

**Dr Huw Morgan**

---

**Ehangedd ardaloedd  
bywiog o'r Haul i'r gofod**

---

**Gwerddon**

CYFNODOLYN ACADEMAIDD CYMRAEG

Golygydd Yr Athro Ioan M. Williams

---

# Ehangiad ardaloedd bywiog o'r Haul i'r gofod

**Dr Huw Morgan**

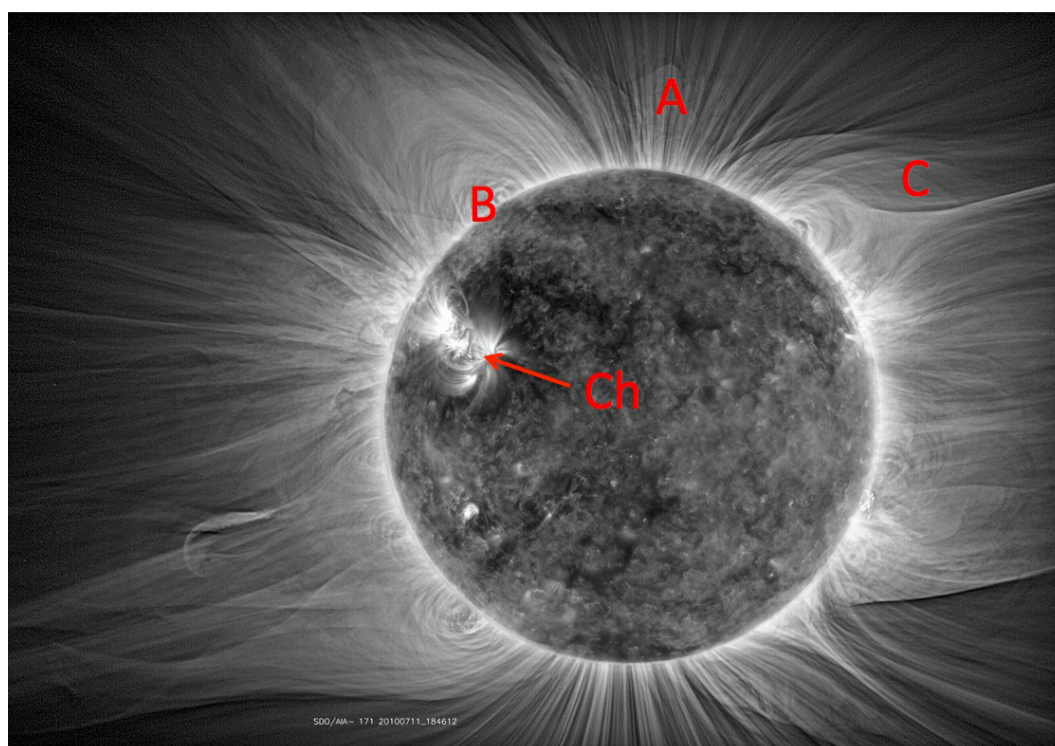
## 1. Cyflwyniad

Plasma poeth, magnetig yw corona'r Haul. Mae natur y corona yn dra gwahanol i'r hyn a geir yn atmosffer y Ddaear, a chynigia felly gyfleoedd unigryw i astudio amgylchedd eithafol. Mae deall y corona yn bwysig o ran cynyddu ein dealltwriaeth o blasma poeth, plasma magnetig, sêr eraill ynghyd â deall effaith yr Haul ar ei gysawd a'r Ddaear yn benodol. Mae'r corona'n ehangu i'r gofod rhyngblanedol ac yn llifo fel gwynt yr Haul i lenwi'r heliosffer. Mae'r Ddaear felly wedi'i hamgylchynu gan atmosffer yr Haul. Gall digwyddiadau ffrwydrol ger yr Haul daflu bwndeli o blasma egniol i'r gofod, sef alldafladau màs coronaidd (AMC). Yn achlysurol, mae AMC yn taro maes magnetig y Ddaear gyda'r potensial i niweidio systemau technolegol ein cymdeithas. Am sawl rheswm felly, mae'n bwysig deall sut y ffurfir gwynt yr Haul ynghyd â deall ei natur a'i nodweddion, yn ogystal ag o ba ardaloedd ger yr Haul y deillia'r gwynt ohonynt. Mae'r gwaith a gyflwynir yma'n canolbwyntio ar y pwynt olaf, yn benodol ar ffactor arsylwadol pwysig a all ddylanwadu ar fodelau o ffynhonnell y gwynt araf a dwys a ddaw o'r Haul. Er gwaethaf datblygiadau mawr mewn arsylwadau a modelau o'r Haul a'r corona dros y degawdau diwethaf, parha gryn ansicrwydd ynghylch tarddle'r gwynt araf.

Oddi mewn i'r Haul, ceir symudiadau o brotonau ac electronau mewn llwyth sy'n cynhyrchu maes magnetig cryf. Caiff peth o'r maes hwn ei gario i arwynebedd yr Haul trwy ddarfudiad. Mae'r fflwcs magnetig 'newydd' yn creu brychau haul (neu sbotiau tywyll) ar arwynebedd gweledol yr Haul (y ffotosffer), ac yn creu dolen sy'n ymestyn allan i'r atmosffer gyda'r troed-bwyntiau (*footpoints*) wedi'u gwreiddio yn y ffotosffer. Hynny yw, mae'r llinellau maes magnetig yn ymestyn mewn dolen o'r ffotosffer i'r atmosffer ac yn ôl drachefn i'r ffotosffer. Gelwir yr ardaloedd o'r corona sy'n amgylchynu'r brychau haul yn ardaloedd bywiog. Mae'r rhain yn ardaloedd lle mae'r plasma'n ddwys iawn, lle y'i cynhesir i dymheredd uwch na'r cyffredin. Labelir un ardal fywiog gyda'r llythren 'Ch' yn ffigur 1. Un nodwedd amlwg o ardaloedd bywiog mewn arsylwadau golau uwchfioled eithafol yw'r dolenni llachar, cymhleth. Mae'r rhain yn ddolenni o ddwysedd uchel sy'n olrhain cyfeiriad y maes magnetig caeëdig.

Trwy symudiadau'r plasma ar y ffotosffer, neu oddi tano, llusgir a throellir y maes magnetig oddi mewn i'r ardal fywiog. Felly, yn hytrach na bodoli mewn stad o egni isel, cordeddir y maes magnetig ac y mae felly'n storio egni, yn ddigon tebyg i fand elastig yn cael ei ymestyn neu ei droi. Dyhead y maes magnetig yw dychwelyd i stad o egni is, sy'n digwydd yn achlysurol trwy ddigwyddiadau catastroffig, cyflym, sy'n ailstrwythuro'r maes mewn amser byr iawn (eiliadau neu funudau). Mae'r broses hon yn ffurfio'r AMC mwyaf egniol a pheryglus. Yn gyffredinol, yr ailstrwythuro hyn ar lefel ffrwydrol, fawr (neu hefyd ar lefel fechan, gyson), yw'r unig fodd y gall y plasma mewn ardaloedd bywiog ddianc o'r maes caeëdig i ffurfio rhan o wynt yr Haul.

Yn raddol felly, bydd y maes magnetig dwys sy'n bodoli yn y brychau Haul yn ymwasgaru trwy brosesau graddol a ffrwydrol, gan arwain at ddifflaniad yr ardal fywiog a'r brychau. Trwy hyn, mae maes magnetig y corona yn adnewyddu'n gyson. Dengys darlun eang o faes magnetig corona'r Haul dair prif nodwedd. Dangosir hyn yn ffigur 1; ardaloedd o faes 'agored' sy'n ymestyn yn uniongyrchol o'r Haul i'r corona estynedig (label A yn ffigur 1), ardaloedd o faes magnetig caeëdig gyda'r llinellau maes magnetig yn codi mewn dolenni i'r corona cyn disgyn i'r ffotosffer (B), a maes magnetig agored sy'n pontio dros yr ardaloedd caeëdig cyn ymestyn i'r corona estynedig (C). Mae siâp y maes magnetig yn y tri math o ardal yn achosi i'r plasma ddatblygu priodweddau gwahanol, gan arwain at wahaniaethau mawr ym mhriodweddau'r gwynt heulog sy'n deillio o'r tri.



**Ffigur 1: Delwedd uwch-fioled eithafol o'r Haul wedi'i chyfuno â delwedd o'r corona estynedig mewn golau gweledol yn ystod eclips llwyr o'r Haul ar 11 Tachwedd 2010. Disgrifir y labeli yn y prif destun.**

O ardaloedd maes magnetig agored (A yn ffigur 1), daw gwynt cyflym o'r Haul a chanddo ddwysedd isel. Credir bod ardaloedd o faes agored sy'n pontio ardaloedd caeëdig (C) yn un ffynhonnell o wynt araf o'r Haul sydd â dwysedd uchel. Yn olaf, fel y nodwyd eisoes, ynysir y plasma mewn ardaloedd o faes magnetig caeëdig (B) rhag gwynt yr Haul. Yn ôl modelau cyfredol, dim ond drwy ffrwydradau ac ailgysylltu magnetig y gall plasma o'r ardaloedd hyn ddianc ac ymuno â gwynt yr Haul.

Uchida (1992) oedd y cyntaf i ddarganfod ehangiad ardaloedd bywiog ar yr Haul, a hynny mewn delweddau pelydr-X gan y lloeren Yokoh. Gyda datblygiadau diweddar mewn arsylwadau uwchfioled eithafol o'r Haul, mae'n gyffredin i weld dolenni magnetig

caeëdig o fewn ardaloedd bywiog yn ehangu. Yn anffodus, nid oes modd gweld y tu hwnt i'r corona isaf yn y math hwn o arsylwadau, ac felly ni ellir sefydlu maint yr ehangiad. Er hyn, gwelodd Uchida (1992) ehangiad ar gyflymder o oddeutu 10 km yr eiliad mewn sawl ardal fywiog. Sylwodd fod yr ehangiad yn tueddu i ddigwydd uwchben yr ardaloedd mwyaf bywiog, y rhai a chanddynt wreiddiau bywiog iawn sy'n arwydd o fflwcs newydd yn codi drwy'r ffotosffer. Tybiodd fod yr ehangiad yn parhau hyd at y corona estynedig, er nad oedd sail arsylwadol i hyn.

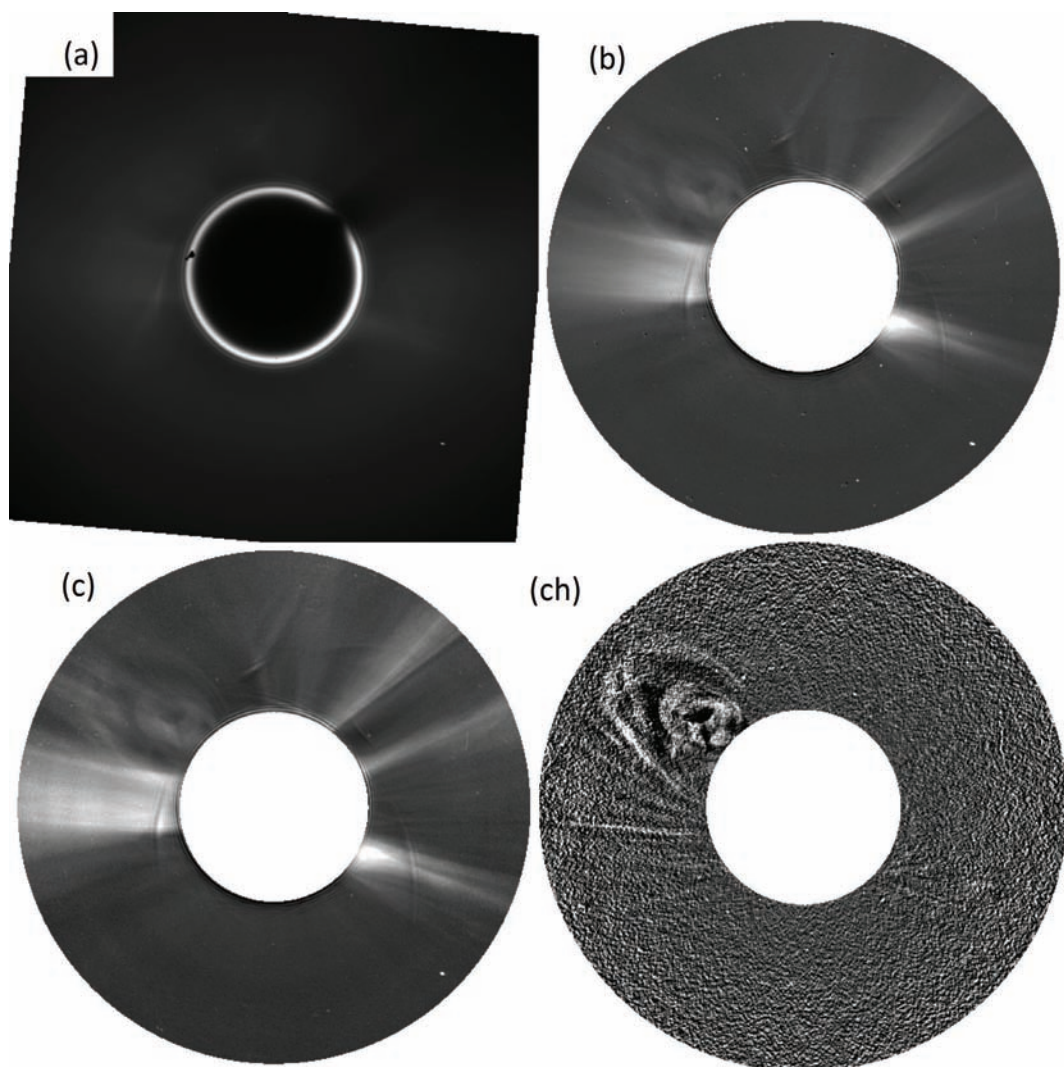
Oherwydd cyfyngiaeth yr arsylwadau pelydr-X i uchderau bychan yn y corona, nid yw ehangiad uniongyrchol ardaloedd bywiog i'r corona estynedig yn rhan o'r model cyfredol sy'n cysylltu'r corona â gwynt yr Haul a strwythur yr heliosffer. Mae rhai astudiaethau o fesuriadau *in situ* (yn uniongyrchol) o wynt yr Haul yn cysylltu llifoedd araf yn uniongyrchol ag ardaloedd bywiog ar yr Haul (Kojima et al., 2000; Neugebauer et al., 2002) ac yn fwy diweddar trafodwyd rhai priodweddau gwynt yr Haul yng nghyd-destun maes magnetig caeëdig ardaloedd bywiog (Gopalswamy et al., 2013). Mae'r modelau cyffredinol – sy'n caniatáu plasma o ardaloedd bywiog i ffurfio cydran o wynt yr Haul – yn cynnwys:

- llifoedd o ardaloedd sy'n ffinio â'r ardal fywiog. Daeth Slemzin et al. (2012) a Harra et al. (2008) o hyd i lifoedd araf ger ardaloedd bywiog, ac fe'u dehonglwyd fel tarddiadau'r gwynt araf
- tyllau coronaidd bychan ger ardaloedd bywiog (Wang, Ko, a Grappin, 2009; Kojima et al., 1999)
- digwyddiadau ffrwydrol o'r ardaloedd bywiog gan gynnwys AMC ac atgysylltiadau magnetig llai yn codi o frig yr ardal fywiog (e.e. Sheeley et al., 2009).

Thema gyffredin sy'n nodweddu'r modelau hyn a rhai cyffelyb yw nad oes modd i blasma a maes magnetig yr ardal fywiog ffurfio rhan uniongyrchol, gyson, o wynt yr Haul. Mae'r gwynt yn codi o ardaloedd magnetig 'agored' ger yr ardaloedd bywiog, a llwydda plasma magnetig o'r ardal fywiog i ddianc yn achlysurol mewn AMC. Mae'r erthygl hon yn disgrifio technegau newydd i ddatgelu manylion mewn arsylwadau coronagraff yn adran 2, yn cyflwyno'r canlyniadau yn adran 3, ac yn cynnal trafodaeth yn adran 4. Rhoddir casgliad a disgrifiad o waith pellach yn adran 5.

## 2. Dull

Mae coronograff yn delesgop arbennig sy'n arsylwi'r golau gwyn, gweledol, o'r corona a wasgarwyd gan electronau rhydd a llwch yn y corona. I alluogi'r mesuriad, rhaid atal y golau llachar a ddaw'n uniongyrchol o'r Haul. Mae hyn yn anodd gan fod rhannau mwyaf llachar y corona oddeutu miliwn gwaith yn wannach na'r Haul. Yn y papur hwn, defnyddir arsylwadau gan y coronograffau *Large Angle Spectroscopic Coronagraph* (LASCO: Brueckner, 1995) sydd ar loeren y *Solar and Heliospheric Observatory* (SOHO). Dangosir arsylw gan LASCO C2 yn ffigur 2a.



**Ffigwr 2:** (a) Arsylw heb ei brosesu o'r corona gan LASCO C2; (b) Y gydran corona-K ar ôl tynnu'r cefndir minimwm hir dymor; (c) Y gydran corona-K ar ôl cymhwyso ffilterau i lanhau'r ddelwedd; (ch) Y corona dynamig wedi proses gymhleth o wahanu'r strwythur gefndirol.

Mae'r delweddau o LASCO yn cynnwys sawl cydran:

- Y corona-K; hon yw'r gydran sydd o ddi-ddordeb, sef y golau a wasgerir gan electronau yn y corona. Mae arsylwadau o'r corona-K felly'n rhoi gwybodaeth am blasma'r corona sy'n codi o'r Haul.
- Y corona-F; golau wedi'i wasgaru gan lwch yn y corona yw hwn. I gymharu â'r corona-K, mae'n wan wrth ymyl yr Haul (<3Rs<sup>1</sup>) ond mae'n tyfu i ddomineiddio'r signal yn bellach oddi wrth yr Haul.
- Golau gwasgar; er gwaethaf safon y telesgop, mae ychydig o olau uniongyrchol o'r Haul yn parhau i wasgaru o fewn y telesgop. Hyd yn oed os yw'r gydran wasgarol hon yn fychan iawn i gymharu â'r golau uniongyrchol, mae'n parhau'n gymharol â'r signal o'r corona.

<sup>1</sup> Rs: un radiws o'r haul, oddeutu 700", neu  $6.96 \times 10^5$  km

- Gwallau offerynnol; mae gwallau bach yn y telesgop ac ar y canfodydd yn creu patrwm nodweddiadol yn yr arsylwadau.

Yn ffodus, mae'r cydrannau diangen (corona-F, golau gwasgar a gwallau offerynnol) yn statig neu'n newid yn araf iawn dros amser, tra bod y corona-K mewn cymhariaeth yn newid yn weddol sydyn. Yn bwysig i'r gwaith hwn, mae rhan fwyaf y strwythur goronaid o raddfa fawr yn newid yn ddyddiol, tra bod digwyddiadau dynamig yn digwydd yn llawer mwy sydyn; dros gyfnod o ychydig oriau. Gan fod LASCO yn gwneud arsylw bob ~15 munud, gellir gwahanu'r gydran dan sylw (digwyddiadau dynamig) oddi wrth y cydrannau eraill.

Ceir yma grynodeb o'r dull (gan osgoi cyflwyno manylion gordechnegol). Eir ati i greu delwedd gefndirol hir dymor drwy gasglu cannoedd o arsylwadau dros gyfnod o oddeutu +/-2 diwrnod o'r amser dan sylw. O'r delweddau hyn, cyfrifir gwerth minimwm ar gyfer pob picstel yn y darlun. Mae hon yn ddelwedd finimwm sy'n cynnwys y corona F, golau gwasgar a gwallau offerynnol, yn ogystal â chydran o'r corona-K sy'n statig dros y cyfnod o bum niwrnod. Tynnir y ddelwedd finimwm o'r arsylw dan sylw. Mae hyn yn gadael cydran corona-K ynghyd â nifer o bicselau gwallus, fel y dangosir yn ffigur 2b. Cymhwysir ffilterau addas i ddiddymu'r gwerthoedd gwallus yn y picstelau hyn (ffigwr 2c). Mae'r gydran hon yn arddangos strwythur reiddiol yn ardal y corona a arsylwir gan LASCO (>2.2Rs). Yr unig strwythurau anrheiddiol yw digwyddiadau dynamig sydyn. Mae modd felly ynysu'r signal dynamig drwy ymelwa ar y ffaith fod y strwythur gefndirol yn rheiddiol ac yn newid yn araf. Rhoddir manylion llawn yn Morgan et al. (2012). Dangosir canlyniad y broses gymhleth hon yn ffigur 2ch. Gelwir y dull yn wahaniad cydran ddynamig.

### 3. Canlyniadau

Mae ffigur 3 yn dangos y corona agosaf at yr Haul ar 8 Mawrth 2011 am 00:15. Mae'r ddelwedd hon yn dangos arsylw gan y telesgop *Atmospheric Imaging Assembly* (AIA) ar loeren *Solar Dynamics Observatory* (SDO), ac yn arddangos allyriad (*emission*) golau ar dair tonfedd wahanol (gweler disgrifiad y ffigur). Mae'r ddelwedd felly'n dangos y corona isaf a'r dolenni dwys a phoeth sy'n amlinellu maes magnetig caeëdig yr ardal fywiog. Mae gweithgaredd fechan, gyson, yng nghraidd yr ardal fywiog yn arwydd o'r fflwcs magnetig newydd sy'n codi o'r ffotosffer. Dengys ffigur 4 gyfres o arsylwadau o'r ardal fywiog hon. Gwelir yn glir yma fod y dolenni magnetig caeëdig mawr yn ehangu dros gyfnod o oriau gyda buanedd ehangiad o oddeutu 10 km/s. Mae hwn yn nodweddiadol o'r ehangiad ardaloedd bywiog a ddisgrifir gan Uchida et al. (1992). Mae craidd yr ardal fywiog hon yn weithgar iawn, a gwelir fflerau bychan (ardaloedd bychan sy'n allyrru'n llachar iawn am gyfnodau byr) sy'n dystiolaeth o ailgysylltu egniwl. Trwy gymhwyso technegau tebyg i Aschwanden et al. (2011) i ddata amlsianel AIA/SDO, deuir o hyd i dymheredd uchel iawn yng nghraidd a rhai o ddolenni'r ardal fywiog (oddeutu 2 MK neu uwch ar adegau). Gweler Morgan et al. (2013) am enghraifft o'r dystiolaeth hon o dymheredd uchel mewn ardal fywiog. Gallwn dybio bod y tymheredd a'r dwyster uchel – yn ogystal ag ymddangosiad fflwcs magnetig newydd yng nghraidd yr ardal – yn galluogi ac yn gyrru'r ehangiad yn uwch at y corona.

**Ffigwr 3: Delwedd uwchfioled**

**eithafol o'r Haul gan y telesgop Atmospheric Imaging Assembly**

**(AIA) ar loeren y Solar Dynamics Observatory**

**(SDO). Dangosir yma allyriad gan ionau**

**haearn wedi'u hïoneiddio gan blasma poeth ar**

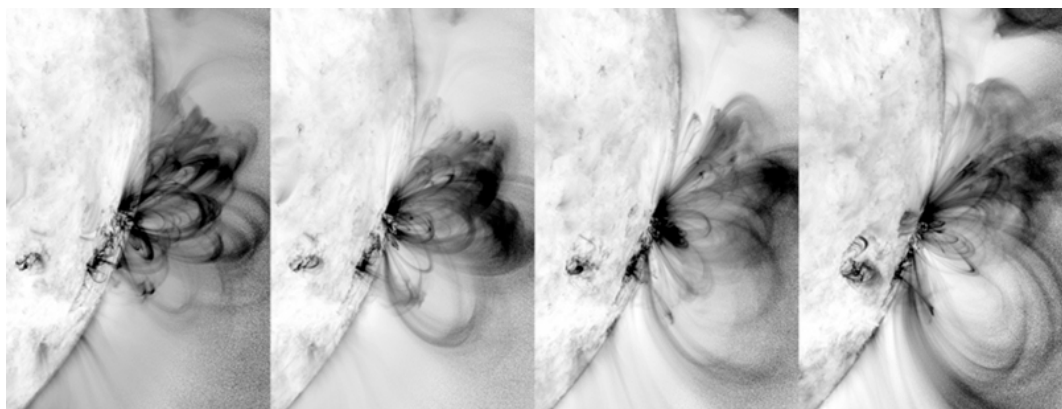
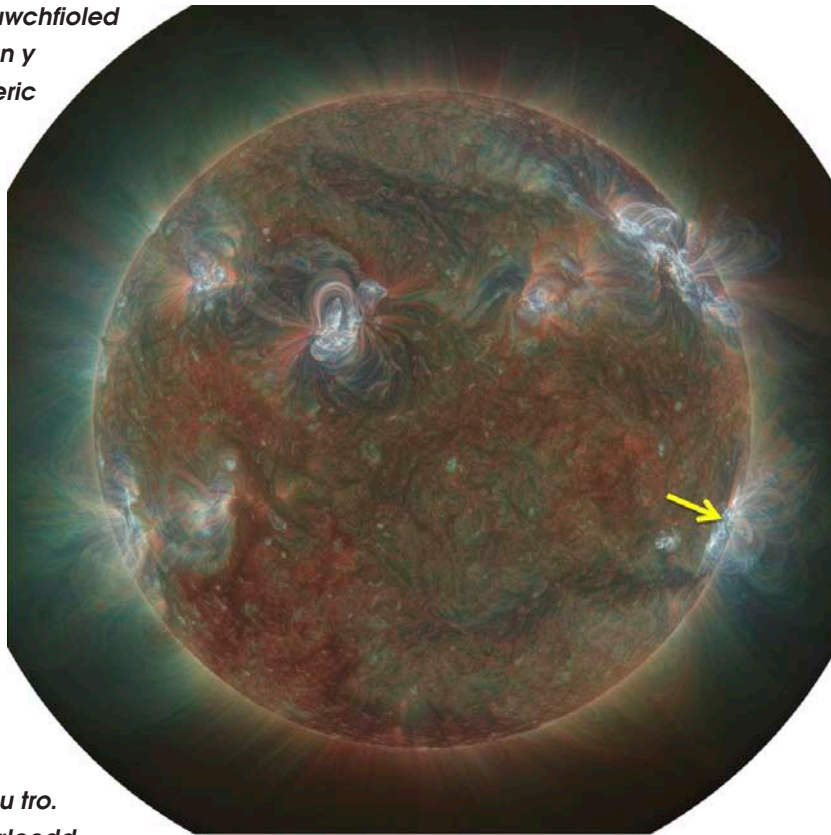
**dri thymheredd (~0.8, 1.2 a 2.0 MK), felly ceir delwedd**

**o'r corona isaf. Dylunnir y tri thymheredd**

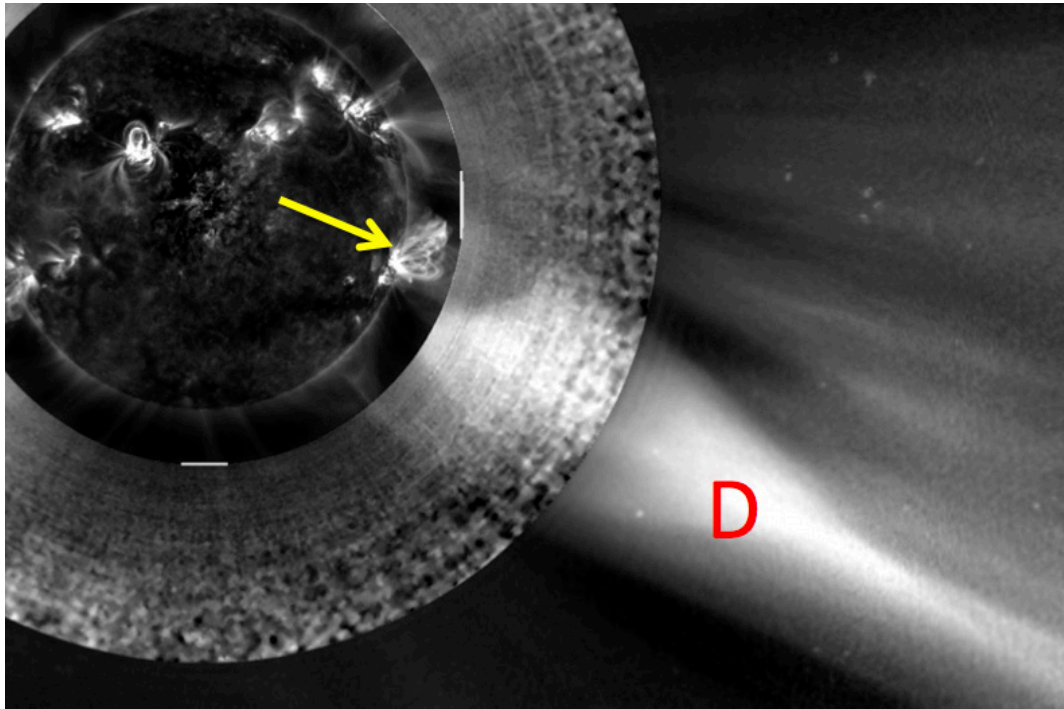
**â thri lliw – coch, gwyrdd a glas yn eu tro.**

**Ymddengys yr ardaloedd bywiog fel yr ardaloedd mwyaf**

**llachar. Mae'r ardal fywiog dan sylw ychydig is na'r cyhydedd yn y de-orllewin, wedi'i labelu gan saeth felen. Ceir yma system gymhleth o ddolenni magnetig caeëdig yn codi o arwyneb yr Haul at y corona. Mae'r data wedi'i brosesu gan ddefnyddio'r dechneg newydd a ddisgrifir gan Morgan a Druckmuller (2014).**



**Ffigwr 4: Mae'r gyfres hon o ddelweddau negatif yn dangos y system yn ehangu dros gyfnod byr o amser (ychydig oriau). Gwnaed yr arsylwadau ar 8 Mawrth 2011 am 01:20, 05:30, 11:40 ac 18:10 (o'r chwith i'r dde)**



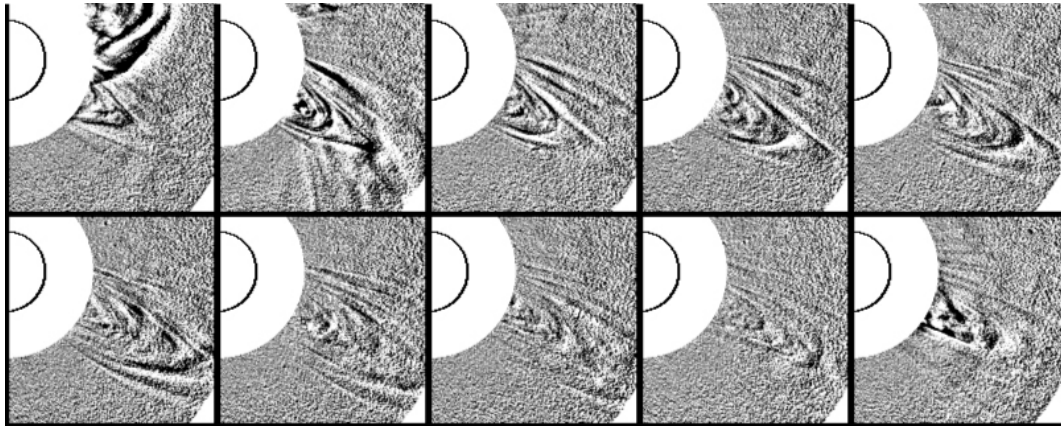
**Ffigwr 5: Delwedd sy'n gyfuniad o sawl offeryn i ddangos y corona uwchben yr ardal fywiog. Gwnaed yr holl arsylwadau ar 7 Mawrth 2011 am oddeutu 19:00. Mae'r ardal fywiog wedi'i labelu â saeth felen. Gwelir ffrwd lachar yn ymestyn i'r corona wedi'i labelu gyda D. Mae ffrwd o'r fath yn cynnwys lliw araf o blasma dwys sy'n llifo trwy'r heliosffer. Defnyddir yma ddata o AIA/SDO, coronagraff MK IV y Mauna Loa Solar Observatory, a choronagraff Large Angle Spectroscopic COronagraph (LASCO) C2 ar long ofod Solar and Heliospheric Observatory (SOHO).**

Mae ffigwr 5 yn dangos strwythur y corona uwchben yr ardal fywiog trwy gyfuno arsylwadau uwchfioled eithafol o AIA/SDO â choronagraff MKIV y Mauna Loa Solar Observatory (MLSO) a delwedd LASCO C2 ar 7 Mawrth 2011. Drwy'r cyfuniad o ddata o sawl offeryn, gallwn weld cyswllt manylion strwythurol ger yr Haul â strwythur eang y corona. Gwelir ffrwd lachar (ddwys) uwchben yr ardal fywiog wedi'i labelu gyda 'D'. Yn gyffredin i ffrydiau o'r fath, mae'n llydan ger yr Haul ac yn teneuo i strwythur denau a rheiddiol ar uchder o oddeutu 2 i 3 Rs o ganol yr Haul. Yn draddodiadol, tybir bod gan yr ardal lydan sy'n agos at yr Haul strwythur fagnetig gaeëdig yn cwmpasu ardaloedd bywiog a ffilamentau. Mae meysydd magnetig agored o ardaloedd cyfagos yn pontio dros y systemau caeëdig i ffurfio'r ffrwd estynedig, lle mae ffrydiau o'r fath yn llachar. Maent yn ddwys i gymharu ag ardaloedd eraill o'r corona ac yn gysylltiedig â llifoedd dwys ac araf yn yr heliosffer. Mae'r ffrwd hon yn gysylltiedig hefyd â'r haen niwtral, neu haen gerrynt, yn y corona a'r heliosffer. Mae hon yn haen rhwng rhanbarthau lle mae'r maes magnetig yn bositif a negatiff. Yn yr haen, mae'r maes magnetig felly yn sero, ac yn gyffredinol ceir haen denau o ddwysedd plasma uchel yn pontio dros yr haen niwtral.

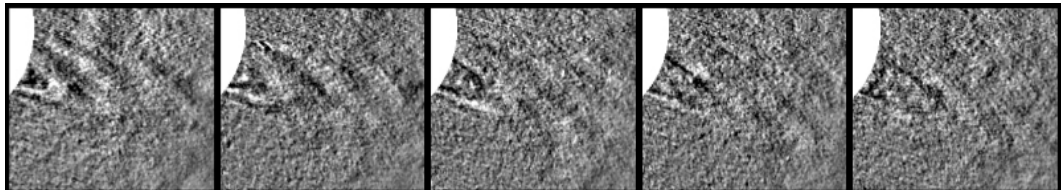
O gymhwyso'r dull gwahaniad dynamig (gweler yr adran Dull) i arsylwadau coronagraff LASCO C2 ar 8 Mawrth 2011, gwelir system o ddolenni caeëdig yn llenwi'r ardal sy'n



cwmpasu'r ffrwd lachar ac yn ehangu i'r corona estynedig. Yn ffigwr 6, gwelir y dolenni caeëdig yn ymestyn i bellteroedd o  $>6R_s$ . Mae'r dolenni'n anferth, gydag ystod ledred o oddeutu  $30^\circ$ . Maent yn parhau'n gydlynol drwy'r rhan o'r corona a arsylwid gan LASCO C2. Yn wir, gan ddefnyddio data o goronagraff LASCO C3, mae tystiolaeth o'r dolenni caeëdig i'w gweld oddeutu  $15R_s$ , fel y dangosir yn ffigwr 7. Mae'r dolenni'n ymddangos gyntaf ar 7 Mawrth 2011 am 00:00 ac yn parhau am 44 awr hyd nes y cwyd AMC mawr o'r ardal fywiog gan ddinistrio'r system. Mae'r AMC hwn yn ddigwyddiad diddorol yn ei hun ac fe'i disgrifir mewn manylder gan Byrne et al. (2014). Mae'r ehangiad hwn o ffrwd lachar yn gysylltiedig â gwaith Wang a Sheeley (2006) lle mae ehangiad yn arwain at ailgysylltiad magnetig ac alldafliad bychan. Y gwahaniaethau mwyaf rhwng achos Wang a Sheeley (2006) a'r un hwn yw'r amser a'r maint. Mae'r dolenni yr ydym yn arsylwi arnynt yn ehangu dros gyfnod o oddeutu tri diwrnod ac yn ehangu i bellteroedd mawr o'r Haul heb dystiolaeth o ailgysylltiad magnetig.



**Ffigwr 6:** Cyfres o ddelweddau LASCO C2 yn dangos cyfres arsylwi dros gyfnod o oddeutu un diwrnod wedi'u prosesu er mwyn dangos manylion dynamig bychan o fewn yr arsylwadau coronagraff. Gwelir yn glir system o ddolenni caeëdig yn ehangu i'r corona estynedig. Amlinellir safle'r Haul gyda chylch du ac mae'r ardal yr arsylwir arno yn ymestyn o  $2.2$  i  $6.0 R_s$ . Mae'r gyfres yn dechrau ar 7 Mawrth 2011 am 20:08 ac yn parhau am oddeutu 24 awr. Ceir felly tua 2 awr a 20 munud rhwng pob arsylw. Er eglurdeb, mae'r delweddau yn negatif, gyda'r dolenni mwy llachar yn ymddangos yn ddu.



**Ffigwr 7:** Fel ffigwr 6, ond ar gyfer coronagraff LASCO C3. Mae'r safbwynt hwn yn dangos y corona hyd at uchder sylweddol, a gwelir y dolenni'n ehangu i oddeutu  $15 R_s$  hyd nes yr â'r signal yn rhy wan. Mae'r cylch gwyn sydd ar ochr chwith pob delwedd ar uchder o  $5.8 R_s$ .

Ymddengys dolen bob tair awr dros gyfnod o dri diwrnod, gyda chryn amrywiaeth yn yr amseriad. Gellir defnyddio arsylwadau'r coronagraffau hyn i fesur cyflymder ehangu'r dolenni. Mae brig y dolenni'n ehangu gyda chyflymder o oddeutu 20 km/s ar uchder o 2 Rs ar gyfartaledd, gan gyflymu'n llinol i 60 km/s ar uchder o 6 Rs. Mae hyn yn arafach o dipyn na mesuriadau o gyflymder y gwynt araf yn y corona, sy'n debygol o gyflymu i oddeutu 300 km/s ar uchder o 5 Rs.

Mae'n anodd iawn amcangyfrif dwysedd y dolenni ehangol. Mae eu disgleirdeb oddeutu <3% o ddisgleirdeb y ffrwd gefndirol, ond mae'n amhosib cyfrifo dwysedd neu fâs oherwydd ni cheir gwybodaeth am union leoliad y dolenni a'u dosbarthiad (trwch) mewn tri dimensiwn. Mae'r wybodaeth hon yn hanfodol er mwyn amcangyfrif mäs y plasma sy'n allyrru'r golau. Os yw'r dolenni'n strwythurau cul, mae'n rhaid bod eu dwysedd yn gymharol uchel o'i gymharu â'r cyfrwng cefndirol. Os ydynt yn strwythurau llydan, bydd ganddynt ddwysedd isel.

#### 4. Trafodaeth

Gall ehangiad y dolenni gynnig esboniad rhannol dros yr amrywiaeth fawr a fesurir o nodweddion y gwynt araf; ei ddwysedd, cyflymder a chyfansoddiad. Mae ehangiad y dolenni yn broses gyson, dawel, sy'n rhoi llwybr uniongyrchol i blasma poeth, amrywiol, i ymuno â gwynt yr Haul. Gall hyn esbonio nifer o nodweddion anodd eu hesbonio sy'n codi o fesuriadau gwynt yr Haul gan loerennau:

- Mae electronau gwrthlifol yn llifoedd tra egniol o electronau sy'n llifo'n gyfochrog â'r maes magnetig i ddau gyfeiriad ar yr un pryd (Gosling et al., 1987). Un model i esbonio'r ffenomena hyn yw meysydd magnetig caeëdig wedi'u hangori ar yr Haul, ac yn gyffredinol cyfyngir y model hwn i AMC rhyngblanedol. Yn ddiweddar, gwnaethpwyd astudiaeth fanwl o electronau gwrthlifol yn ystod cyfnod o weithgaredd AMC isel er mwyn sefydlu cyfraniad AMC i fodolaeth y llifoedd (Lavraud, Opitz, a Gosling, 2010). Mae ehangiad tawel a chyson maes magnetig caeëdig uwchben ardaloedd bywiog yn darparu llwybr uniongyrchol i electronau egniol ymuno â'r heliosffer.
- Ceir mesuriadau achlysurol o ionau â gwefr uchel yng ngwynt yr Haul. Mae hyn yn arwydd o blasma a fu ger yr Haul ar dymheredd a dwysedd uchel iawn. Mae modelau cyfredol yn isamcangyfrif stad gwefr ïonig y gwynt araf, a chynigir datrysiaid i'r isamcangyfrif hwn drwy ryddhad achlysurol o blasma poeth o strwythurau caeëdig ardaloedd bywiog drwy ailgysylltiad magnetig (Antiochos et al., 2012, Fisk, 2003). Mae ehangiad uniongyrchol ardaloedd bywiog i ffurfio ffrydiau gwynt araf yn rhoi esboniad amgen.
- Mae mesuriadau *in situ* o wynt araf yr Haul yn dangos amrywiaeth fawr a chyson o nodweddion megis dwysedd, cyflymder a chyfansoddiad (e.e. Antiochos et al., 2012). Gellir cynnig sawl esboniad am hyn, gan gynnwys ffynhonnell anghyson ailgysylltiad magnetig ger ardaloedd bywiog. Mae ehangiad ardaloedd bywiog yn cynnig esboniad ychwanegol.

Yn ogystal â'r goblygiadau ar gyfer y cysylltiad rhwng yr Haul a'r heliosffer, mae'r ehangiad yn darparu model newydd ar gyfer gwasgaru fflwcs magnetig o ardaloedd

bywiog newydd ger y cyhydedd i'r pegynau ac yn darparu ffynhonnell newydd ar gyfer mewnbynnu fflwcs magnetig yn uniongyrchol i'r heliosffer. Fel y crybwyllwyd eisoes, mae'r haen niwtral yn nodwedd bwysig o faes magnetig y corona estynedig sy'n pennu dosbarthiad gofodol y llifoedd araf, dwys, a'r llifoedd cyflym a thenau. Mae modd dyfalu safle'r haen niwtral drwy arsylwadau o faes magnetig y ffotosffer trwy allosodiad maes potensial. Mae hyn yn rhan hollbwysig o astudiaethau strwythurol o'r corona, o astudio'r cysylltiad rhwng yr Haul a'r heliosffer, a hon yw'r unig ffordd gyfredol o ddyfalu maes magnetig y corona (nad oes modd ei fesur yn uniongyrchol). Os yw ehangiad maes caeëdig i uchderoedd uchel yn digwydd o fewn yr haen niwtral ynghyd â mewn llefydd eraill (gweler Morgan et al., 2013), mae gan hyn oblygiadau pwysig i greu allosodiadau o'r fath ac i ddehongli mapiau magnetig allosodiadau maes potensial.

### **5. Casgliad a gwaith pellach**

Mae ehangiad tawel a chyson uniongyrchol o ardaloedd bywiog mor bell o arwyneb yr Haul yn ddarganfyddiad newydd. Heb ddatblygiad y dull gwahaniad dynamig, nid oes modd arsylwi'r dolenni ehangol hyn i'r fath uchder. Gwelir y dolenni caeëdig yn ehangu i bellterau o leiaf ~15Rs o'r Haul, sy'n awgrymu'n gryf eu bod yn ffurfio rhan o wynt yr Haul. Gallwn weld o arsylwadau LASCO dros gyfnod o 15 mlynedd bod y dolenni'n ehangu'n ffenomen led gyffredin, ac eir ati i gyflwyno astudiaeth ystadegol lawn mewn gwaith a gyflawnir maes o law. Mae gan hyn felly oblygiadau pwysig i ddehongliadau a modelau cyfredol o'r corona ac i wynt yr Haul yn yr heliosffer.

O edrych ar oddeutu deufis o ddata, sylwyd ar sawl enghraifft glir o'r dolenni. Mae'n bwysig yr estynnir yr astudiaeth dros gyfnod hirach o arsylwi (cyfnod o flynyddoedd) er mwyn sefydlu pa mor bwysig yw eu cyfraniad i wynt yr Haul. Proseswyd eisoes oddeutu 15 mlynedd o ddata o LASCO/SOHO ynghyd ag oddeutu wyth mlynedd o goronagraffau COR ar ddwy long ofod y *Solar Terrestrial Relations Observatory* (STEREO). Byddwn yn cofnodi gweithgaredd ehangiad dolenni yn y data hwn ac yn ceisio cysylltu'r dolenni hyn yn uniongyrchol â mesuriadau o wynt yr Haul yn yr heliosffer. Bydd hyn yn profi a ydynt, mewn gwirionedd, yn cyfrannu at amrywiaeth nodweddion gwynt araf yr Haul ynghyd â chyfrannu at ffenomenau eraill sydd ar hyn o bryd yn anodd eu hesbonio. Ceir manylion pellach yn Morgan (2013) ac yn Morgan et al. (2013).

## Llyfryddiaeth

- Antiochos, S. K., Linker, J. A., Lionello, R., et al. (2012), 'The Structure and Dynamics of the Corona-Heliosphere Connection', *Space Science Reviews*, 172, 169-85.
- Aschwanden, M. J., Boerner, P., Schrijver, C. J., et al. (2011), 'Automated Temperature and Emission Measure Analysis of Coronal Loops and Active Regions Observed with the Atmospheric Imaging Assembly on the Solar Dynamics Observatory (SDO/AIA)', *Solar Physics*, 283, 5-30.
- Byrne, J. P., Morgan, H., Seaton, D. B., et al. (2014), 'Bridging EUV and white-light observations: evidence for the breakout model in a two-stage solar eruptive event', *Solar Physics*, <http://link.springer.com/article/10.1007%2Fs11207-014-0585-8DOI>, 18 tudalen.
- Fisk, L. A. (2003), 'Acceleration of the solar wind as a result of the reconnection of open magnetic flux with coronal loops', *Journal of Geophysical Research (Space Physics)*, 108, SSH 7-1–SSH 7-8.
- Gopalswamy, N., Mäkelä, P., Akiyama, S., et al. (2013), 'The Solar Connection of Enhanced Heavy Ion Charge States in the Interplanetary Medium: Implications for the Flux-Rope Structure of CMEs', *Solar Physics*, 284, 17-46.
- Gosling, J. T., Baker, D. N., Bame, S. J., et al. (1987), 'Bidirectional solar wind electron heat flux events', *Journal of Geophysical Research*, 92, 8519-35.
- Harra, L. K., Sakao, T., Mandrini, C. H., et al. (2008), 'Outflows at the Edges of Active Regions: Contribution to Solar Wind Formation', *The Astrophysical Journal*, 676, L147-L150.
- Kojima, M., Fujiki, K., Ohmi, T., et al. (1999), 'Low-speed solar wind from the vicinity of solar active regions', *Journal Geophysical Research*, 104, 16993-17004.
- Kojima, M., Fujiki, K., Hakamada, K., et al. (2000), 'Low-Speed Solar Wind Associations with Active Regions Near Solar Minimum', *Advances in Space Research*, 25, 1893-96.
- Lavraud, B., Opitz, A., Gosling, J. T., et al. (2010), 'Statistics of counter-streaming solar wind suprathermal electrons at solar minimum: STEREO observations', *Annales Geophysicae*, 28, 233-46.
- Morgan, H. (2013), 'An observation of solar active region expansion into the heliosphere', *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 433, L74-L78.
- Morgan, H., Byrne, J. P., a Habbal, S. R. (2012), 'Automatically Detecting and Tracking Coronal Mass Ejections. I. Separation of Dynamic and Quiescent Components in Coronagraph Images', *The Astrophysical Journal*, 752 (id144), 14 tudalen.
- Morgan, H., Jeska, L., a Leonard, A. (2013), 'The Expansion of Active Regions into the Extended Solar Corona', *The Astrophysical Journal Supplement*, 206 (id19), 10 tudalen.
- Morgan, H., a Druckmuller, M. (2014), 'Multiscale Gaussian Normalization for solar image processing', *Solar Physics*, 289 (8), 2945-55.
- Neugebauer, M., Liewer, P. C., Smith, E. J., et al. (2002), 'Sources of the solar wind at solar activity maximum', *Journal of Geophysical Research (Space Physics)*, 107 (A12), SSH 13-1–SSH 13-15.

Sheeley, Jr, N. R., Lee, D. D. H., Casto, K. P., et al. (2009), 'The Structure of Streamer Blobs', *The Astrophysical Journal*, 694 (2), 1471-80.

Slemzin, V., Harra, L., Urvov, A., et al. (2013), 'Signatures of Slow Solar Wind Streams from Active Regions in the Inner Corona', *Solar Physics*, 286 (1), 157-84.

Uchida, Y., McAllister, A., Strong, K. T., et al. (1992), 'Continual expansion of the active-region corona observed by the YOHKOH Soft X-ray Telescope', *Publications of the Astronomical Society of Japan*, 44 (5), L155-L160.

Wang, Y. M., Ko, Y. K., a Grappin, R. (2009), 'Slow Solar Wind from Open Regions with Strong Low-Coronal Heating', *The Astrophysical Journal*, 691 (1), 760-9.

Wang, Y. M., a Sheeley, Jr, N. R. (2006), 'Observations of Flux Rope Formation in the Outer Corona', *The Astrophysical Journal*, 650 (2), 1172-83.