

**Damcaniaeth y Glec Fawr**

Paragraff

(Wedi'i addasu o amrywiaeth o dudalennau Wikipedia)

Damcaniaeth y **Glec Fawr** yw'r prif fodel cosmolegol ar gyfer datblygiad cynnar y bydysawd. Y syniad allweddol yw bod y bydysawd yn ehangu. O ganlyniad, roedd y bydysawd yn ddwysach ac yn boethach yn y gorffennol. Mae model y Glec Fawr hefyd yn awgrymu bod yr holl fater yn y bydysawd, ar ryw foment, wedi'i gynnwys mewn un pwynt, sy'n cael ei ystyried yn ddechrau'r bydysawd. Mae mesuriadau modern yn dweud bod y foment hon tua 13.8 biliwn o flynyddoedd yn ôl, felly rydym ni'n ystyried mai dyna yw oed y bydysawd. Ar ôl yr ehangiad cychwynnol, oerodd y bydysawd ddigon i ganiatáu i ronynnau isatomig ffurfio, gan gynnwys protonau, niwtronau ac electronau. Er bod niwclysau atomig syml wedi ffurfio o fewn y tri munud cyntaf ar ôl y Glec Fawr, aeth miloedd o flynyddoedd heibio cyn i'r atomau trydanol niwtral cyntaf ffurfio. Hydrogen oedd y rhan fwyaf o'r atomau gafodd eu cynhyrchu gan y Glec Fawr, ynghyd â heliwm a mymryn o lithiwm. Yn ddiweddarach, cafodd cymylau enfawr o'r elfennau cyntefig hyn eu cyfuno gan ddisgyrchiant i ffurfio sêr a galaethau, a chafodd yr elfennau trymach eu syntheseiddio naill ai o fewn sêr neu yn ystod uwchnofâu.

1

Mae damcaniaeth y Glec Fawr yn cynnig eglurhad cynhwysfawr o ystod eang o ffenomenau rydym ni'n eu harsylwi, gan gynnwys cyflenwad yr elfennau ysgafn, y pelydriad cefndir microdon cosmig (*cosmic microwave background radiation*: CMBR), adeileddau graddfa fawr, a Deddf Hubble. Heddiw, mae'r pellteroedd rhwng galaethau'n cynyddu. Felly, yn y gorffennol, roedd galaethau'n agosach at ei gilydd. Gallwn ni ddefnyddio deddfau natur rydym ni'n gwybod amdanynt i gyfrifo nodweddion y bydysawd yn fanwl yn ôl at gyfnod pan oedd dwysedd a thymheredd yn eithafol. Er bod cyflymyddion gronynnau mawr yn gallu dyblygu amodau o'r fath er mwyn cadarnhau ac addasu manylion model y Glec Fawr, mae terfyn i'r amodau egni uchel y gall y cyflymyddion ymchwilio iddynt. O ganlyniad, does dim dealltwriaeth dda o gyflwr y bydysawd yng nghyfnodau cynharaf ehangiad y Glec Fawr, ac mae'n faes sy'n dal i fod yn destun ymchwiliad agored. Dydy damcaniaeth y Glec Fawr ddim yn darparu unrhyw eglurhad o amodau cychwynnol y bydysawd; yn hytrach, mae'n disgrifio ac yn egluro esblygiad cyffredinol y bydysawd dros amser o'r pwynt hwnnw ymlaen.

2

Cafodd y syniad a ddaeth yn ddamcaniaeth y Glec Fawr ei gynnig gyntaf gan yr offeiriad Pabyddol a'r gwyddonydd o wlad Belg, Georges Lemaître, yn 1927. Dros amser, adeiladodd gwyddonwyr ar ei syniad gwreiddiol o ehangiad cosmig; yn ôl ei ddamcaniaeth ef, byddai hi'n bosibl olrhain yr ehangiad hwn yn ôl at darddiad y cosmos a arweiniodd at ffurfio'r bydysawd modern. Mae fframwaith model y Glec Fawr yn dibynnu ar ddamcaniaeth perthnasedd cyffredinol Albert Einstein ac ar symleiddio tybiaethau fel homogenedd ac isotropedd y gofod. Yn 1929, darganfuodd Edwin Hubble gydberthyniad cryf (*strongly correlated*) rhwng pellteroedd galaethau pell a'u rhuddiad. Y casgliad oedd bod arsylwad Hubble yn dangos bod pob galaeth a chlwestwr pell yn ymddangos fel pe bai ganddynt gyflymder yn uniongyrchol i ffwrdd o'n lleoliad ni; hynny yw, y pellaf i ffwrdd mewn unrhyw gyfeiriad, yr uchaf oedd y cyflymder ymddangosol. Y dehongliad yw bod yr holl rannau o'r bydysawd rydym ni'n gallu arsylwi arnynt yn symud oddi wrth ei gilydd.

3

Er bod y gymuned wyddonol yn arfer bod wedi'i rhannu rhwng cefnogwyr dwy ddamcaniaeth wahanol ar gyfer ehangiad y bydysawd – damcaniaeth y Glec Fawr a damcaniaeth y Cyflwr Sefydlog – daeth cadarnhad arsylwadol o senario'r Glec Fawr ar ôl i'r CMBR gael ei ddarganfod yn 1964, ac yn ddiweddarach pan welwyd bod ei sbectrwm yn cyfateb i sbectrwm pelydriad thermol o belydrydd cyflawn.

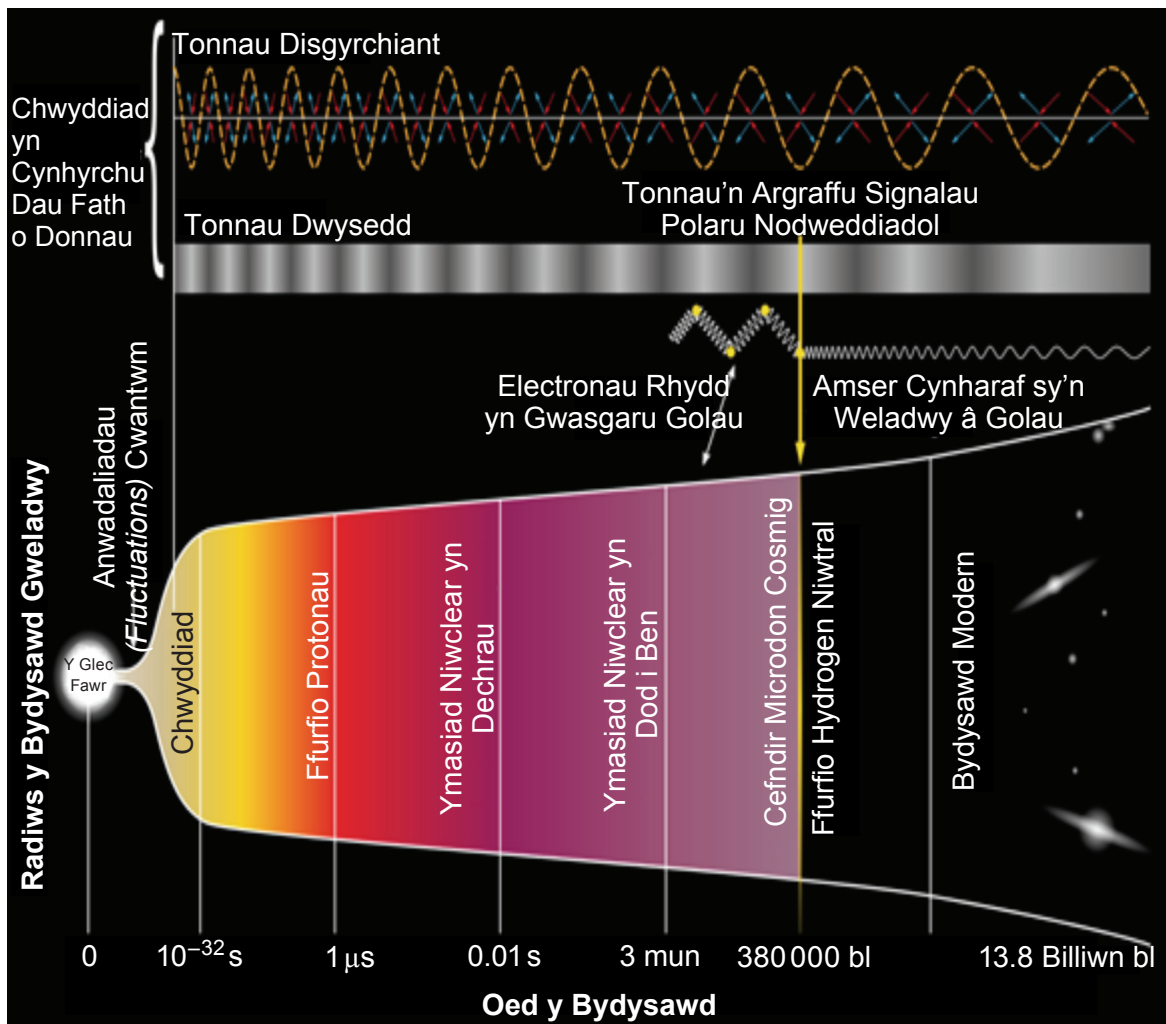
4

## Hanes y Bydysawd

Paragraff

### Chwyddiad

Mae cyfnodau cynharaf y Glec Fawr yn destun llawer o ddyfalu. Yn y modelau mwyaf cyffredin, roedd y bydysawd wedi'i lenwi'n homogenaidd ac yn isotropig â dwysedd egni anhygoel o uchel a thymhereddau a gwasgeddau enfawr, ac yn ehangu ac yn oeri'n gyflym iawn. Tua  $10^{-37}$  o eiliadau ar ôl dechrau'r ehangiad, cafodd chwyddiad cosmig ei achosi gan drawsnewidiad gwedd (*phase transition*), ac yn ystod y chwyddiad hwn tyfodd y bydysawd yn esbonyddol. Ar ôl i'r chwyddiad ddod i ben, roedd y bydysawd yn cynnwys plasma o gwarciau a glwonau, yn ogystal â'r holl ronynnau elfennol eraill. Roedd tymhereddau mor uchel nes bod mudiant afreolus gronynnau'n digwydd ar fuaneddau perthnaseddol (*relativistic speeds*), ac roedd pob mathau o barau o ronynnau a gwrthronynnau'n cael eu creu a'u dinistrio'n barhaus mewn gwrthdrawiadau. Ar ryw adeg digwyddodd baryogenesis, adwaith dydyn ni ddim yn gwybod llawer amdano, gan dorri cadwraeth rhif baryon, ac arwain at ormodedd bach iawn o gwarciau a leptonau o'u cymharu â gwrthgwarciau a gwrthleptonau – i raddau (*order*) tua un rhan mewn 30 miliwn. O ganlyniad i hyn, mae mater yn rhagori ar wrthfater yn y bydysawd presennol.



Ffigur 1

## **Ffurio Protonau**

Paragraff

Fe wnaeth dwysedd a thymheredd y bydysawd barhau i ostwng, felly roedd egni nodweddiadol pob gronyn yn gostwng. Ar ôl tua  $10^{-11}$  eiliad, mae llai o ddyfalu o ran y darlun gan fod egni'n gronynnau'n gostwng i werthoedd rydym ni'n gallu eu cyrraedd mewn arbrofion ffiseg gronynnau. Ar ôl tua  $10^{-6}$  eiliad, cyfunodd cwarciau a glwonau i ffurfio baryonau fel protonau a niwtronau. O ganlyniad i'r gormodedd bach o gwarciau dros wrthgwarciau, roedd gormodedd bach o faryonau dros wrthfaryonau. Erbyn hyn, doedd y tymheredd ddim yn ddigon uchel i greu paru newydd o brotonau a gwrthbrotonau (nac o niwtronau a gwrthniwtronau), felly digwyddodd difodiant ar raddfa eang (*mass annihilation*) ar unwaith, gan adael dim ond un o bob  $10^{10}$  o'r protonau a'r niwtronau gwreiddiol, a dim o'u gwrthronynnau. Digwyddodd proses debyg ar ôl tua 1 eiliad ar gyfer electronau a phositronau. Ar ôl y difodiannau hyn, doedd y protonau, y niwtronau a'r electronau oedd yn weddill ddim yn symud yn berthnaseddol (*relativistically*) mwyach ac roedd dwysedd egni'r bydysawd wedi'i ddominyddu gan ffotonau (gyda chyfraniad bach gan niwtrinos).

6

## **Ymasiad Niwclear yn Dechrau ac yn Dod i Ben**

Ffracsiwn o eiliad ar ôl dechrau'r ehangiad, pan oedd y tymheredd tua can biliwn kelvin (100 GK), cyfunodd niwtronau â phrotonau i ffurfio niwclïysau dewteriwm a heliwm y bydysawd mewn proses o'r enw niwclïosynthesis y Glec Fawr. Fodd bynnag, tua 3 munud ar ôl y Glec Fawr, roedd y bydysawd wedi oeri mwy a doedd ymasiad ddim yn bosibl bellach. Mae damcaniaeth y Glec Fawr ei hun yn rhagfynegi cyflenwadau màs o tua 75% o hydrogen-1, tua 25% o heliwm-4, tua 0.01% o ddewteriwm, mymryn (symiau o raddau  $10^{-10}$ ) o lithiwm a beryliwm, a dim elfennau trwm eraill. Mae'r ffaith bod y cyflenwadau sy'n cael eu harsylwi yn y bydysawd yn gyffredinol yn gyson â'r niferoedd cyflenwad hyn yn cael ei ystyried yn dystiolaeth gryf o blaid damcaniaeth y Glec Fawr.

7

## **Y Bydysawd yn Troi'n Dryloyw**

Ar ôl tua 380 000 o flynyddoedd, oerodd y bydysawd i dymheredd tua 3 000 K. Roedd yr electronau a'r niwclïysau wedi cyfuno i ffurfio atomau (hydrogen gan fwyaf). Roedd hyn yn golygu bod pelydriad yn gallu teithio'n rhydd heb orfodi gwefrau rhydd i osgiliadu, ac roedd yn parhau i deithio drwy'r gofod yn eithaf dirwysr. Yr hen belydriad hwn yw'r CMBR. Yn aml, bydd pobl yn dweud bod y CMBR sy'n cael ei ganfod heddiw wedi dechrau fel pelydriad gama yn fuan ar ôl y Glec Fawr. Dydy hyn ddim yn hollol wir oherwydd cafodd y ffotonau hyn eu gwasgaru a'u hamsugno amser maith yn ôl. Dechreuodd y CMBR rydym ni'n gallu ei ganfod nawr yn bennaf fel pelydriad isgoch 380 000 o flynyddoedd ar ôl y Glec Fawr pan drodd y bydysawd yn dryloyw yn sydyn. Er bod y bydysawd cyn hynny wedi bod yn ddigon poeth i allyrru pelydrau gama (fel pelydrydd cyflawn), doedd y pelydriad hwn ddim yn gallu teithio'n bell iawn.

8

## **Y Bydysawd Modern a Damcaniaeth y Glec Fawr**

Ym mydysawd heddiw, y dystiolaeth arsylwadol gynharaf a mwyaf uniongyrchol o ba mor ddilys yw'r ddamcaniaeth yw ehangiad y bydysawd yn unol â deddf Hubble (sy'n cael ei ddangos gan ruddiad galaethau), darganfod a mesur y CMBR a'r niferoedd cymharol o elfennau ysgafn gafodd eu cynhyrchu gan niwclïosynthesis y Glec Fawr. Mae tystiolaeth ddiweddarach yn cynnwys arsylwadau o ffurfiant ac esblygiad galaethau, a dosbarthiad adeileddau cosmig mawr. Weithiau, byddwn ni'n galw'r rhain yn "bedwar piler" damcaniaeth y Glec Fawr.

9

Mae arsylwadau cwasarau (*quasars*) a galaethau pell yn dangos bod gan y gwrthrychau hyn ruddiad – mae'r golau sy'n cael ei allyrru ohonynt wedi'i ddadleoli (*shifted*) i donfeddi hirach. Gallwn ni weld hyn drwy gymryd sbectrwm amledd gwrthrych a chymharu patrwm sbectrosgopig y llinellau allyrru neu'r llinellau amsugno â phatrymau atomau'r elfennau cemegol sy'n rhyngweithio â'r golau. Mae'r rhuddiadau hyn wedi'u dosbarthu'n unffurf (*evenly*) i bob cyfeiriad ymysg y gwrthrychau hyn. Drwy ddehongli'r rhuddiad fel dadleoliad (*shift*) Doppler, gallwn ni gyfrifo cyflymder enciliol y gwrthrych. Wrth blotio'r cyflymderau enciliol yn erbyn y pellteroedd hyn, rydym ni'n arsylwi perthynas linol o'r enw deddf Hubble:

$$v = H_0 D \quad \text{Hafaliad 1}$$

Ile:

- $v$  yw cyflymder enciliol yr alaeth neu wrthrych pell arall;
- $D$  yw'r pellter i'r gwrthrych;
- $H_0$  yw cysonyn Hubble, sydd wedi'i fesur yn  $2.2685 \times 10^{-18} \text{ s}^{-1}$ .

Drwy gyfuno deddf Hubble  $v = H_0 D$ , â chyfrifiad syml o gyflymder dianc o fydysawd sfferig, gallwn ni gyfrifo'r hyn sy'n cael ei alw'n ddwysedd critigol y bydysawd:

$$\frac{1}{2}mv_{\text{dianc}}^2 - \frac{GMm}{R} = 0 \quad \text{Hafaliad 2}$$

Ile  $v_{\text{dianc}}$  yw cyflymder dianc màs mympwyol,  $m$ , sydd bellter,  $R$ , oddi wrth 'ganol' y bydysawd ac  $M$  yw màs y bydysawd sydd wedi'i gynnwys y tu mewn i'r sffêr â radiws  $R$  (y mae'r màs mympwyol yn sefyll ar ei arwyneb). Wrth i ni ystyried cyfaint y sffêr â radiws  $R$  hefyd, mae hyn yn arwain at:

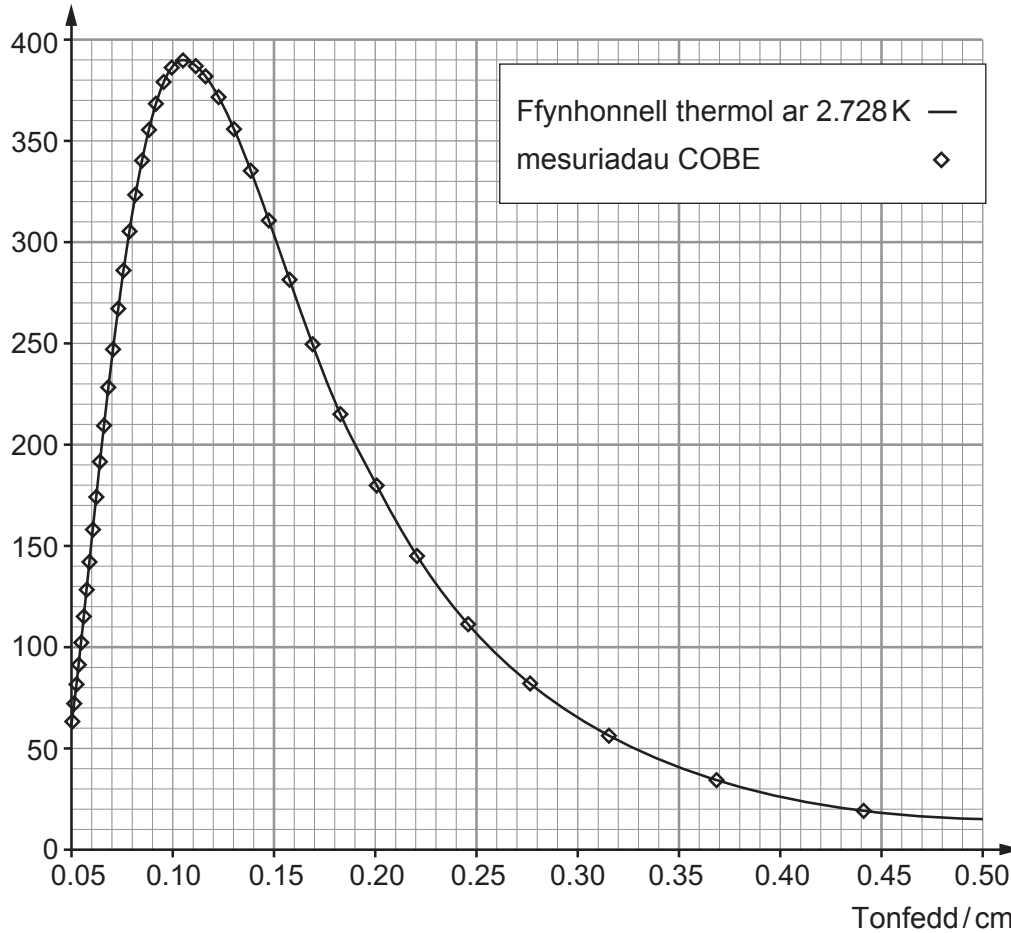
$$\rho_c = \frac{3H_0^2}{8\pi G} \quad \text{Hafaliad 3}$$

Gallwn ni gyfrifo dwysedd critigol,  $\rho_c$ , y bydysawd o'r hafaliad hwn ac mae'n cyfateb i 5 atom hydrogen i bob metr ciwbig. Mae màs y bydysawd sy'n cael ei arsylwi (yn seiliedig ar gyfrif sêr) hefyd yn rhoi gwerth dwysedd tebyg.

Yn ogystal â chyfrifo dwysedd cymedrig y bydysawd modern, gallwn ni gyfrifo tymheredd cymedrig. O'r CMBR, os ydym ni'n tybio bod y bydysawd yn belydrydd cyflawn, rydym ni'n cael tymheredd o  $(2.725 \pm 0.001)\text{K}$ . Mae'r sbectrwm microdon hefyd yn dilyn siâp sbectrwm pelydrydd cyflawn perffaith.

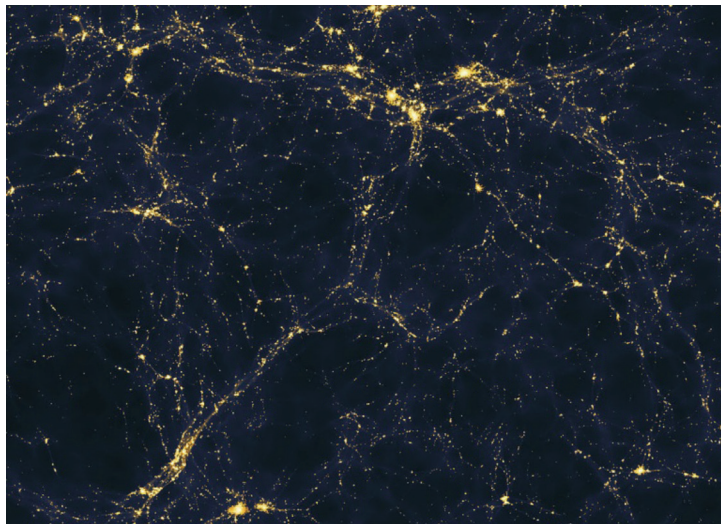
Arddwysedd / unedau mympwyol

Paragraff



Ffigur 2

Ers dechrau'r 1980au, mae mwy a mwy o dystiolaeth wedi'i darganfod am drefn graddfa mwy (*larger scale order*) o fater yn y bydysawd. Mae sêr wedi'u trefnu mewn galaethau, sydd yna'n ffurfio grwpiau o alaethau, clystyrau o alaethau, uwchglystyrau, dalenni, waliau a ffilamentau. Mae gwagleoedd (*voids*) anferth rhyngddynt, gan greu adeiledd enfawr tebyg i sbwng sydd 14 weithiau'n cael ei alw'n "we gosmig". Mae'r adeileddau graddfa anferthol hyn i gyd wedi cael eu hefelychu (*simulated*) gan gyfrifiaduron ac mae'n ymddangos eu bod nhw i gyd yn cytuno â damcaniaeth y Glec Fawr.



Ffigur 3