistir a Ffrainc mewn pedwar lle ac mae'r rhan fwyaf ohono yn Ffrainc. Mae adeiladau sydd ar yr arwyneb yn cynnwys offer atodol fel cywasgyddion, offer awyru, offer rheoli electronig a pheiriannau oeri. 9

Mae'r twnnel gwrthdaro yn cynnwys dwy bibell baralel, gyfagos sy'n cynnwys pelydr ac sy'n croestorri mewn pedwar lle. Mae pob pibell yn cynnwys paladr o brotonau. Mae'r ddau baladr yn teithio i gyfeiriadau dirgroes o gwmpas y cylch. Mae rhyw 1,232 o fagnetau deupol yn cadw'r pelydr ar eu llwybrau crwn ac mae 392 o fagnetau pedwarpol ychwanegol yn cael eu defnyddio i ffocysu'r pelydr, fel bod y posibilrwydd o ryngweithio rhwng y gronynnau yn y pedwar pwynt, lle mae'r ddau baladr yn croestorri, ar ei uchaf. Mae cyfanswm o dros 1,600 o fagnetau tra-dargludol wedi'u gosod ac mae'r rhan fwyaf ohonynt yn pwyso dros 27 tonnelli. Mae angen tua 96 tonnelli o heliwm hylifol i gadw'r magnetau ar eu tymheredd gweithredu, sef 1.9 K, sy'n golygu mai'r *LHC* yw'r cyfleuster cryogenig mwyaf yn y byd ar dymheredd heliwm hylifol. 10

Unwaith neu ddwywaith y dydd, wrth i'r protonau gael eu cyflymu o 450 GeV i 7 TeV, bydd maes y magnetau deupol tra-dargludol yn cael ei gynyddu o 0.54 i 8.3 tesla (T). Bydd gan bob proton egni o 7 TeV, gan roi cyfanswm o 14 TeV (2.2 μ J) o egni yn y gwrthdrawiad. Bydd proton yn cymryd llai na 90 microeiliad (μ s) i deithio unwaith o gwmpas y prif gylch – sef buanedd o tua 11,000 cylchdro'r eiliad. Yn hytrach na phelydr di-dor, bydd y protonau yn teithio mewn 2,808 o grwpiau, fel bod rhyngweithiadau rhwng y ddau baladr yn digwydd ar amseroedd penodol gydag o leiaf 25 nano-eiliad (ns) rhyngddynt. Fodd bynnag, bydd yn gweithredu gyda llai o grwpiau pan gaiff ei gomisiynu i ddechrau, gan roi cyfwng o 75 ns rhwng grwpiau yn croesi. 11

Cyn cael eu chwistrellu i'r prif gyflymydd, caiff y gronynnau eu paratoi gan gyfres o systemau sy'n cynyddu eu hegni. Y system gyntaf yw'r cyflymydd gronynnau llinol LINAC 2, sy'n cynhyrchu protonau ag egni 50 MeV, sy'n cael eu bwydo i'r Cyfnerthydd (*Booster*) Syncrotron Protonau. Yno caiff y protonau eu cyflymu i 1.4 GeV ac yna eu chwistrellu i'r Syncrotron Protonau lle y cânt eu cyflymu i 26 GeV. Yn olaf mae'r Uwch Syncrotron Protonau yn cael ei ddefnyddio i gynyddu eu hegni ymhellach i 450 GeV cyn iddynt gael eu chwistrellu o'r diwedd (dros gyfnod o 20 munud) i'r prif gylch. Yma mae'r grwpiau o brotonau yn cael eu cronni, eu cyflymu (dros gyfnod o 20 munud) i'w huchafswm egni sef 7 TeV ac yn olaf eu cylchredeg am 10 i 24 awr gyda gwrthdrawiadau'n digwydd yn y pedwar pwynt lle maent yn croestorri. 12

Bydd yr *LHC* hefyd yn cael ei ddefnyddio i wrthdaro ïonau plwm (Pb) trwm ag egni gwrthdaro o 1,150 TeV. Caiff yr ïonau Pb eu cyflymu gan y cyflymydd llinol LINAC 3 i ddechrau a bydd y Cylch Ïonau Egni Isel yn cael ei ddefnyddio fel uned storio ac oeri ïonau. Yna caiff yr ïonau eu cyflymu ymhellach gan y Syncrotron Protonau a'r Uwch Syncrotron Protonau cyn cael eu chwistrellu i gylch yr *LHC*, lle bydd pob niwcleon yn cyrraedd egni o 2.76 TeV. 13

Amserlen y profion

Cafodd y paladr cyntaf ei anfon trwy'r peiriant gwrthdaro ar fore'r 10fed o Fedi 2008. Llwyddodd *CERN* i yrru'r protonau o gwmpas y twnnel fesul cam, tri chilometr ar y tro. Cafodd y gronynnau eu gyrru i gyfeiriad clocwedd i'r cyflymydd a'u llywio yn llwyddiannus o'i gwmpas am 10:28 yn ôl yr amser lleol. Cwblhaodd yr *LHC* ei brawf mawr cyntaf yn llwyddiannus: ar ôl cyfres o rediadau prawf, fflachiodd dau ddot gwyn ar sgrin cyfrifiadur gan ddangos bod y protonau wedi teithio hyd llawn y peiriant gwrthdaro. Cymerodd lai nag awr i arwain y llif o ronynnau o gwmpas ei gylched gyntaf. Yna llwyddodd *CERN* i yrru paladr o brotonau i gyfeiriad gwrthglocwedd, gan gymryd ychydig mwy o amser, sef awr a hanner, oherwydd problem gyda'r offer cryogenig, gan gwblhau'r cylched gyntaf gyfan am 14:59. 14

Trosodd.

Ar 19 Medi 2008, digwyddodd diffoddiad (*quench* sef colli tra-dargludedd yn sydyn) mewn tua 100 o fagnetau plygu yn sectorau 3 a 4. Oherwydd hyn collwyd tua chwe thunnell o heliwm hylifol, a aeth trwy awyrell i'r twnnel, a choddod y tymheredd tua 100 celfin mewn rhai o'r magnetau a gafodd eu heffeithio. Collwyd amodau gwactod ym mhibell y paladr hefyd. Yn fuan ar ôl y digwyddiad, nododd *CERN* mai cysylltiad trydanol diffygiol rhwng dau fagnet oedd wedi achosi'r broblem, yn ôl pob tebyg ac – oherwydd yr amser oedd ei angen i gynhesu'r sectorau a gafodd eu heffeithio ac yna eu hoeri yn ôl i'r tymheredd gweithredu – y byddai'n cymryd o leiaf dau fis i ddatrys y broblem. Wedyn, cyhoeddodd *CERN* ddadansoddiad rhagarweiniol o'r digwyddiad ar 16 Hydref 2008 a dadansoddiad manylach ar 5 Rhagfyr 2008. Cadarnhaodd y ddau ddadansoddiad fod y digwyddiad wedi cael ei achosi gan gysylltiad trydanol diffygiol. Cafodd 29 magnet ar y mwyaf eu difrodi yn y digwyddiad a bu angen trwsio'r rhain neu gael rhai newydd yn ystod y gaeaf pan oedd y peiriant wedi'i gau.

Yn ôl yr amserlen wreiddiol ar gyfer comisiynu'r *LHC*, roedd disgwyl i'r gwrthdrawiadau egni uchel "cymedrol" cyntaf ar egni craidd mäs o 900 GeV ddigwydd cyn diwedd Medi 2008, ac roedd disgwyl i'r *LHC* weithredu ar 10 TeV erbyn yr agoriad swyddogol ar 21 Hydref 2008. Fodd bynnag, oherwydd yr oedi a achoswyd gan y digwyddiad uchod, y disgwyl oedd na fyddai'r peiriant gwrthdaro yn gweithredu eto cyn diwedd Medi 2009. Er gwaetha'r oedi, cafodd yr *LHC* ei agor yn swyddogol ar 21 Hydref 2008, ym mhresenoldeb arweinwyr gwleidyddol, gweinidogion gwyddoniaeth o 20 Aelod-Wladwriaeth *CERN*, swyddogion *CERN* ac aelodau o'r gymuned wyddonol fyd-eang.

Canlyniadau disgwylieidig

Unwaith y bydd y peiriant gwrthdaro mawr yn weithredol, mae gwyddonwyr *CERN* yn amcangyfrif, os yw'r Model Safonol yn gywir, y gallai un boson Higgs gael ei gynhyrchu bob ychydig o oriau. Yn ôl y gyfradd hon, gallai gymryd hyd at dair blynedd i gasglu digon o ddata i brofi yn ddi-os ein bod wedi darganfod y boson Higgs.

Diogelwch gwrthdrawiadau rhwng gronynnau

Mae'r arbrofion sydd yn mynd i ddigwydd yn y Peiriant Gwrthdaro Hadron Mawr wedi codi ofnau ymhlith y cyhoedd y gallai gwrthdrawiadau gronynnau yn y peiriant achosi ffenomenau trychinebus, gyda thyllau du microsgopig sefydlog yn cael eu cynhyrchu sydd â **gorwel digwyddiad** o tua 10^{-54} m. Mae dau adolygiad diogelwch a gafodd eu comisiynu gan *CERN* wedi archwilio'r pryderon hyn a dod i'r casgliad nad yw'r arbrofion yn yr *LHC* yn achosi unrhyw berygl ac nad oes rheswm i bryderu. Mae Cymdeithas Ffiseg America, yr ail sefydliad ffisegwyr mwyaf yn y byd, wedi ategu'r casgliad hwn.

Heriau gweithredol

Mae maint yr *LHC* yn achosi her beirianyddol eithriadol gyda materion gweithredol unigryw oherwydd yr egni anferth sy'n cael ei storio yn y magnetau a'r pelydr. Pan fydd yr *LHC* yn gweithredu, bydd cyfanswm yr egni sy'n cael ei storio yn y magnetau yn 10 GJ (sy'n cyfateb i 2.4 tunnell o *TNT*) a bydd cyfanswm yr egni sy'n cael ei gludo gan y ddau baladr yn cyrraedd 724 MJ (173 cilogram o *TNT*).

Mae colli cyn lleied ag un rhan mewn deg miliwn (10^{-7}) o'r paladr yn ddigon i ddiffodd (*quench*) un o'r magnetau tra-dargludol ac mae'n rhaid i domen (*dump*) y pelydr amsugno 362 MJ (87 cilogram o *TNT*) ar gyfer pob un o'r ddau baladr. Mae'r egnïon anferth hyn yn fwy trawiadol o ystyried cyn lleied o fater sy'n eu cludo: dan amodau gweithredu arferol (sef 2,808 grŵp ym mhob paladr, 1.15×10^{11} proton ym mhob grŵp), mae pibellau'r pelydr yn cynnwys 1.0×10^{-9} gram o hydrogen, a fyddai'n llenwi cyfaint un gronyn o dywod mân dan **amodau safonol** ar gyfer tymheredd a gwasgedd.

Ar 10 Awst 2008, difwynodd (*defaced*) hacwyr cyfrifiaduron wefan yn *CERN*, gan feirniadu diogelwch eu cyfrifiaduron. Ni chawsant fynediad at rwydwaith rheoli'r peiriant gwrthdaro.

Damweiniau ac oedi wrth adeiladu

- Ar 25 Hydref 2005, cafodd technegydd ei ladd yn nhwnnel yr *LHC* pan gafodd llwyth ei 22
ollwng o graen trwy ddamwain.
- Ar 27 Mawrth 2007, torrodd cynhalydd un o'r magnetau cryogenig yn ystod prawf gwasgedd
ar un o gydosodiadau magnet (pedwarpol sy'n ffocysu) tripled mewnol yr *LHC*, a oedd wedi'i
ddarparu gan Fermilab a KEK. Ni chafodd neb ei anafu. Dywedodd Pier Oddone,
cyfarwyddwr Fermilab: "Yn yr achos hwn rydym yn rhyfeddu ein bod wedi methu cyfrifo
cydbwysedd grymoedd syml iawn." Roedd y diffyg hwn yn bresennol yn y dyluniad
gweiddiol ac roedd pedwar adolygiad peirianyddol heb ei weld dros y blynyddoedd wedyn. 23
Wrth ddadansoddi'r dyluniad, a oedd wedi'i wneud mor denau â phosibl er mwyn gwella'r
ynysiad, sylweddolwyd nad oedd yn ddigon cryf i wrthsefyll y grymoedd fyddai'n cael eu
cynhyrchu wrth ei brofi dan wasgedd. Mae'r manylion y mae *CERN* yn cytuno ag ef ar gael
mewn datganiad gan Fermilab. Gan fod yn rhaid trwsio'r magnet a oedd wedi torri ac
atgyfnerthu'r wyth cydosodiad unfath a ddefnyddiodd yr *LHC*, cafodd y dyddiad cychwyn ei
ohirio, oedd i fod yn ystod Tachwedd 2007.
- Cafwyd problemau ar 19 Medi 2008 wrth gynnal profion pweru ar brif gylched y magnetau
deupol pan achoswyd rhwyg gan nam trydanol yn y bws rhwng y magnetau a gollyngwyd
chwe thunnell o heliwm hylifol. Cafodd y gweithrediad ei ohirio am rai misoedd. Credir bod
cysylltiad trydanol diffygiol rhwng dau fagnet wedi achosi arc a oedd wedi torri storfa i 24
heliwm hylifol. Unwaith yr oedd yr haen oeri wedi'i thorri, llifodd yr heliwm i'r haen gwactod
a oedd yn ei amgylchynu gyda digon o rym i rwygo magnetau 10 tunnell oddi wrth eu seiliau.
Hefyd cafodd tiwbiau'r protonau eu difwyno â huddygl oherwydd y ffrwydrad.
- Gwelwyd bod gwactod yn gollwng mewn dau fan ym mis Gorffennaf 2009 a chafodd y 25
dyddiad cychwyn/gweithredu ei ohirio ymhellach tan ganol mis Tachwedd 2009.

Diwylliant poblogaidd

Mae'r Peiriant Gwrthdaro Hadron Mawr wedi cael cryn sylw y tu allan i'r gymuned wyddonol ac mae'r rhan fwyaf o'r cyfryngau gwyddonol poblogaidd wedi dilyn ei gynnydd. Mae'r *LHC* hefyd wedi tanio dychymyg awduron ffuglen, fel nofelau, cyfresi teledu a gemau fideo, er, yn aml, nid 26
yw'r disgrifiadau o beth ydyw, sut mae'n gweithio a chanlyniadau tebygol yr arbrofion yn gywir iawn ac weithiau maent wedi achosi pryder ymhlith y cyhoedd.

Mae'r nofel *Angels & Demons* gan Dan Brown yn sôn am wrthfater sy'n cael ei greu yn yr *LHC* i wneud arf (bom). Mewn ymateb, cyhoeddodd *CERN* dudalen "Ffaith neu Ffrwyth Dychymyg?" yn trafod cywirdeb portread y llyfr o'r *LHC*, *CERN* a ffiseg gronynnau yn gyffredinol. Mae'r ffilm 27
sy'n seiliedig ar y llyfr wedi ffilmio un o'r arbrofion yn yr *LHC* ar y safle; cafodd y cyfarwyddwr, Ron Howard, gyfarfod ag arbenigwyr *CERN* mewn ymdrech i wneud y wyddoniaeth yn y stori yn fwy cywir.

Mae'r "*Large Hadron Rap*" gan Katherine McAlpine, sy'n gweithio yn *CERN*, wedi denu dros 28
5 miliwn o wylwyr.

DIWEDD YR ERTHYGL