

## PRÀCTICA 2: FOTOMETRIA

---

Alejandro Fernández Castro, Mario Lopez Dorado  
Pol Musté Ferré, Vicenç Fernàndez Fernàndez i Albert Casamitjana Formiga

---



## **Agraïments**

Estem profundament agraïts a Daniel del Ser per la seva incansable ajuda, que malgrat el volum considerable de correus que li hem enviat, sempre ha respòs de manera ràpida i amb gran utilitat. Apreciam moltíssim la seva dedicació i eficàcia.

# Índex

<b>1 Objectius</b>	<b>5</b>
<b>2 Introducció</b>	<b>5</b>
2.1 Característiques Telescopis . . . . .	5
2.2 Preparació Prèvia . . . . .	5
2.3 Procediment Pràctic . . . . .	6
2.3.1 Telescopi Assumpció Català . . . . .	6
2.3.2 Telescopi Omegon Pro RC . . . . .	7
<b>3 Reducció de dades</b>	<b>7</b>
3.1 Correcció d'imatges . . . . .	7
3.1.1 Maxim DL . . . . .	7
3.2 Astrometry.net . . . . .	8
3.3 Programa Python . . . . .	8
3.3.1 Reducció de dades amb Python . . . . .	9
<b>4 Resultats</b>	<b>9</b>
4.1 Diagrama HR . . . . .	9
4.1.1 Diagrama H-R M34 . . . . .	10
4.1.2 Diagrama H-R NGC 884 . . . . .	11
4.2 Isòcrones . . . . .	11
4.3 Càcul distància . . . . .	12
4.3.1 Distància M34 . . . . .	12
4.3.2 Distància NGC 884 . . . . .	13
4.4 Càcul edat . . . . .	13
4.4.1 Edat M34 . . . . .	14
4.4.2 Edat NGC 884 . . . . .	14
<b>5 Conclusions</b>	<b>15</b>
<b>6 Part complementària</b>	<b>16</b>
6.1 Resultats Omegon Pro RC . . . . .	16
6.2 Imatges RGB . . . . .	17

## Resum

Aquest treball presenta l'estudi fotomètric dels cúmuls M34 i NGC 884. Per a la realització d'aquest estudi, s'ha utilitzat el telescopi Assumpció Català. Un cop recollides les dades de l'observació, s'han processat les imatges mitjançant un codi que identifica els objectes detectats i s'ha desenvolupat un altre codi per a filtrar i reduir les dades corresponents. Després de passar les imatges pels dos filtres, s'han identificat 75 estrelles amb una probabilitat superior o igual a 0.9 en el catàleg Gaia per a M34 i 83 estrelles amb probabilitat superior o igual a 0.6 per a NGC 884. Aquestes estrelles s'han utilitzat per a la construcció dels respectius diagrames HR, dels quals, mitjançant isòchrones, s'ha determinat que M34 es troba a una distància de  $r = (378 \pm 139)$  pc i NGC 884 es troba a  $r = (1129 \pm 364)$  pc. Pel que fa a l'edat, s'ha estimat que M34 té una edat de  $Edat = (398 \pm 199)$  milions d'anys i NGC 884 de  $Edat = (10 \pm 3)$  milions d'anys. En general, els resultats obtinguts en aquesta investigació es corresponen amb els valors teòrics dels cúmuls oberts estudiats excepte la distància de NGC 884.

Per altra banda, el treball també inclou imatges capturades pel telescopi Omegon Pro RC, de la observació realitzada el mateix dia i dues imatges RGB del telescopi Assumpció Català.

## Abstract

This project presents the photometric study of the open clusters M34 and NGC 884. For the realization of this study, the Assumpció Català telescope has been used. Once the observation data has been collected, the images have been processed using a code that identifies the detected objects and has been treated with a different code to filter and reduce the corresponding data. After passing the images by the two filters, 75 stars with a probability greater or equal to 0.9 have been identified in the Gaia catalog for M34, and 83 stars with a probability greater or equal to 0.6 for NGC 884. These stars have been used for the construction of their respective HR diagrams, from which, using isochrones, it has been determined that M34 is at a distance of  $r = (378 \pm 139)$  pc and NGC 884 is at  $r = (1129 \pm 364)$  pc. In terms of age, the M34 cluster has been estimated to be  $Age = (398 \pm 199)$  million years old and NGC 884  $Age = (10 \pm 3)$  million years old. Overall, the results obtained in this research match the theoretical values of the studied open clusters, with the exception of the distance for NGC884.

On the other hand, the work also includes images captured by the Omegon Pro RC telescope, from the observation made on the same day and two RGB images with Assumpció Català.

## 1 Objectius

L'objectiu fonamental d'aquesta pràctica és iniciar-se en l'observació fotomètrica i en l'anàlisi corresponent de les dades recollides. L'observació es divideix en dues sessions amb telescopis diferents. En la sessió amb el telescopi principal, l'Assumpció Català, estudiarem dos cúmuls oberts per tal de determinar els seus diagrames HR, els quals ens permetran calcular les seves distàncies i estimar-ne l'edat. D'altra banda, en la sessió amb el telescopi secundari, realitzarem observacions per comprendre el funcionament d'aquest.

## 2 Introducció

L'estudi fotomètric és una tècnica d'anàlisi dels fluxos i intensitats de llum irradiada pels objectes astronòmics observats. Aquesta informació lluminosa és transformada en senyal elèctric fent-la passar per determinats filtres i enregistrant-la amb un instrument fotosensible.

Per tal de calibrar els nostres instruments, utilitzem diversos objectes amb intensitat i color cone-guts per poder així mesurar la magnitud aparent dels objectes celestes.

Pel nostre estudi s'han fet servir dos dels telescopis del Centre d'Observació de l'Univers, el COU. El telescopi Assumpció Català per l'estudi de cúmuls oberts i el telescopi Omegon Pro RC per l'estudi d'altres cossos com galàxies, nebuloses, etc.

Els cúmuls oberts són grups nombrosos d'estrelles formades gairebé simultàniament i a partir d'un mateix nívol molecular. Atès que tots els estels tenen la mateixa edat i composició química, són molt útils per a estudiar les teories d'evolució estel·lar, ja que al tenir masses diverses evolucionen de manera diferent.

### 2.1 Característiques Telescopis

El telescopi Assumpció Català compta amb una obertura de 508 mm de relació focal  $f/6.8$ , amb un detector fotosensible CCD Moravian G4-16000 de 4096x4096 píxels que permeten un camp visual de 36,7x36,7 arcminuts. La mida de cada píxel és de 9 micròmetres i genera una resolució espacial de 0.54 arcsegons per píxel amb un rang lineal fins les 50k comptes. Compta amb filtres V-Johnson, B-Johnson, Luminància i RGB.

El telescopi Omegon Pro RC disposa d'una obertura de 406 mm de relació focal  $f/8$ , amb un detector fotosensible CCD STL-1001 amb un camp visual de 25,9x25,9 arcminuts. La resolució espacial és d'1.52 arcsegons per píxel amb un rang lineal fins a les 50k comptes. Compta amb filtres V-Johnson, B-Johnson, Luminància i RGB i Hidrogen Alfa.

Durant la nostra assistència, però, la roda de filtres del telescopi Omegon estava espatllada i només es va poder fer servir el filtre de luminància.

### 2.2 Preparació Prèvia

Abans de pujar al COU, és necessari realitzar una preparació prèvia dels objectes que es volen observar. En el cas de l'observació del cúmul, cal tenir en compte diversos aspectes. En primer lloc, utilitzant Staralt<sup>1</sup>, es verifica que el cúmul sigui visible en el moment i el lloc de l'observació. A més, és important que aquest cúmul estigui prou poblat i brillant perquè el nostre diagrama HR sigui significatiu; per aconseguir-ho, es fa servir la web del Simbad<sup>2</sup>.

---

<sup>1</sup><http://catserver.ing.iac.es/staralt/>

<sup>2</sup><https://simbad.cds.unistra.fr/simbad/>

En el nostre cas, es van valorar els següents cúmuls per a l'estudi:

Nom objecte	Ascensió recta	Declinació	Magnitud aparent (V)	Mida aparent
M34	02 42 7.4	+42 43 19.20	5,5	35'
NGC 869	02 18 57.8	+57 08 02	3,7	16.2'
NGC 884	02 22 20.2	+57 08 56	3,8	14.9'
NGC 457	01 19 32.9	+58 16 41	6.4	13

**Taula 1:** Cúmuls proposats.

Finalment, es va decidir dur a terme la fotometria de M34 i NGC 884. A més, el grup 8, que ens acompanyava al Montsec, va seleccionar NGC 869 amb l'objectiu de comparar les dades i veure si les edats obtingudes eren similars o no.

## 2.3 Procediment Pràctic

### 2.3.1 Telescopi Assumpció Català

Abans de començar amb les observacions dels cúmuls farem els flats per cada filtre emprat (B i V). Els comptes dels flats vàlids hauran d'estar dins del rang dels 20-30 mil comptes. A mesura que el crepuscle passa i es fa fosc, per mantenir el nombre de comptes dins del rang que es considera vàlid, es varia el temps d'exposició de cada flat. A continuació mostrem el registre de comptes fet:

Hora	Temps exposició	Comptes(mil)
17:37	1"	65
17:41	0.5"	23
17:41	0.5"	26
17:43	0.5	20
17:45	0.7"	22
17:47	0.7"	8
17:47	1"	13
17:48	2"	16
17:49	4"	26
17:50	4"	19
17:51	6"	24

**Taula 2:** Comptes emprats pel filtre B. A partir de les 17:43 les mesures van ser realitzades sense tracking.

Hora	Temps exposició	Comptes(mil)
17:52	3"	19
17:53	4"	23
17:54	4"	16
17:55	5"	15
17:56	7"	17
17:57	8"	16
17:58	10"	16
17:58	20"	24
17:59	24"	22
18:00	30"	20
18:03	50"	25

**Taula 3:** Comptes emprats pel filtre V. Afegirem un altre de 40" que necessitarem per les imatges de NGC 884

Com es pot observar, hi ha flats amb comptes fora del rang desitjat. Aquests flats no seran vàlids i no es tindran en compte per fer la calibració de les imatges.

Un cop realitzats els flats, es necessitaran els corresponents darks per calibrar els masterflats. Es fan 4 darks per cada temps d'exposició emprat durant els flats. Amb aquests es realitzarà una mitjana i s'obtindrà un masterflat per a cada temps d'exposició necessari per a les imatges dels astres.

Realitzades totes les preparacions per tractar posteriorment les imatges es comença a estudiar el cúmul NGC 884. Pel filtre B es realitzen 4 imatges per cada temps d'exposició. Els temps d'exposició que es fan servir són 50", 40" i 30" respectivament. Pel filtre V es fan també 4 imatges per cada temps d'exposició, però ara fent servir 50", 40", 30", 20" i 10" com a temps d'exposició.

El nombre reduït de temps d'exposició és degut a que, amb aquest petit rang, es pot aconseguir que les estrelles més brillants no saturin, per 10", i que les més febles siguin observades amb una magnitud aparent de no menys de 14, per 50".

Pel címul M34, o NGC1039, es fan 10 imatges en total. Les primeres 5, amb temps d'exposició de 50'', es fan amb el filtre B. La resta, amb temps d'exposició de 30'', les farem amb el filtre V.

Per motius similars als exposats pel NGC 884, amb una única imatge s'aconsegueix que les estrelles més brillants del címul no saturin, mentre que les menys brillants siguin observades amb magnitud no menors a 14.

### 2.3.2 Telescopi Omegon Pro RC

Mitjançant un procediment similar al que s'ha exposat anteriorment, els membres del grup 8 van generar les imatges de calibració per a la cúpula secundària. Per tant, es faran servir aquestes dades per realitzar la correcció i calibració de les imatges.

D'altra banda, la següent taula mostra els objectes utilitzats, el nombre d'imatges capturades i els temps d'exposició emprats.

Nom del objecte	Nº imatges	Temps exposició
Horsehead	10	30''
Júpiter (22:36)	1	0.1''
Júpiter (23:11)	1	0.1''
M37	10	30''
Andromeda (AGN)	5	30''
Andromeda (Gàlaxia satèlit)	10	30''

Taula 4: Objectes observats amb el telescopi Omegon Pro RC

## 3 Reducció de dades

### 3.1 Correcció d'imatges

Per poder dur a terme la fotometria dels címuls observats, primerament s'han de corregir les impureses que poden haver produït qualsevol instrument o les condicions atmosfèriques, aquest procés s'anomena reducció d'imatges. Per fer-ho utilitzarem els *darks* i els *flats*.

Els *darks* són imatges que es prenen amb l'obturador de la càmera tancat i amb el mateix temps d'exposició que les imatges preses dels címuls. Aquestes imatges serveixen per a mesurar el soroll propi de la càmera, també anomenat *senyal fosca*, generat per l'efecte produït per l'excitació tèrmica a la CCD que es tradueix un corrent de base detectat que no prové de les estrelles observades.

Els *flats* són captures del cel durant moments específics, com el capvespre, i de la cúpula del mateix telescopi amb il·luminació uniforme. S'ha de dirigir cap a una font que il·lumi tots els píxels del CCD de manera uniforme per obtenir un mapa precís dels píxels defectuosos i el guany diferencial. Aquestes imatges també són útils per a la correcció de pols i defectes de la lent. Es requereixen imatges de camp pla per a cada filtre utilitzat, i com que tenen temps d'exposició diferent, també cal restar-los el corresponent dark.

#### 3.1.1 Maxim DL

El software *Maxim DL* és una eina utilitzada per a l'obtenció d'imatges corregides mitjançant *flats* i *darks*. Aquest procés comença amb la creació dels *masters flats* i *masters darks*, seguint les instruccions proporcionades al manual del campus<sup>3</sup>, basant-nos en les imatges capturades al COU. Aquests masters són essencials per a la correcció posterior de les imatges, ja que proporcionen una referència precisa per a la correcció de defectes i aberracions.

<sup>3</sup>ManualFotometriaRGB-MaximDL-2022.docx

El procés per crear *masters flats* i *masters darks* és el següent:  
 Es genera una mitjana dels diversos *darks* amb mateixos temps d'exposició, aquest serà el *masterdark*. Posteriorment, a cada *flat* realitzat se li resta el corresponent *masterdark* per eliminar la senyal de fons explicada anteriorment. Amb aquest procés s'aconsegueix el *masterflat*.

Un cop obtinguts els masters, per calibrar correctament les imatges cal restar el corresponent *masterdark* a la imatge amb el mateix temps d'exposició i, a continuació, restar el *masterflat*. Aleshores s'haurà obtingut una imatge sense cap senyal de fons ni cap senyal no provinent de les estrelles.

### 3.2 Astrometry.net

Un cop les imatges han estat corregides de totes les dades no desitjades, cal calibrar-les. Per a fer-ho hem fet ús de la web Astrometry<sup>4</sup>.

Aquesta web el que fa és, quan se li proporciona una imatge del cel, de la qual no se'n coneixen les coordenades, compara la imatge donada amb una base de dades de tot el cel fins que troba una coincidència. En altres paraules, troba les coordenades de la imatge proporcionada i les inclou en un header d'una nova imatge per a descarregar.

Cal notar que, un cop les imatges han estat passades pel MaximDL i es volen guardar, cal fer-ho de forma no comprimida, si es descarreguen de forma comprimida, la web Astrometry no és capaç de treballar amb la imatge i retorna un error.

Finalment, s'obren les imatges en l'aplicació SAOImage per extreure la informació, en aquest cas les coordenades del cùmul, del header creat per l'Astrometry i introduir-les al codi de Python.

### 3.3 Programa Python

Per a fer funcionar el codi Python, és imprescindible que les imatges estiguin processades amb correccions de darks i flats, i també que estiguin calibrades astromètricament mitjançant Astrometry. A més, és necessari tenir instal·lats els paquets Numpy, Matplotlib, Astropy, Astroquery i Photutils.

El codi es basa en quatre etapes fonamentals, la primera de les quals consisteix a seleccionar les imatges que analitzarem. Per seleccionar aquestes imatges les buscarem específicament al directori on estan emmagatzemades.

En la segona, s'estableix el catàleg TESS Input Catalogue (TIC) (IV/39/tic82), el qual conté una llista externa d'estrelles que utilitzarem per fer una correspondència entre les deteccions de les nostres imatges. Aquesta informació serà útil més endavant al codi per determinar si una detecció en una imatge es correspon amb una detecció en una altra imatge. Per exemple, això ens permetrà saber si l'estrella 1 de la primera imatge correspon a l'estrella 10 de la segona imatge i així successivament.

La tercera etapa realitza la fotometria de cada imatge. El programa recorre cada imatge en cerca d'estrelles, aquestes han de complir certs paràmetres perquè siguin considerades com a tal. La funció que busca les estrelles és el IRAFStarFinder, que tindrà uns paràmetres donats com:

- Threshold=30 (Valor mínim a partir del qual considerem estrella l'objecte detectat).
- FWHM=8 (Valor de la FWHM de la gaussiana 2D que volem que tinguin els objectes a seleccionar).
- Round Low=0.01 i Round High=100 (valors mímmis i màxims de com de rodó ha de ser l'objecte per a ser considerat seleccionable). Aquests valors van haver de ser molt manipulats, ja que, per motius d'enfocament del telescopi, les estrelles no eren capturades tan rodones com en realitat ho eren.

---

<sup>4</sup><https://nova.astrometry.net/>

Un cop considerats els objectes que compleixen amb els paràmetres de la funció anteriorment explicada, es transforma la posició de cada píxel en coordenades equatorials i, mitjançant el nombre de comptes, es troba un valor de magnitud instrumental apparent. Aleshores, amb uns catàlegs prèvia-ment seleccionats es fa un crossmatch entre els objectes de les imatges i els dels catàlegs i es crea una taula amb totes les dades extretes.

Finalment, un cop es té la taula amb tota la informació instrumental i de catàleg de cada estrella, es treballa per reduir les dades de la taula i poder dur a terme la creació del diagrama H-R.

### 3.3.1 Reducció de dades amb Python

Un cop es disposa de la totalitat de les dades que ofereix el codi, cal aplicar un filtre per seleccionar únicament aquelles que són rellevants per al nostre document. Per dur a terme aquest procés de filtratge, s'ha desenvolupat un nou programa en Python.

Primerament, de totes les estrelles de la taula donada anteriorment, no es consideren les estrelles que no tenen magnitud de catàleg dels dos fils, B i V.

Posteriorment, es calculen els valors mitjans de les magnituds instrumentals mesurades pel telescopi pels diferents temps d'exposició. Aquest procés ajudarà a reduir en gran mesura les dades amb les quals es treballarà, ja que es minimitzaran les dades per estrella.

A continuació, com es vol estudiar només les estrelles que pertanyen al cùmul, és indispensable eliminar totes aquelles dades d'estrelles que no formin part de M34 o NGC 884. A partir del catàleg GAIA es pot trobar, fent servir el codi localitzador de les estrelles, la probabilitat de cadascuna de pertànyer als diferents cùmuls. Fent una reducció de les dades d'aquest catàleg s'aillen les estrelles que poden pertànyer a un dels dos cùmuls.

Finalment, per determinar quines estrelles pertanyen o no als cùmuls, es comparen les dades instrumentals amb les dades del catàleg i s'eliminen totes aquelles estrelles que tinguin un percentatge superior o igual al 90%, pel cùmul M34, i del 60%, pel NGC 884, en el catàleg Gaia.

## 4 Resultats

### 4.1 Diagrama HR

Per a la realització del diagrama H-R, se segueixen els procediments establerts pel guió pràctic. En primer lloc, s'identifiquen estrelles presents en el nostre camp de les quals disposen de magnitud coneguda (tant en V com en B), aquestes seran utilitzades com a referències per a les magnituds instrumentals.

Aquestes estrelles tenen una magnitud instrumental ( $m_{ins}$ ), que s'obté de la taula final generada pel programa Python, i una magnitud estàndard ( $m_{est}$ ). Per a calibrar la resta d'estrelles, es fan servir aquestes com a referència i es calcula la constant de calibració en els dos fils següents:

$$C_V = m_{V,ins} - m_{V,est} \quad (1)$$

$$C_B = m_{B,ins} - m_{B,est} \quad (2)$$

Un cop obtingudes les constants de calibració, es poden determinar les magnituds estàndard de totes les altres estrelles seguint la següent fórmula:

$$m_{i,est} = m_{i,ins} - C_i \quad (3)$$

Un cop es tenen les magnituds estàndard de les estrelles, el diagrama HR observat es construirà representant la magnitud apparent en V en funció de l'índex de color B i V, calculat com a la diferència entre les magnituds B i V estàndard.

#### 4.1.1 Diagrama H-R M34

Per a la confecció del diagrama HR pel cùmul M34, s'han identificat 193 estrelles, de les quals només 75 estan catalogades al Gaia amb una probabilitat superior o igual al 90%. Aquestes 75 estrelles són les seleccionades per a la construcció del diagrama M34.

Escollint les següents estrelles del camp com a estrelles de referència calcularem les constants  $C_v$  i  $C_b$ :

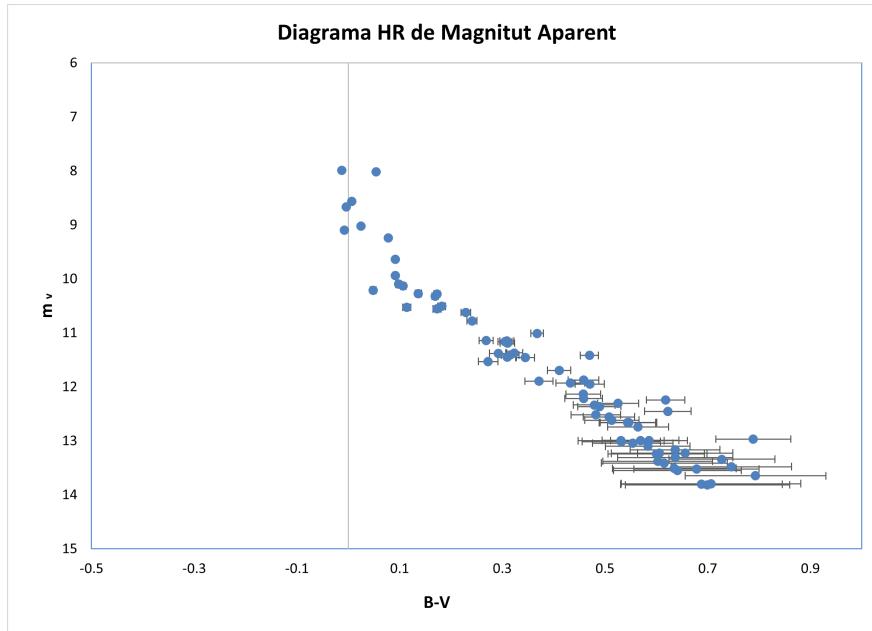
Identificador Gaia DR3	B	V
337099617854498688	10.846	10.553
337126998269363328	13.896	13.201
337140986979301120	13.331	12.364
337145041428415360	12.837	12.179
337146209659517568	15.071	13.869

**Taula 5:** Taula amb identificadors i magnitud B i V de catàleg de les estrelles del camp emprades per calcular les constants de calibració

A continuació s'ha fet la mitja de cada constant i calculat l'error estàndard de cada constant de calibració:

$$C_B = -19.9 \pm 0.1 \quad C_V = -20.62 \pm 0.06$$

Amb les constants de calibració s'obtenen totes les magnituds estàndard de les estrelles i es pot trobar el diagrama HR apparent del cùmul.



**Figura 1:** Diagrama HR en magnitud apparent del cùmul M34 amb estrelles amb índex 0.9 de probabilitat de pertinença al cùmul. Les barres d'error corresponen a l'error explicat a l'equació (3)

#### 4.1.2 Diagrama H-R NGC 884

En el cùmul NGC 884 s'han identificat 375 estrelles, de les quals només 83 estaven catalogades amb un índex de probabilitat de pertinença igual o superior al 60%.

Amb un procediment similar a l'anterior s'han calculat les constants de calibració dels dos filtres pel cùmul NGC 884.

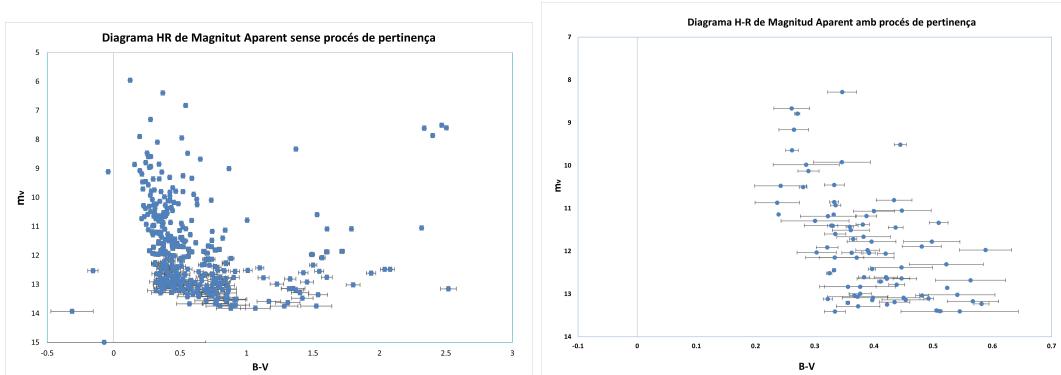
Identificador Gaia DR3	B	V
458394785702001152	13.546	12.791
458398595327038848	15.078	13.016
458402963319871104	13.909	12.935
458403822313247744	13.62	13.192
458404784385989120	13.445	12.978

**Taula 6:** Taula amb identificadors i magnituds B i V de catàleg de les estrelles del camp emprades per calcular les constants de calibració

Calculant la mitja de les cinc estrelles es troben les dues constants de calibració

$$C_B = -19.6 \pm 0.2 \quad C_V = -20.48 \pm 0.09$$

I, similarment al procés del cùmul M34, trobem el diagrama HR apparent.



**Figura 2:** Diagrames HR en magnitud apparent del cùmul NGC 884. El diagrama de l'esquerra podem veure representades totes les estrelles que ens detecta el codi inicialment. Per altra banda, a la dreta podem veure les estrelles que han passat pel filtre.

#### 4.2 Isòcrones

Per a la creació d'isòcrones, farem servir el generador CMD<sup>5</sup>. Generarem diverses isòcrones per determinar quina s'ajusta millor a les observacions. Modifarem el paràmetre de la metalicitat durant el procés i buscarem isòcrones amb edats similars a les teòriques per a una comparació més precisa amb el diagrama.

Per fer-ho modifiquem el paràmetre que s'exposa a la següent imatge. On hem utilitzat gràcies al WEBDA, que la metal·licitat de M34 és  $[M/H] = -0.30$  i la metal·licitat de NGC 884 és  $Z = 0.02$ <sup>6</sup>.

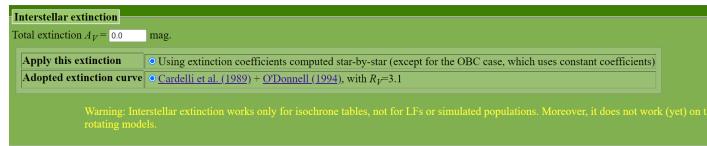
Ages/metallicities			
Choose your metallicity values using the approximation $[M/H] = \log(Z/X) - \log(Z/X)_\odot$ , with $(Z/X)_\odot = 0.0207$ and $Y = 0.2485 + 1.78Z$ for PARSEC tracks.			
Input form for multiple values of ages/metallicities (up to a maximum of 1e4 isochrones):			
ages	initial value	final value	step (use 0 for a single value)
<input checked="" type="radio"/> linear age (yr) = <input type="text" value="1.0e9"/> yr	<input type="text" value="1.0e10"/>	<input type="text" value="0.0"/>	<input type="text" value="yr"/>
<input type="radio"/> log(age yr) = <input type="text" value="6.6"/>	<input type="text" value="dex"/>	<input type="text" value="10.13"/>	<input type="text" value="dex"/>
metallicities	metal fraction Z = <input type="text" value="0.0152"/>	<input type="text" value="0.03"/>	<input type="text" value="0.0"/>
<input checked="" type="radio"/> $[M/H]$ = <input type="text" value="-2"/>	<input type="text" value="dex"/>	<input type="text" value="0.3"/>	<input type="text" value="dex"/>

**Figura 3:** Paràmetres a modificar en el generador CMD<sup>7</sup>.

<sup>5</sup><http://stev.oapd.inaf.it/cgi-bin/cmd>

<sup>6</sup>Extret d'un paper, *The Astrophysical Journal*

Per altra banda, per tal de que el nostre diagrama no quedi desplaçat cap a l'esquerra hem de tenir en compte l'extinció. Que mitjançant el WEBDA, obtenim que per M34 és  $A = 0.210$  i per NGC 884 és  $A = 1.736$ . Aquests peremetres es modifiquen següent;



**Figura 4:** Paràmetres a modificar en el generador CMD<sup>8</sup>.

Un cop modificats aquests paràmetres, la plataforma genera un conjunt de dades que han estat processades per un codi Python per tal de seleccionar únicament la informació necessària.

### 4.3 Càcul distància

Emprant les isòcrones generades, podem ajustar les nostres dades i obtenir les magnituds absolutes de les estrelles estudiades. Això implicarà realitzar un desplaçament de les magnituds per tal de convertir-les en magnituds absolutes, ( $M - m = x$ ) amb l'objectiu de determinar la distància dels cúmuls estudiats.

Un cop es tenen les magnituds absolutes de totes les estrelles del cùmul es pot aplicar l'equació:

$$M - m = -5 \cdot \log \frac{r}{10} - A \quad (4)$$

S'ailla  $r$ :

$$r = 10^{\frac{-(x+A)}{5} + 1} \quad (5)$$

Mitjançant propagació d'errors es troba l'error  $\delta r$ :

$$\delta r = \sqrt{\left(\frac{\partial r}{\partial x} \cdot \delta x\right)^2 + \left(\frac{\partial r}{\partial A} \cdot \delta A\right)^2} = 2 \cdot \ln(10) \cdot 10^{\frac{x+A}{-5}} \cdot \sqrt{\delta x^2 + \delta A^2} \quad (6)$$

On  $A$  representa l'absorció estel · lar, la qual serà calculada a partir de l'envermelliment  $E(B - V)$  obtingut de la base de dades WEBDA.

$$A = 3.1 \cdot E(B - V) \quad (7)$$

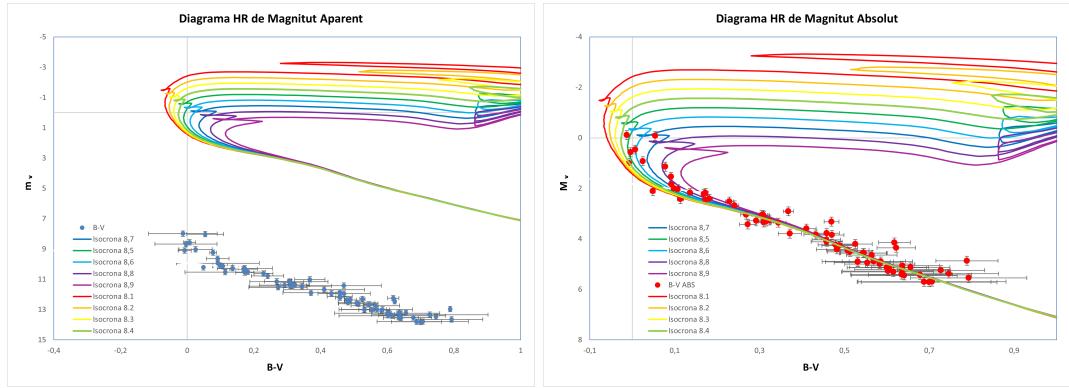
Finalment per obtenir el diagrama HR absolut cal que desenvermellim el color. Tal que:

$$(B - V)_{intrinsic} = (B - V)_{observat} - E(B - V) \quad (8)$$

#### 4.3.1 Distància M34

En el cùmul M34, amb l'ajuda del WEBDA, s'ha establert un envermelliment de l'índex de color  $E(B - V) = 0.070 \pm 0,001$  i, per tant, utilitzant l'equació 7 una extinció  $A = 0.210 \pm 0,003$ .

La diferència entre la magnitud absoluta i apparent és  $M - m = -8.1 \pm 0.8$ . L'error s'ha estimat com la diferència entre el valor màxim i mínim entre els quals el diagrama HR apparent s'aproximava a les isòcrones.



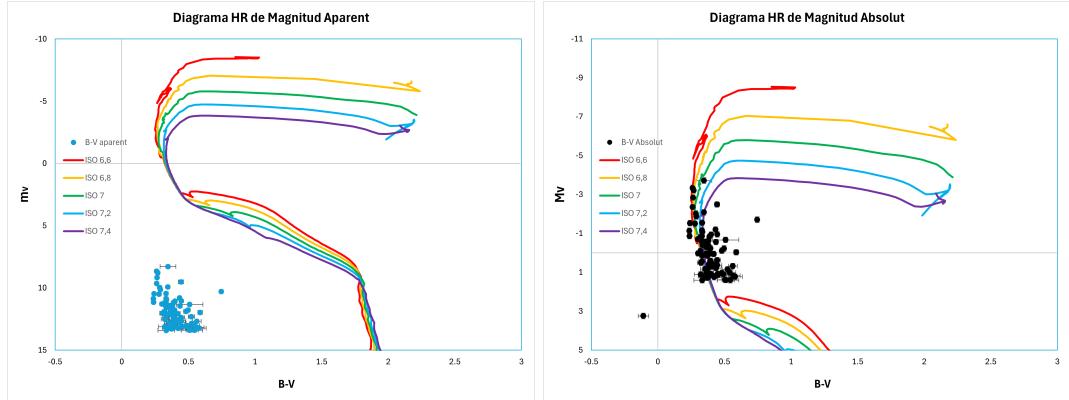
**Figura 5:** Diagrames HR aparent (esquerra) i absolut (dreta) del cùmul M34 amb les isòcrones corresponent a l'edat de  $10^{8.4}$ ,  $10^{8.5}$ ,  $10^{8.6}$ ,  $10^{8.7}$ ,  $10^{8.8}$  i  $10^{8.9}$ . Per tal de mostrar el desplaçament x.

Per tant, es pot determinar la distància  $r$  a la que es troba i el seu error mitjançant les equacions 5 i 6:

$$r = (378 \pm 139) \text{ pc}$$

#### 4.3.2 Distància NGC 884

En el cùmul M34, amb l'ajuda del WEBDA, s'ha establert un envermelliment del index de color  $E(B - V) = 0.560 \pm 0.001$  i, per tant, seguint l'equació 7 es troba una extinció  $A = 1.736 \pm 0.003$ . La diferència entre la magnitud absoluta i aparent és  $M - m = -12.0 \pm 0.7$



**Figura 6:** Diagrames HR aparent (esquerra) i absolut (dreta) del cùmul NGC884 amb les isòcrones corresponent a l'edat de  $10^{6.6}$ ,  $10^{6.8}$ ,  $10^7$ ,  $10^{7.2}$  i  $10^{7.4}$

Mitjançant les equacions 5 i 6 es determina la distància:

$$r = (1129 \pm 364) \text{ pc}$$

#### 4.4 Càlcul edat

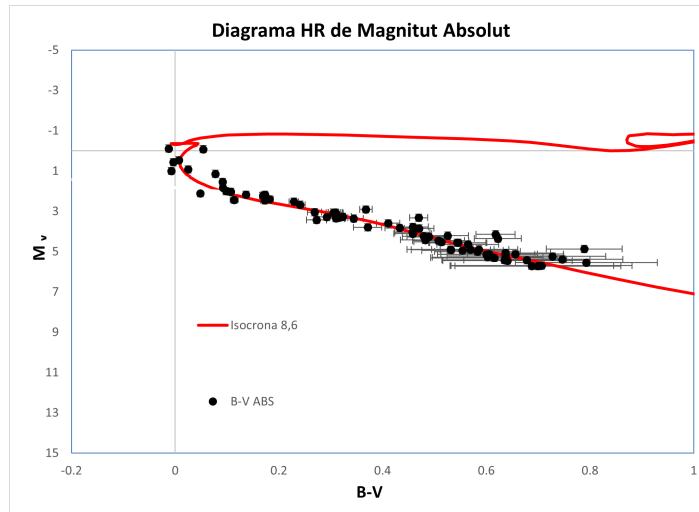
Per determinar l'edat dels cùmuls, un cop s'ha determinat la diferència entre magnitud absoluta i aparent, i s'ha ajustat aleshores el diagrama HR absolut, s'observarà quina és la isòcrona a la qual les estrelles del cùmul s'assembla més i es pren l'edat d'aquesta isòcrona com a l'edat del cùmul.

Per calcular l'error de l'edat, s'ha emprat la propagació d'errors.

$$\text{Edat} = 10^{\log(\text{edat})}$$

$$\delta\text{Edat} = \left| \frac{\partial 10^{\log(\text{edat})}}{\partial \log(\text{edat})} \right| \cdot \delta\log(\text{edat}) = 10^{\log(\text{edat})} \cdot \delta\log(\text{edat})$$

#### 4.4.1 Edat M34



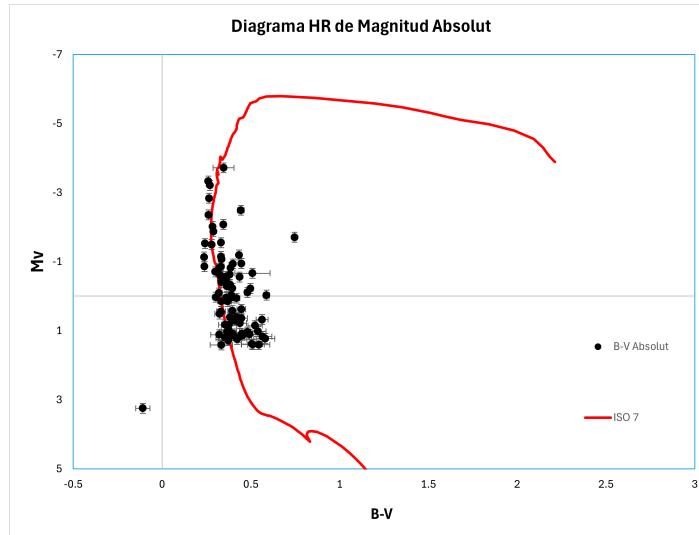
**Figura 7:** Diagrama HR del cúmul M34 amb la isòcrona triada per a calcular l'edat

Pel cúmul M34, el punt de *turn-off*, tenint en compte l'extinció per medi estel·lar, s'ajusta millor a la isòcrona de  $\log(\text{age}) = 8.6$ . Les estrelles s'ajusten molt bé a les isòcrones, probablement degut a l'alt percentatge de pertinença amb el que s'han filtrat i escollit. S'estimarà un error de  $\pm 0.5$  per prudència, ja que hi ha estrelles que no acaben d'ajustar-se a la isòcrona 8.6.

$$\text{Log(Edat/yr)} = 8.6 \pm 0.5$$

$$\text{Edat} = (398 \pm 199) \text{ milions d'anys}$$

#### 4.4.2 Edat NGC 884



**Figura 8:** Diagrama HR del cúmul NGC 884 amb la isòcrona triada per a calcular l'edat

En aquest cas les estrelles semblen més semblants la isòcrona 7, tot i que hi ha alguna estrella que sembla que s'allunya abans del punt de *turn-off*. És per aquest motiu que li associarem un error a l'edat de,  $\pm 0.4$ .

$$\text{Log(Edat/yr)} = 7 \pm 0.4$$

$$\text{Edat} = (10 \pm 3) \text{ milions d'anys}$$

## 5 Conclusions

En aquest estudi, s'ha portat a terme l'observació i l'anàlisi de dos cúmuls estel·lars, M34 i NGC 884, amb l'objectiu de calcular les seves edats i distàncies. Tot i que els resultats obtinguts segueixen les tendències esperades, per a aquests dos cúmuls s'han calculat errors notables tant en les seves edats estimades com en les distàncies mesurades.

Primerament, s'ha estudiat un cúmul obert, M34. Mitjançant l'anàlisi del diagrama HR, s'ha pogut determinar experimentalment la distància a aquest cúmul, amb un resultat de  $r = (378 \pm 139)pc$ , així com estimar la seva edat, obtenint  $\log(Edat/yr) = 8.6 \pm 0.5$ .

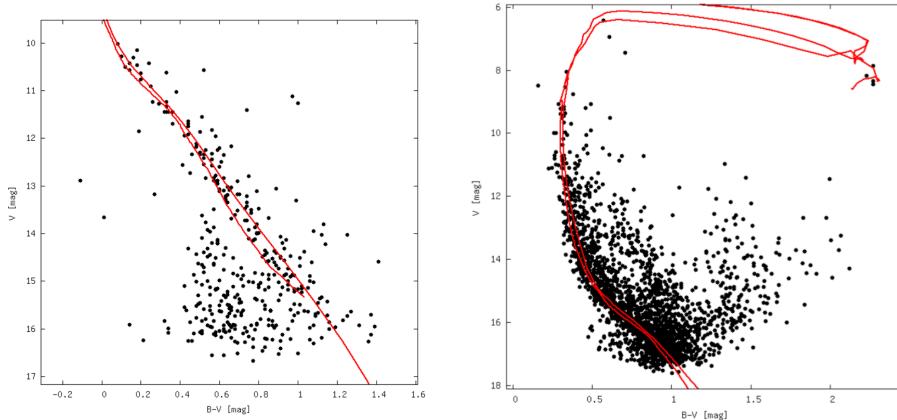
Per altra banda, s'ha realitzat l'observació de NGC 884, un altre cúmul obert, emprant els mateixos mètodes fotomètrics. La distància estimada per a aquest cúmul ha estat de  $r = (1129 \pm 364)pc$ , mentre que l'edat calculada ha donat  $\log(Edat/yr) = 7 \pm 0.4$ .

Per poder fer una comparació amb els valors teòrics s'ha utilitzat la pàgina web del WEBDA. Pel que fa a M34, s'ha estimat que el registre de  $\log(Edat/yr) = 8.249$ , amb una distància calculada de 499 parsecs. En canvi, pel cúmul NGC 884, s'ha obtingut un  $\log(Edat/yr) = 7.032$ , amb una distància mesurada de 2345 parsecs.

Com es pot observar, pel cas del cúmul de M34, els resultats obtinguts es troben dins del rang esperat, s'han detectat errors significatius en les estimacions de distància i edat. Aquest error pot haver estat causat per molts motius, entre d'altres, les condicions atmosfèriques del dia de les observacions, la correcció fotomètrica amb el MaxIm DL, a errors durant el procés d'anàlisi de dades o la realització manual de l'ajust de magnitud apparent a absoluta.

Per altra banda, en el cas del cúmul NGC884 veiem que el valor de l'edat teòrica es troba dins del rang que hem obtingut manualment, malgrat això, pel cas de la distància trobem que el valor es troba completament fora d'aquest marge. La justificació que trobem a aquesta condició és el nombre d'estrelles amb les quals hem treballat. Durant la nit d'obtenció de dades vam fer servir temps d'exposició massa grans que en el posterior filtratge d'estrelles van provocar que moltes d'elles no fossin considerades perquè es trobaven saturades. Aquest fet ha provocat que no tinguéssim cap estrella brillant de referència per aquest cúmul, el que ens ha complicat l'ajust a les isòcrones.

Encara que hagim obtingut uns resultats amb bastant error, podem veure que els diagrames que hem realitzat se semblen al que esperaríem teòricament. Comparant les figures 5 i 6 amb la figura 9, i tenint en compte que els diagrames generats pel webda grafiquen el valor de V apparent, comprovem que tenen la mateixa forma, amb un cert desplaçament que podem atribuir a possibles errors fets durant el tractament de les dades.



**Figura 9:** Diagrama HR teòric dels cúmuls extret del WEBDA amb les seves corresponents isòcrones. Cúmul M34 (Dreta) i cúmul NGC 884 (Esquerra).

## 6 Part complementària

La part complementària de la pràctica està dividida en dues parts: les imatges preses pel telescopi Omegon Pro RC, i les imatges amb filtres R, G i B per a crear imatges a color.

### 6.1 Resultats Omegon Pro RC

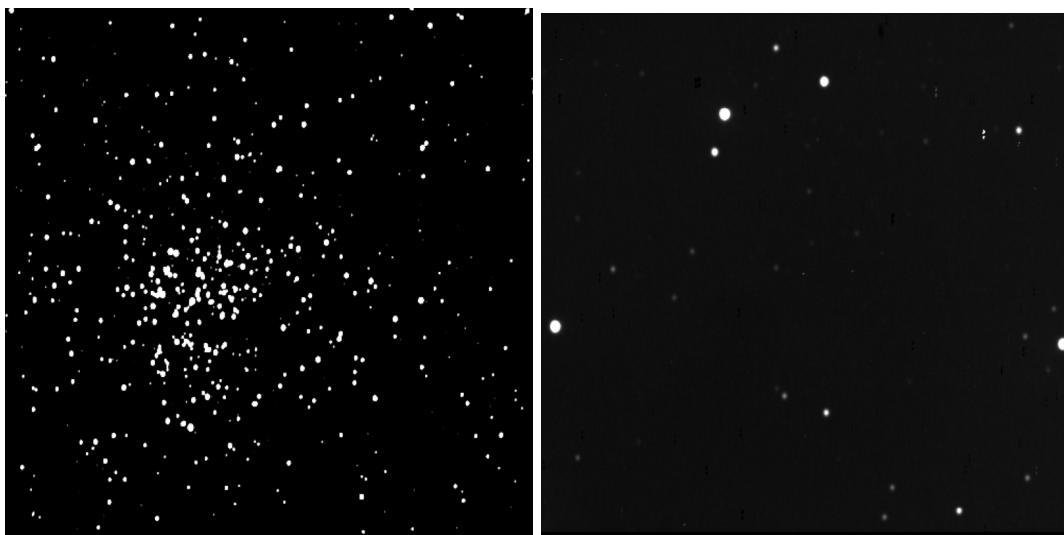
Utilitzant els flats i darks presos pels nostres companys del grup 8, s'han generat els masterflats i masterdark, que hem utilitzat per a corregir les imatges preses pel telescopi Omegon Pro RC. Una vegada corregides, hem alineat les imatges i les hem apilat per a aconseguir un soroll de fons menor.



**Figura 10:** Imatges de Júpiter i les seves llunes en diferents moments de la pràctica, a l'esquerra a les 22:36 i a la dreta a les 23:11. Com es pot observar, a la segona foto, la lluna aparentment més propera al planeta s'ha allunyat d'aquest sensiblement



**Figura 11:** Imatges d'Andròmeda a l'esquerra i la galàxia M32 a la dreta (galàxia satèl·lit d'Andròmeda).



**Figura 12:** Imatges del cúmul obert M37 a l'esquerra i la nebulosa de Horsehead a la dreta.

## 6.2 Imatges RGB

Com que la roda de fils del telescopi Omegon Pro RC estava espatllada, vam utilitzar el temps sobrant de l'estudi dels cúmuls en el telescopi Assumpció Català per a fer un parell d'imatges amb els fils R, G i B, per tal de combinar-les i fer una imatge a color.

Vam observar la nebulosa d'Orió (M42) i la nebulosa de la Bombolla (NGC7635).

Per a aquests fils no vam fer flats i, per tant, no hem pogut corregir les imatges. Això es pot veure clarament a les imatges, ja que hi trobem petits puntets de colors que si s'haguessin corregit fotomètricament les imatges no apareixerien.



**Figura 13:** Imatges a color de la nebulosa d'Orió a l'esquerra i la nebulosa de la Bombolla a la dreta.

## Referències

- [1] Astrometry.net. <https://nova.astrometry.net/>
- [2] ING. Object visibility. <http://catserver.ing.iac.es/staralt/>
- [3] SIMBAD Astronomical Database - CDS (Strasbourg). <https://simbad.cds.unistra.fr/simbad/>
- [4] SAOImageDS9. An image display and visualization tool for astronomical data. <https://sites.google.com/cfa.harvard.edu/saoimageds9>
- [5] WEBDA. <https://webda.physics.muni.cz/>
- [6] CMD 3.4. A web interface dealing with stellar isochrones and their derivatives. <http://stev.oapd.inaf.it/cgi-bin/cmd3.7>
- [7] PHOTUTILS. <https://photutils.readthedocs.io/en/stable/api/photutils.detection.IRAFStarFinder.html>
- [8] CATÀLEG GAIA. n
- [9] Catherine L. Slesnick<sup>1</sup> and Lynne A. Hillenbrand<sup>1</sup> (2002). THE STAR FORMATION HISTORY AND MASS FUNCTION OF THE DOUBLE CLUSTER AND PERSEI. The Astrophysical Journal, 576:880–893, 2002 September 10