

ESPECTRES CELESTES

Maria Recasens

Esparraguera

2n Bat

Institut de Llagostera

Curs: 2016 / 2017

Tutor: David Pagà

ÍNDEX

1.INTRODUCCIÓ	4
1.1 HIPÒTESIS	4
1.2 OBJECTIU.....	4
1.3 JUSTIFICACIÓ	4
1.4 MOTIVACIÓ	5
1.5 AGRAÏMENTS I DEDICATÒRIES	5
2.PART TEÒRICA	6
2.1 INTRODUCCIÓ	6
2.2 DEFINICIÓ D'UNIVERS	6
2.3 HISTÒRIA DE L'UNIVERS (BIG BANG)	8
2.3.1 LA TEORIA DEL BIG BANG	8
2.4 LA INFLACIÓ I FUTUR DE L'UNIVERS.....	11
2.4.1 LA TEORIA INFLACIONÀRIA.....	11
2.4.2 FUTUR DE L'UNIVERS	15
2.5 TRANSICIONS ELECTRÒNIQUES	16
2.5.1 ESTRUCTURA DE L'ÀTOM.....	16
2.6. LA LLUM	18
2.6.1 EL CARÀCTER ONA-CORPUSCLE DE LA LLUM.....	18
2.7 ESPECTROSCÒPIA	22
2.7.1 HISTÒRIA.....	22
2.7.1 EXPLICACIÓ CIENTÍFICA DE L'ESPECTROSCÒPIA.....	24
2.8 ANÀLISIS DELS ASTRES.....	29
2.8.1 ESPECTRES D'ESTRELLES	29
2.8.4 LOVEJOY	34
2.8.5 MART	35
2.9 EFECTE DOPPLER	36
2.10 MATERIAL	37

2.10.1 TELESCOPI.....	37
2.10.3 CÀMERA	38
2.10.4 XARXA DE DIFRACCIÓ.....	38
3. PART PRÀCTICA	39
3.1 PROCÉS D'OBTENCIÓ DELS ESPECTRES	39
3.1.1 GRAVACIÓ	39
3.1.2 OBTENIR LA IMATGE DEL VÍDEO.....	40
3.1.3 PROCESSAR L'ESPECTRE.....	41
3.2 ANÀLISIS QUÍMIC	43
3.2.1 DETERMINACIÓ DELS ELEMENTS PRESENTS.....	43
3.2.2 ALDEBARAN	44
3.2.3 LOVEJOY	47
3.2.4 CANVI DE PRESPECTIVA I DE PROGRAMA.....	50
3.2.5 VEGA	53
3.2.6 ALDEBARAN	55
3.2.7 BETELGEUSE.....	58
3.2.8 LOVEJOY.....	61
3.2.10 MART.....	63
3.3 CALCULAR LA VELOCITAT D'EXPANCIÓ DE L'UNIVERS.....	64
4. CONCLUSIONS	65
4.1 DEL TREBALL:.....	65
4.2 PERSONALS:.....	67
5. BIBLIOGRAFIA.....	68
6. WEBGRAFIA	68
ANNEX	70

1. INTRODUCCIÓ

L'idea del treball que teniu entre mans va sorgir d'una mescla entre la inventiva del president d'Astrogirona (Rafael Balaguer) i de la meua curiositat per l'astronomia. Des d'un principi sabia que volia tractar algun tema sobre física o astronomia, però la carència d'idees realistes, em va portar a demanar als membres d'Astrogirona alguna proposta factible i alhora emocionant. La proposta va ser la següent: determinar mitjançant espectres obtinguts amb mètodes amateurs la composició química d'estres. Dit en altres paraules, utilitzar el material de l'observatori (telescòpis, càmera, software, xarxa de difracció, etc.) per gravar espectres i posteriorment analitzar-los per trobar-ne la seva composició. A més, també em van proposar de calcular la velocitat d'expansió de l'Univers a través de l'efecte Doppler d'espectres de diverses galàxies. L'idea em va entusiasmar des del primer moment i, malgrat els alts i baixos durant tot el treball, l'he gaudit molt. Només espero que llegir-lo sigui igual de plaent que fer-lo.

1.1 HIPÒTESIS

Mitjançant mètodes amateurs, és possible determinar la composició química d'estres i la velocitat d'expansió de l'Univers.

1.2 OBJECTIU

L'objectiu del treball de recerca que estic a punt d'iniciar serà el següent:

De forma amateur, determinar:

- La composició d'estres de diversa naturalesa.
- La velocitat d'expansió de l'univers.

Posteriorment, comparar els resultats obtinguts amb els oficials i extreure conclusions.

NOTA: En el meu cas, la hipòtesis i els objectius són pràcticament idèntics.

1.3 JUSTIFICACIÓ

Des del meu punt de vista aquest seria un treball molt interessant per veure fins a quin punt de precisió es pot arribar amb instruments i mètodes amateurs en l'àmbit de l'astronomia i la cosmologia. També seria de gran interès per comprovar dades i efectes que coneixem teòricament, però que en rares ocasions podem experimentar de forma pràctica.

1.4 MOTIVACIÓ

Des que amb sis anys em van regalar el meu primer llibre d'astronomia, sempre m'ha agradat i, personalment, trobo absolutament fascinant que amb quelcom tan aparentment simple com unes lents, una muntura i un filtre, puguis arribar a determinar quelcom que en gran part es troba més enllà de la capacitat de la nostra ment, com és el fet que l'univers s'expandeixi.

1.5 AGRAÏMENTS I DEDICATÒRIES

En primer lloc, vull agrair a AstroGirona haver-me permès fer ús de les seves instal·lacions i usar el seu material, en especial al seu president Rafael Balaguer, sense el qual aquest treball simplement hagués estat impossible. Gràcies per dedicar-me el teu temps (que sé que no te'n sobra), prendre't la molèstia d'ajudar-me en tot i tenir tanta paciència per respondre totes les meves preguntes, que no són poques. Però sobretot gràcies per explicar i viure amb tanta passió tot el que fas, després i encomanes entusiasme, sempre és genial escoltar-te.

També vull donar gràcies als meus pares per suportar el meu silenci i mal humor quan em concentro massa, creure sempre amb mi i intentar no desesperar-se. Al meu germà petit per cedir-me l'ordinador i donar-me un cop de mà al Photoshop, a en Pere per escoltar tot el que pretenia fer sense entendre-ho massa i a la Dana per quedar-se amb mi totes les matinades.

Per últim m'agradaria donar les gràcies a dues persones més: a l'Esteve Moré, per estar sempre disponible, tenir una paciència infinita i interessar-se per tot el que li preguntes, i a en David Pagà, el meu tutor. Moltíssimes gràcies per escoltar-me quan parlo massa i massa de pressa, per llegir-te i revisar el treball i per compartir amb mi aquest projecte.

2. PART TEÒRICA

2.1 INTRODUCCIÓ

El coneixement de les diferents ciències que necessitem per dur a terme aquest projecte, les aplicarem a l'astronomia. Per tant, abans d'endinsar-nos en altres coneixements necessaris per comprendre posteriorment la part pràctica, trobo imprescindible deixar clars alguns conceptes sobre astronomia i de retruc de cosmologia (ja que necessitarem tenir constància sobre algunes teories perquè la segona part de la pràctica tingui sentit).

L'astronomia és *'la ciència que estudia l'origen, l'evolució, la composició, la distància i el moviment de tots els cossos celestes i de la matèria dispersa de l'Univers.'* Segons l'Institut d'Estudis Catalans. I, per la seva banda, **la cosmologia** és la ciència que estudia l'origen i l'evolució de l'Univers. És per aquesta raó que he trobat oportú començar aquesta part teòrica explicant i intentat aclarir la definició d'Univers.

2.2 DEFINICIÓ D'UNIVERS

La definició oficial d'univers és la següent:

'L'univers és la totalitat del continu espaitemps en què es troba la humanitat, juntament amb tota la matèria, energia i la informació continguda en aquest.'

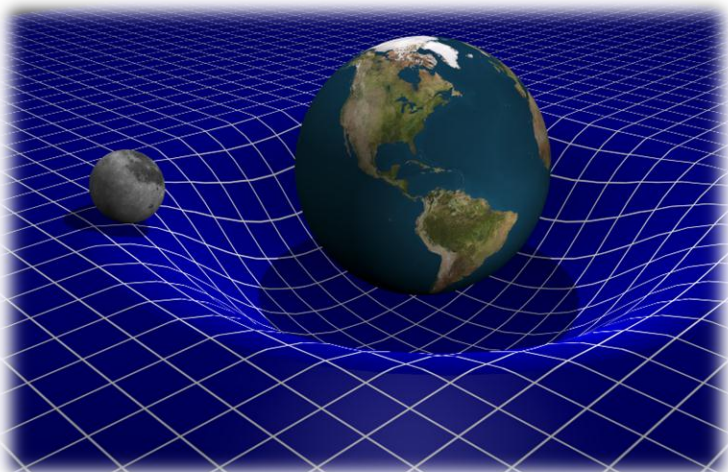
Tal definició pot resultar confusa, de manera que intentarem explicar-la per parts.

El continu espaitemps

En primer lloc cal deixar clar què és el continu espaitemps. Segons la teoria de la relativitat d'Einstein (i com s'ha pogut demostrar) l'espai i el temps depenen mútuament un de l'altre, sense temps no hi ha espai i viceversa. I, de la mateixa manera, els canvis d'un afecten els de l'altre. Per aquest motiu no ens podem referir a un sense tenir en compte l'altre, no els podem entendre com a conceptes separats, i, per aquesta raó, parlem d'un espaitemps.

El fet que sigui continu fa referència a que, com que nosaltres en formem part, no podem concebre la idea de quelcom que no es trobi en l'espai-temps, aquest fet és degut que no es pot estudiar un sistema realment quan ens trobem a l'interior del mateix.

A més, aquest continu espai-temps no és absolut ja que varia segons, per exemple, la velocitat de l'observador, però aquest fet, de moment, no influeix a la nostra explicació. Per fer-nos-en una visualització gràfica, podríem imaginar aquest concepte com una gran xarxa que es pot corbar i deformar, però, al contrari d'una xarxa corrent, que només s'expandiria en un pla, aquesta seria en 3D, ocupant-ho tot. (O en 4D si tenim en compte que també es deforma el temps)

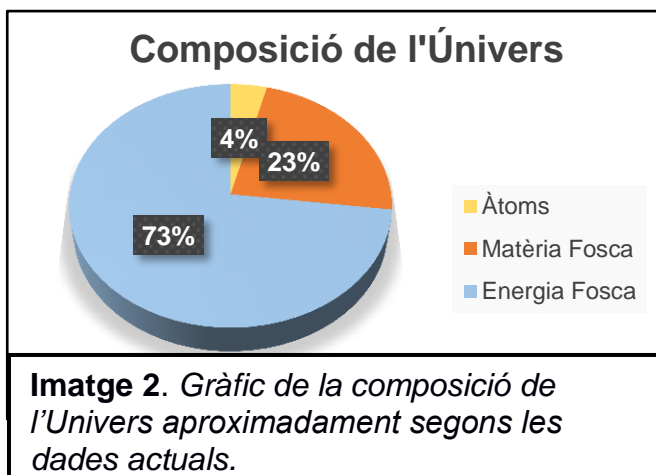


Imatge 1. L'espai-temps es sol representar gràficament com una xarxa que es deforma amb la massa dels cossos.

En que es troba la humanitat

Pel que fa la segona part de la definició, l'Univers que estem definint precisament l'estem definint perquè és el lloc que tenim la sensació d'habitar i percebre.

Juntament amb tota la matèria, energia i la informació continguda en aquest



Imatge 2. Gràfic de la composició de l'Univers aproximadament segons les dades actuals.

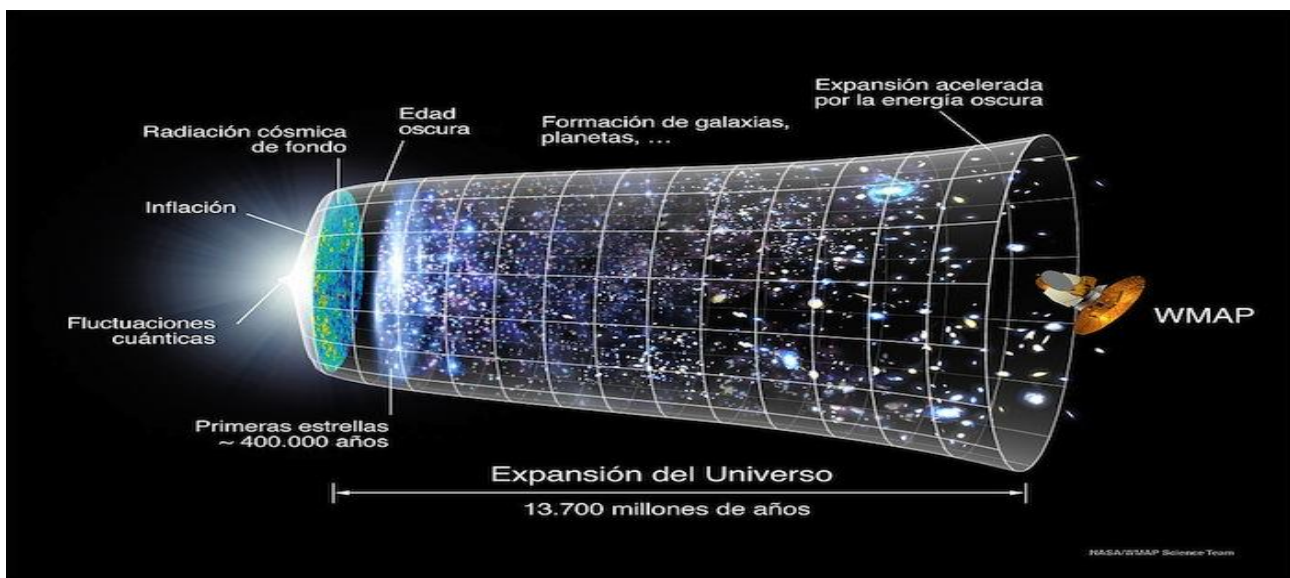
Finalment la definició ens informa que aquest univers està compost per matèria, energia i informació. El fet que contingui matèria i energia no ens resulta sorprenent, ja que l'experimentem diàriament, malgrat no siguem gaire conscients que, de fet, només coneixem un 4% de la matèria que conforma l'univers, la resta és energia i matèria

fosca, la qual encara desconeixem i només podem intuir la seva presència.

De la mateixa manera, el fet que contingui informació pot, igualment, no sorprendre'ns, ja que la matèria en si mateixa ja posseeix informació. Malgrat estudis recents ens porten a pensar que aquesta informació no està emmagatzemada de la manera que fins ara es creia, però aquest tema, tampoc ens incumbeix en el present projecte.

2.3 HISTÒRIA DE L'UNIVERS (BIG BANG)

L'origen de l'univers encara és un tema polèmic avui en dia. Malgrat aquest fet, tenim dues teories, la teoria del Big Bang i la teoria inflacionària que tenen com a objectiu explicar-lo i que, actualment, estan acceptades per gran part de la comunitat científica, a la vegada que recolzades per proves de pes.



Inici: Un sol punt d'infinita densitat

La teoria del Big Bang suposa que en l'origen de l'univers, només existia un punt d'infinita densitat, el qual era energia pura. En un moment donat, aquest punt va explotar i es va expandir a una velocitat superior a la velocitat de la llum (teoria inflacionària). És cert que la teoria de la relativitat d'Einstein estableix que no hi ha res que pugui viatjar més ràpid que la llum, però aquí hem de tenir en compte el factor que no és quelcom que estigui desplaçant-se en l'espai tal com la llum, sinó que és el propi espai que s'està expandint, i, per tant, la teoria d'Einstein no estableix un màxim de velocitat. També és important tenir

en compte que no es pot imaginar el Big Bang com l'explosió d'un punt de matèria en el buit, perquè en aquest punt s'hi concentraven tota la matèria, l'energia, l'espai i el temps. No hi havia ni "fora" ni "abans". L'espai i el temps també s'expandeixen amb l'univers.

Refredament



Imatge 3. Nucli de hidrogen deuteri, el primer en formar-se

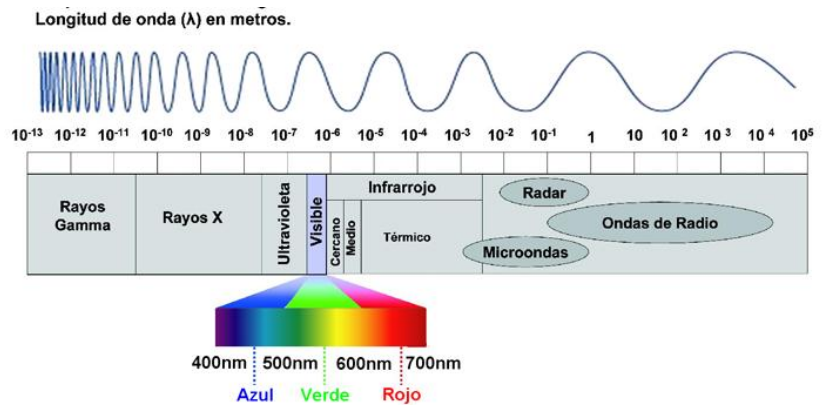
Aquesta expansió accelerada només va durar una petitíssima fracció de segon, després, l'univers va començar a refredar-se. Malgrat aquest refredament, durant tres minuts la temperatura va seguir essent suficientment alta com perquè es sintetitzessin les partícules subatòmiques i es formessin els nuclis dels àtoms més senzills: el de l'hidrogen (en forma de l'isòtop deuteri), el de l'heli i traces del de liti. La transformació d'energia en matèria (el procés invers

a la d'una bomba nuclear) va ser expressat per Einstein amb la seva famosa equació $E=mc^2$ la qual estableix l'equivalència entre matèria i energia (en aquell moment es va formar tota la matèria que actualment compon l'univers, ja que mai més hi ha hagut suficient energia per crear matèria a partir de només energia). Però passats els tres minuts la temperatura va baixar a 10^8 Kelvin, que a pesar de ser extremadament alta, no és suficient per sostenir els processos nuclears i per tant, es van deixar de sintetitzar nuclis.

Una massa amorfa

Durant els 370.000 anys següents, l'univers estava compost principalment per un plasma de partícules carregades elèctricament, protons i electrons, que són les úniques capaces de dispersar els fotons (les partícules que componen la llum). Aquest plasma hauria semblat opac, ja que els fotons haurien estat captats i expulsats incansablement per protons i electrons, produint així una resplendor difusa. Però transcorreguts els 370.000 anys, la temperatura va caure per sota dels 3000K, fet que va possibilitar que el moviment d'electrons i nuclis es frenés el suficient com per aglomerar-se en àtoms; els electrons van ser captats pels nuclis i van quedar atrapats en òrbita al seu voltant. Aquest fet és de gran importància, ja que els àtom són elèctricament neutres, i per tant els fotons els poden travessar. Així doncs, aquests fotons que havien estat absorbits i expulsats per electrons i

protons van quedar lliures en l'espai, produint el que avui en dia coneixem com a 'radiació còsmica'. Cal apuntar un petit detall. A mesura que l'espai s'expandeix, tot es refreda, inclosos els fotons. Però els fotons no disminueixen la seva velocitat degut a aquest fet, sinó que canvien la longitud



Imatge 4. Els fotons, al refredar-se, la longitud d'ona en la que es mouen s'allarga.

d'ona a la que es desplacen, així doncs, els fotons violetes es desplacen cap al blau, després el verd, groc, vermell, al infraroig, a les microones i finalment al domini de les radiofreqüències (de longituds d'ona molt superiors a les primeres), longituds en les quals les captem actualment. Aquesta radiació de fons és una de les proves de pes que validen la teoria del Big Bang.

Creació de les estructures que conformen l'actual Univers

400 milions d'anys més tard, els núvols de gas d'hidrogen i heli, van formar les primeres estrelles. D'aquesta manera, l'univers va començar a il·luminar-se. 1000 milions d'anys després del Big Bang es van formar les primeres galàxies. Durant els 8.000 milions d'anys següents, van continuar els processos de formació de noves galàxies. I fa 5000 milions d'anys, es van començar a formar el Sol i la Terra.

Validesa de la teoria del Big Bang

Malgrat la teoria del Big Bang està validada, com hem dit, per fortes proves observacionals i recolzada matemàticament, encara queden moltes qüestions referents a ella per explicar, com, per exemple, el fet que la teoria ens descriu el que va passar a partir de l'explosió, però no el que hi havia just un moment abans, la qual cosa és una **singularitat** (una forma dels científics de dir refinadament que en aquell moment els fallen totes les lleis de la física coneguda) o el motiu pel qual es va produir tal explosió.

2.4 LA INFLACIÓ I FUTUR DE L'UNIVERS

Durant la segona part del nostre projecte, hem anunciat que intentarem calcular la velocitat d'expansió de l'Univers. Per aquest motiu, hem suposat que l'Univers s'està expandint. Què ens porta a pensar això? Per respondre aquesta pregunta, hem de tornar a remuntar al principi de tot, i preguntar-nos el perquè i el com l'Univers va començar a expandir-se.

2.4.1 LA TEORIA INFLACIONÀRIA

La radiació de fons

Què és?

Com ja he explicat anteriorment, quan es van sintetitzar totes les partícules subatòmiques l'energia que contenia l'univers era tan alta que els electrons no es podien unir als protons. Per aquest motiu els fotons eren captats i emesos pel plasma. Però quan l'Univers es va refredar i es van formar els primers àtoms, al ser elèctricament neutres, aquests fotons van quedar lliures a l'espai (van deixar de ser absorbits i emesos contínuament). Aquests fotons són els que avui anomenem radiació de fons. Actualment, degut al refredament de l'Univers, com també ja he explicat, la longitud d'ona d'aquests primers fotons és més gran, de manera que actualment la podem captar en forma de ones de ràdio. En anar expandint-se l'univers, aquesta radiació també va disminuir la seva temperatura, la qual cosa explica per què avui dia és només d'uns 2,7 K.

NOTA: La informació d'aquest paràgraf ja ha estat explicada, però m'ha semblat adient reescriure-la de manera més ordenada per deixar el concepte més clar.

Història

Cap al 1950 George Gamow, Ralph Alpher i Robert Hermann van predir i publicar l'existència de la radiació de fons, però cap científic experimental va buscar-la i l'article va passar desapercbut.



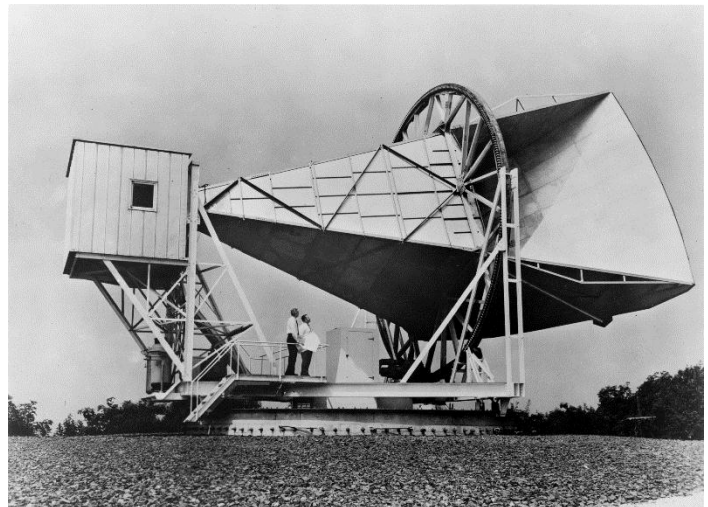
Imatge 5. D'esquerra a dreta, George Gamow, Ralph Alpher i Robert Herman

El primer cop que es va detectar, va ser involuntàriament. El 1964 la companyia Bell Telephon tenia una antena de ràdio a Crawford Hill, Holmdel, New Jersey, per a les

comunicacions via satèl·lit. Per les seves característiques, era un instrument que es podia utilitzar en radioastronomia. Arno Penzias i Robert Wilson, radio astrònoms de la Bell Telephon, van començar a utilitzar l'antena per a mesurar les ones de ràdio provinents de la part de la nostra galàxia fora del pla equatorial, que és on està acumulada la major part de la massa de la galàxia.

Per realitzar aquestes observacions, es necessita que el soroll de fons sigui molt baix. El motiu és que quan només es tracta d'un sol objecte, per exemple, es pot descartar els sorolls que no provenen d'ell comparant els resultats obtinguts en un lloc de l'espai on no hi hagi l'objecte observat. Però si el que es vol observar és el cel de la galàxia, s'han d'haver eliminat prèviament tots els sorolls possibles.

Per fer-ho, van estudiar el senyal d'una font de radiació refredada amb He líquid a 4 K. Ja que l'emissió d'aquesta font és pràcticament nul·la, tot el senyal enregistrat hauria de ser, de la pròpia estructura de l'antena, de l'atmosfera de la Terra i/o de l'espai exterior a la Terra.



Imatge 6. Antena de Bell Telephon que va detectar per primer cop les radiació de fons

Llavors es van adonar que existia un

soroll de fons i van provar d'eliminar-lo. Van fer fora els coloms que hi havien a l'antena, la van netejar, la van tornar a muntar, etc. Van descartar els sorolls que depenien d'on apuntessin l'antena. Però malgrat tot això, hi havia un soroll que persistia i era igual enfoquessin on enfoquessin l'antena.

La conclusió era doncs que s'havia trobat un soroll de fons uniforme, provinent de l'univers. Aleshores van quantificar aquest soroll, aquesta emissió de ràdio, en la forma habitual. Ja que qualsevol objecte per sobre del zero absolut de temperatura emet ones de ràdio degudes als moviments tèrmics dels electrons de la seva estructura, es pot establir una relació entre l'energia de la radiació emesa i la temperatura del cos. Segons aquesta relació, l'energia de les ones de ràdio trobades, eren emeses per un cos estès uniformement per tot l'univers, que es trobava a una temperatura de 3,5 K, o més exactament, entre 2,5 i 4,5 K.

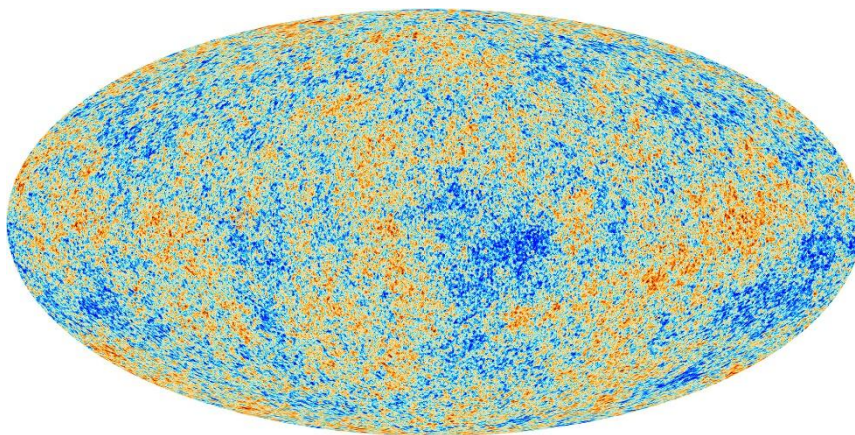
Anem ara a parlar un moment dels astrònoms teòrics. El març de 1965, pràcticament en

paral·lel al treball de Penzias i Wilson, un jove teòric de Princeton, Jim Peebles havia donat una xerrada i escrit un resum explicant que, en els primers minuts de l'univers hauria d'haver-hi hagut una intensa radiació. La mateixa conclusió a la que havia arribat anys abans Gamow i els seus companys.

Penzais coneixia l'existència d'aquesta xerrada i aquesta suposició, de manera que es van posar en contacte. De fet, Peebles havia fet la seva predicció perquè Robert Dicke, físic experimental de Princeton, el 1964 va pensar que havia d'haver un romanent de radiació de la primera etapa de l'univers, que segurament seria detectable i va començar a buscar-la. Posats en contacte Penzias i Wilson amb els físics de Princeton, van publicar un parell de cartes conjuntes a la revista *Astrophysical Journal*, anunciant Penzais i Wilson que havien trobat "una temperatura de soroll zenital efectiva d'uns 3,5 K superior al que esperaven" i els físics de Princeton donant l'explicació cosmològica.

Penzias i Wilson van ser premiats amb el Nobel de l'any 1978 pel seu descobriment.

Posteriorment es tornar a calcular el valor de la radiació de forma més precisa, determinant aquesta vegada que es tractava d'una radiació de microones a una temperatura de 2,725 K.



Imatge 6. Última imatge obtinguda per la Agència Especial Europea de la radiació de fons. Les zones grogues corresponen als llocs on ens troben les galàxies.

Relació amb la teoria inflacionària

La radiació de fons que observem és molt similar a tots els punts de l'univers i perquè això es doni, perquè tinguin igual temperatura, han d'haver estat en contacte. Sabem que a partir de l'expansió no ha pogut succeir, perquè es van distanciar a una velocitat superior a la de la llum, i, com que res pot viatjar més de pressa que la llum, no hi ha hagut cap tipus d'interacció entre aquests punts. Això ens porta a pensar que abans que l'univers s'expandís a velocitats superiors a la de la llum hi va haver un temps en que aquests punts eren molt propers, fet que va fer que interaccionessin i la temperatura s'igualés. I, posteriorment, l'expansió s'hauria accelerat 'recuperant' així tot aquest temps en que l'espai no s'havia expandit a la velocitat que s'ha calculat que ho hauria d'haver fet per

encaixar amb les observacions que avui en dia en tenim. Aquest fet concordaria amb la observació d'horitzons còsmics (distància fins la qual ha pogut interaccionar un punt) amb igual temperatura. Però el problema recau en el fet que una explosió no augmenta la seva velocitat, sinó que la disminueix. La teoria inflacionària busca donar resposta a aquest problema. L'expliquen de la següent manera:

La teoria inflacionària

La pressió influeix a la gravetat

En la teoria de la relativitat d'Albert Einstein, al contrari que a la de Newton que afirma que la gravetat només prové de la massa (i l'energia) d'un objecte, Einstein afegeix que la pressió també hi influeix, així doncs, per exemple, una bossa de patates on l'aire ha estat comprimit pesarà més que si aquest no ho estigués. Malgrat això, la diferència a escales quotidianes és tan ínfima que és fàcilment negligible, malgrat estudis acurats han demostrat que és cert.

Pressió negativa igual a gravetat repulsiva

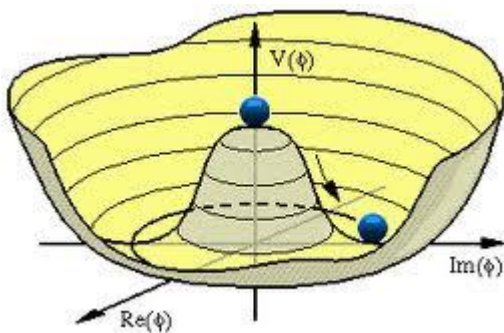
La pressió pot ser positiva, com en el cas de la bossa de patates, en què l'aire comprimit porta a que pesi més, i per tant a una gravetat atractiva. Però la pressió també pot ser negativa, com en el cas d'una goma elàstica estirada, les molècules de la qual tendeixen a empènyer cap a dintre, de la mateixa manera que la pressió positiva generava gravetat atractiva la pressió negativa genera gravetat repulsiva.

El camp 'inflató': energia per a produir gravetat repulsiva

El fet de subministrar una energia uniforme en l'espai genera pressió negativa, que al seu torn genera gravetat repulsiva. D'on prové aquesta energia? La teoria inflacionària es basa en un hipotètic camp anomenat 'inflató'. Hi han molts tipus de camps, magnètic, elèctric, nuclear dèbil i fort, etc. La seva característica principal és que expliquen la influència de la matèria més enllà dels límits de la seva massa. Un camp implica necessàriament una quantitat d'energia, ja que, fent l'analogia amb un camp magnètic, per exemple, el procés en que un imant capta un clip porta implícita una quantitat d'energia. Als punts de l'espai a més, se'ls assignen valors, segons la capacitat del camp per exercir una influència en aquella posició. Per tant, a un valor més elevat, l'energia del camp en aquell punt també serà més elevada. Però si el camp és constant, és a dir, té el mateix

valor en tots els punts de l'espai, vol dir que l'espai té la mateixa energia en cada punt. Si l'univers s'estava expandint, el volum augmentava, i per tant, al haver-hi més punts amb igual energia, l'espai contenia cada cop més energia. Aquesta energia prové de la força que havia de fer per expandir-se, per tant, si ha de fer força per expedir-se, vol dir que hi ha una pressió negativa. Aquesta pressió negativa portaria, per tant, a una gravetat repulsiva. Si introduïm els valors probables per l'energia i la pressió de 'l'inflató' a les equacions d'Einstein, trobem que la gravetat repulsiva seria enorme i, per tant, la hipòtesis, possible.

Ara bé, aquesta força repulsiva tan gran, en algun moment s'hauria hagut d'aturar. Això seria degut a que al augmentar l'energia del camp inflacionari, i per tant la pressió negativa, hi ha també una energia potencial associada que serà la que, a mesura que s'alliberi, produirà la gravetat repulsiva i l'univers s'expandeixi de forma abrupta, però un cop disminueix l'energia del camp, també disminueix la pressió negativa i per tant també la gravetat repulsiva, donant pas a una etapa de expansió més 'calmada'. (aquesta energia que es desprèn seria la que es transformaria en la matèria de l'Univers)



Imatge 7.
Representació de la davallada d'energia en el camp 'inflató'

2.4.2 FUTUR DE L'UNIVERS

Edward Hubble, mitjançant l'efecte Doppler (que posteriorment explicaré) va constatar que efectivament, l'Univers encara s'està expandint. En aquell moment es pensava que l'Univers podia tenir dos futurs, depenent de la quantitat de matèria que contingués. Si contenia suficient matèria, al final, la força gravitatòria seria superior a la d'expansió i l'Univers es tornaria a contraure creant així el que es denominava com a Big Crunch. Si, per contra, hi havia menys matèria, la força gravitatòria no seria mai superior a la d'expansió i l'Univers s'aniria expandint i refredant fins arribar al zero absolut, on, 'moriria', ja que no hi hauria més moviment. Però contràriament a aquestes teories, el que les observacions van revelar va ser que l'univers, en comptes de frenar la seva expansió, aquesta creix. El fenomen pel qual passa aquest fet és encara desconegut, i, de moment, degut al seu desconeixement, s'ha anomenat 'energia fosca'.

2.5 TRANSICIONS ELECTRÒNIQUES

Abans d'entrar dins la segona part de la teoria, que fa referència als espectres, crec que seria bo deixar clars alguns conceptes sobre el funcionament dels àtoms per la millor comprensió del que ve a continuació.

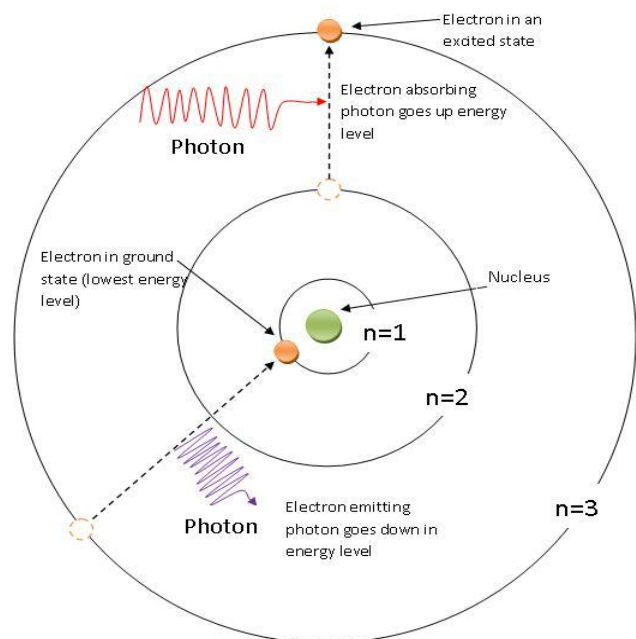
2.5.1 ESTRUCTURA DE L'ÀTOM

Per entendre els espectres, la millor manera d'entendre l'àtom és com el va postular Bohr, malgrat fos errònia en alguns aspectes que després puntualitzaré.

Bohr diu que l'àtom està compost per un nucli format per protons i neutrons (que conté quasi tota la massa de l'àtom) i per electrons que es troben en 'òrbita' al seu voltant.

Partint d'aquest punt formula tres postulats:

1. Els electrons es mouen al voltant del nucli en unes capes anomenades nivells d'energia o quàntics principals. Quan un electró no canvia de nivell no n'absorbeix ni n'emet.
2. L'energia d'un electró no té un valor qualsevol, sinó que són valors determinats, 'quantitzats'.
3. **Les transicions electròniques** (salt d'un electró d'un nivell d'energia a un altre) es produeixen a causa d'haver absorbit o emès energia (en forma de fotó)



Imatge 8. Esquema de l'àtom de Bohr. La lletra 'n' simbolitza el nivell quàntic principal.

ERRORS: En estudis posteriors de l'àtom

s'ha vist que no és tan senzill determinar on es situen els electrons, ja que, com afirma el principi d'incertesa de Heisenberg, hi ha parells de magnituds que no es poden mesurar alhora amb precisió, com ara la velocitat i la posició, de manera que no podem saber mai amb tota seguretat on es troben els electrons. És per aquest motiu que s'ha passat a denominar orbital a la zona on hi ha la màxima probabilitat de trobar els electrons (99%), en comptes d'òrbita.

Actualment, també sabem que hi ha diferents nivells d'energia dins el principal, però de la mateixa manera, mentre els electrons es trobin sempre en el mateix nivell, no emetran ni absorbiran energia.

IDEA FONAMENTAL: Els electrons d'un àtom tenen una energia determinada i absorbeixen i emeten energia en forma de fotons quan passen d'un nivell a un altre. L'energia que emeten i absorbeixen també té uns valors determinats, característics de cada transició.

2.6. LA LLUM

Clarificació de termes

Llum: Qualsevol tipus d'ona electromagnètica

Llum visible: Tipus d'ona electromagnètica que pot ser interpretada per l'ull humà

Què és?

La llum és una ona electromagnètica que està composta per partícules anomenades fotons. N'hi ha molts tipus, la llum visible, infraroja, ultraviolada, les microones i les ones de ràdio serien, exemples de radiació electromagnètica. Totes aquestes radiacions es mouen a la velocitat de la llum ($c = 3 \times 10^8$ m/s), però es diferencien en la seva freqüència i en la seva longitud d'ona.

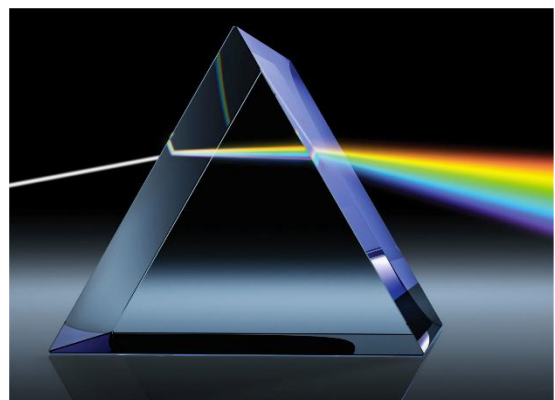
També podríem definir la llum com a un tipus d'energia, ja que és capaç de canviar les propietats dels cossos i de transformar-se en altres tipus d'energia.

2.6.1 EL CARÀCTER ONA-CORPUSCLE DE LA LLUM

Breu història

Els antics filòsofs grecs van ser els primers a preguntar-se perquè ens hi veiem. Empedòcles al 500 aC. va divulgar la primera teoria sobre la naturalesa de la llum, que identificava aquesta com a rajos que sortien dels nostres ulls xocant contra els objectes del nostre voltant, fet que ens permetia veure-hi.

1500 anys més tard, Alhazen (matemàtic àrab) va descobrir que els ulls en comptes d'emissors de llum, n'eren els receptors i va ser el primer en investigar-ne les propietats com ara la refracció i la reflexió.



Imatge 9. Newton va descobrir que la llum blanca es descomponia al passar a través d'un prisma

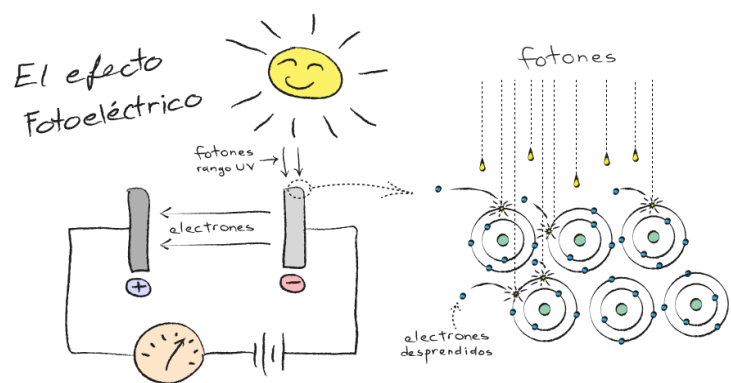
Posteriorment, durant el segle XVII es va entaular una batalla científica entre els

matemàtics i intel·lectuals de l'època per un costat i Isaac Newton per l'altre, ja que els primers afirmaven que la llum es comportava com una ona, però Isaac Newton que va descobrir que la llum estava en realitat composta per una gran rang de colors, creia que estava formada per petites partícules o corpuscles.

Durant els següents segles va anar guanyant pes la teoria ondulatoria de la llum, ja que les propietats que s'anaven estudiant sobre aquesta, així ho confirmaven. Però a finals del segle XIX el físic alemany Hertz va descobrir l'efecte fotoelèctric de llum i aquest és impossible d'explicar si no s'entén la llum com a partícules o corpuscles.

Efecte fotoelèctric: quan un raig de llum té la capacitat d'arrencar electrons d'un àtom diem que es produeix efecte fotoelèctric, si augmentem la intensitat del raig, també arrencarem més electrons. Per contra, si un raig no té la capacitat de ionitzar electrons d'un àtom (no hi ha efecte fotoelèctric), encara que augmentem la seva intensitat, els electrons no se ionitzaran. Aquest fenomen només es pot explicar si la llum està formada per fotons (partícules) que a més, no es sumen les unes a les altres, sinó que cada fotó incideix només sobre un sol àtom.

Finalment, Albert Einstein va demostrar que l'efecte fotoelèctric només es podia explicar amb l'ús de petits corpuscles (quants d'energia) als que va anomenar fotons. Finalment, els experiments posteriors de Thomas Young de la doble escletxa van confirmar la dualitat ona-corpuscle de la llum. I



Imatge 10. Efecte fotoelèctric

va ser en aquest moment quan va néixer la física quàntica, reconciliant dues teories i confirmant que la llum es comportava tant d'una manera com de l'altre.

La llum com a corpuscle

La llum està composta per fotons, que són partícules fonamentals, indivisibles, sense massa ni càrrega que componen la llum. Els fotons són quants d'energia que vibren i

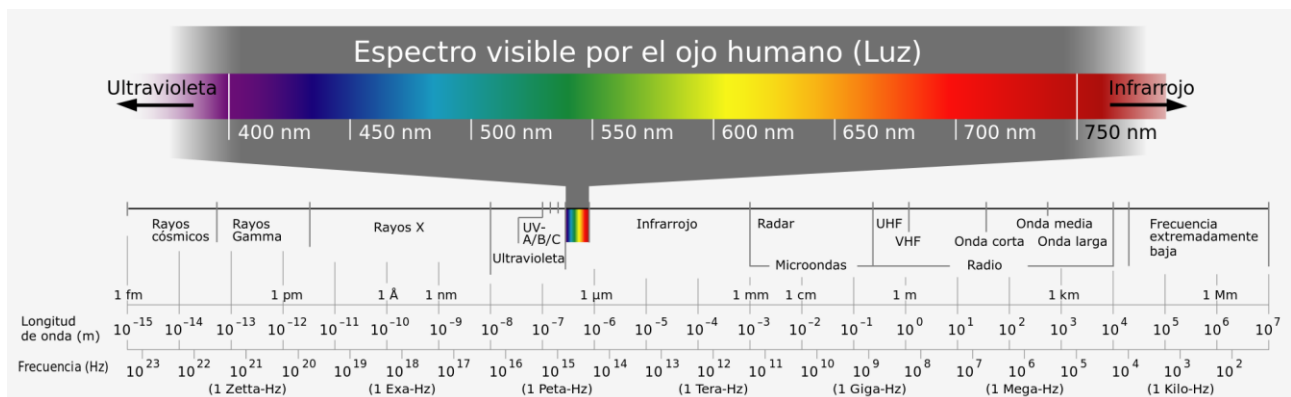
es comporten com una ona quan es mouen per l'espai i com una partícula quan interaccionen amb algun cos, per aquest motiu diem que la llum té una naturalesa ona-corpúscle. Per estudiar-la, haurem de tenir en compte un tipus de comportament o un altre depenent de la situació que vulguem analitzar.

La llum com a ona

Com ja hem dit, la llum es comporta com una ona quan es propaga per l'espai. Però a diferència, per exemple del so (que també es propaga com una ona) que vibra el medi en el qual es desplaça (ja sigui aigua, aire, etc.), la llum vibra en el buit. I es desplaça a una velocitat de $3 \cdot 10^8$ m/s, la major velocitat possible.

Espectre electromagnètic

L'espectre electromagnètic és el conjunt de totes les ones electromagnètiques, tant de les que són visibles per l'ull humà com les que no ho són.



Imatge 11. L'espectre electromagnètic

En què es diferencien?

Qualsevol ona disposa de quatre propietats que l'identifiquen, que són la longitud d'ona (distància compresa entre dos punts de la ona consecutius amb igual estat de vibració i que per tant, es mesura en metres), la freqüència (ondulacions d'un punt fix per segons, que es mesura en Hertz), l'amplitud i la velocitat.

Totes les ones electromagnètiques viatgen a igual velocitat, però tenen diferent longitud d'ona i en conseqüència, energia i freqüència (ja que la freqüència, la longitud d'ona i

l'energia d'un fotó queden relacionades per la hipòtesis de Planck que diu que l'energia d'un fotó és igual a la constant de Planck per la freqüència d'ona i aquesta, al seu tron, és igual a la velocitat de la llum dividida entre la longitud d'ona). És per aquest motiu que les diferenciem, precisament, per la longitud d'ona, i les ones que conformen l'espectre electromagnètic estan col·locades de menys a més longitud d'ona.

Per tant, resumint, l'espectre electromagnètic representa les longituds d'ona, freqüència i energia que pot adquirir una ona d'aquest tipus. L'espectre es troba dividit en diferents bandes on les ones comparteixen certes característiques, com per exemple, els rajos gamma, la llum visible, els infrarojos o les microones. En la banda de llum visible es veuen els diferents colors representats en funció de la longitud d'ona a la qual vibren.

La llum visible:

La llum visible és la que pot percebre l'ull humà i que ens permet veure tot el que ens rodeja. Aquests tipus d'ona electromagnètica tenen una longitud d'ona entre 380 y 740 nanòmetres, per tant, corresponen només a una petita part de totes les longituds d'ona que emeten les fonts lluminoses com per exemple les estrelles o les làmpades d'una casa.

Pel que fa als colors que percebem, com ja hem dit, és la interpretació que fa l'ull humà de les diferents vibracions dels fotons, per exemple, el color vermell correspon a $4 \cdot 10^{14}$ Hz.

Espectre continu:

Quan un conjunt de fotons vibren en totes les freqüències possibles, obtenim com a resultat, llum blanca, l'espectre de la llum blanca, al estar format de totes les longituds d'ona, l'anomenem espectre continu.

2.7 ESPECTROSCOPIA

2.7.1 HISTÒRIA

L'espectroscòpia té els seus orígens en l'estudi de la regió visible de l'espectre electromagnètic.

Newton

Aquests estudis van començar amb Isaac Newton, matemàtic que va demostrar que al fer passar llum blanca (no necessàriament provinent del Sol) a través d'un prisma, aquesta es descomponia amb un espectre que anava del vermell al violeta.



Imatge 12. *Descomposició de la llum blanca*

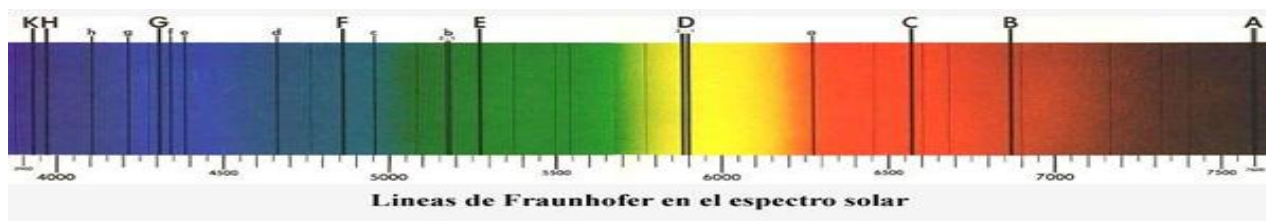
Línies fosques a l'espectre

Al segle XIX, el físic William Hyde va estudiar aquesta part de l'espectre amb un aparell que va construir ell mateix anomenat espectrògraf (que es basava amb el mateix principi, però obtenia l'espectre augmentat de mida). Al estudiar la llum d'aquesta manera, es va adonar que descomponent la llum solar es veien 8 línies fosques molt nítides, que no eren observables a simple vista. Malgrat això, aquestes línies es van atribuir a imperfeccions del material i no se'ls hi va donar més importància.

Espectre de Fraunhofer

Posteriorment, el físic Fraunhofer també estudiant l'espectre, i en especial les línies fosques. Amb aquesta finalitat va construir el que es coneix com el primer espectroscopi, amb el que va poder observar més de 600 línies i va anomenar les nou més importants amb les lletres de la A fins la K.

Aquest seria l'espectre que es coneix com a espectre de Franhofer:



Imatge 13. *Espectre de Fraunhofer*

Franhofer també va estudiar altres experiments que consistien en barrejar una sal química amb alcohol i cremar-ho, mentre s'obtenia l'espectre de la flama. Franhofer, posteriorment, també va realitzar l'experiment barrejant l'alcohol amb sal comuna i va trobar una coincidència amb la doble línia groga que ocuparia la línia D de l'espectre solar, però no va saber trobar a causa de què era.

Els investigadors de l'època tampoc ho van saber relacionar, malgrat coneixien que la doble línia groga apareixia quan la substància a partir de la qual s'obtenia l'espectre contenia sodi.

Explicació de les línies fosques

Finalment, a l'any 1856, el físic Gustav Kirchhoff va mostrar la importància de conèixer els espectres atòmics de cada element i va donar una explicació a les línies de Franhofer de l'espectre solar.

Va concloure que els espectres de cada element són característics i, aquest fet permet la seva identificació. La mateixa conclusió a la que va arribar Bunsen.

Després, va proposar la teoria que el Sol estava envoltat de capes gasoses que absorben certes longituds d'ona de la radiació electromagnètica emesa per la superfície calenta. I, d'aquesta forma, va donar una explicació satisfactòria a les línies fosques que apareixen a l'espectre solar. La línia doble D, per tant, indica la presència de sodi a les capes externes del Sol.

Desenvolupament de l'espectroscòpia

Durant el segle següent, el XX, amb el naixement de la física quàntica es va desenvolupar l'espectroscòpia relacionant conceptes com ara les noves teories de models atòmics basades en l'obtenció d'espectres de diferents elements. D'aquesta forma, també es van descobrir nous elements químics, com ara l'Heli, que es pensava que només es trobava al Sol, o el rubidi i el cesi.

Importància de l'espectroscòpia

L'espectroscòpia és una eina molt útil dins l'astrofísica, ja que a més d'indicar-nos la composició química de la font lluminosa i l'estat en el que es troba (líquid, sòlid, gasos o plasma), mitjançant aquesta tècnica també es pot determinar si la font emissora s'allunya o s'apropa i a quina velocitat ho fa (efecte Doppler, explicat a continuació.)

2.7.1 EXPLICACIÓ CIENTÍFICA DE L'ESPECTROSCÒPIA

Definició

En certes condicions quan un fotó xoca amb una molècula o un àtom, aquesta pot absorbir l'energia de la radiació, produint-se un augment de l'energia de la molècula en una quantitat igual a l'energia del fotó. Aquest fet és el que utilitza l'espectroscòpia per obtenir dades sobre la substància estudiada. Per tant, podem dir que:

L'espectroscòpia és una tècnica analítica experimental, molt usada en química i en física. Es basa en detectar l'absorció o emissió de radiació electromagnètica de certes energies, i relacionar aquestes energies amb els nivells d'energia implicats en transicions quàntiques de la substància a detectar. D'aquesta manera, es poden fer anàlisis quantitius o qualitius d'una enorme varietat de substàncies, aprofitant la capacitat d'emetre o absorbir la radiació d'una determinada longitud d'ona que presenten aquestes, o algun producte format a partir d'elles.

Tipus d'espectroscòpia

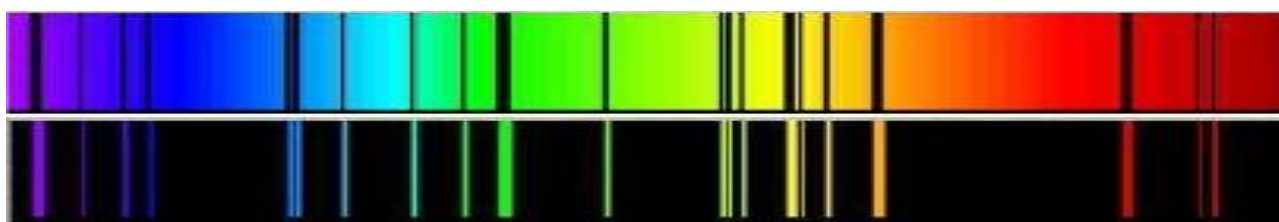
Espectroscòpia atòmica

En aquests tipus d'espectres s'analitzen pocs àtoms i s'obtenen només a partir de provocar transicions entre els diferents estats electrònics. Com a conseqüència d'aquestes transicions i dels fotons emesos que aquest fet provoca, els espectres atòmics estan constituïts per ratlles i són especialment útils per l'anàlisi química. Són espectres senzills i ben coneguts.

Per obtenir aquests espectres, a part de provocar les transicions electròniques, posteriorment es fa passar la llum obtinguda a través d'un prisma òptic, fet que produeix un efecte anomenat dispersió, que consisteix en la separació de les diferents longituds d'ona que formen el raig incident. Després aquestes longituds d'ona queden gravades en una pantalla fotosensible.

Amb aquest tipus d'espectroscòpia podem obtenir dos tipus d'espectres:

- **Espectre d'absorció:** Per obtenir aquest tipus d'espectre es fa passar llum blanca a través d'una substància abans de travessar el prisma, per tant, només passaran aquelles longituds d'ona que no hagin estat captades pels electrons d'aquesta substància i obtindrem l'espectre d'absorció d'aquesta substància.
- **Espectre d'emissió:** En canvi, els elements químics en estat gasós i sotmesos a temperatures elevades produeixen espectres discontinus, en els quals s'aprecia un conjunt de línies que corresponen a emissions de només algunes longituds d'ona.



Imatge 14. *Espectre absorció i emissió (respectivament) del Carboni*

Cal remarcar que el conjunt de línies espectrals que s'obté per un element concret és sempre el mateix, fins i tot si l'element forma part d'un compost complex i cada element produeix el seu propi espectre diferent al de qualsevol altre element. Això significa que cada element té la seva pròpia firma espectral i el podem reconèixer per aquesta.

Espectroscòpia molecular

Es tracta de l'espectroscòpia d'us més comú. Els espectres estan constituïts per bandes amb estructura fina. Són, per tant, espectres més complicats. Però, en podem obtenir molta informació i l'espectroscopista professional és capaç d'analitzar-la tota.

Aquest tipus d'espectres s'obtenen a partir de fer interaccionar un raig amb una molècula. Una molècula té varis tipus d'energia associada:

- **Translació:** velocitat de desplaçament (la considerem constant, ja que les radiacions gairebé no la fan variar.
- **Rotació:** Seria l'spin del nucli, el sentit en que gira.
- **Vibració dels enllaços**
- **Electrons en estat excitat**

Com que els diferents tipus de radiació tenen diferents energies, produeixen canvis en una energia associada o una altre i per aquesta raó en podem obtenir diferent informació.

Segons les radiacions que utilitzem obtenim diferents espectres:

o IR

L'absorció de raigs infrarojos provoca que els enllaços vibrin.

- **Informació:** Ens permet conèixer els enllaços químics i els grups funcionals de la molècula

o UV i llum visible

La incidència d'aquests tipus de raig sobre la molècula provoca transicions electròniques.

- **Informació:** Ens permeten conèixer l'estructura de la molècula.

o RMN

Les freqüències d'ona de ràdio provoquen transicions en el spin nuclear, que són les que s'observen en l'espectroscòpia de Ressonància Magnètica Nuclear (RMN). Això significa que influeixen en la rotació i orienten el nucli a favor o en contra el camp magnètic exterior.

- **Informació:** Podem arribar a saber el nombre de protons i de quin tipus són.

Espectroscòpia astronòmica

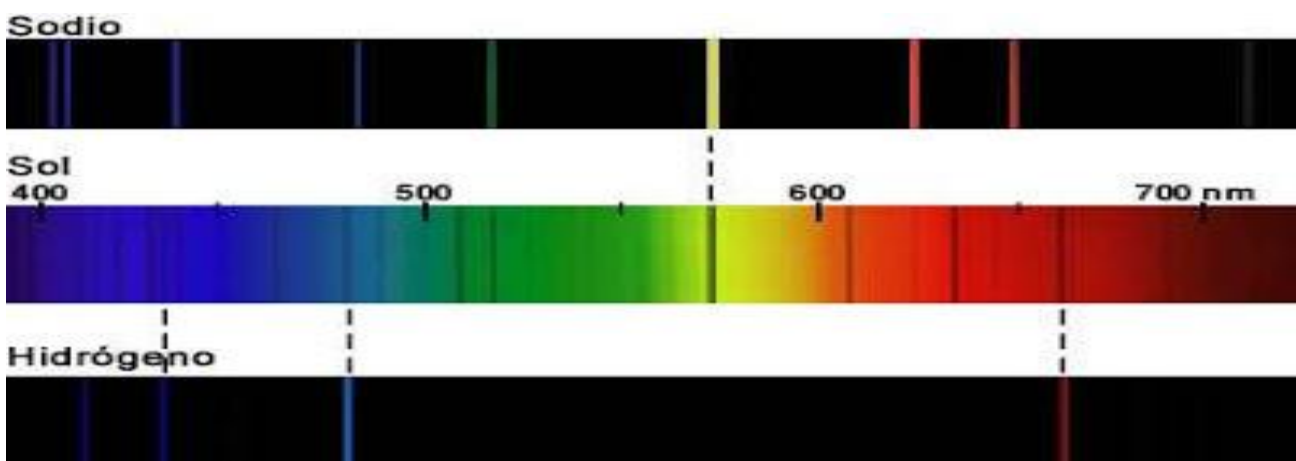
L'astrònom italià Angelo Secchi va ser el primer en realitzar una classificació de les estrelles segons els seus espectres. Per fer-ho es va basar en el número i la intensitat de les línies d'absorció del seu espectre. Avui en dia, la observació estel·lar mitjançant la espectroscòpia s'utilitza també per conèixer altres propietats dels estels i altres astres, com per exemple, la seva temperatura superficial, la seva velocitat, densitat, pressió i intensitat del camp magnètic. Per aquest motiu és un dels mètodes més eficients dels que disposem per conèixer l'estructura de diferents cossos i al mateix temps entendre els fenòmens que tenen lloc i que causen l'emissió i l'absorció de diferents radiacions electromagnètiques.

Per tant, podríem definir l'espectroscòpia astronòmica com *una tècnica utilitzada pels astrònoms i els físics per estudiar les característiques i la composició d'un objecte basant-se en la llum que emet.*

Podem obtenir tres tipus d'espectres:

- ESPECTRES CONTINUS: ja hem dit que són els que es componen de totes les longituds d'ona. Són emesos per qualsevol font de calor.
- ESPECTRE D'ABSORCIÓ: en aquest tipus d'espectres, s'observa que algunes longituds d'ona són línies fosques. El motiu, com ja sabem, és perquè algun objecte les ha absorbit. Per exemple, a l'espectre solar, aquestes línies són produïdes perquè l'atmosfera del sol absorbeix certes ones, el que fa que la seva intensitat disminueixi respecte les altres i per aquest motiu apareguin les línies fosques.

Aquest tipus d'espectres els podem obtenir de planetes amb atmosferes, estrelles i galàxies.



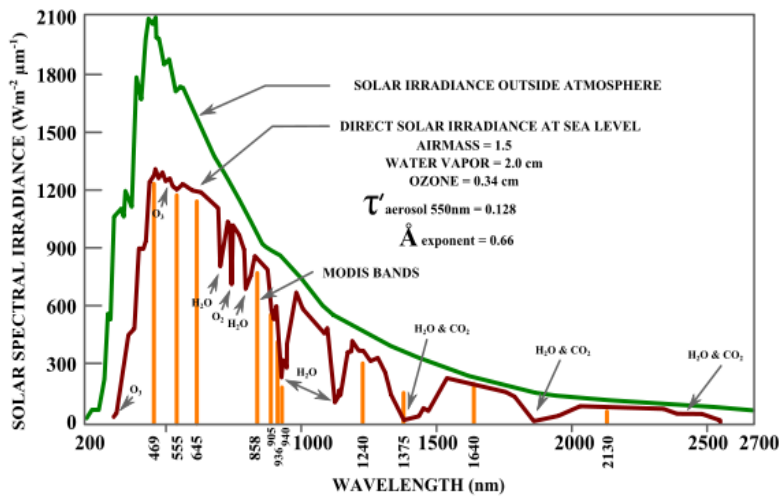
Imatge 15. Espectre del Sol (absorció)

- ESPECTRE D'EMISSIÓ: Aquest tipus d'espectre, com ja hem explicat, es dona quan els àtoms i les molècules d'un gas calent emeten llum a determinades longituds d'ona, produint així línies brillants.

Aquest tipus d'espectre el podem obtenir de cometes, nebuloses i certs tipus d'estrelles.

A la pràctica, però, els astrònoms mai estudien els espectres on apareixen línies. El que estudien són gràfiques que representen la intensitat, el senyal o el flux de la longitud d'ona. Aquest tipus de gràfiques mostren la quantitat de llum que hi ha o no hi ha a cada

longitud d'ona. Un pic a la gràfica, per tant, significaria una línia d'emissió, i, en canvi, una vall indicaria la posició d'una línia d'absorció.



Imatge 16. *Espectre del Sol representat gràficament*

2.8 ANÀLISIS DELS ASTRES

CLARIFICACIÓ: Abans de res, m'agradaria puntualitzar que els nombres romans després d'un element és refereixen al grau de ionització dels àtoms.

2.8.1 ESPECTRES D'ESTRELLES

Les estrelles tenen atmosfera formada per gasos que rodeja el nucli, al emetre radiacions per els processos de fusió del nucli, algunes d'aquestes radiacions queden absorbides per aquests gasos. Aquestes bandes d'absorció seran les que ens serviran per determinar les composicions d'aquests astres.

Vaig escollir tres estrelles conegudes per poder disposar del màxim d'informació, i de tipus espectrals diferents, per poder-les comparar entre elles.

Classificació espectral de les estrelles (tipus espectrals)

La classificació de les estrelles ve donada sobretot per la seva edat, ja que aquesta influeix en factors com la massa o la temperatura de l'estrella, els quals posteriorment utilitzem per agrupar-les.

La nomenclatura i la classificació espectral de les estrelles és la següent:

1. Primer de tot, es classifiquen les estrelles en set grups nomenats per les lletres O, B,

A, F, G, K, y M. Aquestes lletres classifiquen les estrelles de més calentes (de tipus O) fins a les més fredes (de tipus M).

Clase	Temperatura	Color Convencional	Masa	Radio	Luminosidad
O	28 000 - 50 000 K	Azul	60	15	1 400 000
B	9600 - 28 000 K	Blanco azulado	18	7	20 000
A	7100 - 9600 K	Blanco	3,1	2,1	80
F	5700 - 7100 K	Blanco amarillento	1,7	1,3	6
G	4600 - 5700 K	Amarillo (como el Sol)	1,1	1,1	1,2
K	3200 - 4600 K	Amarillo anaranjado	0,8	0,9	0,4
M	1700 - 3200 K	Rojo	0,3	0,4	0,04

Imatge 17. Classes espectrals estel·lars.

2. Seguidament es subdivideix cada grup usant un dígit numèric, utilitzant el 0 per les estrelles més calentes dins el grup i el 9 per les més fredes.

3. Finalment s'afegeix a la nomenclatura la classe de lluminositat espectral utilitzant números romans. Aquesta 'lluminositat espectral' es refereix a la amplada de certes línies d'absorció que presents als espectres de les estrelles, ja que varien segons la densitat de les atmosferes d'aquestes.

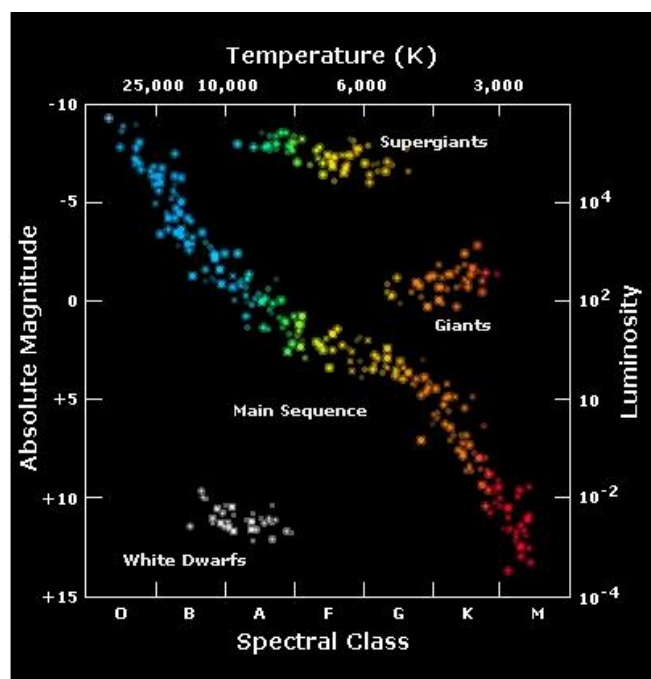
Trobem les següents classes:

- **0**: Hipergegants
- **I**: Supergegants
- **II**: Gegants brillants
- **III**: Gegants regulars
- **IV**: Subgegants
- **V**: estrelles que es troben a la seqüència principal (a continuació explicaré que significa).

EXEMPLE: La classe espectral del Sol és G2V, fet que indica que és una estrella que pertany a la seqüència principal i que té una temperatura de 5800 K.

El diagrama de Hertzsprung-Russell

Si es dibuixa un diagrama amb dos coordenades, per una banda la classe espectral (que depèn de la temperatura) i per una altra la magnitud absoluta (que depèn de la massa),



Imatge 18. Diagrama de Hertzsprung-Russell.

s'obté el famós diagrama de Hertzsprung-Russell. La distribució de les estrelles en aquest gràfic no és casual: la major part es concentren a la franja central anomenada **seqüència principal**. Aquest fet és degut a que la seva posició al diagrama només depèn de la seva massa (si l'estrella és més gran, també serà més lluminosa i per tant la seva magnitud absoluta també serà superior). I, la massa, depèn de l'edat de l'estrella. Com es pot deduir d'aquest fet la majoria d'estrelles es troben en una etapa similar de la seva vida, ja que és la més llarga. En aquesta etapa, a l'interior de l'estrella es fusiona hidrogen, formant-se

així heli i desprenent-se molta energia. Les estrelles que no es troben dins la seqüència principal ja han fusionat tot l'hidrogen, i el seu futur dependrà, un cop més de la seva massa. Si en tenen suficient, fusionaran l'heli obtenint carboni i oxigen i, posteriorment, tornaran a fusionar aquests elements obtinguts entre ells, obtenint-ne així altres de més

pesants. Per aquestes raons, les estrelles que es troben en posicions similar dins el gràfic, comparteixen característiques, com ara la composició química. Es per aquest motiu que si sabem a quin grup pertany l'estrella, podem saber quin tipus d'elements i compostos és possible que trobem en el seu espectre.

Metal·licitat

Aquest concepte es defineix com l'abundància d'elements més pesants que carboni en estrelles o ambients estel·lars. Aquesta depèn de quina generació és l'estrella (si no és de primera generació, significa que pot tenir elements més pesants que s'hauran format al col·lapsar estrelles passades). També s'ha observat que a mesura que ens apropem al centre de la Via Làctia, la metal·licitat de les estrelles creix. Aquest factor explica la presència de metalls en estrelles que encara es troben en la seqüència principal.

Aldebaran

El primer espectre que estudiarem és el de l'estrella Aldebaran. Aldebaran (alfa de Taure)



Imatge 19. Constel·lació de Taure. Aldebaran senyalada per la fletxa vermella.

anomenada popularment l'Ull del Bou (sobrenom que li ve donat per la seva posició dins la constel·lació de Taure), és un dels estels més brillants del cel nocturn.

El seu nom prové de l'àrab *الذبران* (ad-dabarān) que significa 'el seguidor', una referència al fet que l'estrella sembla seguir les plèiades en el seu viatge nocturn a través del cel.

Aldebaran es troba a una distància de 65,1 anys llum segons el satèl·lit Hipparcos i brilla amb una magnitud aparent de 0'85 (150 vegades la lluminositat del Sol), fet que fa que sigui considerada la 14a estrella més brillant. A més, Aldebaran té una companya menor, una nana fosca que orbita a uns quants cents d'UA.

Tipus espectral

Pel que fa el tema espectral, es tracta d'una estrella de classe K5 III. Fet que significa que Aldebaran es troba més enllà d'aquesta seqüència principal, ja que ja ha exhaurit l'hidrogen del que disposava per dur a terme la fusió. Quan una estrella es troba en aquest punt (i té una massa superior a 0'4 masses solars), com ja he explicat de manera resumida, comença un procés de fusió del nucli d'heli inert que queda dins del seu

interior, generant carboni i oxigen. Aquest procés fa que l'estrella s'expandeixi i la temperatura de la seva superfície augmenti. És precisament per aquest motiu que Aldebaran té un color ataronjat i és una estrella gegant (III).

Tipus espectral K: Dins el grup K5 els espectres es caracteritzen per l'aparició de línies associades a principalment metalls neutres (Mn I, Fe I, Si I). També si troba presència de bandes moleculars d'òxid de titani. Per altre banda, les línies d'hidrogen extremadament febles, si és que hi són presents.

Vega

Vega (α Lyrae, alfa de Lira) és l'estel més brillant de la constel·lació de la Lira. És un estel proper, a només 25 anys llum de distància del Sol i un dels més brillants del cel nocturn.

El seu nom prové del terme àrab waqi, que significa «allò que cau», a través de la frase *الواقع الذسر* *an-nasr al-wāqi'*, traduïda com a «l'àliga que cau en picat».

Vega, a més, té un disc de pols i gas al voltant, descobert pel satèl·lit IRAS a mitjans dels anys 1980.

Això significa que hi ha planetes en formació o ja formats. Ja que el disc protoplanetari és, com es pot endevinar pel seu nom, un precursor de la formació de planetes, però pot persistir molt de temps després de la formació dels planetes si no hi ha planetes gasosos gegants com Júpiter.

Tipus espectral

La seva classificació espectral és A0V i per tant, es troba dins de la seqüència principal, fet que indica que dins el seu nucli té lloc la fusió d'hidrogen en heli. Donat que estels més potents usen el seu combustible de fusió més ràpidament que els petits, la vida de Vega és només de 1.000 milions d'anys, una desena part que la del Sol. Vega també és tres vegades més massiva que el Sol i crema amb una potència cinquanta vegades superior.

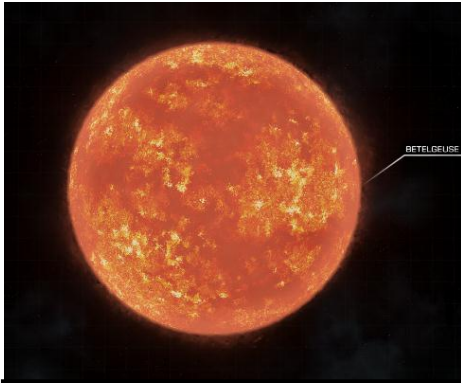
Tipus espectral A: Les línies pròpies de l'hidrogen són les que més dominen, en especial dins el subtipus A0. Les de Mg II i S II també són rellevants. També cal destacar que la presència de Ca II es comença a fer notòria.



Imatge 20. Fotografia de Vega.

Betelgeuse

Betelgeuse, anomenada també alfa d'Orió, és una gran estrella vermella a la constel·lació d'Orió. És una supergegant vermella, fet que indica que l'estat evolutiu de l'estrella és avançat: ha passat ja la etapa més important de la seva vida (la seqüència principal) i per tant, ha esgotat tot l'hidrogen disponible per la fusió nuclear. Després d'aquest fet, com



Imatge 21. Representació de Betelgeuse.

Aldebaran, la seva mida va augmentar fins les enormes proporcions actuals. Però, Betelgeuse es troba en una fase més avançada que Aldebaran i, al seu interior, com totes les gegants vermelles, ja s'ha superat la fase en que es fusiona l'heli, per això a l'interior de les gegants vermelles, com ja he comentat, es comença a fusionar els altres elements: carboni, oxigen, etc., fins a arribar al ferro. Arribats a aquest punt, ja no es pot obtenir més energia de les fusions nuclears i és en aquest moment on aquest tipus d'estrelles exploten formant supernoves.

Les opinions dels astrònoms sobre quan Betelgeuse patirà una supernova són molts diverses, però del que si que podem estar segurs és que aquesta no arribarà al Sistema Solar, ja que es l'estrella en qüestió és troba massa distant.

Tipus espectral

La seva classificació espectral és M2I, ja que es tracta d'una gegant vermella com ja he comentat.

Tipus espectral M: L'espectre està dominat per bandes moleculars, en particular de TiO i VO. Les línies dels metalls neutres (ex. Ca I) també són intenses, mentre que no se'n observen de referents a l'hidrogen.

2.8.4 LOVEJOY

Els cometes deguda la seva naturalesa que veurem a continuació, presenten línies d'emissió. Per aquest motiu vaig trobar interessant estudiar-ne un, per poder-lo comparar posteriorment amb els espectres d'absorció de les estrelles.

Durant el 2015, el cometa Lovejoy va passar molt a prop del Sol i va ser visible des de la Terra, en concret es va poder observar prop de la constel·lació d'Aries. Va ser un succés que va tenir molt de ressò, per aquest motiu he cregut que seria senzill obtenir-ne informació.

Cometes

Els cometes són cossos celestes formats durant l'època a la que es va crear el Sistema Solar, fa uns 4600 milions d'anys. Durant la formació del Sistema Solar, la majoria de la matèria va quedar acumulada formant els planetes i el Sol, la resta, es va dipositar a la zona més exterior del Sistema Solar, el núvol d'Oort. Els cometes són cossos que es van formar en aquesta zona, però que orbiten al voltant del Sol. Per exemple, el Lovejoy té un període estimat de 8.000 anys.

Els cometes estan formats per un nucli, el qual és una estructura sòlida, formada bàsicament per roca, ferro, aigua en estat sòlid i altres components químics com ara l'amoniac, el metà, el diòxid de carboni, etc. La 'coma', que serien els sòlids sublimats que queden al voltant del nucli quan aquest passa a prop del Sol. I, per últim, la cua formada per pols i ions, la pols són les partícules que s'evaporen del nucli i són desplaçades per la llum



Imatge 22. *Cometa Lovejoy. Imatge obtinguda des de l'observatori d'Astrogirona.*

solar. Aquestes partícules reflecteixen la llum i són fàcilment identificables. Pel que fa els ions provenen de la 'coma' que queda ionitzada per el vent solar. Aquests ions, per tan, són sensibles al camp magnètic del Sol i es propaguen en una direcció diferent a la pols. Precisament aquesta 'cua', formada per ions, és la que provoca la majoria de les línies d'emissió del cometa.

COMPOSICIÓ: El Lovejoy pot contenir tots els elements que hem anat citant, donada la seva naturalesa de cometa, però, a més, té la característica de ser de color verd. Això es deu a que conté carboni diatòmic i que a través del fenomen de la fluorescència absorbeix radiació ultravioleta provinent del Sol i emet llum verda.

ELEMENTS A TENIR AMB COMPTE: Fe, H₂O, CO₂, NH₃, CH₄, C₂

2.8.5 MART

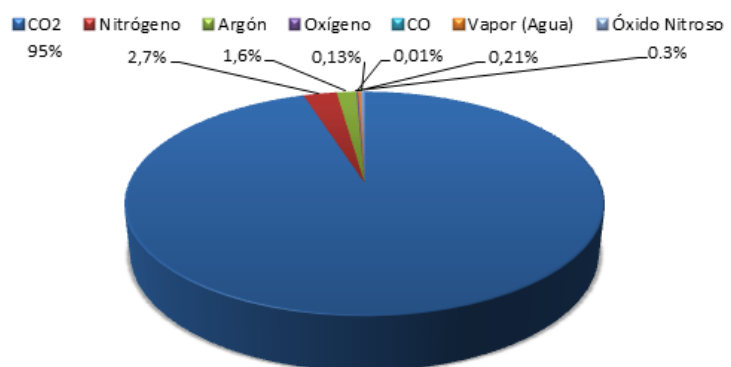
Finalment, vaig decidir estudiar l'espectre d'un planeta sense atmosfera, ja que, com veureu a la part pràctica, volia veure com la falta d'atmosfera afectava a l'espectre obtingut.



Mart és el quart planeta del Sistema Solar més proper al Sol. El seu nom fa referència al déu romà de la guerra i sol portar el sobrenom del 'planeta vermell' per la seva aparença vermellosa. Mart té dues llunes, Fobos i Deimos, petites i de forma irregular. El planeta també destaca per contenir el Mont Olimp, el volcà més gran del Sistema Solar.

Una de les seves característiques és la seva tènue atmosfera. En el passat, aquesta havia estat molt més densa, però quan va cessar l'activitat volcànica, com que el planeta no exercia suficient força d'atracció (gravetat) sobre els gasos que el rodejaven, aquests es van dispersar per l'espai. Malgrat aquest fet, però, Mart continua tinguent atmosfera i per tan, aquesta absorbeix part de les radiacions la llum procedent del Sol i, per tant, podem obtenir espectres d'absorció d'aquest planeta.

Composició de la Atmosfera de Mart



Imatge 24. Composició de l'atmosfera de Mart.

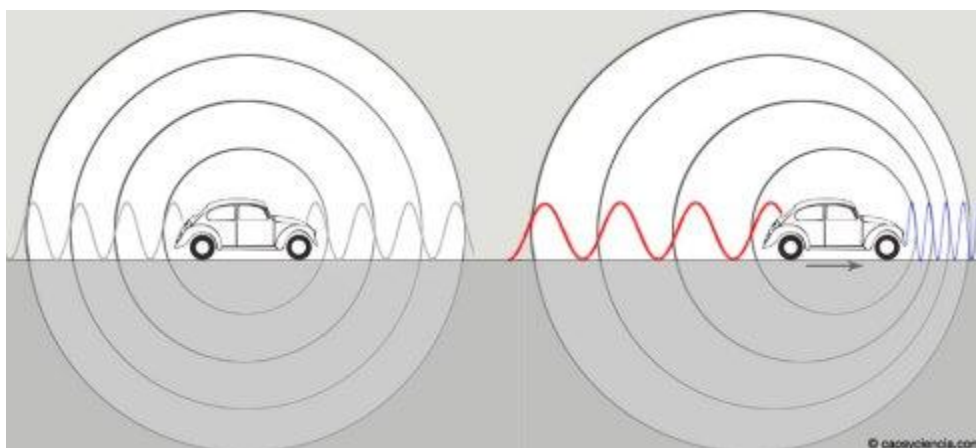
COMPOSICIÓ: gas carbònic, vapor d'aigua, argó, hidrogen i heli.

2.9 EFECTE DOPPLER

L'efecte Doppler consisteix en una variació de freqüència i longitud d'ona produïdes respecte la freqüència i la longitud d'ona emeses que és causada pel moviment relatiu entre el focus emissor de les ones i el receptor. Aquest efecte va ser explicat per Cristian Doppler al 1842.

L'explicació seria la següent:

Quan el focus emissor està en repòs, les crestes de l'ona son concèntriques al seu voltant i tenen la mateixa separació en totes les direccions. En qualsevol lloc, la longitud d'ona emeses són rebudes iguals. Per tant, no hi ha efecte Doppler. Ara bé, quan el focus es desplaça, va emetent ones successives des de diferents posicions. Com que la velocitat de propagació de l'ona és independent a aquest moviment del focus, les crestes estan més juntes cap al sentit cap el que es desplaça el focus i més separades en el sentit que s'allunyen del focus. Per aquest motiu, la longitud d'ona és superior en les zones on es veu allunyar-se al emissor i, per contra, és menor a les zones on el veuen apropar-se.



Imatge 25.
*Representació
gràfica de l'efecte
Doppler.*

Aplicació de l'efecte Doppler a la teoria del Big Bang

l'efecte Doppler ha tingut moltes aplicacions, una en especial va ser la que va jugar al 1929 amb la teoria del Big Bang i l'expansió de l'Univers.

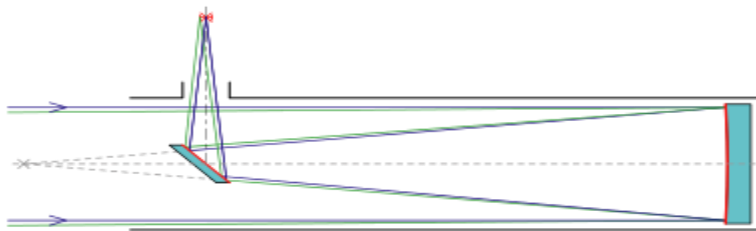
La llum procedent d'altres galàxies que es rep des dels observatoris astronòmics arriba amb una longitud superior que la d'emissió (és a dir, es desplaça cap al vermell). Hubble (astrònom) va plantejar que aquest fet podia ser degut a l'efecte Doppler i el va interpretar com una evidència de que les galàxies s'estan allunyant de nosaltres. Posteriorment, aplicant la llei de l'efecte Doppler, es va comprovar la velocitat a la que s'estaven allunyant les galàxies i es va veure que les més llunyanes a nosaltres, també són les que s'allunyen més ràpidament, fet que resulta coherent amb la concepció d'un Univers en expansió.

2.10 MATERIAL

2.10.1 TELESCOPI

Nom: Takahashi Mewlon 210.

Breu descripció: És un telescopi reflector newtonià, és a dir, que dins el seu tub la llum segueix el següent recorregut:



Imatge 26 / 27. Recorregut de la llum telescopi newtonià. // Takahashi Mewlon 210

Es pot usar per l'observació planetària encara que en el camp on dóna millors resultats és en el cel profund. També resulta un bon telescopi per l'astrofotografia i la utilització en general de càmeres CCD o similars.

2.10.2 SOFTWARE

Els programes informàtics utilitzats són els següents:

- **DSky 6:** usat per controlar la direcció (i per tant, la muntura) del telescopi.
- **CT Màxim DL:** serveix per controlar tots els aspectes relacionats amb la càmera.
- **Registax:** processador i editor de vídeos i imatges astronòmiques.
- **Photoshop:** editor d'imatge.
- **Visual Spec:** programa fet servir per analitzar els espectres.
- **Rspec:** programa fet servir per analitzar els espectres.

2.10.3 CÀMERA

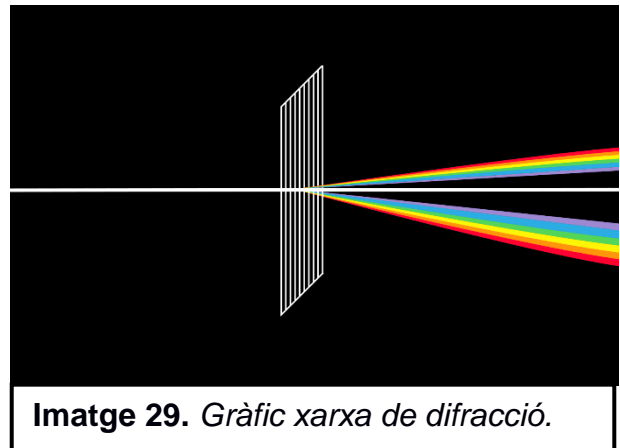
Nom: QHY5

Breu descripció: Es tracta d'una càmera CMOS. Aquests tipus de càmeres estan dissenyades especialment per a ser usades en el camp de l'astronomia i es connecten directament al telescopi, com podreu observar per la forma que té. També es connecten directament a l'ordinador, des d'on es regula la imatge, la gravació, l'enfocament, etc.



2.10.4 XARXA DE DIFRACCIÓ

Descripció: És un dels elements més importants del muntatge necessari per gravar els espectres. La podem escriure com un component òptic amb un patró regular, que difracta (divideix) la llum en diversos feixos. La direcció d'aquests feixos depèn de l'espaiat de la xarxa i de la longitud d'ona de la llum incident, de manera que la xarxa actua com un element dispersiu. Gràcies a això, les xarxes s'utilitzen habitualment per obtenir espectres. Es col·loca directament al telescopi, de manera que la càmera ja grava directament la llum prèviament difractada, és a dir, l'espectre en qüestió.



NOTA: Tot el material utilitzat ha estat proporcionat per l'associació Astrogirona.

3. PART PRÀCTICA

3.1 PROCÉS D'OBTENCIÓ DELS ESPECTRES

La meua part pràctica constava de dues parts, com ja he explicat, però el procés d'obtenció dels espectres és el mateix per cadascuna de les parts.

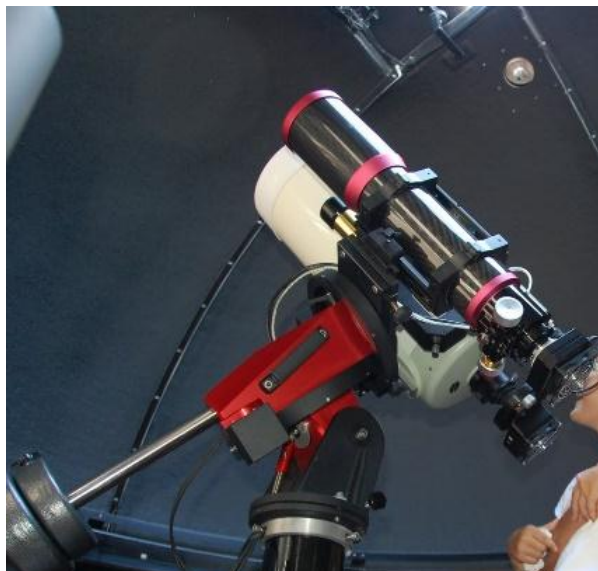
3.1.1 GRAVACIÓ

Per gravar els espectres, s'ha utilitzat l'equip del que disposa AstroGirona al Centre Cultural Can Roig. Per diversos motius (núvols, mal funcionament de la càmera, etc.) els vídeos han estat gravats per mi, però el procés de gravació és el següent:

1. En primer lloc, evidentment, s'ha de posar en marxa tot l'equip: encendre ordinador, treure les tapes de telescopis, obrir la cúpula, etc.
2. El següent pas serà enfocar el telescopi cap a l'astre que es vol gravar.

a. Per fer-ho, s'ha de posicionar en direcció un astre conegut (per exemple, una estrella coneguda, fàcil de identificar i veure com ara Vega).

b. Seguidament, s'informa al telescopi de cap a on està posicionat (s'ha de seleccionar de la memòria d'un comandament del telescopi el nom de, en aquest cas, l'estrella que s'està observant. Dins la memòria les estrelles se les identifica per l'abreviatura de la seva constel·lació i una lletra grega que les distingeix dins la pròpia constel·lació. Per exemple, Vega és *alfa de Lira*).



Imatge 30. *Telescopis de l'observatori. El de color blanc és el que es va utilitzar.*

- c. Seleccionat l'astre, ens trobem en disposició ja de moure la muntura des de l'ordinador, dins l'observatori utilitzen per aquesta fi un programa anomenat Dsky 6.
- d. Per acabar d'assegurar la precisió del programa a l'hora de moure el telescopi, cal indicar-li que es mogui a algun altre astre que es pugui identificar fàcilment, per exemple, algun dels objectes astronòmics de Messier. Llavors es comprova manualment que l'objecte quedi centrat en el camp de visió i se li indica al programa.

- e. Finalment, a través de l'ordinador, es mou el telescopi fins a l'objecte que es vol gravar i ens assegurem que quedi centrat (mirant directament per l'ocular del telescopi).
3. Llavors, es col·loca la xarxa de difracció i la càmera a l'ocular, aquesta última també s'engega i es connecta a l'ordinador.
4. Un cop connectada la càmera, mitjançant un altre programa anomenat CT Màxim DL podem veure la mateixa imatge que aquesta. Llavors, des del mateix programa, s'enfoca la imatge perquè es vegi correctament i es grava el vídeo.

NOTA: La llargada del vídeo sol ser d'uns 20 segons, ja que per una banda obtenim suficients fotogrames com per obtenir una bona resolució i per l'altre, el fitxer resultant tampoc és excessivament pesant.

NOTA: De les sis vegades que hem intentat gravar els espectres, tres no ens funcionava la càmera (el programa mostrava la imatge distorsionada i en constant moviment). Les tres restants feia núvol. La meteorologia sempre resulta molt oportuna quan vols observar. És per aquest motiu que els vídeos que he processat no els he gravat jo directament, sinó que me'ls ha cedit l'observatori. Malgrat això, he fet tot el procés descrit més de vuit vegades, això sí, sense culminar-lo.

3.1.2 OBTENIR LA IMATGE DEL VÍDEO

Per processar el vídeo i obtenir la imatge de l'espectre final, he utilitzat un programa anomenat RegiStax. El que fa aquest programa és ajuntar tots els fotogrames gravats per obtenir una imatge de més resolució.

Per fer-ho, selecciones un fotograma en que l'espectre es vegi nítidament i posteriorment indiques la qualitat que vols obtenir, el nombre de fotogrames que vols que utilitzi, marques els punts més importants del fotograma, etc. Un cop obtinguda la imatge pots ajustar altres paràmetres com ara el contrast i la brillantor de la imatge.



Imatge 31. Pantalla d'inici RegiStax 6.

Un cop satisfets amb el resultat obtingut, guardem l'arxiu com a .bmp, ja que és el format que tan l'editor d'imatge com el programa per analitzar l'espectre poden obrir.

Per processar després l'espectre, necessitem a més que aquest estigui completament horitzontal i sense altres elements al voltant, de manera que totes les imatges en les quals no és així, es retallen i s'orienten correctament amb un editor de fotos (jo he usat el Photoshop, per exemple).

NOTA: El programa RegiStax, per algun motiu que desconec, donava errors al instal·lar-se als cinc ordinadors diferents que ho vaig provar. És per això que vaig aprendre a fer servir dos programes més, l'IRIS i un processador d'imatges astronòmiques. Finalment, però, quan ja els dominava, vaig poder instal·lar el RegiStax, el qual dona més opcions a l'hora d'editar, de manera que vaig preferir tornar a processar els vídeos amb aquest darrer.

3.1.3 PROCESSAR L'ESPECTRE

Com ha de ser la imatge prèvia de l'espectre:

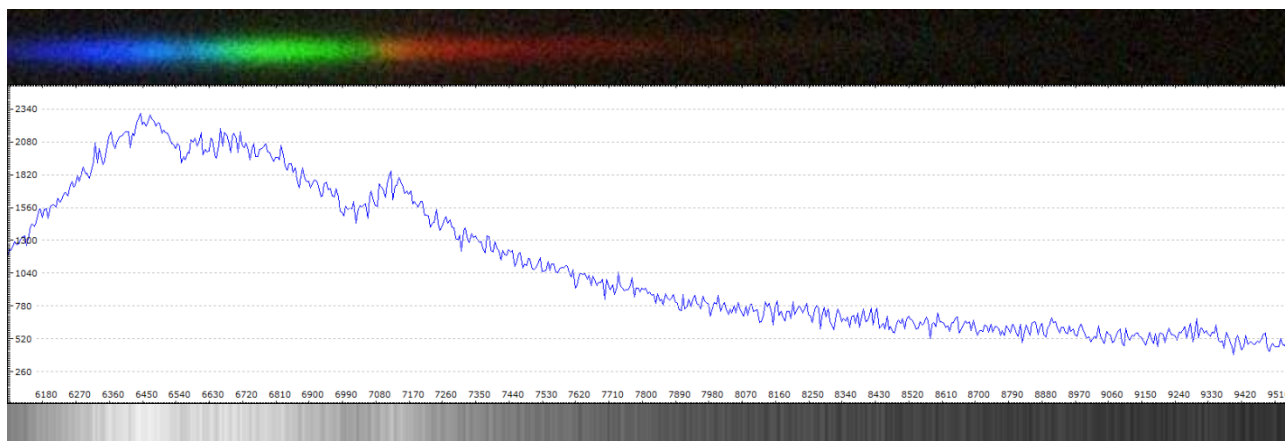
1. La regió vermella de l'espectre ha d'estar situada a la dreta.
2. L'espectre s'ha de trobar en posició completament horitzontal.
3. Només hi pot aparèixer un sol espectre.
4. Guardat amb els formats .bmp o .fit
5. La imatge ha d'estar degudament editada perquè al fons no hi apareguin altres espectres

Passos

1. Obrir la imatge de l'espectre dins el programa i regular els 'threshold', que es podrien definir com la brillantor de l'espectre. El que es busca amb aquest pas és bàsicament la millor definició possible de les bandes d'absorció.
2. Després, a partir de la imatge, el programa crea 'spectral profile' que és la gràfica que s'extreu de l'espectre (també l'anomenaré perfil). En ell es representen les intensitats de cada píxel de l'espectre obtingut.

3. El següent pas és **calibrar l'espectre**. Al calibrar l'espectre, el que es busca és associar una longitud d'ona a cada píxel i, per tant, conèixer d'aquesta forma la intensitat de cada una d'elles. Per fer-ho, es necessita identificar dos línies de l'espectre i introduir la seva longitud d'ona. Per tal d'identificar-les, el que es fa és comparar l'espectre amb un altre on ja es tingui aquesta informació. Aquest altre espectre, l'anomenarem **espectre de referència**. Normalment, l'espectre de referència es grava al mateix moment que el de l'objecte observat, col·locant una làmpada d'algun element com ara el sodi davant del telescopi. Al no disposar d'aquest tipus de làmpada, he utilitzat com a referència espectres 'sintètics' de diferents elements que et proporciona el propi programa. Un cop identifiqués les dues línies, el mateix programa interpola la relació a la resta de píxels.
4. **En el cas de que l'astre sigui una estrella:** Un cop calibrat l'espectre, es reajusta tenint en compte la llei de Planck, que ens diu que la calor produïda per el propi objecte també influeix en les longituds d'ona que emet. Per fer-ho, es busca el tipus d'estrella que es tracta dins la guia del propi programa i llavors ell mateix ho ajusta.

Per practicar, a part dels que he analitzat detalladament, també n'he processat altres, com per exemple aquest de Rigel:



Imatge 32. De dalt a baix: imatge processada amb el RegiStax, perfil obtingut, representació gràfica de les bandes de l'espectre.

3.2 ANÀLISIS QUÍMIC

Podria definir aquest apartat amb la frase 'de la teoria a la pràctica hi ha un abisme', però bé, comencem.

El meu primer objectiu era determinar les substàncies químiques presents en varis espectres. En un principi vaig plantejar-me fer-ne cinc. Era molt poc conscient del temps que requeria processar i analitzar cada espectre (El primer, hem va costar dues setmanes, el segon, una). He analitzat dos espectres d'objectes de naturalesa molt distants per veure'n també les diferències entre ells.

3.2.1 DETERMINACIÓ DELS ELEMENTS PRESENTS

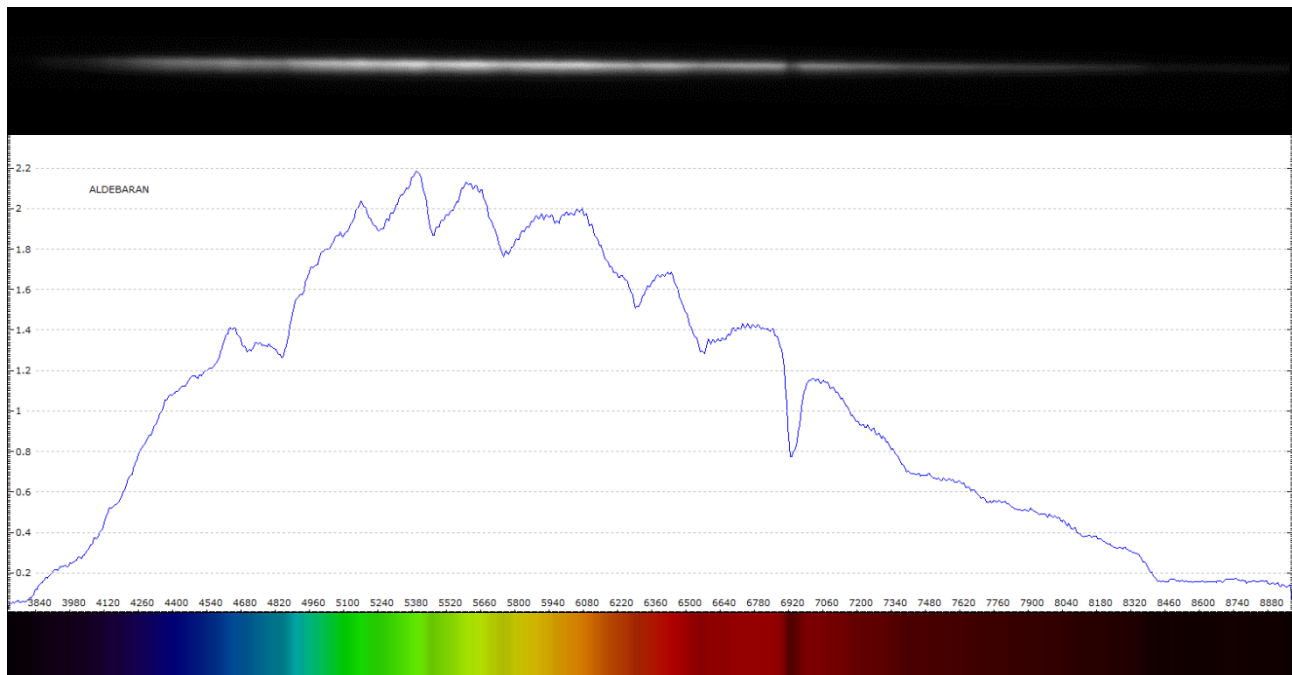
Un cop tenim l'espectre calibrat, podem obtenir dues llistes. La primera ens informa de totes les longituds d'ona que apareixen a l'espectre. La segona tots els elements que emeten longituds similars i que podrien correspondre a les obtingudes. Perquè aquesta segona llista sigui correcte, li hem de comunicar al programa de quin tipus d'espectre es tracta, si el d'una estrella, un element químic, l'atmosfera, etc.

En un principi em vaig proposar comparar totes les longituds d'ones entre una llista i l'altre, d'aquesta forma, les longituds d'ones que coincidissin serien aquelles que els elements es trobaven a l'espectre. Com veureu a l'annex, cada llista pot constar d'unes divuit pàgines de nombres i, comparar-les, una tasca molt feixuga. Així doncs, és en aquest punt on entra la recerca científica. Es tracta de recopilar el màxim d'informació possible sobre els elements que podria contenir l'espectre en qüestió i descartar tots aquells que es creguin improbables. Tot hi així, comparar totes les longituds d'ona resulta molt llarg i, val a dir, una mica intuïtiu, ja que més d'un element pot concordar amb certes longituds. Un cop es troben dos línies que sembla que coincideixen, s'ha de buscar si es troben presents més línies que puguin pertànyer al mateix element, ja que sinó, la hipòtesis de que es tracti d'aquell element en concret és, bàsicament, molt poc probable.

Després de passar-me varies tardes seguint el mètode descrit anteriorment, el vaig descartar, ja que tornant a llegir la part teòrica em vaig adonar que hi havia una solució més senzilla. Els elements que es trobaven als astres estudiats, provocaven línies d'absorció en la seva gran majoria, de manera que per conèixer la composició d'aquests, em podia centrar a determinar els tipus d'àtoms i molècules que havien provocat les citades línies.

NOTA: Totes les longituds d'ona empleades estan mesurades amb Àngstroms, de manera que no he indicat les unitats.

3.2.2 ALDEBARAN



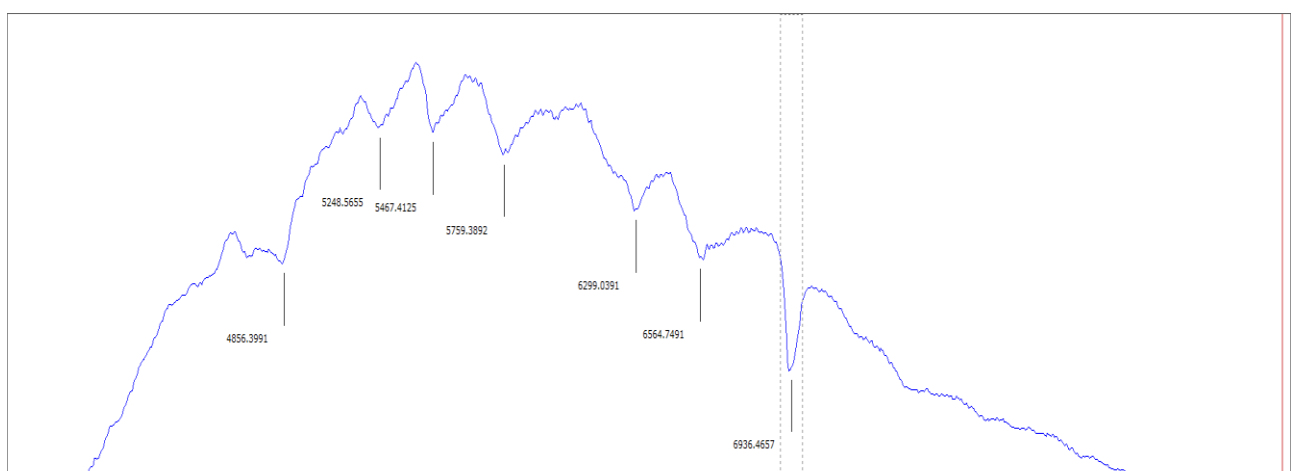
Imatge 32. De dalt a baix: imatge processada amb el RegiStax, perfil obtingut, coloració de l'espectre

LÍNIES A TENIR EN COMPTE: Oxigen, carboni, hidrogen, metalls neutres (sobretot ferro i magnesi), calci, heli i òxid de titani.

Anàlisis

El procés d'anàlisi de l'espectre ha estat el següent:

1. Primer de tot, determinar la longitud d'ona de les bandes d'absorció. Per fer-ho, mitjançant eines del programa, trobava el baricentre de cada vall.



Imatge 33. Determinació del baricentre de totes les línies d'absorció.

Longituds d'ones d'absorció estimades pel programa (en Àngstroms):

1. Línia 1: 4856'3991
2. Línia 2: 5248'5655
3. Línia 3: 5467'4125
4. Línia 4: 5759'3892
5. Línia 5: 6299'0391
6. Línia 6: 6564'7491
7. Línia 7: 6936'4657

2. Seguidament, comparava aquestes nombres amb les longituds que hi havia realment (la primera llista) i buscava les longituds d'ona que més s'hi assimilaven que tenien una intensitat considerablement inferior a les de la mateixa zona de l'espectre.

(Píxel – longitud d'ona – intensitat)

1. Línia 1:	4856'3991 / 219	4848.86767	998
2. Línia 2:	5248'5655 / 298	5256.83593	1496
3. Línia 3:	5467'4125 / 338	5463.40185	1471
4. Línia 4:	5759'3892 / 394	5752.59472	1389
5. Línia 5:	6299'0391 / 498	6289.66699	1189
6. Línia 6:	6564'7491 / 550	6558.20312	1019
	552	6568.53125	1019
7. Línia 7:	6936'4657 / 621	6924.85791	615
	622	6930.02197	616

3. Després, agafant aquestes línies com a referència, buscava entre la llista d'elements possibles els que tinguessin les longituds d'ones més similars.

1. Línia 1: 4856'3991 / 219 4848.86767 998

- a. Fe I 4848'89
- b. V I 4848'82

2. Línia 2: 5248'5655 / 298 5256.83593 1496

- a. Fe II 5256'89

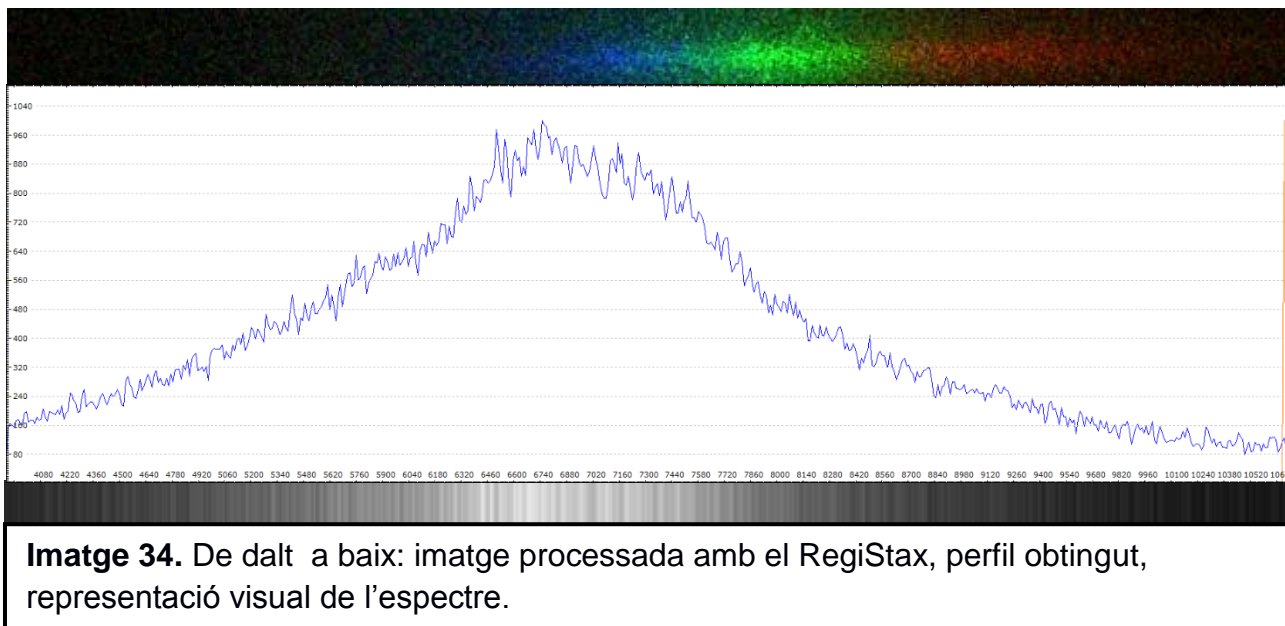
3. Línia 3: 5467'4125 / 338 5463.40185 1471
a. HF II 5463'38
b. Fe I 5463'28
c. Cr I 5463'97
4. Línia 4: 5759'3892 / 394 5752.59472 1389
a. Ni I 5752'64
b. V I 5752'71
5. Línia 5: 6299'0391 / 498 6289.66699 1189
a. Fe I 6290'96
6. Línia 6: 6564'7491 / 550 6558.20312 1019
a. Sc I 6558'05
b. Fe II 6558'51
7. Línia 7: 6936'4657 / 621 6924.85791 615
a. Cr I 6924'13
b. Cr I 625'24

Anàlisi dels resultats

D'aquests resultats en podem extreure la conclusió, casi segura, que Aldebaran conté ferro a la seva atmosfera. A més, la presència de crom i de vanadi també semblen justificables. Aquests resultats, a més, concorden amb els esperats segons la teoria, ja que esperàvem trobar metalls i tots ells tenen un pes atòmic igual o inferior al del ferro.

Malgrat això, no hem trobat elements com òxid de titani i magnesi que nombroses webs afirmaven que es trobaven en aquest espectre. A més, aquests resultats són imprecisos, ja que més d'un element pot concordar amb una longitud d'ona. També hem de tenir en compte que hem desestimat elements que rondaven les longituds d'ona de les bandes d'absorció, els quals també és possible que es trobin a l'atmosfera, ja que factors com un calibratge poc acurat o la falta de resolució de la càmera, poden distorsionar l'espectre.

3.2.3 LOVEJOY



ELEMENTS A TENIR AMB COMPTE: Fe, H₂O, CO₂, NH₃, CH₄, C₂

Per analitzar l'espectre del cometa, vaig intentar seguir el mateix procediment que amb Aldebaran. Però com es pot apreciar a simple vista, l'espectre resulta molt més complex. El que vaig intentar, doncs, va ser seleccionar les més rellevants i intentar-hi associar elements que les haguessin pogut produir (ja que el programa no et permet treballar amb compostos).

Línies d'absorció

(Píxel – longitud d'ona de la banda d'absorció – intensitat – element més probable – longitud d'ona de l'element)

1. 99 4972.3803710937 918 // Li 4971'75
2. 176 5816.5478515625 1685 // Tm 5816'46
3. 201 6090.6279296875 1843 // Pr 6090'38
4. 246 6583.97265625 2534 // Th 6583.90
5. 305 7230.8017578125 2507 // Dy 7230.04
6. 321 7406.21337890625 2329 // N 7406.24

No tenia dades que refutessin els resultats que havia obtingut, però tampoc que els corroboressin i, per tant, no podia arribar a cap conclusió a partir d'ells. És per aquesta raó que vaig decidir emprendre una via diferent: Seleccionar elements segons la cerca es trobaven presents al cometa i veure si les seves longituds d'ona coincidien amb alguna de les moltes línies d'absorció.

Carboni

(longituds d'ona del carboni - píxel - ona coincident)

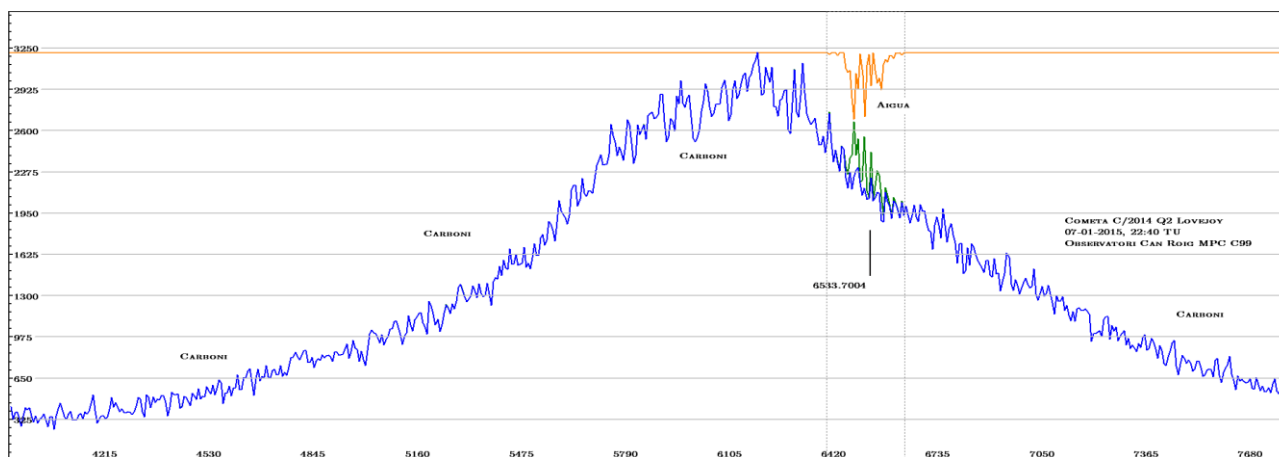
1.	4665.86	71	4665.41064453125
2.	4943.88	-	
3.	5052.17	-	
4.	5143.43	-	
5.	5648.07	160	5641.13623046875
6.	6578.05	-	
7.	7236.42	-	

Aquest és tan sols una abstracció de mostra del que passava amb la comparació. Tant el carboni, com el ferro, com l'oxigen (els tres elements que en teoria havien d'aparèixer), les línies no coincidien.

Llavors, al cercar informació, em vaig plantejar que potser les línies d'absorció dels elements eren diferents a la de les molècules que formaven. Així doncs, pensava que havia arribat a un carreró sense sortida, ja que el programa només permetia cercar una molècula, l'aigua. Vaig intentar cercar la longitud d'ona que emetien les altres molècules però no me'n vaig sortir.

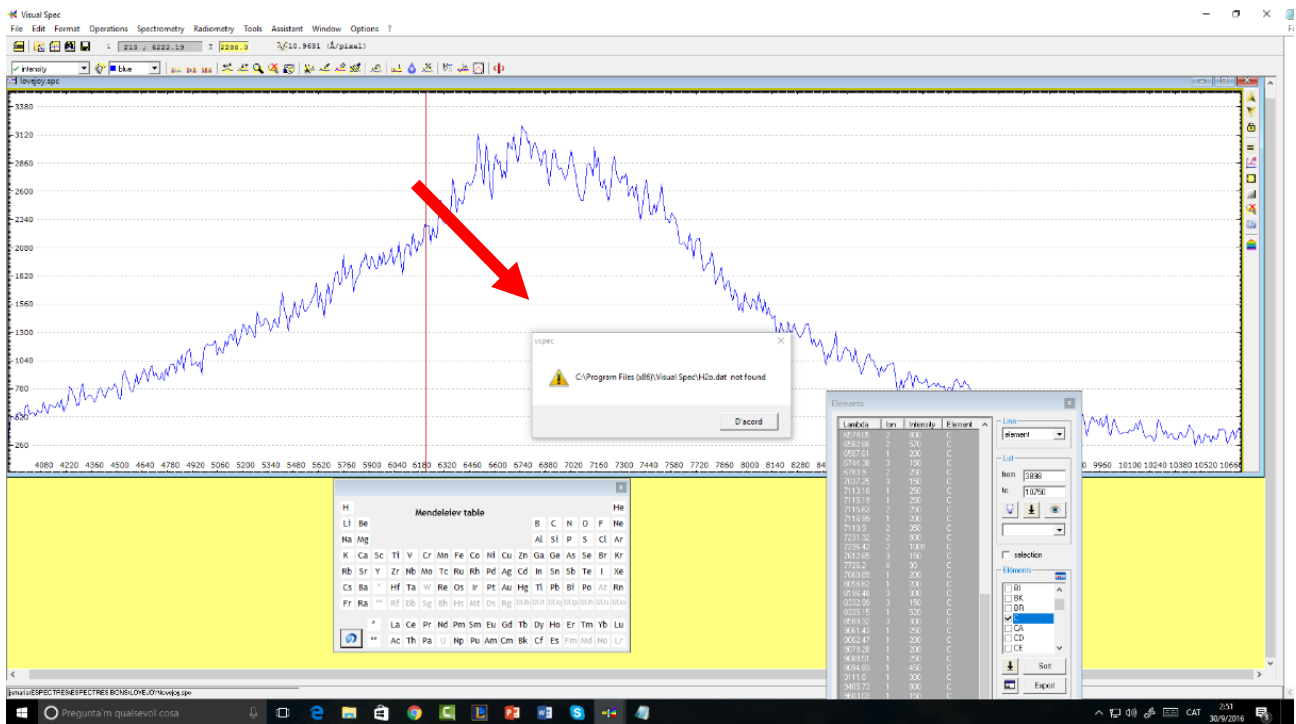
Aigua

Cercar on s'hauria de trobar l'aigua dins l'espectre, és relativament senzill, ja que un cop li dones l'ordre al programa, ja t'ho busca. El que podem apreciar a la fotografia que ve a continuació és com l'espectre d'emissió de l'aigua (en groc) correspon clarament a una regió de l'espectre del Lovejoy (en blau).



Imatge 35. Comparació de l'espectre de l'aigua i el del Lovejoy. Anàlisi de l'espectre: Rafael Balaguer.

Sé que aquest la gràfica mostrada no és la meua, que era gairebé idèntica. El que va passar, però, és que la meua bona fortuna va voler que el programa s'apagués, l'ordinador es reiniciés i ja no pogués tornar a obrir el fitxer guardat amb .bmp, com a continuació explicaré.



Imatge 36. Missatge que apareixia de tan en tan en el programa, després del qual el Visual Spec s'apagava.

Anàlisi de resultats

Només he pogut cercar i comprovar la presència d'aigua al cometa. Aquest fet no és motiu per descartar la resta de compostos, òbviament.

A partir d'aquests resultats em proposo descobrir quin és el factor diferencial que provoca que el Lovejoy tingui un espectre tan complex i, si es possible, trobar una forma de detectar si es troben presents la resta compostos que falten.

3.2.4 CANVI DE PRESPECTIVA I DE PROGRAMA

Sempre sense abandonar el principal objectiu del meu treball, determinar la composició química dels espectres analitzats, després d'obtenir els resultats anteriors, vaig decidir escollir els astres que estudiaria a continuació amb els dos objectius següents:

- El primer era analitzar altres espectres d'estrelles per comprovar si els elements deduïbles de les línies d'absorció també coincidien amb els que indicaven els tipus espectrals. Per aquest motiu vaig intentar analitzar els espectres de les estrelles Vega i Betelgeuse.
- El segon consistia en processar un espectre d'un altre tipus de cos celesta per veure com les diferències en la naturalesa dels cossos influïen en els espectres i el seu anàlisi. Com que les línies d'absorció depenen principalment de l'atmosfera del cossos vaig decidir centrar-me en aquest factor, per aquest motiu vaig analitzar l'espectre de Mart, planeta d'atmosfera molt reduïda, pràcticament inexistent.

Durant el procés, el Visual Spec em donava molts problemes, s'apagava sense cap motiu aparent, no trobava referències per calibrar els espectres, les dades obtingudes eren poc clares, etc. Per aquestes raons, em vaig posar a buscar si hi havia algun altre programa que em permetés fer el mateix, però amb un manual que pogués entendre i, bàsicament, que es pogués utilitzar sense requerir de tan de material. Va ser llavors quant vaig trobar l'Rspec.

4.2.4 RSPEC

Al canviar de programa, també vaig haver de canviar de mètode de treball, ja que ambdós programes t'oferien informació diferent. Primer de tot, en aquest programa, com podreu veure, les gràfiques obtingudes no són tan detallades i tampoc permet buscar d'una manera tan precisa els elements (no pots obtenir totes les longituds d'ona amb les seves respectives intensitats i píxels, ni tampoc et dóna la possibilitat de cercar a l'espectre una quantitat d'elements tan gran).

L'Rspec, però, et dóna l'opció de cercar certs grups de línies: els dels tipus espectrals, el de les línies d'hidrogen de Balmer, el del ferro i el magnesi, etc. Partint d'aquestes línies, doncs, vaig intentar determinar els elements que havien causat certes bandes d'absorció als espectres a analitzar. Però n'hi han altres que no he pogut identificar, segurament per la falta de la possibilitat de cercar certs elements. Per aquest motiu, la meua intenció era tornar a processar els espectres posteriorment amb el Visual Spec, agafant com a

referència els que havia analitzat amb l'Rspec. Això, però, no va ser possible, ja que l'ordinador es va actualitzar i es va esborrar l'actualització del Visual Spec que et permetia obrir fitxers .bmp. Al intentar tornar-lo a instal·lar, apareixia un error degut a l'aparent falta d'un fitxer (documents interns de l'ordinador) el qual vaig comprovar que es trobava a la carpeta on havia de ser. Davant l'impossibilitat d'obrir les fotografies obtingudes i sense poder trobar cap programa que permetés passar de .bmp a .fit (format que si que permet obrir el Visual Spec sense actualitzacions) vaig haver d'abandonar aquesta idea.

Calibratge amb l'Rspec

El procés de tractament d'imatge, la manera com aquesta s'ha de disposar, etc., és idèntic al que requereix el Visual Spec anteriorment descrit. L'únic punt en que difereixen és el calibratge, encara que el concepte és el mateix. Es tracta, doncs, d'identificar dos píxels i associar-los a les seves respectives longituds d'ona prèviament conegudes. La diferència amb el Visual Spec és que aquest procés només l'has de fer amb el primer espectre que processas. Després, pots seguir un altre mètode amb el qual només requereixes de conèixer una línia d'absorció. Així doncs, els passos que he seguit per calibrar els espectres que venen a continuació, són els següents:

- **Calibrar un astre amb dos punts de referència:** Vega, com veureu, presenta un espectre molt senzill, on és molt fàcil identificar la línia d'absorció de l'hidrogen alfa, que representarà, per tant, el nostre primer píxel de longitud coneguda. A més, la fotografia de Vega contenia també l'estrella, que podem agafar també com a punt de referència associant-li la longitud d'ona 0.
- Un cop calibrat l'espectre de Vega, obtenim la relació obtinguda d'Àngstroms per píxel utilitzada.
- **Calibrar un astre amb un punt de referència:** Sense canviar les dimensions de la gràfica (ja que la relació canviaria) obrim la imatge del següent espectre i n'obtenim el perfil. Llavors, introduïm un punt conegut de l'espectre i la relació abans esmentada. L'espectre ja està calibrat.

- A partir d'aquí sorgeixen dos **problemes**:
 - El primer de tots és obtenir el punt de referència. En un principi, pensava agafar com a punt les estrelles, però els vídeos dels quals disposava no en contenien. Llavors se'm va acudir pintar les estrelles jo mateixa (és per aquest motiu que les imatges dels espectres contenen punts blancs que vaig fer en processar-los), però dubtava que donés bon resultat. Finalment, em vaig decantar per agafar com a referència punts que altres persones ja haguessin calculat en espectres de la mateixa estrella trobats per internet, malgrat el perill de cúmul d'errors que usar-los suposa. (Per assegurar-me'n vaig agafar punts que a quasi tots els espectres que vaig trobar associessin la mateixa longitud al mateix píxel).
 - El segon problema era comprovar que el calibratge fos el correcte. Aquest problema només l'he pogut solucionar als espectres d'estrelles, ja que em vaig descarregar una base de dades amb espectres de referència de tots els tipus d'estrelles i, comparant-los amb el que havia obtingut, es pot apreciar amb força claredat si el calibratge ha estat dut a terme correctament (ho veureu a continuació).

3.2.5 VEGA

El primer espectre que vaig processar va ser el de Vega, pels motius que ja he explicat. A continuació us mostraré les imatges del procés i els resultats obtinguts.

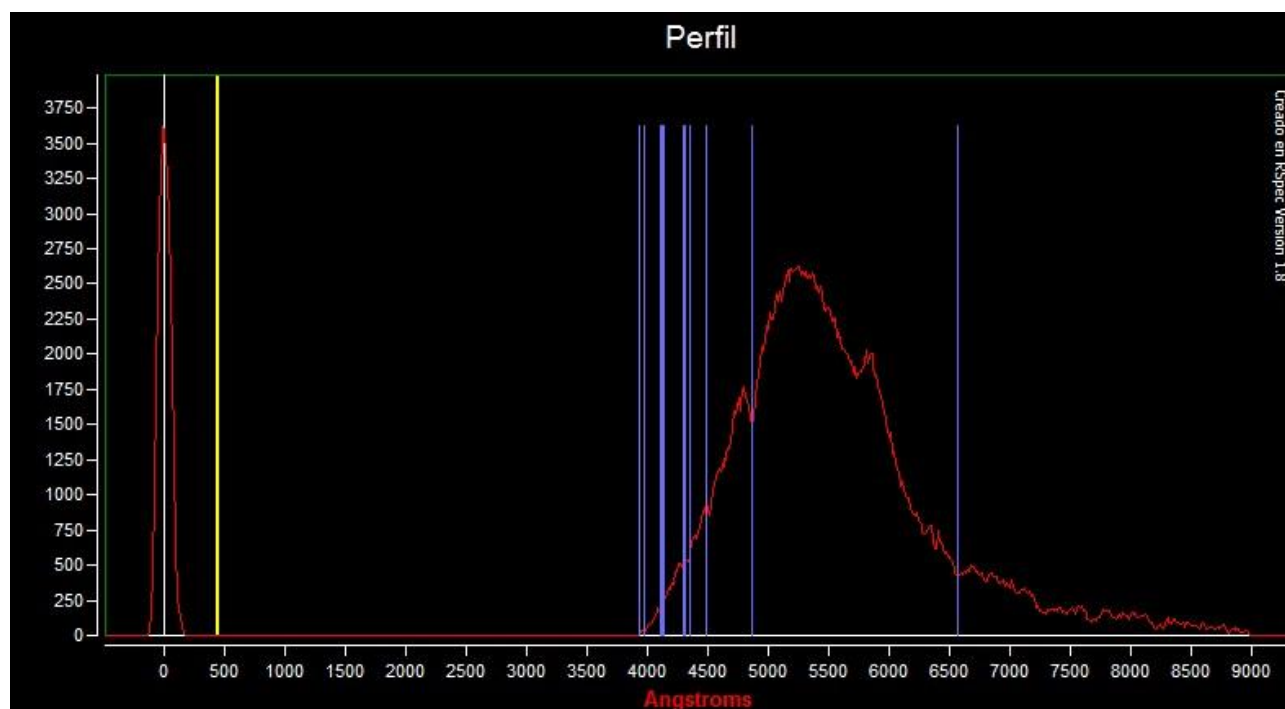
Imatge RegiStax

Aquesta fotografia és el punt de partida utilitzat per obtenir els posteriors resultats (un cop la vaig orientar horitzontalment amb el Photoshop)



Imatge 37. Imatge obtinguda després de processar el vídeo amb el RegiStax.

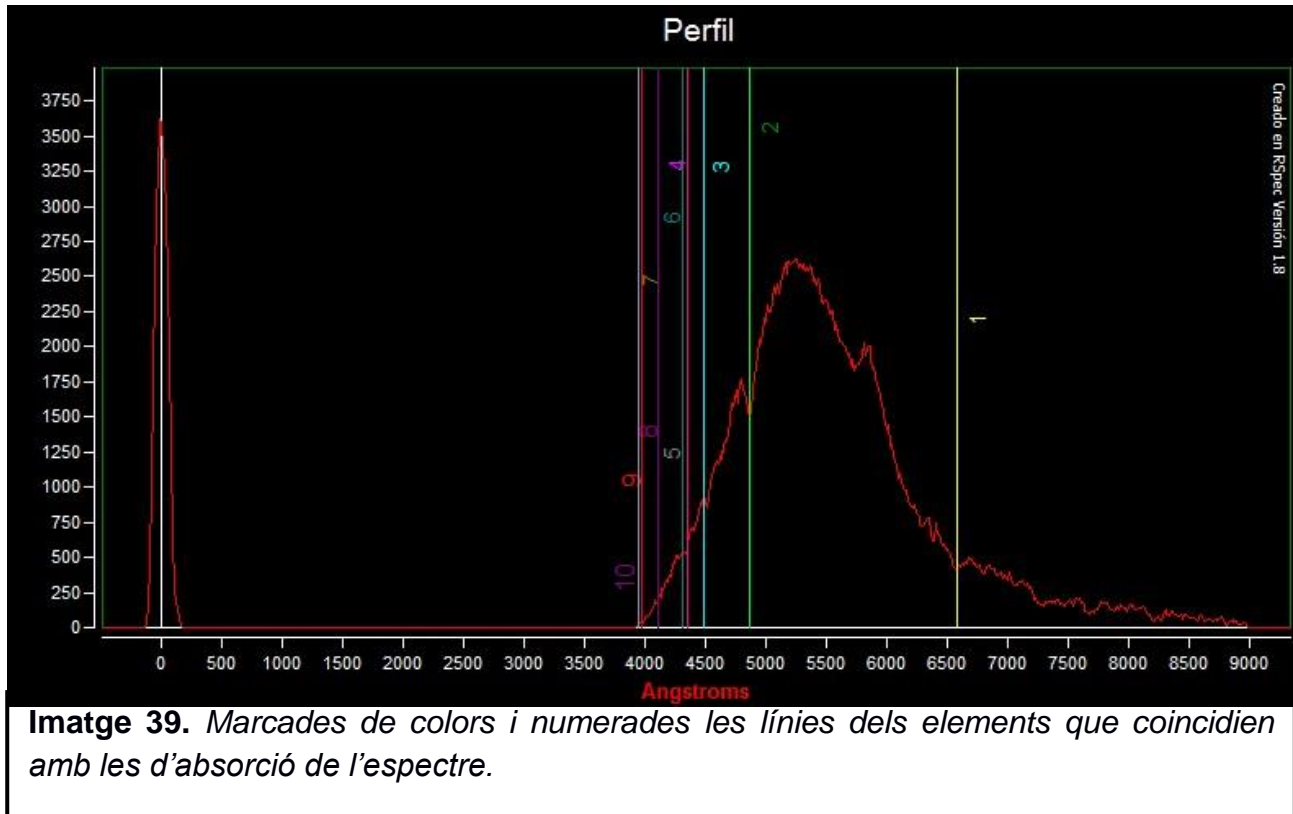
Perfil Rspec



Imatge 38. Gràfica de l'espectre, ja calibrada. El pic de la dreta correspon a l'estrella i les ratlles blaves a les línies d'absorció del tipus espectral A (al qual Vega pertany).

Identificació de les línies d'absorció

A continuació especifico els elements que coincideixen amb les bandes d'absorció i que, per tan, es troben presents a l'estrella. Podem veure'n la representació gràfica i l'associació de cada banda amb el seu corresponent element.



- | | |
|----------------------|----------------------|
| 1. H alfa 6562'7 | 6. Fe I 4299 |
| 2. H beta 4861'3 | 7. Si II 4128 |
| 3. Mg II 4481 | 8. He I 4121 |
| 4. H gamma 4340 | 9. Ca II (H) 3968'5 |
| 5. Fe I / Ti II 4303 | 10. Ca II (K) 3933'7 |

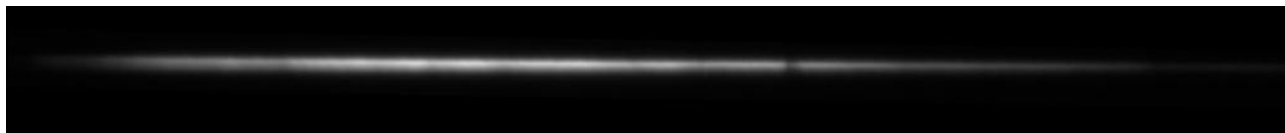
Anàlisi dels resultats

Mitjançant el Rspec, vaig poder identificar quasi totes les bandes d'absorció i comprovar que aquestes coincideixen amb les que pertanyen a la seva classe espectral. Malgrat aquests resultats positius, hi ha línies d'absorció que queden sense identificar. Aquestes línies poden pertànyer a elements que el programa no permetés buscar o a distorsions de la imatge provocades al editar-les o per la poca precisió de la càmera.

3.2.6 ALDEBARAN

La següent estrella que vaig processar va ser Aldebaran, per tal de contrastar resultats amb l'anterior anàlisi del Visual Spec.

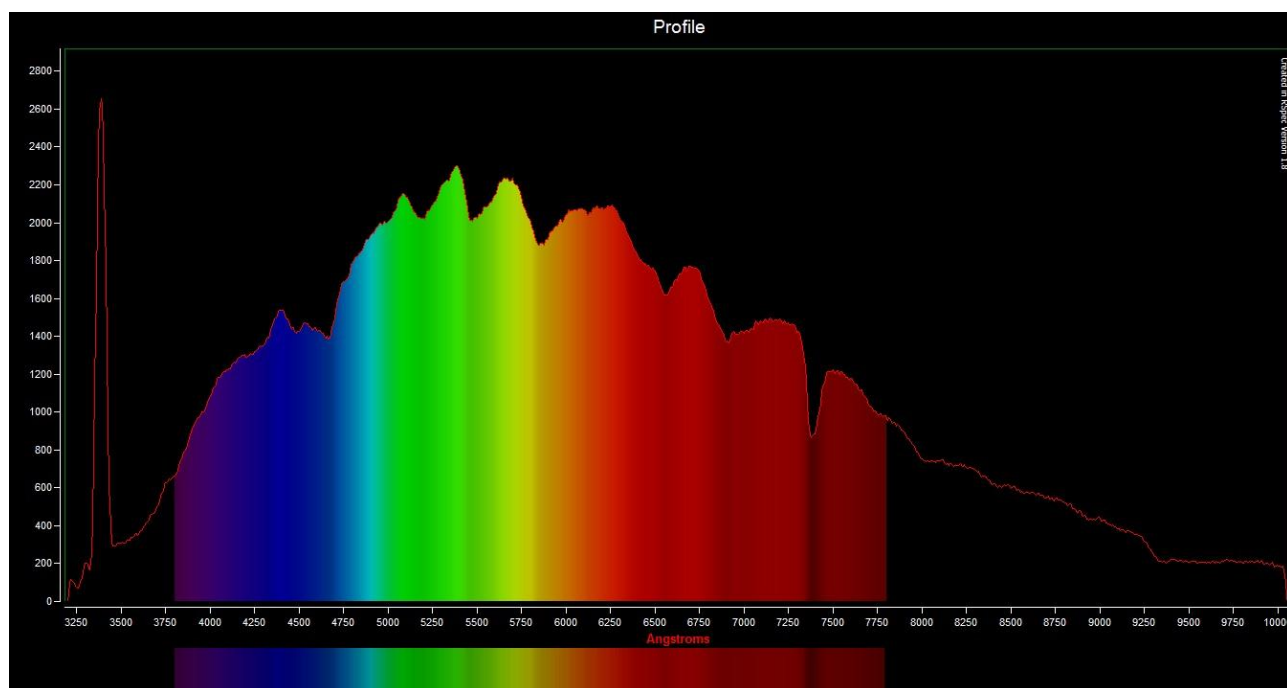
Imatge RegiStax



Imatge 40. Imatge obtinguda després de processar el vídeo amb el RegiStax.

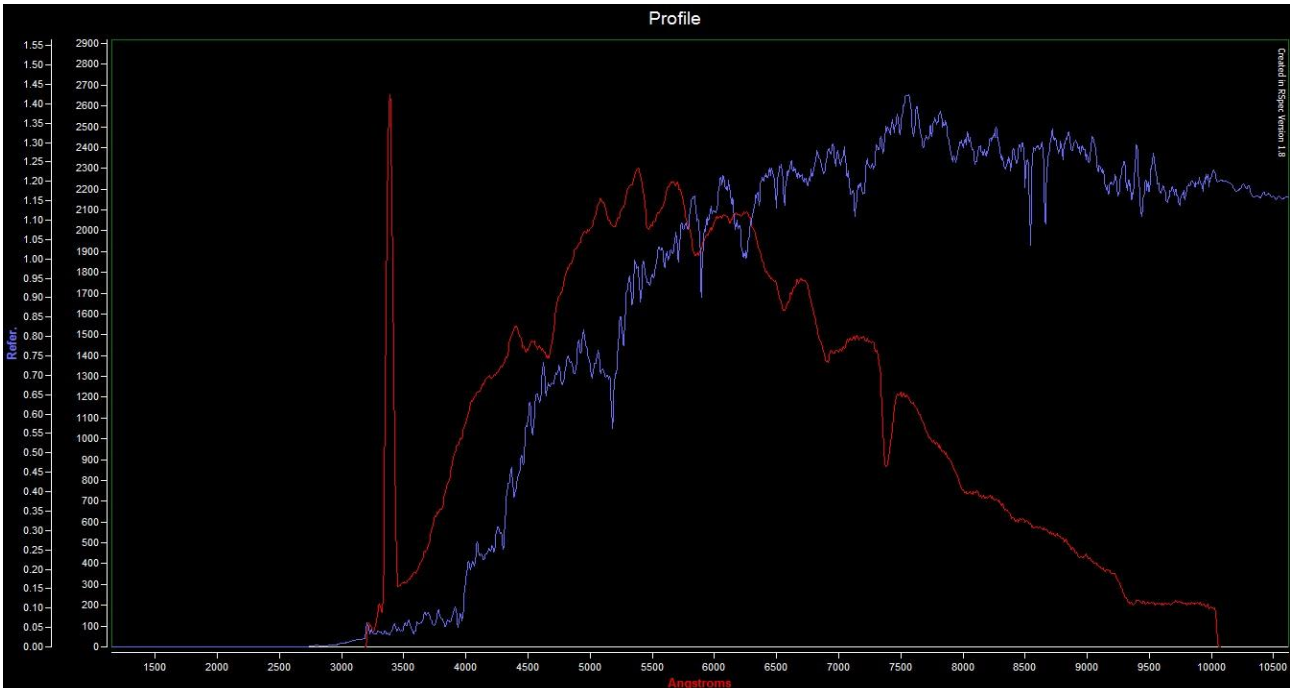
Perfil Rspec

Amb la relació Àngstroms / píxels obtinguda en l'anterior espectre (12'3) vaig calibrar l'espectre.



Imatge 41. Gràfica de l'espectre, ja calibrada. El pic de la dreta correspon al punt blanc que finalment no vaig usar per calibrar l'espectre. Vaig decidir pintar l'espectre per tal que es pogués apreciar la relació entre els pics i les valls de la gràfica i la intensitat de la imatge original.

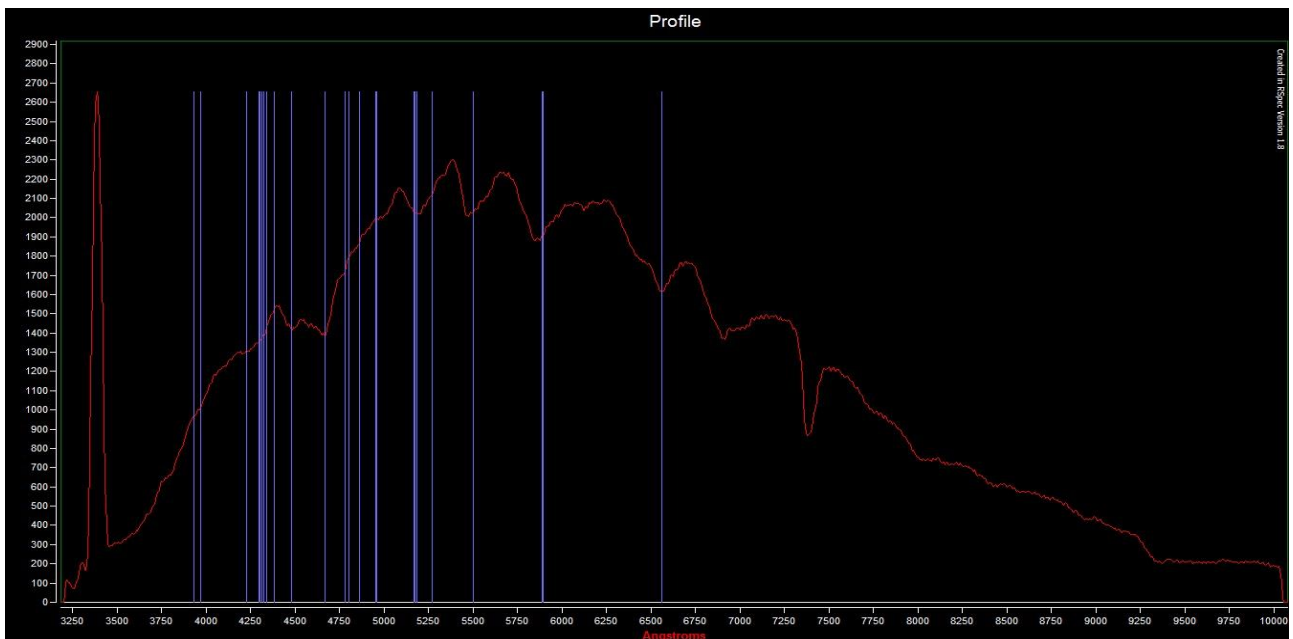
Després, vaig reajustar i validar el calibratge usant l'espectre de referència del seu tipus: K5III.



Imatge 42. Comparació dels dos espectres. Com es pot apreciar, les bandes d'absorció coincideixen, si ve en algun punt no del tot, fet predictable per les possibles imprecisions de l'espectre ja comentades.

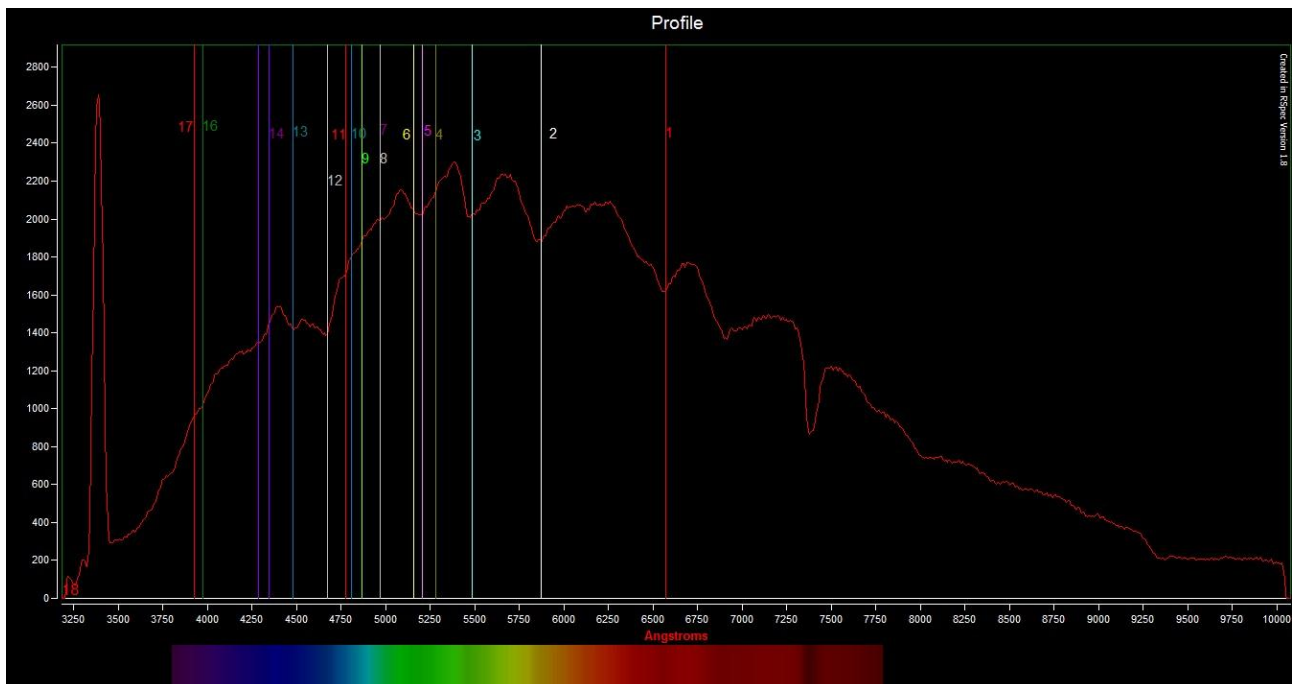
Identificació d'elements

Per identificar els elements, em vaig centrar sobretot en les línies esperades pel seu tipus espectrals



Imatge 43. Correspondència entre les línies espectrals del tipus K i les bandes d'absorció.

A continuació especifico els elements que coincideixen amb les bandes d'absorció i que, per tan, es troben presents a l'estrella. Podem veure'n la representació gràfica i l'associació de cada banda amb el seu corresponent element.



Imatge 44. Marcades de colors i numerades les línies dels elements que coincidien amb les d'absorció de l'espectre.

1. H α	6562,7	10. TiO	484,0 / MgH	4780
2. NaI	58995,9	11. FeI	4668,1	
3. CaOH	5500	12. MgII	4481	
4. FeI	5270,4	13. Hy	4346,5 / CaI	4227
5. MgI	5183,6	14. Bandes de Fe		
6. TiO	5166	15. Bandes de Fe		
7. FeI	4957,6	16. CaI	3468'5	
8. TiO	4955	17. CaI	3433,7	
9. H β	4861,3			

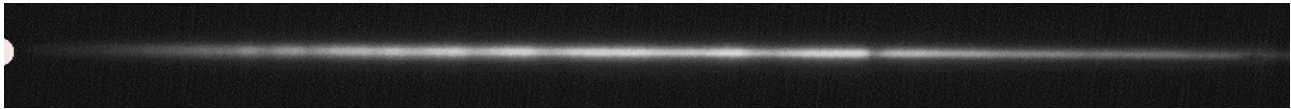
Anàlisi dels resultats

Com podem comprovar, els resultats obtinguts amb l'Rspec no coincideixen amb els del Visual Spec. Aquest fet m'ha portat a pensar que el primer cop que vaig analitzar aquest espectre estava mal calibrat (fet molt probable). Per aquest motiu crec que existeixen raons de pes per descartar els primers resultats i quedar-nos amb aquests darrers.

Igual que a l'anterior espectre, hem pogut localitzar i identificar gran part de les línies d'absorció, però continuen restant unes poques sense identificar per idèntics motius que a l'espectre de Vega.

3.2.7 BETELGEUSE

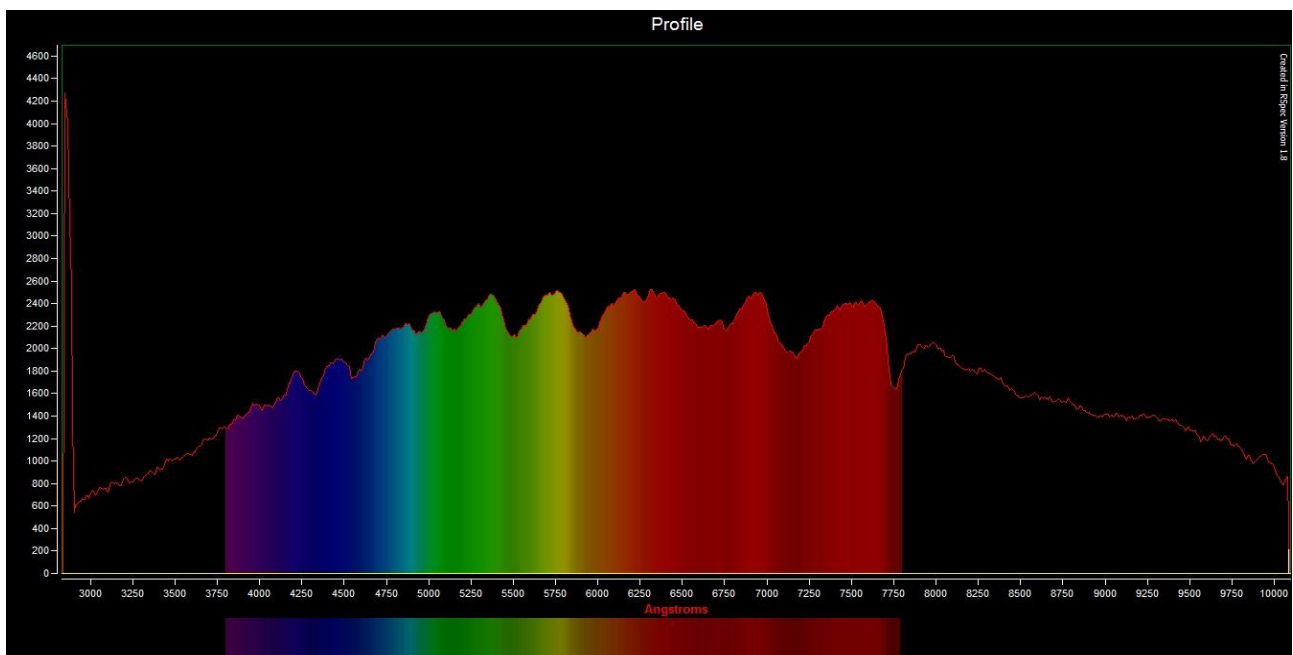
Imatge RegiStax



Imatge 45. Imatge obtinguda després de processar el vídeo amb el RegiStax. El punt blanc de la dreta es troba aquí pels motius ja explicats, el vaig afegir amb un programa d'edició d'imatge anomenat GIMP.

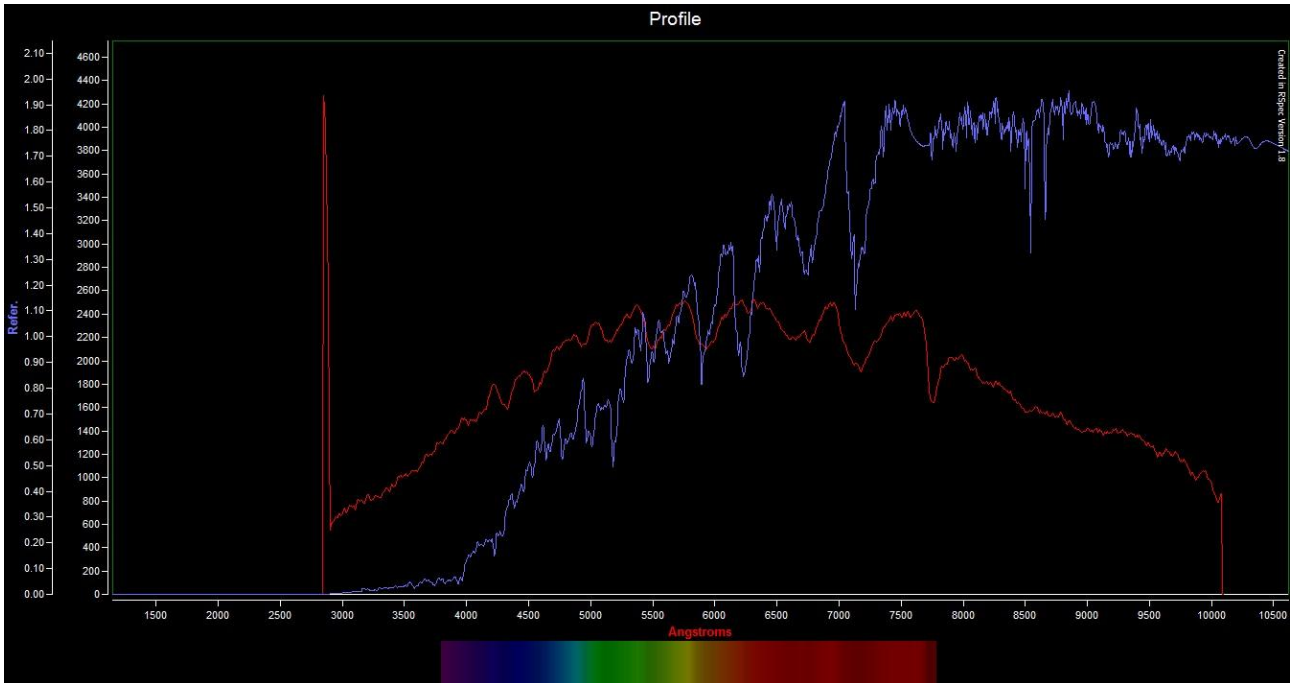
Perfil Rspec

De la mateixa manera que amb Aldebaran, vaig utilitzar la relació Àngstroms / píxels obtinguda amb Vega (12'3) vaig calibrar l'espectre.



Imatge 46. Gràfica de l'espectre, ja calibrada.

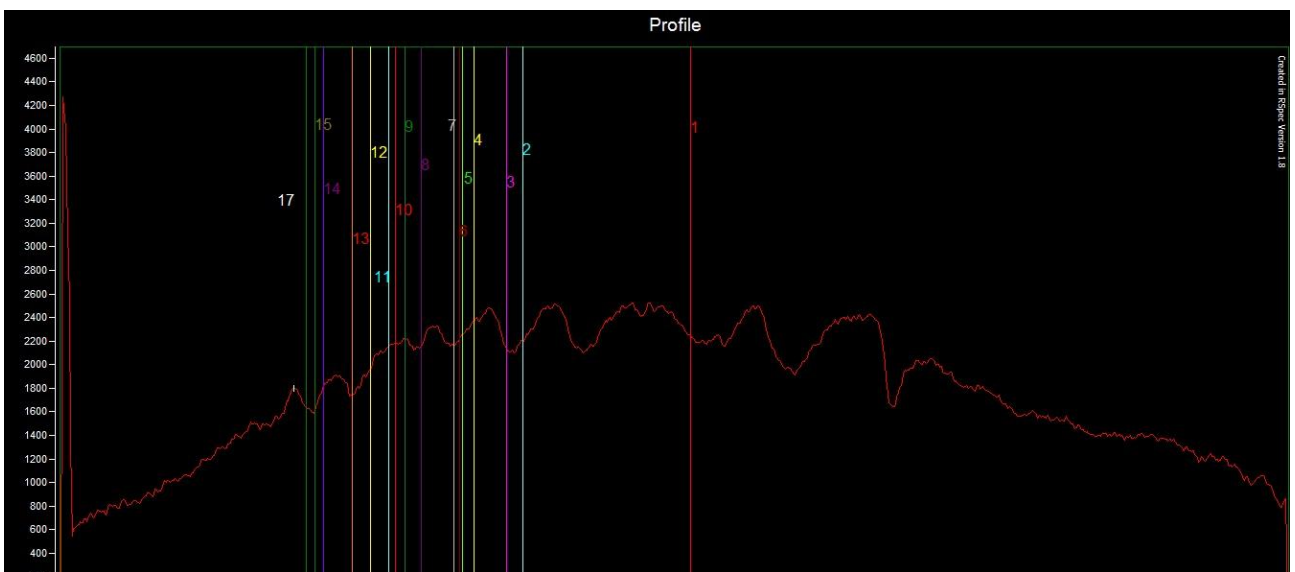
Després, vaig reajustar i validar el calibratge usant l'espectre de referència del seu tipus: M2I.



Imatge 47. Comparació dels dos espectres. Com es pot apreciar, les bandes d'absorció coincideixen, si ve en algun punt no del tot, fet predictable per les possibles imprecisions de l'espectre ja comentades.

Identificació d'elements

A continuació especifico els elements que coincideixen amb les bandes d'absorció i que, per tan, es troben presents a l'estrella. Podem veure'n la representació gràfica i

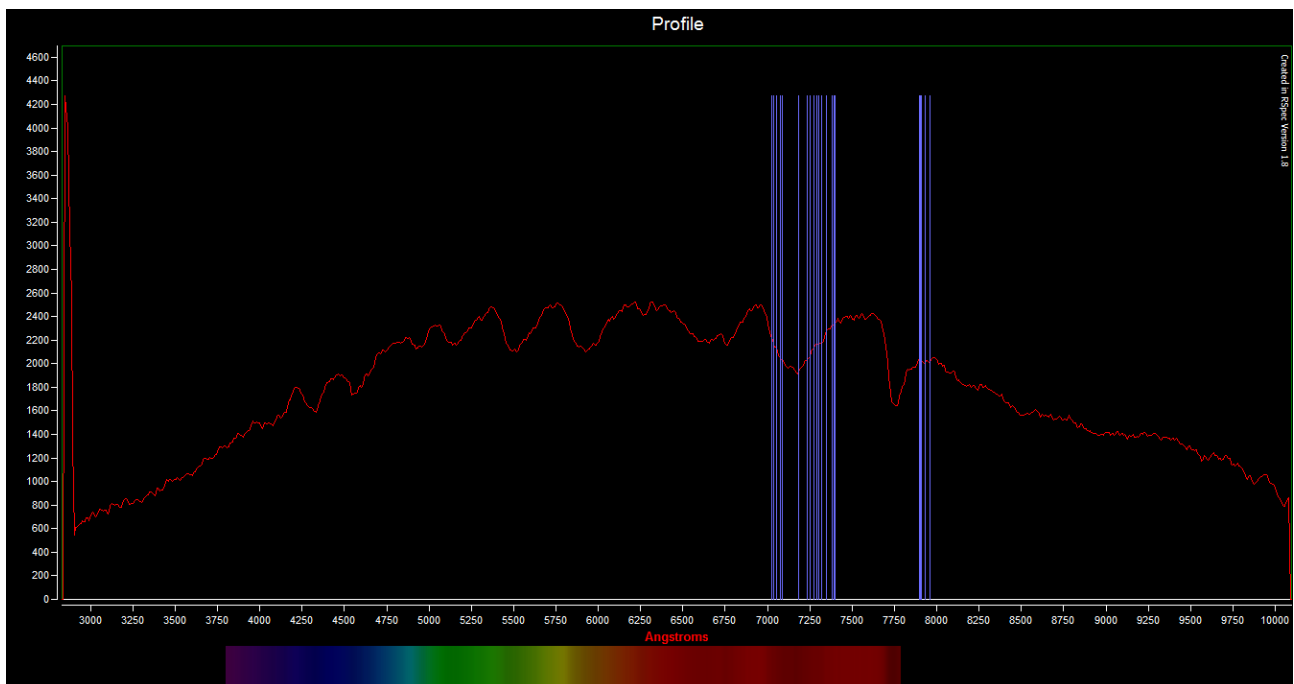


Imatge 44. Marcades de colors i numerades les línies dels elements que coincidien amb les d'absorció de l'espectre.

l'associació de cada banda amb el seu corresponent element.

1. H α	6562,7		10. TiO	4780
2. TiO	5569		11. FeI	4668
3. VO	5460		12. BaII	4556
4. VO	5275		13. FeI	4383,6
5. VO	5225		14. FeI	4325
6. MgI	5183,6 / MgI	5172,7	15. CH	4316
7. TiO	5166 / TiO	4955	16. Fe	4249
8. H β	4861,3		17. CaI	4227
9. TiO	4804			

A més, al comprovar si altres grups de línies que no pertanyessin al grup espectral podrien correspondre a algun altre compost, vaig trobar-me que l'aigua semblava coincidir perfectament amb la segona banda d'absorció començant per l'esquerra. Buscant, a més, més referències vaig trobar que, efectivament, es creu que Betelgeuse conté aigua.



Imatge 45. Amb aquesta representació gràfica podem veure clarament com les línies pròpies de l'aigua coincideixen amb la banda d'absorció perfectament.

Anàlisi dels resultats

Betelgeuse va ser l'última estrella que vaig processar, com podreu veure els resultats són molt similars als altres. Les bandes d'absorció coincideixen amb les línies pròpies del seu tipus espectral, per tant disposem de dades suficients per extreure conclusions. Com a fet diferencial destacaria la presència d'aigua, ja que ha sigut una troballa inesperada.

3.2.8 LOVEJOY

Imatge RegiStax



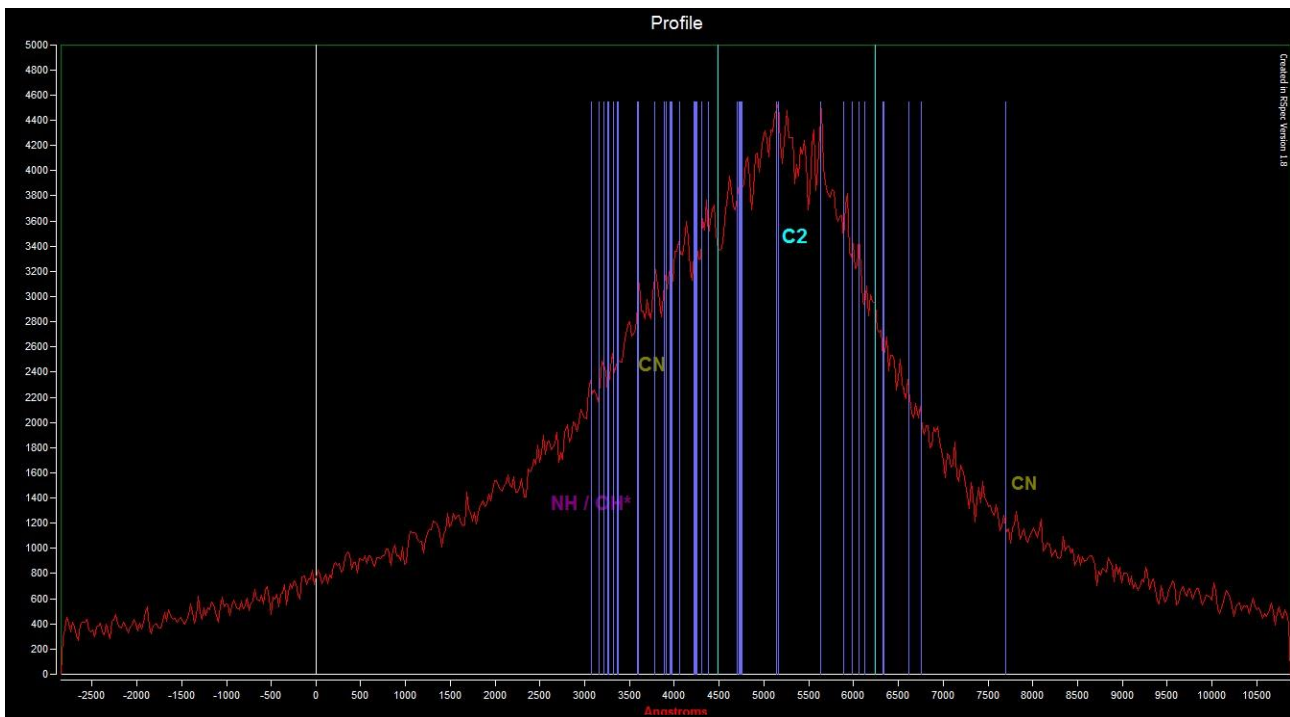
Imatge 46. *Imatge obtinguda després de processar el vídeo amb el RegiStax.*

Re- anàlisi de l'espectre

Intentant tornar a processar l'espectre del Lovejoy amb l'Rspec em vaig adonar que havia comés dos errors en l'anterior treball:

1. Les línies de referència procedents del carboni que havia utilitzat per calibrar-lo i analitzar-lo no eren correctes, ja que les línies del carboni utilitzades no pertanyien a línies d'absorció, sinó a les línies d'emissió. Rellegint altre vegada la part teòrica em vaig adonar que efectivament, aquestes línies són d'emissió i no d'absorció com havia suposat.
2. Segons la informació recopilada, els elements si que emeten amb la mateixa longitud d'ona, encara que es trobin formant part de compostos.

Partint d'aquesta base, vaig tornar a analitzar l'espectre, però donada la gran complexitat del perfil es fa difícil veure si coincideixen o no amb un píxel concret. Per aquesta raó, i donat que les línies d'una mateixa naturalesa es mostraven a una zona similar de l'espectre, he decidit mostrar els resultats de la següent forma (el gràfic es troba a la següent pàgina perquè en aquesta no hi cabia):



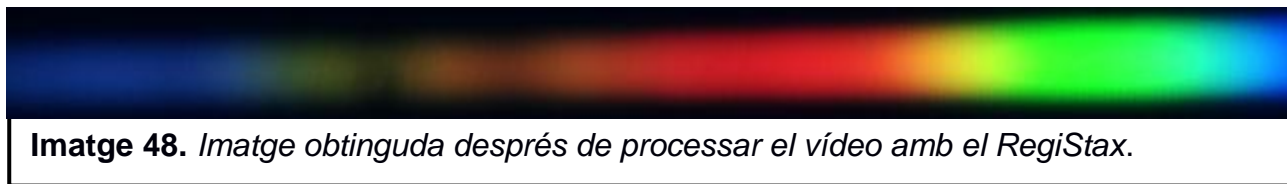
Imatge 47. De dreta a esquerra l'espectre presenta: NH, OH⁺, C₂ (entre les dues línies verdes) i CN. Les línies blaves corresponen a les pròpies dels cometes, utilitzades per trobar la composició del cometa.

Anàlisi dels resultats

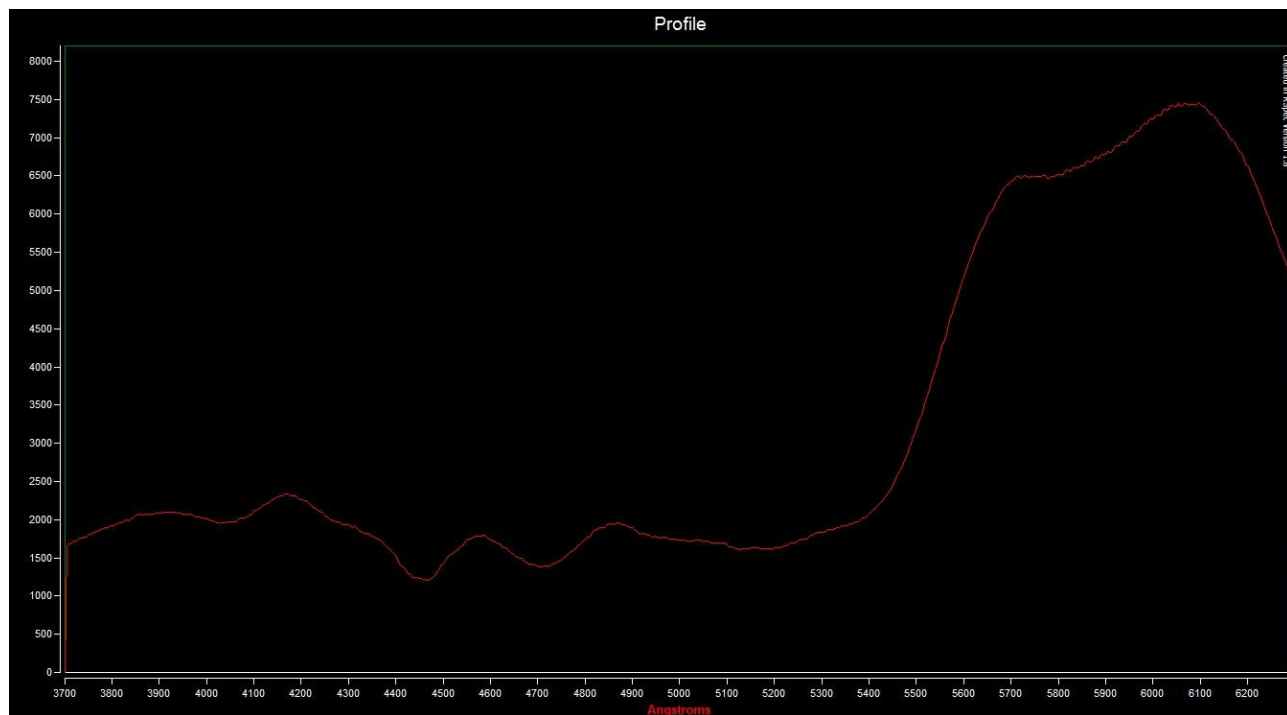
Hem pogut detectar els elements esperats, però sense precisió. A més, hi ha una gran probabilitat de que es compozi de molts més elements del que he citat. Des del meu punt de vista, el que més ha influenciat a aquesta falta de precisió és la mala qualitat de l'imatge, ja que tots els altres espectres trobats del mateix cometa són molt més nítids i les línies d'emissió del carboni diatòmic, perfectament distingibles.

3.2.10 MART

Imatge RegiStax



Perfil Rspec



Finalment no vaig processar l'espectre de Mart perquè no en vaig trobar cap de referència que tingués alguna semblança amb el que jo havia obtingut. Per aquest motiu no coneixia cap longitud d'ona que podes fer servir de referència i no vaig ser capaç de calibrar-lo. Malgrat no poder-lo calibrar, el que sí que es pot veure clarament són les poques i minses bandes d'absorció. Aquesta dada serà rellevant per poder extreure conclusions.

3.3 CALCULAR LA VELOCITAT D'EXPANCIÓ DE L'UNIVERS

Sense haver pogut gravar cap dia cap espectre, no he disposat dels recursos necessaris per realitzar aquesta part del treball, ja que requeria de la gravació de diversos espectres de galàxies la mateixa nit i a l'observatori no disposaven d'aquest tipus de gravacions. De tota manera, explicaré el procés que hauria hagut de seguir per realitzar-ho.

1. En primer lloc, s'ha de processar els espectres de la mateixa manera que he explicat al principi de tot.
2. Després d'obtenir la imatge, editar-la, obtenir el perfil i calibrar-lo, s'ha de buscar el grau de desplaçament de l'espectre. Per mesurar-ho es comproven els Àngstroms als que s'ha mesurat cert element a l'espectre. Després es cerca la longitud d'ona a la que s'obté la mateixa línia a la terra.
3. Seguidament s'aplica una senzilla fórmula que consisteix en dividir la diferència entre una i altre longitud d'ona entre la longitud d'ona inicial i, després multiplicar-ho per la velocitat de la llum.

$$\frac{\Delta\lambda}{\lambda_0} = \frac{v}{c}$$

$\Delta\lambda = \text{wavelength shift}$

$\lambda_0 = \text{wavelength of source not moving}$

$v = \text{velocity of source - line of site}$

$c = \text{speed of light}$

Imatge 48. Fórmula de Doppler descrita.
--

4. Aquest procés es repeteix amb totes les estrelles i diferents elements. Finalment es fa la mitjana del conjunt i d'aquesta forma s'obté un valor aproximat de la velocitat en que s'està expandint l'univers.

4. CONCLUSIONS

4.1 DEL TREBALL:

- Abans de començar un treball de recerca, seria bo determinar si es disposa de totes les dades per portar-lo a terme. En el meu cas considero que hauria hagut de valorar des d'un primer moment la inexistència de dades oficials sobre la composició dels astres dels quals he analitzat l'espectre. Malgrat això, també és cert que la informació que he trobat és fàcilment contrastable i per tant, malgrat no siguin oficials, podem considerar els models de referència correctes.
- Un altre factor que també hauria hagut de considerar des d'un bon principi era la meua total inexperiència en el tema i el fet que el programa que pensava utilitzar tingués com a únic suport d'ajuda un manual d'unes tres-centes pàgines escrit en anglès (llengua que domino fins a cert punt).

- ESPECTRES D'ESTRELLES:

- ALDEBARAN:
 - Podem afirmar que aquest espectre conté ferro, òxid de titani, sodi, magnesi i calci.
 - També hi hem trobat presents línies referents a l'hidrogen, però molt més dèbils que les de Vega.
 - Aquests resultats reafirmen la classificació de l'espectre d'aquesta estrella com a K5.
- VEGA
 - Podem afirmar que aquest espectre conté hidrogen, heli, titani, magnesi i calci.
 - Cal destacar que malgrat trobem línies de metalls (com és d'esperar, ja que no és una estrella de primera generació) aquestes són molt poc abundants en comparació amb les d'Aldebaran o Betelgeuse.
 - Les línies d'hidrogen, per la seva banda, es troben en quantitat i les seves línies d'absorció són molt profundes, fet que indica la seva abundància.
 - Aquests resultats reafirmen la classificació de l'espectre d'aquesta estrella com a A0.

- BETELGEUSE
 - Podem afirmar que aquest espectre conté òxid de titani, òxid de vandi, magnesi, ferro, bari i calci.
 - Comparant aquests resultats amb Aldebaran, podem veure la diferència sobretot en l'increment de línies dels metalls i que aquests són més pesants. Si reflexionem, aquest fet és predictable, ja que Betelgeuse es troba en un estat més avançat de la seva vida.
 - Les línies d'hidrogen, com a Aldebaran, no desapareixen totalment
 - Aquests resultats reafirmen la classificació de l'espectre d'aquesta estrella com a M2.

- ESPECTRES DE DIFERENT NATURALESIA:
 - ESPECTRE DE LOVEJOY:
 - He aconseguit determinar la presència de certs elements a l'espectre: aigua, CN, C₂, CH⁺ i NH, però no de forma precisa.
 - La baixa qualitat de la imatge obtinguda també pot haver influenciat en els resultats.

 - ESPECTRE DE MART:
 - No he aconseguit determinar els elements presents en aquest espectre, per falta de punts de referència.
 - La tènue atmosfera també produeix tènues línies d'absorció, per tant, en contra del que jo creia, l'espectre del Lovejoy no presenta un perfil tan complex per culpa de la falta d'atmosfera.

 - ESPECTRE D'ESTRELLES: Els espectres d'estrelles són els que millor he pogut analitzar. Això és degut a que és una pràctica força estesa i hi ha una gran quantitat d'informació sobre al tema. A més, el programa utilitzat estava molt enfocat a l'anàlisi d'aquests espectres i per tant, oferien més possibilitats. A més, com que totes les estrelles estan precisament classificades pel seu tipus espectral, també resulta més senzill diferenciar entre la informació obtinguda correcte i la que no ho és.

- **GENERALS:**

- Segurament en tots els espectres també hi són presents altres elements els quals no hem pogut precisar.
- No es poden analitzar els espectres de manera amateur sense basar-se en dades obtingudes de forma professional (obtingudes a partir d'equips més bons, persones més formades, etc.)
- L'anàlisi d'espectres amateur, és força fiable però no és precís. Influeixen en aquest aspecte:
 - La capacitat de la càmera per gravar amb precisió l'espectre
 - El processament de la imatge.
 - La capacitat del programa per analitzar-lo.
 - Altres distorsions com la llei de Plank o espectres de fons que no s'hagin pogut eliminar.
- Caldria repetir l'experiència amb un programa d'anàlisi d'espectres a nivell professional per extreure conclusions més clares i precises.

4.2 PERSONALS:

- Dins la pròpia planificació s'han de tenir en compte tots els imprevistos que poden sorgir.
- Dormir menys del mínim recomanat afecte a la teva capacitat de concentració.
- He descobert que la part teòrica m'agrada molt més que la pràctica.

5. BIBLIOGRAFIA

- *Observar el cielo*, Adriana Rigutti. [Tikal](#)
- *El universo elegante*, Brian Greene. [Crítica](#), 1999
- *La realidad oculta*, Brian Greene. [Crítica](#), 2005
- *L'univers*, Pierre Bon. [Fleurus](#), 2000
- *Los tres primeros minutos del universo*, Steven Weinberg. [Alianza](#), 2009
- *Las estrellas, guía fácil de observación*. Fernando P. Barberán. [Lisba](#), 2012
- *Cosmos*, Carl Sagan. [Planeta](#), 1980
- *Astronomía, guía para el aficionado*, Antonin Rürkl. [Tikal](#), 2012
- *Visual Spec Help* (document pdf cedit per Astrogirona)
- *Apunts de química de 1r de BAT*, Esteve Moré

6. WEBGRAFIA

- <http://www.diccionari.cat/>
- <http://www.nationalgeographic.es/ciencia/espacio/origen-universo>
- <http://www.astromia.com/astronomia/teoriabigbang.htm>
- <http://www.elorigendelhombre.com/big%20bang.html>
- <http://www.encyclopedia.cat/EC-GEC-0154092.xml>
- <https://universianmario.wordpress.com/radiacio-de-fons-cmb-descobriment-que-vol-dir/>
- http://www.termcat.cat/es/Diccionaris_En_Linia/149/Fitxes/catal%C3%A0/R/10/
- <http://www.mat.uab.cat/matmat/PDFv2014/v2014n03.pdf>
- <http://www.deciencia.net/descobriment/?p=303>
- <https://biolulia.wordpress.com/ciencias-per-al-mon-contemporani/tema-2-la-terra-i-lunivers/2-5-el-futur-de-lunivers/>
- http://www.windows2universe.org/the_universe/Eternal.html&lang=sp
- <http://blocs.xtec.cat/astrofisiolunivers/2010/02/20/que-es-lenergia-fosca/>
- <https://universianmario.wordpress.com/que-es-la-materia-fosca-i-lenergia-fosca/>
- <http://usuaris.tinet.cat/juditaf/ones-electromagnetiques/ones-electromagnetiques.htm>
- <http://www.digits.cat/colaboracions/espectre-de-la-llum>
- <http://www.espectrometria.com/>
- <http://www.quimicafisica.com/importancia-de-la-espectroscopia.html>

- <http://www.historiasdelaciencia.com/?p=73>
- <https://metodolea.wikispaces.com/file/view/Espectroscopia.doc>
- <https://sites.google.com/site/kimikabatprogram/>
- <https://electromagnetismo2010a.wikispaces.com/file/view/Espectroscopia+Astronomia.pdf>
- <http://titoaldebaran.blogspot.com.es/>
- <http://www.space.com/22026-aldebaran.html>
- https://www.eso.org/public/outreach/eduoff/cas/cas2002/cas-projects/uk_aldebaran_1/
- <http://kristenchemistry.blogspot.com.es/p/aldebaran.html>
- <http://www.astronoo.com/en/stars.html>
- <http://relatsencatala.cat/relat/les-meves-estrelles-predilectes-1a-part-les-grans/83592> (D'aquí no en vaig treure res, però em va agradar la pàgina, així que us la deixo per si us fa gràcia)
- <http://www.planisferi.cat/index.php/23-categories/estrelles-i-constel-lacions/6-el-color-dels-estels>
- <http://www.slideshare.net/miralcmc/cdocuments-and-settingsalexmis-documentosestrelles1>
- http://astro.ft.uam.es/old/Docencia/Licenciatura/Astrofisica_Estelar/Documentos/cap6.pdf
- <http://www.astronomia.edu.uy/CTE2/estrellas1.pdf>
- https://ca.wikipedia.org/wiki/Xarxa_de_difracci%C3%B3
- <http://www.cienciakanija.com/2015/01/21/de-cometas-y-lovejoy/>
- <https://www.fayerwayer.com/2015/10/cometa-lovejoy-contiene-azucar-y-alcohol-etilico/>
- <http://eltamiz.com/2007/07/04/la-vida-privada-de-las-estrellas-tipos-espectrales/>
- http://herschel.esac.esa.int/hcss-doc-12.0/load/spire_drg/html/spire_spec_analysis.html
- <https://www.nasa.gov/>

ANNEX

A continuació, adjunto el llistat de píxels relacionats amb la seva longitud d'ona i la intensitat que pots obtenir amb el Visual Spec.

pixel	angstrom	intensite	Ref1	Ref2	normalise	repere
1	3723.08154296875	0	0	0	0	0
2	3728.24560546875	3.812384E-02	30	0	0	0
3	3733.40991210938	5.972736E-02	47	0	0	0
4	3738.57397460938	5.464417E-02	43	0	0	0
5	3743.73828125	5.972736E-02	47	0	0	0
6	3748.90234375	6.353974E-02	50	0	0	0
7	3754.06640625	6.099815E-02	48	0	0	0
8	3759.23071289063	6.608133E-02	52	0	0	0
9	3764.39477539063	6.862292E-02	54	0	0	0
10	3769.55883789063	7.116451E-02	56	0	0	0
11	3774.72314453125	6.353974E-02	50	0	0	0
12	3779.88720703125	6.481054E-02	51	0	0	0
13	3785.05151367188	6.735212E-02	53	0	0	0
14	3790.21557617188	6.608133E-02	52	0	0	0
15	3795.37963867188	6.353974E-02	50	0	0	0
16	3800.5439453125	6.735212E-02	53	0	0	0
17	3805.7080078125	6.989371E-02	55	0	0	0
18	3810.8720703125	8.133087E-02	64	0	0	0
19	3816.03637695313	8.260166E-02	65	0	0	0
20	3821.20043945313	8.641405E-02	68	0	0	0
21	3826.36474609375	9.403881E-02	74	0	0	0
22	3831.52880859375	.1016636	80	0	0	0
23	3836.69287109375	.1181839	93	0	0	0
24	3841.85717773438	.1258087	99	0	0	0
25	3847.02124023438	.1283503	101	0	0	0
26	3852.185546875	.1435998	113	0	0	0
27	3857.349609375	.1537662	121	0	0	0
28	3862.513671875	.1575786	124	0	0	0

29	3867.67797851563	.1601201	126	0	0	0
30	3872.84204101563	.1690157	133	0	0	0
31	3878.00610351563	.1753697	138	0	0	0
32	3883.17041015625	.1842652	145	0	0	0
33	3888.33447265625	.1817237	143	0	0	0
34	3893.49877929688	.1880776	148	0	0	0
35	3898.66284179688	.1969732	155	0	0	0
36	3903.82690429688	.204598	161	0	0	0
37	3908.9912109375	.2096811	165	0	0	0
38	3914.1552734375	.2185767	172	0	0	0
39	3919.3193359375	.2249307	177	0	0	0
40	3924.48364257813	.2249307	177	0	0	0
41	3929.64770507813	.2198475	173	0	0	0
42	3934.81201171875	.2300139	181	0	0	0
43	3939.97607421875	.2389094	188	0	0	0
44	3945.14013671875	.2376386	187	0	0	0
45	3950.30444335938	.241451	190	0	0	0
46	3955.46850585938	.241451	190	0	0	0
47	3960.6328125	.2439926	192	0	0	0
48	3965.796875	.2401802	189	0	0	0
49	3970.9609375	.2376386	187	0	0	0
50	3976.12524414063	.2427218	191	0	0	0
51	3981.28930664063	.2554297	201	0	0	0
52	3986.45336914063	.2541589	200	0	0	0
53	3991.61767578125	.2592421	204	0	0	0
54	3996.78173828125	.2617837	206	0	0	0
55	4001.94604492188	.2643253	208	0	0	0
56	4007.11010742188	.2706793	213	0	0	0
57	4012.27416992188	.284658	224	0	0	0
58	4017.4384765625	.2884704	227	0	0	0
59	4022.6025390625	.284658	224	0	0	0
60	4027.76684570313	.2795748	220	0	0	0
61	4032.93090820313	.2922828	230	0	0	0
62	4038.09497070313	.2948244	232	0	0	0
63	4043.25927734375	.3049907	240	0	0	0

64	4048.42333984375	.3151571	248	0	0	0
65	4053.58740234375	.3227819	254	0	0	0
66	4058.75170898438	.3329482	262	0	0	0
67	4063.91577148438	.3443854	271	0	0	0
68	4069.080078125	.3443854	271	0	0	0
69	4074.244140625	.3558225	280	0	0	0
70	4079.408203125	.3812384	300	0	0	0
71	4084.57250976563	.3812384	300	0	0	0
72	4089.73657226563	.3774261	297	0	0	0
73	4094.90063476563	.3825092	301	0	0	0
74	4100.06494140625	.3977588	313	0	0	0
75	4105.22900390625	.4142791	326	0	0	0
76	4110.39306640625	.4193623	330	0	0	0
77	4115.55712890625	.4307994	339	0	0	0
78	4120.7216796875	.4574861	360	0	0	0
79	4125.8857421875	.4790896	377	0	0	0
80	4131.0498046875	.4879852	384	0	0	0
81	4136.2138671875	.5095887	401	0	0	0
82	4141.3779296875	.526109	414	0	0	0
83	4146.54248046875	.5273798	415	0	0	0
84	4151.70654296875	.5286506	416	0	0	0
85	4156.87060546875	.5350046	421	0	0	0
86	4162.03466796875	.5413586	426	0	0	0
87	4167.19873046875	.5464417	430	0	0	0
88	4172.36328125	.5502542	433	0	0	0
89	4177.52734375	.5527957	435	0	0	0
90	4182.69140625	.5604205	441	0	0	0
91	4187.85546875	.5718576	450	0	0	0
92	4193.01953125	.5871072	462	0	0	0
93	4198.18408203125	.6061691	477	0	0	0
94	4203.34814453125	.6176063	486	0	0	0
95	4208.51220703125	.6303142	496	0	0	0
96	4213.67626953125	.6544593	515	0	0	0
97	4218.84033203125	.6697088	527	0	0	0
98	4224.0048828125	.6836876	538	0	0	0

99	4229.1689453125	.6875	541	0	0	0
100	4234.3330078125	.6925831	545	0	0	0
101	4239.4970703125	.7230822	569	0	0	0
102	4244.6611328125	.7408733	583	0	0	0
103	4249.8251953125	.7510397	591	0	0	0
104	4254.98974609375	.7688308	605	0	0	0
105	4260.15380859375	.792976	624	0	0	0
106	4265.31787109375	.8056839	634	0	0	0
107	4270.48193359375	.817121	643	0	0	0
108	4275.64599609375	.8285582	652	0	0	0
109	4280.810546875	.8336414	656	0	0	0
110	4285.974609375	.8412662	662	0	0	0
111	4291.138671875	.8527033	671	0	0	0
112	4296.302734375	.8641405	680	0	0	0
113	4301.466796875	.8768484	690	0	0	0
114	4306.63134765625	.8870147	698	0	0	0
115	4311.79541015625	.8870147	698	0	0	0
116	4316.95947265625	.8997227	708	0	0	0
117	4322.12353515625	.9264094	729	0	0	0
118	4327.28759765625	.9340342	735	0	0	0
119	4332.4521484375	.9429297	742	0	0	0
120	4337.6162109375	.9556377	752	0	0	0
121	4342.7802734375	.9746996	767	0	0	0
122	4347.9443359375	.9937615	782	0	0	0
123	4353.1083984375	1.001386	788	0	0	0
124	4358.2724609375	1.00774	793	0	0	0
125	4363.43701171875	1.034427	814	0	0	0
126	4368.60107421875	1.057301	832	0	0	0
127	4373.76513671875	1.061114	835	0	0	0
128	4378.92919921875	1.063655	837	0	0	0
129	4384.09326171875	1.081446	851	0	0	0
130	4389.2578125	1.083988	853	0	0	0
131	4394.421875	1.080176	850	0	0	0
132	4399.5859375	1.085259	854	0	0	0
133	4404.75	1.090342	858	0	0	0

134	4409.9140625	1.092883	860	0	0	0
135	4415.07861328125	1.100508	866	0	0	0
136	4420.24267578125	1.101779	867	0	0	0
137	4425.40673828125	1.106862	871	0	0	0
138	4430.57080078125	1.118299	880	0	0	0
139	4435.73486328125	1.123383	884	0	0	0
140	4440.8994140625	1.125924	886	0	0	0
141	4446.0634765625	1.125924	886	0	0	0
142	4451.2275390625	1.128466	888	0	0	0
143	4456.3916015625	1.136091	894	0	0	0
144	4461.5556640625	1.148798	904	0	0	0
145	4466.7197265625	1.157694	911	0	0	0
146	4471.88427734375	1.16786	919	0	0	0
147	4477.04833984375	1.174214	924	0	0	0
148	4482.21240234375	1.178027	927	0	0	0
149	4487.37646484375	1.176756	926	0	0	0
150	4492.54052734375	1.176756	926	0	0	0
151	4497.705078125	1.16786	919	0	0	0
152	4502.869140625	1.165319	917	0	0	0
153	4508.033203125	1.180568	929	0	0	0
154	4513.197265625	1.18311	931	0	0	0
155	4518.361328125	1.175485	925	0	0	0
156	4523.52587890625	1.185652	933	0	0	0
157	4528.68994140625	1.19963	944	0	0	0
158	4533.85400390625	1.203443	947	0	0	0
159	4539.01806640625	1.204713	948	0	0	0
160	4544.18212890625	1.207255	950	0	0	0
161	4549.3466796875	1.21488	956	0	0	0
162	4554.5107421875	1.213609	955	0	0	0
163	4559.6748046875	1.21488	956	0	0	0
164	4564.8388671875	1.218692	959	0	0	0
165	4570.0029296875	1.227588	966	0	0	0
166	4575.1669921875	1.237754	974	0	0	0
167	4580.33154296875	1.245379	980	0	0	0
168	4585.49560546875	1.255545	988	0	0	0

169	4590.65966796875	1.272066	1001	0	0	0
170	4595.82373046875	1.296211	1020	0	0	0
171	4600.98779296875	1.316543	1036	0	0	0
172	4606.15234375	1.335605	1051	0	0	0
173	4611.31640625	1.357209	1068	0	0	0
174	4616.48046875	1.371188	1079	0	0	0
175	4621.64453125	1.378812	1085	0	0	0
176	4626.80859375	1.386437	1091	0	0	0
177	4631.97314453125	1.408041	1108	0	0	0
178	4637.13720703125	1.411853	1111	0	0	0
179	4642.30126953125	1.40677	1107	0	0	0
180	4647.46533203125	1.408041	1108	0	0	0
181	4652.62939453125	1.415665	1114	0	0	0
182	4657.7939453125	1.409311	1109	0	0	0
183	4662.9580078125	1.385166	1090	0	0	0
184	4668.1220703125	1.375	1082	0	0	0
185	4673.2861328125	1.373729	1081	0	0	0
186	4678.4501953125	1.35975	1070	0	0	0
187	4683.6142578125	1.329251	1046	0	0	0
188	4688.77880859375	1.321627	1040	0	0	0
189	4693.94287109375	1.325439	1043	0	0	0
190	4699.10693359375	1.314002	1034	0	0	0
191	4704.27099609375	1.296211	1020	0	0	0
192	4709.43505859375	1.302565	1025	0	0	0
193	4714.599609375	1.307648	1029	0	0	0
194	4719.763671875	1.300023	1023	0	0	0
195	4724.927734375	1.306377	1028	0	0	0
196	4730.091796875	1.322897	1041	0	0	0
197	4735.255859375	1.335605	1051	0	0	0
198	4740.42041015625	1.340688	1055	0	0	0
199	4745.58447265625	1.336876	1052	0	0	0
200	4750.74853515625	1.335605	1051	0	0	0
201	4755.91259765625	1.340688	1055	0	0	0
202	4761.07666015625	1.336876	1052	0	0	0
203	4766.2412109375	1.32671	1044	0	0	0

204	4771.4052734375	1.329251	1046	0	0	0
205	4776.5693359375	1.325439	1043	0	0	0
206	4781.7333984375	1.324168	1042	0	0	0
207	4786.8974609375	1.322897	1041	0	0	0
208	4792.0615234375	1.333064	1049	0	0	0
209	4797.22607421875	1.330522	1047	0	0	0
210	4802.39013671875	1.322897	1041	0	0	0
211	4807.55419921875	1.317814	1037	0	0	0
212	4812.71826171875	1.312731	1033	0	0	0
213	4817.88232421875	1.306377	1028	0	0	0
214	4823.046875	1.308919	1030	0	0	0
215	4828.2109375	1.291127	1016	0	0	0
216	4833.375	1.284773	1011	0	0	0
217	4838.5390625	1.280961	1008	0	0	0
218	4843.703125	1.273336	1002	0	0	0
219	4848.86767578125	1.268253	998	0	0	0
220	4854.03173828125	1.27969	1007	0	0	0
221	4859.19580078125	1.302565	1025	0	0	0
222	4864.35986328125	1.324168	1042	0	0	0
223	4869.52392578125	1.347042	1060	0	0	0
224	4874.6884765625	1.382625	1088	0	0	0
225	4879.8525390625	1.422019	1119	0	0	0
226	4885.0166015625	1.45506	1145	0	0	0
227	4890.1806640625	1.484288	1168	0	0	0
228	4895.3447265625	1.514787	1192	0	0	0
229	4900.50927734375	1.538932	1211	0	0	0
230	4905.67333984375	1.555453	1224	0	0	0
231	4910.83740234375	1.563078	1230	0	0	0
232	4916.00146484375	1.568161	1234	0	0	0
233	4921.16552734375	1.578327	1242	0	0	0
234	4926.32958984375	1.578327	1242	0	0	0
235	4931.494140625	1.577056	1241	0	0	0
236	4936.658203125	1.601201	1260	0	0	0
237	4941.822265625	1.635513	1287	0	0	0
238	4946.986328125	1.653304	1301	0	0	0

239	4952.150390625	1.667283	1312	0	0	0
240	4957.31494140625	1.677449	1320	0	0	0
241	4962.47900390625	1.704136	1341	0	0	0
242	4967.64306640625	1.714302	1349	0	0	0
243	4972.80712890625	1.709219	1345	0	0	0
244	4977.97119140625	1.713031	1348	0	0	0
245	4983.1357421875	1.723198	1356	0	0	0
246	4988.2998046875	1.723198	1356	0	0	0
247	4993.4638671875	1.725739	1358	0	0	0
248	4998.6279296875	1.751155	1378	0	0	0
249	5003.7919921875	1.776571	1398	0	0	0
250	5008.95654296875	1.784196	1404	0	0	0
251	5014.12060546875	1.788008	1407	0	0	0
252	5019.28466796875	1.795633	1413	0	0	0
253	5024.44873046875	1.800716	1417	0	0	0
254	5029.61279296875	1.801987	1418	0	0	0
255	5034.77685546875	1.800716	1417	0	0	0
256	5039.94140625	1.800716	1417	0	0	0
257	5045.10546875	1.814695	1428	0	0	0
258	5050.26953125	1.827403	1438	0	0	0
259	5055.43359375	1.836298	1445	0	0	0
260	5060.59765625	1.849006	1455	0	0	0
261	5065.76220703125	1.865527	1468	0	0	0
262	5070.92626953125	1.869339	1471	0	0	0
263	5076.09033203125	1.864256	1467	0	0	0
264	5081.25439453125	1.869339	1471	0	0	0
265	5086.41845703125	1.88713	1485	0	0	0
266	5091.5830078125	1.869339	1471	0	0	0
267	5096.7470703125	1.860444	1464	0	0	0
268	5101.9111328125	1.875693	1476	0	0	0
269	5107.0751953125	1.883318	1482	0	0	0
270	5112.2392578125	1.885859	1484	0	0	0
271	5117.40380859375	1.892213	1489	0	0	0
272	5122.56787109375	1.908734	1502	0	0	0
273	5127.73193359375	1.926525	1516	0	0	0

274	5132.89599609375	1.931608	1520	0	0	0
275	5138.06005859375	1.943045	1529	0	0	0
276	5143.22412109375	1.962107	1544	0	0	0
277	5148.388671875	1.991335	1567	0	0	0
278	5153.552734375	1.99896	1573	0	0	0
279	5158.716796875	2.004043	1577	0	0	0
280	5163.880859375	2.024376	1593	0	0	0
281	5169.044921875	2.038355	1604	0	0	0
282	5174.20947265625	2.025647	1594	0	0	0
283	5179.37353515625	2.015481	1586	0	0	0
284	5184.53759765625	2.009127	1581	0	0	0
285	5189.70166015625	2.006585	1579	0	0	0
286	5194.86572265625	1.98244	1560	0	0	0
287	5200.0302734375	1.964649	1546	0	0	0
288	5205.1943359375	1.954482	1538	0	0	0
289	5210.3583984375	1.951941	1536	0	0	0
290	5215.5224609375	1.932879	1521	0	0	0
291	5220.6865234375	1.9189	1510	0	0	0
292	5225.85107421875	1.917629	1509	0	0	0
293	5231.01513671875	1.911275	1504	0	0	0
294	5236.17919921875	1.898567	1494	0	0	0
295	5241.34326171875	1.889672	1487	0	0	0
296	5246.50732421875	1.894755	1491	0	0	0
297	5251.67138671875	1.903651	1498	0	0	0
298	5256.8359375	1.901109	1496	0	0	0
299	5262	1.904921	1499	0	0	0
300	5267.1640625	1.926525	1516	0	0	0
301	5272.328125	1.948128	1533	0	0	0
302	5277.4921875	1.949399	1534	0	0	0
303	5282.65673828125	1.943045	1529	0	0	0
304	5287.82080078125	1.960836	1543	0	0	0
305	5292.98486328125	1.977357	1556	0	0	0
306	5298.14892578125	1.977357	1556	0	0	0
307	5303.31298828125	1.978627	1557	0	0	0
308	5308.4775390625	1.995148	1570	0	0	0

309	5313.6416015625	2.015481	1586	0	0	0
310	5318.8056640625	2.023105	1592	0	0	0
311	5323.9697265625	2.040896	1606	0	0	0
312	5329.1337890625	2.063771	1624	0	0	0
313	5334.29833984375	2.070125	1629	0	0	0
314	5339.46240234375	2.070125	1629	0	0	0
315	5344.62646484375	2.076479	1634	0	0	0
316	5349.79052734375	2.087916	1643	0	0	0
317	5354.95458984375	2.101895	1654	0	0	0
318	5360.11865234375	2.098082	1651	0	0	0
319	5365.283203125	2.100624	1653	0	0	0
320	5370.447265625	2.120956	1669	0	0	0
321	5375.611328125	2.151456	1693	0	0	0
322	5380.775390625	2.156539	1697	0	0	0
323	5385.939453125	2.15908	1699	0	0	0
324	5391.10400390625	2.178142	1714	0	0	0
325	5396.26806640625	2.187038	1721	0	0	0
326	5401.43212890625	2.178142	1714	0	0	0
327	5406.59619140625	2.171788	1709	0	0	0
328	5411.76025390625	2.167976	1706	0	0	0
329	5416.9248046875	2.146372	1689	0	0	0
330	5422.0888671875	2.114603	1664	0	0	0
331	5427.2529296875	2.082833	1639	0	0	0
332	5432.4169921875	2.067583	1627	0	0	0
333	5437.5810546875	2.037084	1603	0	0	0
334	5442.74560546875	1.987523	1564	0	0	0
335	5447.90966796875	1.93542	1523	0	0	0
336	5453.07373046875	1.907463	1501	0	0	0
337	5458.23779296875	1.892213	1489	0	0	0
338	5463.40185546875	1.869339	1471	0	0	0
339	5468.56591796875	1.87061	1472	0	0	0
340	5473.73046875	1.897297	1493	0	0	0
341	5478.89453125	1.913817	1506	0	0	0
342	5484.05859375	1.907463	1501	0	0	0
343	5489.22265625	1.912546	1505	0	0	0

344	5494.38671875	1.93542	1523	0	0	0
345	5499.55126953125	1.944316	1530	0	0	0
346	5504.71533203125	1.940504	1527	0	0	0
347	5509.87939453125	1.948128	1533	0	0	0
348	5515.04345703125	1.96719	1548	0	0	0
349	5520.20751953125	1.971003	1551	0	0	0
350	5525.3720703125	1.965919	1547	0	0	0
351	5530.5361328125	1.972273	1552	0	0	0
352	5535.7001953125	1.986252	1563	0	0	0
353	5540.8642578125	1.993877	1569	0	0	0
354	5546.0283203125	1.991335	1567	0	0	0
355	5551.19287109375	2.002773	1576	0	0	0
356	5556.35693359375	2.021835	1591	0	0	0
357	5561.52099609375	2.034543	1601	0	0	0
358	5566.68505859375	2.034543	1601	0	0	0
359	5571.84912109375	2.053604	1616	0	0	0
360	5577.013671875	2.086645	1642	0	0	0
361	5582.177734375	2.100624	1653	0	0	0
362	5587.341796875	2.101895	1654	0	0	0
363	5592.505859375	2.11079	1661	0	0	0
364	5597.669921875	2.129852	1676	0	0	0
365	5602.833984375	2.127311	1674	0	0	0
366	5607.99853515625	2.117144	1666	0	0	0
367	5613.16259765625	2.123498	1671	0	0	0
368	5618.32666015625	2.124769	1672	0	0	0
369	5623.49072265625	2.113332	1663	0	0	0
370	5628.65478515625	2.099353	1652	0	0	0
371	5633.8193359375	2.104436	1656	0	0	0
372	5638.9833984375	2.115873	1665	0	0	0
373	5644.1474609375	2.109519	1660	0	0	0
374	5649.3115234375	2.090457	1645	0	0	0
375	5654.4755859375	2.080291	1637	0	0	0
376	5659.64013671875	2.09427	1648	0	0	0
377	5664.80419921875	2.092999	1647	0	0	0
378	5669.96826171875	2.058687	1620	0	0	0

379	5675.13232421875	2.043438	1608	0	0	0
380	5680.29638671875	2.029459	1597	0	0	0
381	5685.4609375	2.007856	1580	0	0	0
382	5690.625	1.968461	1549	0	0	0
383	5695.7890625	1.951941	1536	0	0	0
384	5700.953125	1.945587	1531	0	0	0
385	5706.1171875	1.927796	1517	0	0	0
386	5711.28125	1.906192	1500	0	0	0
387	5716.44580078125	1.899838	1495	0	0	0
388	5721.60986328125	1.882047	1481	0	0	0
389	5726.77392578125	1.859173	1463	0	0	0
390	5731.93798828125	1.831215	1441	0	0	0
391	5737.10205078125	1.815966	1429	0	0	0
392	5742.2666015625	1.798175	1415	0	0	0
393	5747.4306640625	1.784196	1404	0	0	0
394	5752.5947265625	1.765134	1389	0	0	0
395	5757.7587890625	1.776571	1398	0	0	0
396	5762.9228515625	1.793091	1411	0	0	0
397	5768.08740234375	1.782925	1403	0	0	0
398	5773.25146484375	1.7753	1397	0	0	0
399	5778.41552734375	1.786737	1406	0	0	0
400	5783.57958984375	1.809612	1424	0	0	0
401	5788.74365234375	1.812153	1426	0	0	0
402	5793.908203125	1.818507	1431	0	0	0
403	5799.072265625	1.837569	1446	0	0	0
404	5804.236328125	1.85409	1459	0	0	0
405	5809.400390625	1.849006	1455	0	0	0
406	5814.564453125	1.849006	1455	0	0	0
407	5819.728515625	1.869339	1471	0	0	0
408	5824.89306640625	1.890943	1488	0	0	0
409	5830.05712890625	1.890943	1488	0	0	0
410	5835.22119140625	1.888401	1486	0	0	0
411	5840.38525390625	1.898567	1494	0	0	0
412	5845.54931640625	1.912546	1505	0	0	0
413	5850.7138671875	1.913817	1506	0	0	0

414	5855.8779296875	1.906192	1500	0	0	0
415	5861.0419921875	1.9189	1510	0	0	0
416	5866.2060546875	1.936691	1524	0	0	0
417	5871.3701171875	1.939233	1526	0	0	0
418	5876.53466796875	1.941774	1528	0	0	0
419	5881.69873046875	1.957024	1540	0	0	0
420	5886.86279296875	1.968461	1549	0	0	0
421	5892.02685546875	1.958295	1541	0	0	0
422	5897.19091796875	1.951941	1536	0	0	0
423	5902.35546875	1.963378	1545	0	0	0
424	5907.51953125	1.974815	1554	0	0	0
425	5912.68359375	1.962107	1544	0	0	0
426	5917.84765625	1.946858	1532	0	0	0
427	5923.01171875	1.962107	1544	0	0	0
428	5928.17578125	1.969732	1550	0	0	0
429	5933.34033203125	1.964649	1546	0	0	0
430	5938.50439453125	1.959566	1542	0	0	0
431	5943.66845703125	1.962107	1544	0	0	0
432	5948.83251953125	1.971003	1551	0	0	0
433	5953.99658203125	1.959566	1542	0	0	0
434	5959.1611328125	1.93415	1522	0	0	0
435	5964.3251953125	1.927796	1517	0	0	0
436	5969.4892578125	1.943045	1529	0	0	0
437	5974.6533203125	1.93542	1523	0	0	0
438	5979.8173828125	1.929066	1518	0	0	0
439	5984.98193359375	1.955753	1539	0	0	0
440	5990.14599609375	1.96719	1548	0	0	0
441	5995.31005859375	1.971003	1551	0	0	0
442	6000.47412109375	1.968461	1549	0	0	0
443	6005.63818359375	1.981169	1559	0	0	0
444	6010.802734375	1.98244	1560	0	0	0
445	6015.966796875	1.972273	1552	0	0	0
446	6021.130859375	1.971003	1551	0	0	0
447	6026.294921875	1.977357	1556	0	0	0
448	6031.458984375	1.976086	1555	0	0	0

449	6036.623046875	1.972273	1552	0	0	0
450	6041.78759765625	1.972273	1552	0	0	0
451	6046.95166015625	1.986252	1563	0	0	0
452	6052.11572265625	2.000231	1574	0	0	0
453	6057.27978515625	1.990065	1566	0	0	0
454	6062.44384765625	1.98244	1560	0	0	0
455	6067.6083984375	1.993877	1569	0	0	0
456	6072.7724609375	2.002773	1576	0	0	0
457	6077.9365234375	1.979898	1558	0	0	0
458	6083.1005859375	1.968461	1549	0	0	0
459	6088.2646484375	1.974815	1554	0	0	0
460	6093.42919921875	1.973544	1553	0	0	0
461	6098.59326171875	1.943045	1529	0	0	0
462	6103.75732421875	1.915088	1507	0	0	0
463	6108.92138671875	1.9189	1510	0	0	0
464	6114.08544921875	1.922712	1513	0	0	0
465	6119.25	1.893484	1490	0	0	0
466	6124.4140625	1.87061	1472	0	0	0
467	6129.578125	1.862985	1466	0	0	0
468	6134.7421875	1.85536	1460	0	0	0
469	6139.90625	1.836298	1445	0	0	0
470	6145.0703125	1.821049	1433	0	0	0
471	6150.23486328125	1.818507	1431	0	0	0
472	6155.39892578125	1.800716	1417	0	0	0
473	6160.56298828125	1.776571	1398	0	0	0
474	6165.72705078125	1.753697	1380	0	0	0
475	6170.89111328125	1.746072	1374	0	0	0
476	6176.0556640625	1.74226	1371	0	0	0
477	6181.2197265625	1.729552	1361	0	0	0
478	6186.3837890625	1.711761	1347	0	0	0
479	6191.5478515625	1.716844	1351	0	0	0
480	6196.7119140625	1.709219	1345	0	0	0
481	6201.87646484375	1.687616	1328	0	0	0
482	6207.04052734375	1.682532	1324	0	0	0
483	6212.20458984375	1.690157	1330	0	0	0

484	6217.36865234375	1.679991	1322	0	0	0
485	6222.53271484375	1.664741	1310	0	0	0
486	6227.697265625	1.660929	1307	0	0	0
487	6232.861328125	1.669824	1314	0	0	0
488	6238.025390625	1.671095	1315	0	0	0
489	6243.189453125	1.664741	1310	0	0	0
490	6248.353515625	1.652033	1300	0	0	0
491	6253.517578125	1.649492	1298	0	0	0
492	6258.68212890625	1.641867	1292	0	0	0
493	6263.84619140625	1.622805	1277	0	0	0
494	6269.01025390625	1.59866	1258	0	0	0
495	6274.17431640625	1.585952	1248	0	0	0
496	6279.33837890625	1.577056	1241	0	0	0
497	6284.5029296875	1.538932	1211	0	0	0
498	6289.6669921875	1.510975	1189	0	0	0
499	6294.8310546875	1.517329	1194	0	0	0
500	6299.9951171875	1.521141	1197	0	0	0
501	6305.1591796875	1.517329	1194	0	0	0
502	6310.32373046875	1.528766	1203	0	0	0
503	6315.48779296875	1.547828	1218	0	0	0
504	6320.65185546875	1.570702	1236	0	0	0
505	6325.81591796875	1.575786	1240	0	0	0
506	6330.97998046875	1.587223	1249	0	0	0
507	6336.14453125	1.605014	1263	0	0	0
508	6341.30859375	1.618993	1274	0	0	0
509	6346.47265625	1.61518	1271	0	0	0
510	6351.63671875	1.616451	1272	0	0	0
511	6356.80078125	1.634242	1286	0	0	0
512	6361.96533203125	1.645679	1295	0	0	0
513	6367.12939453125	1.644408	1294	0	0	0
514	6372.29345703125	1.654575	1302	0	0	0
515	6377.45751953125	1.671095	1315	0	0	0
516	6382.62158203125	1.676178	1319	0	0	0
517	6387.78564453125	1.668554	1313	0	0	0
518	6392.9501953125	1.66347	1309	0	0	0

519	6398.1142578125	1.674908	1318	0	0	0
520	6403.2783203125	1.677449	1320	0	0	0
521	6408.4423828125	1.667283	1312	0	0	0
522	6413.6064453125	1.671095	1315	0	0	0
523	6418.77099609375	1.681262	1323	0	0	0
524	6423.93505859375	1.687616	1328	0	0	0
525	6429.09912109375	1.681262	1323	0	0	0
526	6434.26318359375	1.679991	1322	0	0	0
527	6439.42724609375	1.686345	1327	0	0	0
528	6444.591796875	1.669824	1314	0	0	0
529	6449.755859375	1.640596	1291	0	0	0
530	6454.919921875	1.627888	1281	0	0	0
531	6460.083984375	1.620263	1275	0	0	0
532	6465.248046875	1.602472	1261	0	0	0
533	6470.41259765625	1.571973	1237	0	0	0
534	6475.57666015625	1.552911	1222	0	0	0
535	6480.74072265625	1.538932	1211	0	0	0
536	6485.90478515625	1.523683	1199	0	0	0
537	6491.06884765625	1.508433	1187	0	0	0
538	6496.23291015625	1.490642	1173	0	0	0
539	6501.3974609375	1.484288	1168	0	0	0
540	6506.5615234375	1.456331	1146	0	0	0
541	6511.7255859375	1.425832	1122	0	0	0
542	6516.8896484375	1.416936	1115	0	0	0
543	6522.0537109375	1.40677	1107	0	0	0
544	6527.21826171875	1.392791	1096	0	0	0
545	6532.38232421875	1.373729	1081	0	0	0
546	6537.54638671875	1.366104	1075	0	0	0
547	6542.71044921875	1.363563	1073	0	0	0
548	6547.87451171875	1.341959	1056	0	0	0
549	6553.0390625	1.312731	1033	0	0	0
550	6558.203125	1.29494	1019	0	0	0
551	6563.3671875	1.301294	1024	0	0	0
552	6568.53125	1.29494	1019	0	0	0
553	6573.6953125	1.287315	1013	0	0	0

554	6578.85986328125	1.303835	1026	0	0	0
555	6584.02392578125	1.339418	1054	0	0	0
556	6589.18798828125	1.35848	1069	0	0	0
557	6594.35205078125	1.345772	1059	0	0	0
558	6599.51611328125	1.335605	1051	0	0	0
559	6604.68017578125	1.355938	1067	0	0	0
560	6609.8447265625	1.353396	1065	0	0	0
561	6615.0087890625	1.340688	1055	0	0	0
562	6620.1728515625	1.344501	1058	0	0	0
563	6625.3369140625	1.361021	1071	0	0	0
564	6630.5009765625	1.361021	1071	0	0	0
565	6635.66552734375	1.349584	1062	0	0	0
566	6640.82958984375	1.352126	1064	0	0	0
567	6645.99365234375	1.364834	1074	0	0	0
568	6651.15771484375	1.361021	1071	0	0	0
569	6656.32177734375	1.355938	1067	0	0	0
570	6661.486328125	1.361021	1071	0	0	0
571	6666.650390625	1.376271	1083	0	0	0
572	6671.814453125	1.382625	1088	0	0	0
573	6676.978515625	1.376271	1083	0	0	0
574	6682.142578125	1.387708	1092	0	0	0
575	6687.30712890625	1.408041	1108	0	0	0
576	6692.47119140625	1.411853	1111	0	0	0
577	6697.63525390625	1.399145	1101	0	0	0
578	6702.79931640625	1.401687	1103	0	0	0
579	6707.96337890625	1.415665	1114	0	0	0
580	6713.12744140625	1.414395	1113	0	0	0
581	6718.2919921875	1.404228	1105	0	0	0
582	6723.4560546875	1.415665	1114	0	0	0
583	6728.6201171875	1.435998	1130	0	0	0
584	6733.7841796875	1.42329	1120	0	0	0
585	6738.9482421875	1.411853	1111	0	0	0
586	6744.11279296875	1.422019	1119	0	0	0
587	6749.27685546875	1.433457	1128	0	0	0
588	6754.44091796875	1.430915	1126	0	0	0

589	6759.60498046875	1.411853	1111	0	0	0
590	6764.76904296875	1.413124	1112	0	0	0
591	6769.93359375	1.429644	1125	0	0	0
592	6775.09765625	1.424561	1121	0	0	0
593	6780.26171875	1.418207	1116	0	0	0
594	6785.42578125	1.418207	1116	0	0	0
595	6790.58984375	1.432186	1127	0	0	0
596	6795.75439453125	1.427103	1123	0	0	0
597	6800.91845703125	1.413124	1112	0	0	0
598	6806.08251953125	1.409311	1109	0	0	0
599	6811.24658203125	1.414395	1113	0	0	0
600	6816.41064453125	1.409311	1109	0	0	0
601	6821.57470703125	1.404228	1105	0	0	0
602	6826.7392578125	1.410582	1110	0	0	0
603	6831.9033203125	1.409311	1109	0	0	0
604	6837.0673828125	1.400416	1102	0	0	0
605	6842.2314453125	1.396603	1099	0	0	0
606	6847.3955078125	1.404228	1105	0	0	0
607	6852.56005859375	1.408041	1108	0	0	0
608	6857.72412109375	1.399145	1101	0	0	0
609	6862.88818359375	1.377542	1084	0	0	0
610	6868.05224609375	1.369917	1078	0	0	0
611	6873.21630859375	1.369917	1078	0	0	0
612	6878.380859375	1.34323	1057	0	0	0
613	6883.544921875	1.319085	1038	0	0	0
614	6888.708984375	1.310189	1031	0	0	0
615	6893.873046875	1.277149	1005	0	0	0
616	6899.037109375	1.218692	959	0	0	0
617	6904.20166015625	1.139903	897	0	0	0
618	6909.36572265625	1.038239	817	0	0	0
619	6914.52978515625	.9264094	729	0	0	0
620	6919.69384765625	.829829	653	0	0	0
621	6924.85791015625	.7815388	615	0	0	0
622	6930.02197265625	.7828096	616	0	0	0
623	6935.1865234375	.8006007	630	0	0	0

624	6940.3505859375	.8094963	637	0	0	0
625	6945.5146484375	.817121	643	0	0	0
626	6950.6787109375	.8539741	672	0	0	0
627	6955.8427734375	.8971811	706	0	0	0
628	6961.00732421875	.9378465	738	0	0	0
629	6966.17138671875	.9746996	767	0	0	0
630	6971.33544921875	1.02299	805	0	0	0
631	6976.49951171875	1.077634	848	0	0	0
632	6981.66357421875	1.096696	863	0	0	0
633	6986.828125	1.118299	880	0	0	0
634	6991.9921875	1.138632	896	0	0	0
635	6997.15625	1.150069	905	0	0	0
636	7002.3203125	1.157694	911	0	0	0
637	7007.484375	1.157694	911	0	0	0
638	7012.64892578125	1.158965	912	0	0	0
639	7017.81298828125	1.16659	918	0	0	0
640	7022.97705078125	1.161506	914	0	0	0
641	7028.14111328125	1.153882	908	0	0	0
642	7033.30517578125	1.160236	913	0	0	0
643	7038.4697265625	1.160236	913	0	0	0
644	7043.6337890625	1.148798	904	0	0	0
645	7048.7978515625	1.139903	897	0	0	0
646	7053.9619140625	1.147528	903	0	0	0
647	7059.1259765625	1.155152	909	0	0	0
648	7064.2900390625	1.146257	902	0	0	0
649	7069.45458984375	1.142444	899	0	0	0
650	7074.61865234375	1.147528	903	0	0	0
651	7079.78271484375	1.136091	894	0	0	0
652	7084.94677734375	1.123383	884	0	0	0
653	7090.11083984375	1.114487	877	0	0	0
654	7095.275390625	1.11957	881	0	0	0
655	7100.439453125	1.122112	883	0	0	0
656	7105.603515625	1.109404	873	0	0	0
657	7110.767578125	1.099237	865	0	0	0
658	7115.931640625	1.099237	865	0	0	0

659	7121.09619140625	1.094154	861	0	0	0
660	7126.26025390625	1.075092	846	0	0	0
661	7131.42431640625	1.063655	837	0	0	0
662	7136.58837890625	1.066197	839	0	0	0
663	7141.75244140625	1.058572	833	0	0	0
664	7146.9169921875	1.042052	820	0	0	0
665	7152.0810546875	1.028073	809	0	0	0
666	7157.2451171875	1.024261	806	0	0	0
667	7162.4091796875	1.016636	800	0	0	0
668	7167.5732421875	.9988447	786	0	0	0
669	7172.7373046875	.984866	775	0	0	0
670	7177.90185546875	.9823244	773	0	0	0
671	7183.06591796875	.9746996	767	0	0	0
672	7188.22998046875	.9619917	757	0	0	0
673	7193.39404296875	.9518253	749	0	0	0
674	7198.55810546875	.9518253	749	0	0	0
675	7203.72265625	.9505545	748	0	0	0
676	7208.88671875	.9365758	737	0	0	0
677	7214.05078125	.9340342	735	0	0	0
678	7219.21484375	.9365758	737	0	0	0
679	7224.37890625	.9378465	738	0	0	0
680	7229.54345703125	.9238678	727	0	0	0
681	7234.70751953125	.9264094	729	0	0	0
682	7239.87158203125	.9353049	736	0	0	0
683	7245.03564453125	.9264094	729	0	0	0
684	7250.19970703125	.916243	721	0	0	0
685	7255.3642578125	.9086183	715	0	0	0
686	7260.5283203125	.9175138	722	0	0	0
687	7265.6923828125	.9187846	723	0	0	0
688	7270.8564453125	.8984519	707	0	0	0
689	7276.0205078125	.8870147	698	0	0	0
690	7281.1845703125	.8895563	700	0	0	0
691	7286.34912109375	.8933687	703	0	0	0
692	7291.51318359375	.8832024	695	0	0	0
693	7296.67724609375	.8704944	685	0	0	0

694	7301.84130859375	.8832024	695	0	0	0
695	7307.00537109375	.873036	687	0	0	0
696	7312.169921875	.8692237	684	0	0	0
697	7317.333984375	.8527033	671	0	0	0
698	7322.498046875	.8527033	671	0	0	0
699	7327.662109375	.8438078	664	0	0	0
700	7332.826171875	.8285582	652	0	0	0
701	7337.99072265625	.8158503	642	0	0	0
702	7343.15478515625	.817121	643	0	0	0
703	7348.31884765625	.8120379	639	0	0	0
704	7353.48291015625	.7955175	626	0	0	0
705	7358.64697265625	.7904344	622	0	0	0
706	7363.8115234375	.7815388	615	0	0	0
707	7368.9755859375	.773914	609	0	0	0
708	7374.1396484375	.7561229	595	0	0	0
709	7379.3037109375	.7408733	583	0	0	0
710	7384.4677734375	.7396026	582	0	0	0
711	7389.6318359375	.7345194	578	0	0	0
712	7394.79638671875	.7116451	560	0	0	0
713	7399.96044921875	.7027495	553	0	0	0
714	7405.12451171875	.7091035	558	0	0	0
715	7410.28857421875	.7052911	555	0	0	0
716	7415.45263671875	.6976663	549	0	0	0
717	7420.6171875	.6976663	549	0	0	0
718	7425.78125	.6951247	547	0	0	0
719	7430.9453125	.6963955	548	0	0	0
720	7436.109375	.693854	546	0	0	0
721	7441.2734375	.693854	546	0	0	0
722	7446.43798828125	.6951247	547	0	0	0
723	7451.60205078125	.6963955	548	0	0	0
724	7456.76611328125	.6824168	537	0	0	0
725	7461.93017578125	.6862292	540	0	0	0
726	7467.09423828125	.6887708	542	0	0	0
727	7472.2587890625	.6887708	542	0	0	0
728	7477.4228515625	.6875	541	0	0	0

729	7482.5869140625	.6887708	542	0	0	0
730	7487.7509765625	.6976663	549	0	0	0
731	7492.9150390625	.6976663	549	0	0	0
732	7498.0791015625	.6862292	540	0	0	0
733	7503.24365234375	.681146	536	0	0	0
734	7508.40771484375	.6760628	532	0	0	0
735	7513.57177734375	.6760628	532	0	0	0
736	7518.73583984375	.6722504	529	0	0	0
737	7523.89990234375	.6709796	528	0	0	0
738	7529.064453125	.6773336	533	0	0	0
739	7534.228515625	.6709796	528	0	0	0
740	7539.392578125	.6646256	523	0	0	0
741	7544.556640625	.6646256	523	0	0	0
742	7549.720703125	.6773336	533	0	0	0
743	7554.88525390625	.6697088	527	0	0	0
744	7560.04931640625	.6646256	523	0	0	0
745	7565.21337890625	.6646256	523	0	0	0
746	7570.37744140625	.6697088	527	0	0	0
747	7575.54150390625	.6697088	527	0	0	0
748	7580.7060546875	.6633549	522	0	0	0
749	7585.8701171875	.6684381	526	0	0	0
750	7591.0341796875	.6646256	523	0	0	0
751	7596.1982421875	.6544593	515	0	0	0
752	7601.3623046875	.6544593	515	0	0	0
753	7606.5263671875	.6544593	515	0	0	0
754	7611.69091796875	.6646256	523	0	0	0
755	7616.85498046875	.6582717	518	0	0	0
756	7622.01904296875	.6519177	513	0	0	0
757	7627.18310546875	.6468346	509	0	0	0
758	7632.34716796875	.6519177	513	0	0	0
759	7637.51171875	.6404806	504	0	0	0
760	7642.67578125	.6277726	494	0	0	0
761	7647.83984375	.6277726	494	0	0	0
762	7653.00390625	.6328558	498	0	0	0
763	7658.16796875	.6226894	490	0	0	0

764	7663.33251953125	.6112523	481	0	0	0
765	7668.49658203125	.6163355	485	0	0	0
766	7673.66064453125	.6176063	486	0	0	0
767	7678.82470703125	.6112523	481	0	0	0
768	7683.98876953125	.6036275	475	0	0	0
769	7689.1533203125	.594732	468	0	0	0
770	7694.3173828125	.5896488	464	0	0	0
771	7699.4814453125	.5807532	457	0	0	0
772	7704.6455078125	.5731285	451	0	0	0
773	7709.8095703125	.5769408	454	0	0	0
774	7714.97412109375	.5769408	454	0	0	0
775	7720.13818359375	.5718576	450	0	0	0
776	7725.30224609375	.5578789	439	0	0	0
777	7730.46630859375	.5540665	436	0	0	0
778	7735.63037109375	.5591497	440	0	0	0
779	7740.79443359375	.5616913	442	0	0	0
780	7745.958984375	.5527957	435	0	0	0
781	7751.123046875	.5578789	439	0	0	0
782	7756.287109375	.5642329	444	0	0	0
783	7761.451171875	.5616913	442	0	0	0
784	7766.615234375	.5553373	437	0	0	0
785	7771.77978515625	.5591497	440	0	0	0
786	7776.94384765625	.5655037	445	0	0	0
787	7782.10791015625	.5629621	443	0	0	0
788	7787.27197265625	.5540665	436	0	0	0
789	7792.43603515625	.5553373	437	0	0	0
790	7797.6005859375	.5591497	440	0	0	0
791	7802.7646484375	.5604205	441	0	0	0
792	7807.9287109375	.5502542	433	0	0	0
793	7813.0927734375	.5477126	431	0	0	0
794	7818.2568359375	.5426294	427	0	0	0
795	7823.42138671875	.538817	424	0	0	0
796	7828.58544921875	.532463	419	0	0	0
797	7833.74951171875	.5299214	417	0	0	0
798	7838.91357421875	.5248383	413	0	0	0

799	7844.07763671875	.5222967	411	0	0	0
800	7849.24169921875	.5184843	408	0	0	0
801	7854.40625	.5197551	409	0	0	0
802	7859.5703125	.5210258	410	0	0	0
803	7864.734375	.5184843	408	0	0	0
804	7869.8984375	.5146719	405	0	0	0
805	7875.0625	.5146719	405	0	0	0
806	7880.22705078125	.5197551	409	0	0	0
807	7885.39111328125	.5184843	408	0	0	0
808	7890.55517578125	.5159427	406	0	0	0
809	7895.71923828125	.5121303	403	0	0	0
810	7900.88330078125	.5159427	406	0	0	0
811	7906.0478515625	.526109	414	0	0	0
812	7911.2119140625	.5184843	408	0	0	0
813	7916.3759765625	.5159427	406	0	0	0
814	7921.5400390625	.5108595	402	0	0	0
815	7926.7041015625	.5083179	400	0	0	0
816	7931.86865234375	.5045055	397	0	0	0
817	7937.03271484375	.4968808	391	0	0	0
818	7942.19677734375	.49561	390	0	0	0
819	7947.36083984375	.4981515	392	0	0	0
820	7952.52490234375	.4981515	392	0	0	0
821	7957.68896484375	.4968808	391	0	0	0
822	7962.853515625	.4968808	391	0	0	0
823	7968.017578125	.4943392	389	0	0	0
824	7973.181640625	.4841728	381	0	0	0
825	7978.345703125	.482902	380	0	0	0
826	7983.509765625	.4981515	392	0	0	0
827	7988.67431640625	.489256	385	0	0	0
828	7993.83837890625	.4867144	383	0	0	0
829	7999.00244140625	.4816312	379	0	0	0
830	8004.16650390625	.489256	385	0	0	0
831	8009.33056640625	.4841728	381	0	0	0
832	8014.4951171875	.4778188	376	0	0	0
833	8019.6591796875	.4816312	379	0	0	0

834	8024.8232421875	.476548	375	0	0	0
835	8029.9873046875	.4651109	366	0	0	0
836	8035.1513671875	.4612985	363	0	0	0
837	8040.31591796875	.4663817	367	0	0	0
838	8045.47998046875	.4600277	362	0	0	0
839	8050.64404296875	.4473198	352	0	0	0
840	8055.80810546875	.4409658	347	0	0	0
841	8060.97216796875	.4498613	354	0	0	0
842	8066.13623046875	.4384242	345	0	0	0
843	8071.30078125	.4257163	335	0	0	0
844	8076.46484375	.4219039	332	0	0	0
845	8081.62890625	.4282579	337	0	0	0
846	8086.79296875	.4307994	339	0	0	0
847	8091.95703125	.4168207	328	0	0	0
848	8097.12158203125	.4066543	320	0	0	0
849	8102.28564453125	.402842	317	0	0	0
850	8107.44970703125	.4041127	318	0	0	0
851	8112.61376953125	.3914048	308	0	0	0
852	8117.77783203125	.3875924	305	0	0	0
853	8122.9423828125	.3825092	301	0	0	0
854	8128.1064453125	.3888632	306	0	0	0
855	8133.2705078125	.390134	307	0	0	0
856	8138.4345703125	.3875924	305	0	0	0
857	8143.5986328125	.3914048	308	0	0	0
858	8148.76318359375	.3914048	308	0	0	0
859	8153.92724609375	.3850508	303	0	0	0
860	8159.09130859375	.38378	302	0	0	0
861	8164.25537109375	.3863216	304	0	0	0
862	8169.41943359375	.390134	307	0	0	0
863	8174.58349609375	.3863216	304	0	0	0
864	8179.748046875	.3761553	296	0	0	0
865	8184.912109375	.3774261	297	0	0	0
866	8190.076171875	.3761553	296	0	0	0
867	8195.240234375	.3698013	291	0	0	0
868	8200.404296875	.3672597	289	0	0	0

869	8205.568359375	.3647181	287	0	0	0
870	8210.732421875	.3596349	283	0	0	0
871	8215.8974609375	.3545517	279	0	0	0
872	8221.0615234375	.3520102	277	0	0	0
873	8226.2255859375	.3494686	275	0	0	0
874	8231.3896484375	.3520102	277	0	0	0
875	8236.5537109375	.3418438	269	0	0	0
876	8241.7177734375	.3393022	267	0	0	0
877	8246.8818359375	.334219	263	0	0	0
878	8252.0458984375	.3354898	264	0	0	0
879	8257.2099609375	.3304066	260	0	0	0
880	8262.3740234375	.3278651	258	0	0	0
881	8267.5380859375	.3316774	261	0	0	0
882	8272.703125	.334219	263	0	0	0
883	8277.8671875	.3304066	260	0	0	0
884	8283.03125	.3265943	257	0	0	0
885	8288.1953125	.3316774	261	0	0	0
886	8293.359375	.3316774	261	0	0	0
887	8298.5234375	.3253235	256	0	0	0
888	8303.6875	.3215111	253	0	0	0
889	8308.8515625	.3164279	249	0	0	0
890	8314.015625	.3176987	250	0	0	0
891	8319.1796875	.3113447	245	0	0	0
892	8324.3447265625	.3075323	242	0	0	0
893	8329.5087890625	.3075323	242	0	0	0
894	8334.6728515625	.3024492	238	0	0	0
895	8339.8369140625	.3049907	240	0	0	0
896	8345.0009765625	.2999076	236	0	0	0
897	8350.1650390625	.2935536	231	0	0	0
898	8355.3291015625	.2884704	227	0	0	0
899	8360.4931640625	.2757625	217	0	0	0
900	8365.6572265625	.2617837	206	0	0	0
901	8370.8212890625	.2605129	205	0	0	0
902	8375.9853515625	.2567005	202	0	0	0
903	8381.150390625	.2452634	193	0	0	0

904	8386.314453125	.2363678	186	0	0	0
905	8391.478515625	.2173059	171	0	0	0
906	8396.642578125	.2109519	166	0	0	0
907	8401.806640625	.2096811	165	0	0	0
908	8406.970703125	.1944316	153	0	0	0
909	8412.134765625	.1868068	147	0	0	0
910	8417.298828125	.1817237	143	0	0	0
911	8422.462890625	.1677449	132	0	0	0
912	8427.626953125	.1639325	129	0	0	0
913	8432.7919921875	.1690157	133	0	0	0
914	8437.9560546875	.1664741	131	0	0	0
915	8443.1201171875	.1664741	131	0	0	0
916	8448.2841796875	.1690157	133	0	0	0
917	8453.4482421875	.1664741	131	0	0	0
918	8458.6123046875	.1652033	130	0	0	0
919	8463.7763671875	.1664741	131	0	0	0
920	8468.9404296875	.1664741	131	0	0	0
921	8474.1044921875	.1740989	137	0	0	0
922	8479.2685546875	.1779113	140	0	0	0
923	8484.4326171875	.1766405	139	0	0	0
924	8489.59765625	.1791821	141	0	0	0
925	8494.76171875	.1766405	139	0	0	0
926	8499.92578125	.1702865	134	0	0	0
927	8505.08984375	.1690157	133	0	0	0
928	8510.25390625	.1677449	132	0	0	0
929	8515.41796875	.1664741	131	0	0	0
930	8520.58203125	.1690157	133	0	0	0
931	8525.74609375	.1728281	136	0	0	0
932	8530.91015625	.1664741	131	0	0	0
933	8536.07421875	.1664741	131	0	0	0
934	8541.2392578125	.1677449	132	0	0	0
935	8546.4033203125	.1652033	130	0	0	0
936	8551.5673828125	.1639325	129	0	0	0
937	8556.7314453125	.1664741	131	0	0	0
938	8561.8955078125	.1652033	130	0	0	0

939	8567.0595703125	.1613909	127	0	0	0
940	8572.2236328125	.1652033	130	0	0	0
941	8577.3876953125	.1664741	131	0	0	0
942	8582.5517578125	.1664741	131	0	0	0
943	8587.7158203125	.1626617	128	0	0	0
944	8592.8798828125	.1639325	129	0	0	0
945	8598.044921875	.1639325	129	0	0	0
946	8603.208984375	.1626617	128	0	0	0
947	8608.373046875	.1677449	132	0	0	0
948	8613.537109375	.1639325	129	0	0	0
949	8618.701171875	.1588493	125	0	0	0
950	8623.865234375	.1639325	129	0	0	0
951	8629.029296875	.1664741	131	0	0	0
952	8634.193359375	.1652033	130	0	0	0
953	8639.357421875	.1652033	130	0	0	0
954	8644.521484375	.1652033	130	0	0	0
955	8649.6865234375	.1639325	129	0	0	0
956	8654.8505859375	.1652033	130	0	0	0
957	8660.0146484375	.1664741	131	0	0	0
958	8665.1787109375	.1613909	127	0	0	0
959	8670.3427734375	.1702865	134	0	0	0
960	8675.5068359375	.1702865	134	0	0	0
961	8680.6708984375	.1690157	133	0	0	0
962	8685.8349609375	.1664741	131	0	0	0
963	8690.9990234375	.1613909	127	0	0	0
964	8696.1630859375	.1690157	133	0	0	0
965	8701.3271484375	.1740989	137	0	0	0
966	8706.4921875	.1766405	139	0	0	0
967	8711.65625	.1779113	140	0	0	0
968	8716.8203125	.1779113	140	0	0	0
969	8721.984375	.1766405	139	0	0	0
970	8727.1484375	.1779113	140	0	0	0
971	8732.3125	.1753697	138	0	0	0
972	8737.4765625	.1791821	141	0	0	0
973	8742.640625	.1804529	142	0	0	0

974	8747.8046875	.1753697	138	0	0	0
975	8752.96875	.1728281	136	0	0	0
976	8758.1337890625	.1715573	135	0	0	0
977	8763.2978515625	.1690157	133	0	0	0
978	8768.4619140625	.1690157	133	0	0	0
979	8773.6259765625	.1715573	135	0	0	0
980	8778.7900390625	.1702865	134	0	0	0
981	8783.9541015625	.1677449	132	0	0	0
982	8789.1181640625	.1563078	123	0	0	0
983	8794.2822265625	.1652033	130	0	0	0
984	8799.4462890625	.1664741	131	0	0	0
985	8804.6103515625	.1652033	130	0	0	0
986	8809.7744140625	.1626617	128	0	0	0
987	8814.939453125	.1690157	133	0	0	0
988	8820.103515625	.1677449	132	0	0	0
989	8825.267578125	.1639325	129	0	0	0
990	8830.431640625	.1626617	128	0	0	0
991	8835.595703125	.1639325	129	0	0	0
992	8840.759765625	.1652033	130	0	0	0
993	8845.923828125	.1677449	132	0	0	0
994	8851.087890625	.1690157	133	0	0	0
995	8856.251953125	.1690157	133	0	0	0
996	8861.416015625	.1639325	129	0	0	0
997	8866.5810546875	.1677449	132	0	0	0
998	8871.7451171875	.1677449	132	0	0	0
999	8876.9091796875	.155037	122	0	0	0
1000	8882.0732421875	.1537662	121	0	0	0
1001	8887.2373046875	.1537662	121	0	0	0
1002	8892.4013671875	.155037	122	0	0	0
1003	8897.5654296875	.1588493	125	0	0	0
1004	8902.7294921875	.1524954	120	0	0	0
1005	8907.8935546875	.1524954	120	0	0	0
1006	8913.0576171875	.1575786	124	0	0	0
1007	8918.2216796875	.1588493	125	0	0	0
1008	8923.38671875	.1448706	114	0	0	0

1009	8928.55078125	.1410582	111	0	0	0
1010	8933.71484375	.1499538	118	0	0	0
1011	8938.87890625	.1461414	115	0	0	0
1012	8944.04296875	.142329	112	0	0	0
1013	8949.20703125	.1410582	111	0	0	0
1014	8954.37109375	.1410582	111	0	0	0
1015	8959.53515625	.1435998	113	0	0	0
1016	8964.69921875	.1474122	116	0	0	0
1017	8969.86328125	.1347042	106	0	0	0
1018	8975.0283203125	5.464417E-02	43	0	0	0
1019	8980.1923828125	0	0	0	0	0
1020	8985.3564453125	0	0	0	0	0