

Sut ydym ni'n mesur priodweddau sêr?

(wedi'i addasu'n rhydd o gwrs darlithoedd Seryddiaeth Elfennol a roddwyd ym Mhrifysgol Pennsylvania State; nodiadau gwreiddiol wedi'u hysgrifennu gan yr Athro Robin Ciardullo).

Mae paralacs yn effaith eithaf defnyddiol wrth astudio sêr – mae'n gallu dweud wrthym pa mor agos yw'r sêr agosaf. Mudiant y Ddaear o gwmpas yr Haul sy'n darparu'r paralacs, a gallwn ni fesur yr ongl baralacs. Ar gyfer y sêr agosaf, mae'r ongl hon tua un arceiliad, hynny yw, $\frac{1}{60}$ o $\frac{1}{60}$ o un radd ($\frac{1}{3600}$ o un radd). I gymharu, mae maint onglaid y Lleuad yn $\frac{1}{2}$ gradd. Felly, pe baech chi'n rhannu'r Lleuad yn 1 800 o ddarnau, byddech chi'n cael 1 arceiliad.

Yna, gallwn ni ddefnyddio trigonometreg y triongl tenau iawn ar y dde i fesur pellter.

Mae seryddwyr bob amser yn ceisio gwneud pethau mor hawdd â phosibl iddynt eu hunain. Maent yn diffinio uned pellter newydd, sef y **parsec**.

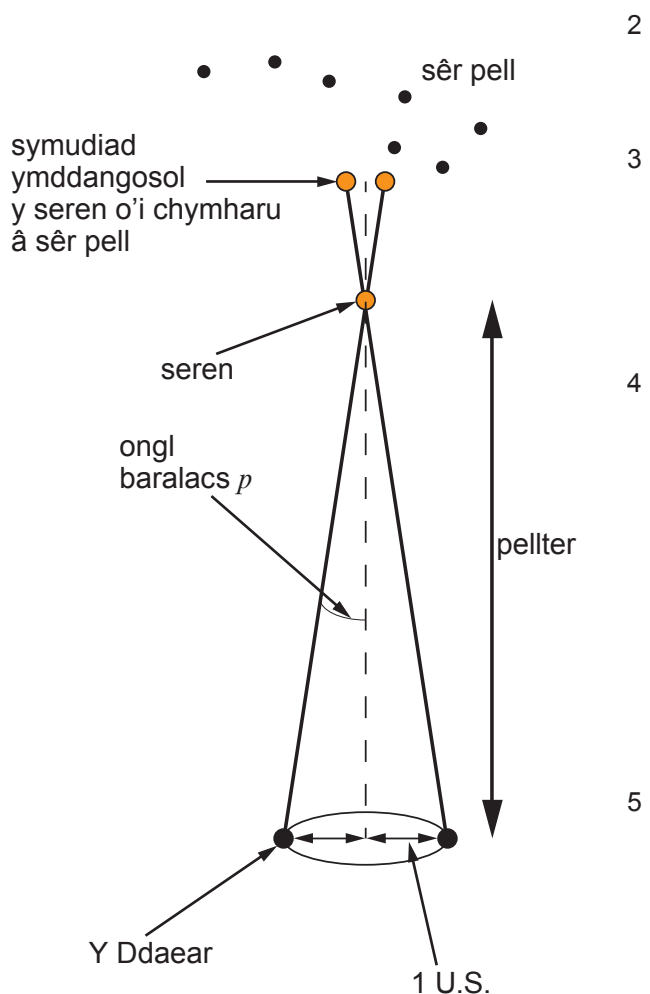
Un parsec yw'r **pellter fyddai gan seren pe bai ganddi ongl baralacs o 1 arceiliad**. (I'r rhai sy'n mynnu defnyddio'r rhifau, mae hyn tua 206 265 Uned Seryddol, neu 3×10^{13} km neu 3.25 blwyddyn golau.) Noder bod diffinio parsec fel hyn yn golygu bod y berthynas rhwng yr ongl baralacs sydd wedi'i mesur a'r pellter ymhlyg yn ddibwys. Os yw paralacs seren yn 1 arceiliad, mae ei phellter yn 1 parsec. Os yw ei pharalacs yn $\frac{1}{2}$ arceiliad, mae ei phellter yn 2 parsec. Os yw ei pharalacs yn $\frac{1}{10}$ arceiliad, mae ei phellter yn 10 parsec. Ac yn y blaen.

Drwy fesur y pellter at seren, a mesur pa mor ddisglair mae seren yn ymddangos yn yr awyr, gallwn ni wedyn fesur disgleirdeb cynhenid y seren h.y. pa mor ddisglair yw'r seren mewn gwirionedd. (A yw'r seren yn fatsien o flaen ein llygaid, neu'n chwilolau (*searchlight*) yn bell i ffwrdd.) Rydym ni'n gwneud hyn drwy ddefnyddio deddf sgwâr gwrthdro golau, sy'n rhoi'r berthynas ganlynol rhwng y goleuedd cynhenid, L , a'r goleuedd ymddangosol, I :

$$I = \frac{L}{r^2} \quad \text{lle } r \text{ yw'r pellter.}$$

Nid yw seryddwyr yn mesur disgleirdeb mewn watiau (na hyd yn oed gigawatiau). Weithiau, byddant yn defnyddio **goleueddau solar**, sef pa mor ddisglair yw seren o'i chymharu â'r Haul. 6 (Er gwybodaeth, mae'r Haul yn gywerth â bwlb golau 4×10^{26} W!) Yn amlach (yn anffodus), byddant yn defnyddio **maint absoliwt**.

Mae **maint ymddangosol** yn disgrifio pa mor ddisglair mae seren yn ymddangos yn yr awyr. Mae maint ymddangosol Vega wedi'i ddiffinio fel sero. Mae maint ymddangosol Deneb yn agos i 1; mae Polaris (Seren y Gogledd) yn agos at 2. Mae maint ymddangosol y seren leiaf disglair y gallwch chi ei gweld fel rheol tua 3 neu 4. Mae maint ymddangosol y seren leiaf disglair y gallwch chi ei gweld allan yn yr anialwch, yn bell o oleuadau dinas, tua 6. Sylwch fod y raddfa maint yn mynd tuag yn ôl – mae rhifau mawr yn cynrychioli sêr gwan. Sylwch hefyd fod y raddfa maint yn gweithio yn yr un ffordd â'r llygad dynol, sef yn logarithmig.



Mae hyn yn golygu bod pob maint 2.5 gwaith yn llai disglair na'r maint blaenorol. Mae seren â maint ymddangosol $m = 1$ yn 2.5 gwaith llai disglair na seren ag $m = 0$. Mae seren ag $m = 2$ yn $2.5 \times 2.5 = 6.25$ gwaith llai disglair nag un ag $m = 0$. Ac yn y blaen. Yn wir, diffinnir bod gwahaniaeth o 5 maint yn gywerth â ffactor o 100 o ran disgleirdeb.

Mae maint ymddangosol seren yn disgrifio pa mor ddisglair mae'r seren yn ymddangos. Mae maint absoliwt seren yn disgrifio disgleirdeb cynhenid y seren. Mae maint absoliwt yn cael ei ddiffinio fel hyn – **maint absoliwt seren yw'r maint ymddangosol a FYDDAI gan y seren PE BAI y pellter ati yn 10 parsec**. Mae maint ymddangosol yr Haul yn -26 . Fodd bynnag, pe bai'r Haul 10 parsec i ffwrdd o'r Ddaear, byddai'n llawer llai disglair; byddai ei faint ymddangosol tua 5 (ni fydddech yn gallu ei weld fel arfer). Felly, maint absoliwt yr Haul yw 5. Ar gyfer sêr heblaw'r Haul, y fformiwla sy'n rhoi'r berthynas rhwng maint ymddangosol, maint absoliwt ac ongl baralacs yw:

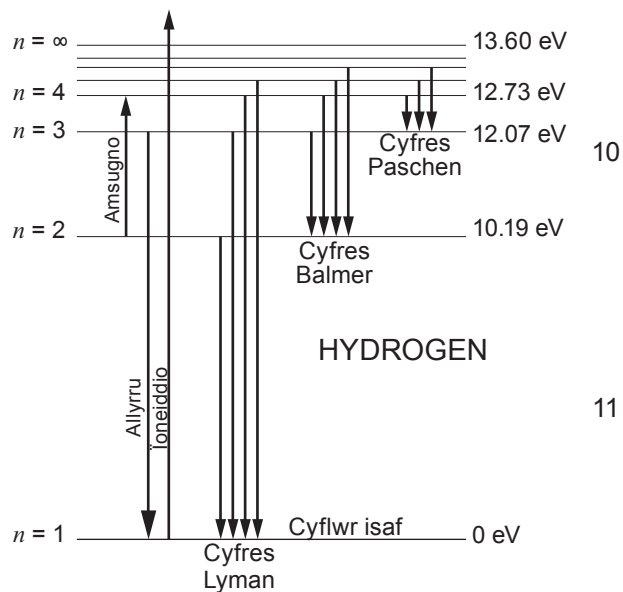
$$M = m + 5(1 + \log_{10} p)$$

Ile M yw'r maint absoliwt, m yw'r maint ymddangosol a p yw ongl baralacs y seren mewn arceiliadau.

Mae'n gymharol hawdd amcangyfrif tymheredd arwyneb serol. Un ffordd o wneud hyn yw drwy fwrw amcan (*estimate*) o liw'r seren. Y mwyaf coch yw'r seren, yr oeraf ydyw; y mwyaf glas yw'r seren, y poethaf ydyw. Ond mae ffordd arall o fesur tymheredd seren sy'n gweithio hyd yn oed pan (am ryw reswm neu'i gilydd) nad yw'r dull lliwiau'n gweithio'n dda. Mae'r dull yn golygu edrych ar sbectrwm y seren.

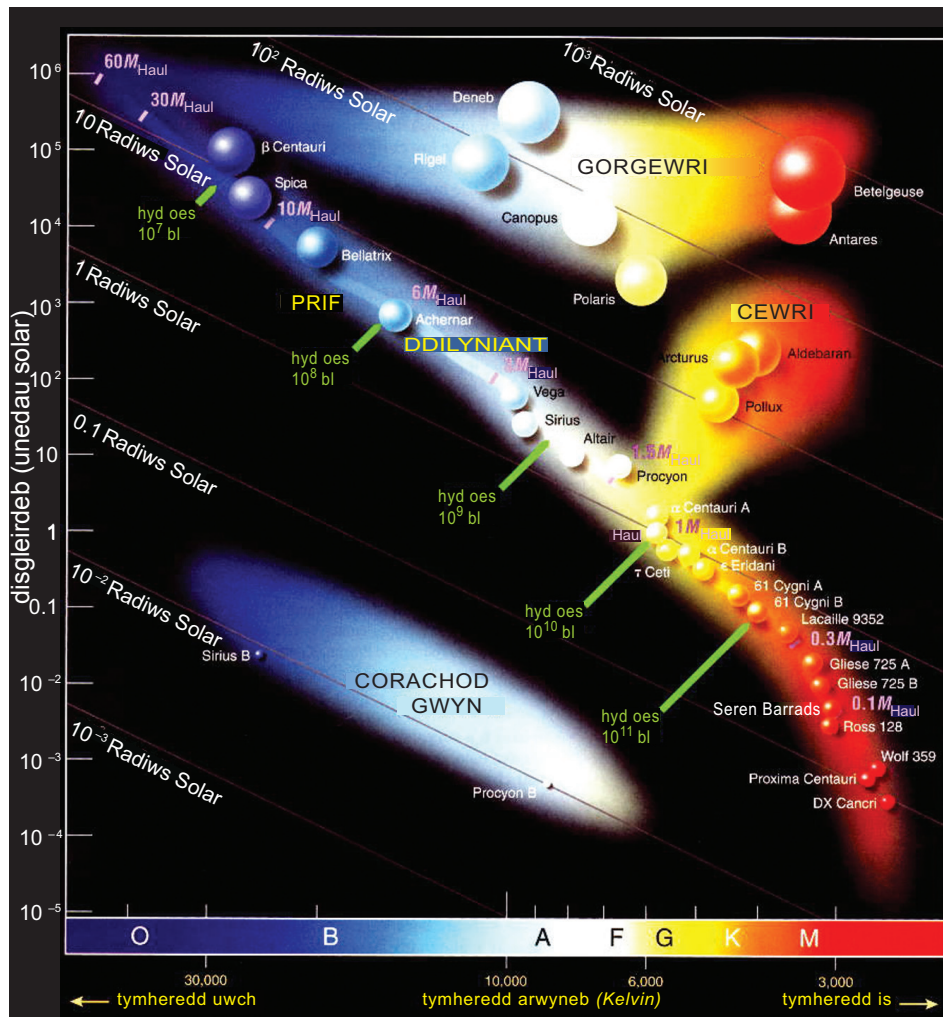
Mae sêr wedi'u gwneud o hydrogen a heliwm gan fwyaf. Atomau hydrogen yw naw o bob deg atom yn y bydysawd. Heliwm yw naw o bob deg o'r gweddill. Felly, wrth arsylwi sbectrwm seren, dylem ni weld hydrogen a heliwm yn bennaf. Nid dyna rydym ni'n ei weld, ac mae'r rheswm dros hyn yn dod o ffiseg atomig yr elfennau unigol.

I ddeall hyn, dewch i ni ystyried atom hydrogen fel enghraifft. Fel pob atom, mae gan hydrogen nifer o lefelau i'w electron. Fel mae'n digwydd, i hydrogen, mae'r pellter rhwng y lefel gyntaf a'r ail lefel yn enfawr – mae'n gywerth â ffoton uwchfioled pell. Yr unig bryd y bydd amsugniadau optegol yn digwydd ar gyfer hydrogen yw pan fydd electron yn yr ail lefel yn cipio ffoton a chodi i lefel uwch. Mae canlyniad diddorol i'r adeiledd atomig hwn.



Ystyriwch hydrogen o fewn atmosffer seren oer, goch. Bydd bron holl electronau'r hydrogen yn y cyflwr isaf. Er mwyn i un o'r electronau hyn fod yn yr ail lefel, lle mae'n gallu cipio ffoton optegol, rhaid iddo naill ai (a) amsugno ffoton uwchfioled â'r egni priodol, neu (b) gael ei daro gan ryw beth â digon o egni i'w wthio i fyny. Ond, yn achos seren oer, nid oes prin ddim ffotonau uwchfioled i'w hamsugno, ac mae'r atomau'n symud mor araf fel nad yw dim o'r 12 gwrthdrawiadau'n ddigon caled i symud electron i lefel egni uwch. O ganlyniad, mewn sêr oer, nid oes dim atomau hydrogen â'u helectronau yn yr ail lefel, ac felly nid oes dim llinellau amsugno **optegol** o hydrogen.

Nawr ystyriwch seren boeth iawn. Mae'r seren boeth hon yn allyrru llawer o ffotonau egni uchel, ac mae llawer o'r rhain yn ddigon egniol i gicio electron hydrogen allan o'r atom yn gyfan gwbl (h.y. i ïoneiddio'r atom). Os yw'r holl atomau hydrogen wedi colli eu helectronau, yna ni fydd dim electronau hydrogen yn yr ail lefel egni, ac eto, ni fydd amsugniad optegol o hydrogen. Felly, fel sêr oer, ni fydd sêr poeth yn dangos dim llinellau amsugno hydrogen yn yr amrediad gweladwy. Felly, os ydym ni'n gweld amsugniad hydrogen cryf, rhaid bod tymheredd y seren yn ganolog (*intermediate*) (mae'r amsugniad ar ei gryfaf o gwmpas 10 000 gradd).



Hyd yn hyn, rydym wedi trafod sut i ddeillio goleuedd cynhenid seren a thymheredd y seren. Pan fydd seryddwyr yn canfod dwy o briodweddau gwrthrych (fel seren), y peth cyntaf y byddant yn ei wneud fel arfer yw plotio un yn erbyn y llall. Hwn yw'r **diagram Hertzprung-Russell**, neu'r diagram HR. Mae echelin-x diagram HR yn rhoi tymheredd y sêr (neu eu lliw, neu fath sbectrol, sy'n gywerth). Gan fod seryddwyr yn hoff o wneud pethau 14 tuag yn ôl, mae sêr-O glas poeth yn cael eu plotio ar y chwith, ac mae sêr-M coch oer yn cael eu plotio ar y dde. Mae echelin-y diagram HR yn rhoi goleuedd cynhenid y sêr (neu eu maint absoliwt). Mae sêr disglair yn uchel yn y diagram, a sêr oer yn agos at y gwaelod. Mae'r mwyafrif llethol o

sêr (dros 90%) mewn band ar draws y diagram, sy'n mynd o oer a gwan i boeth a disglair. Enw'r band hwn yw'r **prif ddilyniant** ac mae'n gwneud synnwyr. Fe gofiwch, o'r ddeddf pelydrydd cyflawn (*black body*), bod gwrthrychau poeth yn pelydru llawer mwy o egni na gwrthrychau oer (tymheredd i'r pedwerydd pŵer). Felly, mae'n rhesymol bod sêr oer yn wan a sêr poeth yn ddisglair. Fodd bynnag, mae rhai sêr anarferol nad ydynt ar y prif ddilyniant. Yn benodol, mae rhai sêr yn goch iawn ac yn ddisglair iawn, ac mae eraill yn las iawn ac yn wan iawn. Dewch i ni ystyried y sêr coch yn gyntaf. Rhaid bod pob metr sgwâr o'r sêr hyn yn gymharol wan, oherwydd nid yw gwrthrychau oer yn pelydru llawer o olau. Yr unig ffordd y gall y sêr hyn fod yn ddisglair yw drwy fod yn enfawr (h.y. rhaid bod ganddynt lawer o fetrau sgwâr). Byddwn yn galw'r rhain yn **sêr cawr coch**. Ar y llaw arall, yr unig ffordd mae sêr poeth iawn yn gallu bod yn wan yw drwy fod yn fach dros ben. Mae'r sêr hyn yn sêr **corrach gwyn** (er y byddai sêr corrach glas yn enw gwell).

Dylech sylwi bod disgleirdeb seren, mewn gwirionedd, yn dibynnu ar ddwy ffactor: ei tymheredd a maint arwynebedd arwyneb y seren. Mewn geiriau eraill:

$$L = br^2 T^4 \quad 15$$

Ile L yw goleuedd absoliwt y seren, r yw radiws y seren, a T yw tymheredd arwyneb y seren; rhif b sy'n gwneud i'r unedau fod yn gywir. Nodwch hefyd fod radiws y seren wedi'i blotio â llinell doredig yn y diagram HR – mae ochr chwith isaf (glas) y diagram yn fach, ac mae ochr dde uchaf (coch) y diagram yn fawr.

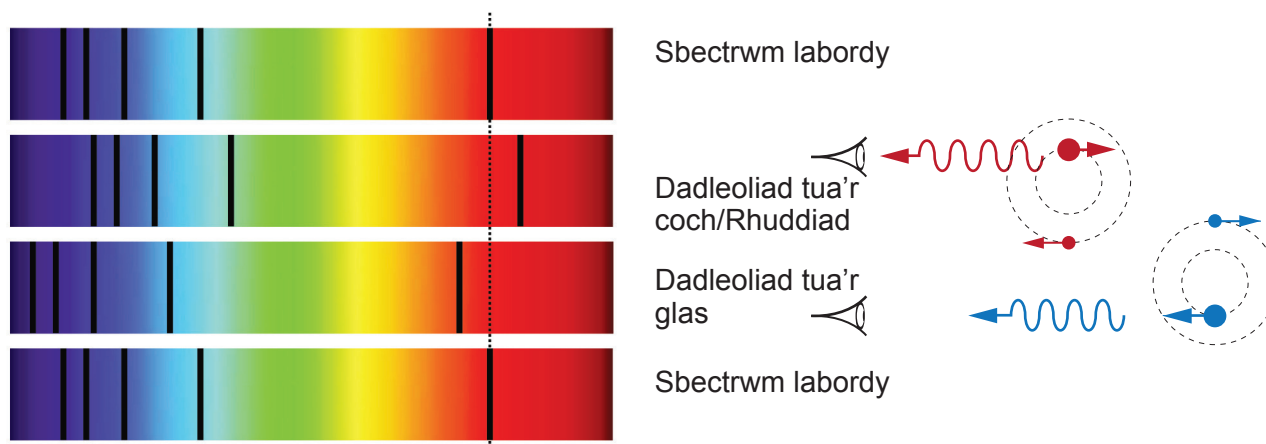
Priodwedd arall y mae'n bwysig ei deall yw màs serol. Gallwn ni ddefnyddio deddfau Kepler a Newton i 'bwysu' sêr. Cofiwch mai addasiad Newton i 3edd deddf Kepler yw:

$$(M + m)T^2 = a^3 \quad 16$$

Ile mai T yw cyfnod yr orbit (mewn blyneddau), a yw echelin led-hwyaf (*semi-major*) yr orbit (mewn unedau seryddol), ac M ac m yw masau'r ddau wrthrych (mewn masau solar). Pe byddem ni'n gallu canfod **sêr dwbl** sydd mewn orbit o gwmpas ei gilydd, a phe byddem ni'n gallu mesur eu cyfnod a'u hechelin led-hwyaf, byddem ni'n gallu mesur cyfanswm eu màs.

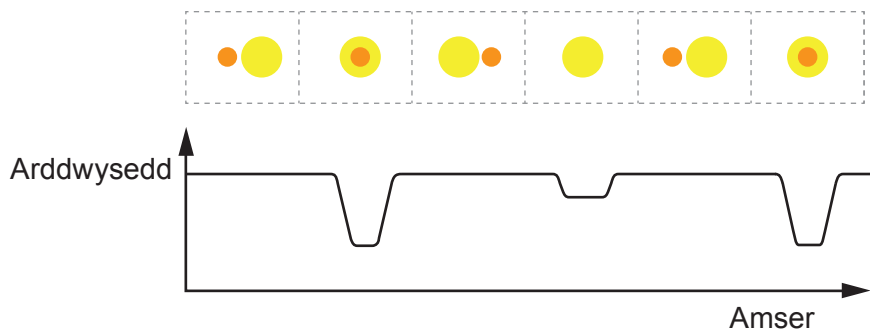
Mae'r bydysawd yn garedig wrthym ni. Efallai fod $\frac{1}{2}$ yr holl sêr ynddo'n sêr dwbl. Mae gan seryddwyr enwau gwahanol ar y sêr hyn sy'n dibynnu ar sut rydym ni'n adnabod ac yn canfod natur y sêr dwbl. Dyma restr o derminoleg; noder y gall yr un sêr fod mewn mwy nag un categori ar adegau. 17

Sêr Dwbl Sbectrosgopig. Mae hwn yn fath arbennig o bwysig o seren ddwbl. Mae sêr dwbl sbectrosgopig mor agos at ei gilydd fel mai dim ond un gwrthrych y bydd seryddwr yn ei weld (dim ond y fwyaf disglair o'r ddwy seren fel arfer). Fodd bynnag, dros amser, bydd y seryddwr yn gweld bod y symudiad Doppler yn newid. Yn gyntaf, bydd y seren yn symud tuag atom ni; yna oddi wrthym ni; ac yna tuag atom ni eto. Gall cyfnodau sêr dwbl sbectrosgopig bara misoedd, dyddiau, oriau neu hyd yn oed funudau! 18



Mae sêr dwbl sbectrosgopig yn bwysig oherwydd yr hyn maent yn gallu ei ddweud wrthym. Yn gyntaf, drwy fonitro symudiad Doppler, gallwn ni amseru pa mor hir mae'n ei gymryd i gwblhau un cylch ymlaen-yn ôl-ymlaen. Dyna gyfnod y seren. Nesaf, eto, o'r symudiad Doppler, gallwn ni ganfod cyflymder y seren. Mae cyflymder wedi'i luosi ag amser yn hafal i bellter, felly mae hyn yn rhoi maint orbit y seren, a gydag ychydig bach iawn o fathemateg, echelin led-hwyaf yr orbit. Yna, bydd deddf disgyrchiant yn rhoi cyfanswm màs y ddwy seren. 19

Os yw un seren yn ddisglair iawn, a'r llall yn wan iawn, dim ond llinellau amsugno'r seren ddisglair rydych chi'n eu gweld. Os felly, mae'r seren yn **seren ddwbl sbectrosgopig un llinell** ac ni allwch chi wneud dim mwy â hi. Fodd bynnag, os yw disgleirdeb y ddwy seren tua'r un fath, efallai y gwelwch chi linellau amsugno o'r naill seren a'r llall. Wrth i un seren 20 symud tuag atoch chi, bydd y llall yn symud oddi wrthydd chi. Mae buaneddau cymharol y sêr yn rhoi'r màs cymharol i chi: bydd y seren fwyaf masfawr yn symud yn araf, a bydd y seren lai masfawr yn symud yn gyflym. Yn yr achos hwn o **seren ddwbl sbectrosgopig dwy linell**, yn ogystal â mesur cyfanswm màs y ddwy seren gyda'i gilydd, gallwch chi fesur cymhareb màs y sêr. Felly, bydd gennych fasau unigol.



Sêr Dwbl Achluddol (*eclipsing*). Mae sêr dwbl achluddol yn debyg i sêr dwbl sbectrosgopig gan mai dim ond un gwrthrych y bydd y seryddwr yn ei weld. Fodd bynnag, yn yr achos hwn, bydd un seren ar adegau yn ffordd y llall, h.y. bydd un seren yn achluddo'r llall. Pan fydd 21 hyn yn digwydd, bydd y golau o'r system yn lleihau. Drwy ddilyn **cromlin golau** y gwrthrych, gallwn ni fesur cyfnod y seren. Mae sêr dwbl achluddol yn bwysig oherwydd rydych yn gwybod cyfeiriadaeth y sêr hyn; mae plân yr orbit ar hyd eich llinell golwg.

O fesur llinellau amsugno seren ddwbl achluddol, byddwch yn gweld ei bod yn seren ddwbl sbectrosgopig. Gan eich bod yn gwybod goled y sêr, bydd dim amheuaeth ynglŷn â 22 chanfod y mas o'r symudiad Doppler. Hefyd, drwy amseru pa mor hir mae'n ei gymryd i'r sêr symud i mewn ac allan o'r eclips, a thrwy nodi pa mor gyflym mae'r sêr yn symud, gallwn ni ddefnyddio'r systemau hyn i fesur maint seren, yn ogystal â'i màs.

Er bod hyn yn ymddangos yn anhygoel, mae pob dot ar y diagram Hertzsprung-Russell yn cynrychioli seren gyfagos. Cafodd yr holl wybodaeth hon am filoedd o sêr ei chasglu heb ddefnyddio llawer mwy na'r damcaniaethau sy'n cael eu trafod yn yr erthygl hon. Y cyfarpar 23 gafodd ei ddefnyddio oedd drychau sylfaenol, prismau (neu gratinau) a chanfodyddion golau. Fodd bynnag, rhaid cofio faint o waith yr oedd ei angen i gasglu'r holl ddata, yn ogystal â deallusrwydd yr ychydig bobl oedd â'r mewnwelediad i ddatblygu'r damcaniaethau hyn yn y lle cyntaf.

