Csillagászati Laboratórium I.
7. óra: Csillagok spektrálklasszifikációja

1. A labor célkitűzése

- Különböző spektráltípusú csillagok spektrumának felvétele.
- Felismerni az egyes spektráltípusokat.
- A csillagok távolságának becslése spektrummérések alapján.

2. A csillagok spektrálklasszifikációjának története

Egy fényforrás spektruma megadja az adott forrás sugárzási intenzitásának hullámhossz szerinti eloszlását. Az első csillagspektrum érthető mód a Napról készült. A XIX. század elején Joseph Fraunhoffer észrevette, hogy a Nap spektrumában sok-sok fekete vonal található. Precíz műszerével Ő ezeket katalogizálta és a főbb (vastag) vonalaknak neveket is adott. Angelo Secchi és E. C. Pickering vette észre először, hogy a csillagokat spektrumuk alapján csoportokba lehet rendezni. Az első csoportok a vonalak bizonyos előfordulása alapján történt. Mivel a csoportok elkülönítése nagy számú csillagspektrum feldolgozását kívánta, ezért Pickering a feladatra sok-sok női kollégát kezdett el dolgoztatni a Harvard-Smithsonian csillagászati intézetében. Ez volt a híres „Pickering háreme". A legelismertebb női kollégák: Williamina Fleming, Annie Cannon és Antonia Maury voltak. Ebből a munkából született a jól ismert Henry Draper katalógus. Az elemzések alapján a korábbi csoportokat átrendezték a spektrálvonalak alapján, hogy a jellegzetes vonalcsoportok milyen erősségűek: O, B, A, F, G, K, és M. Itt is észrevehető a csillagászat hagyomány tisztelete azon, hogy nem nevezték át csoportokat. Mindegyik csoport 10 alosztályra van osztva (kívéve az O-t, ami 5-től kezdődik).

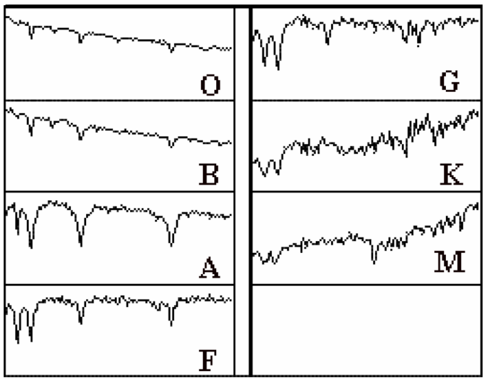
Az 1930-as években értették csak meg a csillagászok, hogy ez a spektráltípus szekvencia valójában miért is ilyen. A csillagok kémiai összetétele ugyan nem teljesen egyforma, de közelítően azonos (főleg a fosorozati csillagokon belül), így nyílvánvaló, hogy nem ez okozta a spektráltípusok különbözősségét. Ekkor jöttek rá, hogy a szekvencia egy, a felszíni hőmérséklet szerinti csökkenő sorozatot alkot (az O színképtípus, mint forró kék csillagok, míg az M a hideg vörös csillagok). Hogy hogyan lehet a spektrumvonalakból a felszíni hőmérsékletre következtetni? Például az O színképtípusú csillagok spektrumában megtalálható a Hélium egyszeresen ionizált (HeII) vonala. A Hélium atom a legstabilabb atom, így elképzelhető, hogy mekkora nagy felszíni hőmérséklet ($\sim$ 40000K) szükséges ahhoz, hogy ionizálódjon, s így ez az abszorbciós vonal látható legyen! A kisebb felszíni hőmérsékletű csillagok atmoszférájában már molekulák is megtalálhatóak, így azok spektrumában ezen molekulák abszorbciós vonalai is megfigyelhetőek. Azaz az O színképtípusú csillagok forrók, míg az M-ek hidegek. Ha egy vasdarabot el kezdünk izzítani, akkor először vörös, majd sárga lesz. Ha tovább is melegítenénk, s nem olvadna el, akkor pedig kékké változna, mint a gáz lángja. Azaz ennek analógiájára a hűvösebb csillagok vörösek, a forróbbak pedig kékek.

Később rájöttek, hogy ezen egy paraméterrel nem lehet még teljesen jellemezni egy csillagot, ugyanis például lehet egy csillag tömege többszöröse a Napénak, de ettől függetlenül ugyanúgy 5500K felszíni hőmérsékletű. W. W. Morgan és P. C. Keenan az 1940-es években bevezették az „MK rendszert", melynél figyelembe veszik a csillagok luminozitását is. Ma összesen **hét darab** luminozitási osztályt különítünk el (1. táblázat). Ebben a rendszerben a Napunk G2V színképtípusú csillag! Az órán mi csak V. luminozitás osztályú csillagokkal, azaz fősorozatiakkal foglalkozunk!

I - II	Szuperóriások - Fényes óriások
III	Óriások
IV	Szubóriások
V	Törpék (= fősorozati csillagok)
VI	Szubtörpék
VII	Fehér törpék

1. táblázat. A csillagok luminozitás osztályai

Egy csillag spektráltípusa gyakorlatilag a legfontosabb paramétere! Ha netán olyan csillaggal kezdünk el foglalkozni, melynek nem ismerjük a spektráltípusát, akkor először azt kell meghatározni. Ezt korábbi **Atlas** csillagok segítségével tehetjük meg. Ilyen tipikus spektrumokat láthatunk a 2. ábrán. Az ábrákon 3900 Å-től 4500 Å-ig vannak ábrázolva a spektrumok. Az ábrák y tengelyén ábrázolt intenzitások 1-re normálva vannak, azaz a maximális intenzitás 1-nek, a nulla intenzitás pedig nullának van véve! (Vigyázzunk, ez nem egyenlő a harmadéven tanulandó „kontínum normálással”!) Jól látható a különbözősség az egyes spektráltípusú csillagok spektrumai között. Egy csillag spektrumából rengeteg információt megtudhatunk, kezdve a luminozitásától, a színén át, következtetni lehet a távolságára is! Ezekből viszont a tömegére és a korábbi életére is tudunk becsléseket tenni. Így spektrális vizsgálatokból a csillagok evolúcióelméletét is ellenőrizhetjük.



1. ábra. Különböző spektráltípusú csillagok spektrumai

3. A mérések

A mérés két különböző részből fog állni. Az első egy spektrum ábrázoló és klasszifikációs rész. Itt lehetőség nyílik arra, hogy egy ismeretlen spektrumú csillag spektrumát ismertével összehasonlítva klasszifikáljátok az ismeretlent.

A második rész egy virtuális mérés valamilyen csillagmezőre. Itt három különböző nagyságú és nagyítású távcsövet lesz alkalmatok „használni”. A távcsöveket lehet használni kereső illetve mérő üzemmódban. A távcsövet lehet finommozgatni úgy, hogy a mérendő csillagok a spektrográf résébe kerüljenek. Ekkor lehet bekapcsolni a spektrométert, mely ekkor elkezdi mérni a jeleket.

3.1. A program használata - Ismeretlen csillagok klasszifikálása

Windows-ba való bejelentkezés után indítsátok ell a „Stellar Spectra” nevű CLEA programot. Az eddigiekhez hasonlóan töltsétek ki a „**Log in ...**” menüpontot.

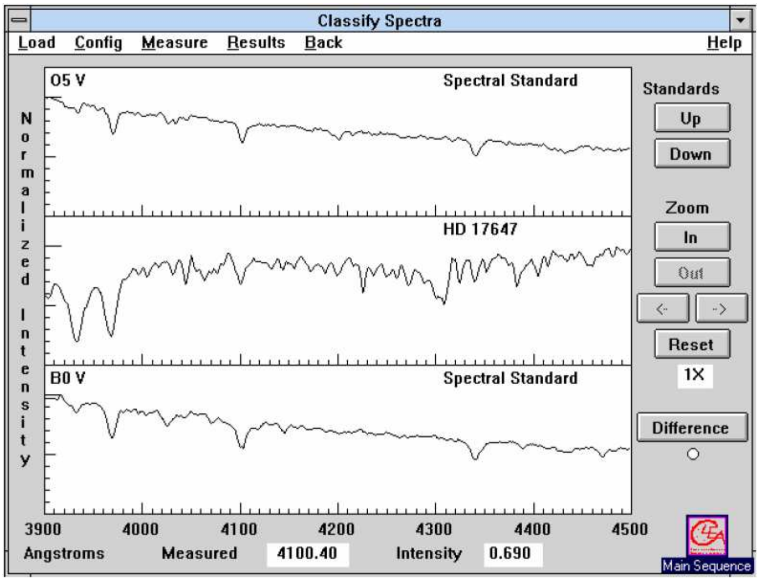
Legelőször 25 darab ismert fősorozati csillag spektrumát klasszifikáljuk gyakorlásképp. Ehhez válasszátok ki a „**Classify Spectra**” menüpontot a „**File** → **Run ...**” menüből. Ha itt bármit is kérdez a számítógép, nyugodtan nyomjátok rá, hogy „**No!**”.

Ezzel beléptetek a klasszifikációs részbe. Ennek a kezelőfelületét mutatja a 2. ábra. Itt három különböző panel látható. A középsőben mindig a vizsgálni kívánt, ismeretlen spektrumú csillagnak a spektruma lesz megjelenítve. A felsőben illetve az alsóban pedig a listában az egymás utáni összehasonlítható, standard spektrumok lesznek láthatóak.

Először határozzuk meg pár ismeretlen csillag spektrumát. A „**File**” menüpontban három választási lehetőség közül válasszátok az „**Unknown Spectrum ... Program List**” pontokat. Itt sok csillag lesz látható egy listán. Válasszátok ki az elsőt. A középső ablakon ennek hatására megjelenik a HD124320 spektruma. Megvizsgálva látható, hogy a spektrumvonal egy folytonos görbéből („kontinuum”) illetve az azon ülő abszorpciós vonalakból áll. A kontinuum sugárzás az, mely a fotoszférából felénk jön. Ebből nyeli el a csillag atmoszférája a bizonyos elemekre jellemző vonalakat.

Határozzuk meg a csillagok spektráltípusát. Ehhez spektrális standardokkal össze kell hasonlítanunk őket. Az összehasonlító csillag spektrumát megjeleníthetjük a „**File ... Atlas of Standard Spectra**” pontokkal. Az összes csillag, amivel dolgozni fogunk, mind fősorozati csillag, így válasszuk ki azt a listából.

Nézegessétek végig a különböző spektrumokat, észben tartva, hogy O-tól M-ig a csillagok felszíni hőmérséklete egyre jobban csökken. Észrevehető, hogy mind a kontinuum alakja, mind pedig a vonalak megjelenése is jelentősen változik. Nyílvánvalóan a kontinuum sugárzás az maga a fekete test sugárzás, míg a vonalak különböző ionok, atomok illetve molekulák jelenlétére utalnak.



2. ábra. A spektrál-klasszifikációs kezelőfelület

A programon belül az alsó illetve a felső ablakba egy összehasonlító spektrum került. Hogy könnyebb legyen az élet, kapcsoljátok be a „**difference**” gombot. Ezzel az alsó ablakba a felső összehasonlító és a vizsgálandó csillag spektrumainak a különbsége kerül! Így egyszerűen (némi interpolációval a színképtípusok között) meghatározható mind a huszonöt programcsillag spektruma. A jegyzőkönyvben táblázatban foglaljátok össze mind a huszonöt csillagnak a spektráltípusát illetve a legerősebb vonalainak a hullámhosszát. A sillabusz végén található táblázat alapján azonosítsátok be, hogy mely elemhez (ionhoz) tartoznak ezen hullámhosszak. Egy mintatáblázat található az eredeti angol nyelvű jegyzet 13-ik oldalán.

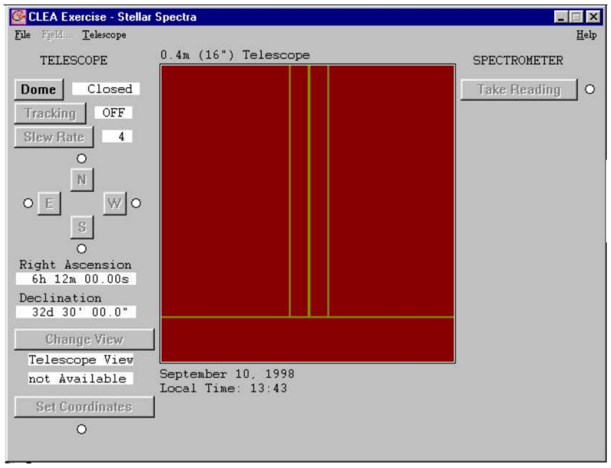
3.2. Távcsöves mérés és klasszifikálás

A mérésekhez három különböző távcsövet lehet majd használni. A távcsöveken foton-számlálós spektrográf található. A mérések során felvett spektrumot le kell majd mentenetek és a korábban használt módszerrel kell majd meghatároznotok a spektráltípusaikat.

A korábbi „Klasszifikációs programból” lépjetek ki a „**File → Return → Exit Classification Window**” pontokkal. Ezután a „**File → Run → Take spectra**” pontokkal váltsatok át a méréses programra. Ekkor egy távcsőkezelő-pult szimulációs felülete jelenik meg előttetek. Ezt a kezelőfelületet mutatja a 3. ábra. Alapból a távcsőnek az óragépe ki van kapcsolva („**Tracking**”) és a kupolarés pedig be van zárva („**Dome**”). Nyissátok ki a kupolát és nézzétek meg, hogy mit lát a távcső a keresőn („**finder**”) át. A látómező ekkor körülbelül 2,5°, azaz olyan 5 Hold-átmérőnyi. A Föld forgásának hatására a csillagok „kimozdulnak” a látómezőből. A Föld forgását az óragép bekapcsolásával tudjátok kompenzálni. A távcsövet állítsátok rá egy viszonylag fényes csillagra, az **N, S, W, E** gombok folyamatos nyomvatartásával. Ha nagyon lassan mozog a távcső, akkor a „**slew**” gomb megnyomásával ezen változtathattok. Ha már eléggé középre helyeztétek a csillagot, akkor a „**Change View**” gomb megnyomásával a műszer látómezejét láthatjátok. Ez már csak 15″ átmérőjű. A mérendő csillagot mindíg a spektrográf résébe kell helyezni, pontosan középre.

Minden vizsgálandó csillagnak írjátok fel a koordinátáját illetve látszó fényességét. (Mi is a különbség a lásztó és az abszolút fényesség között? Mi az abszolút magnitúdó definíciója?)

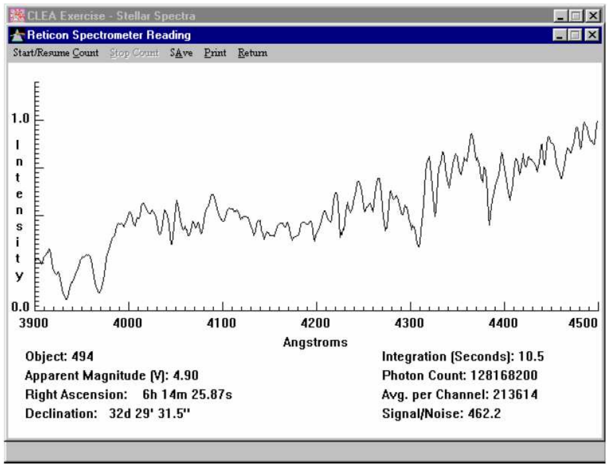
Ha a mérendő csillag a spektrográf résében van akkor kezdjétek el a mérést („**Take Reading**”). Ekkor a 4. ábrán látható ablak jelenik meg. A fényt a „**Start/Resume count**” gomb be- illetve kikapcsolásával tudjátok beengedni a műszerbe. Minél tovább gyűjtitek a fényt, annál nagyobb lesz a jel/zaj aránya a mérésnek, s így annál pontosabb lesz. Méréseiteknél törekedjetek arra, hogy a jel/zaj („Signal/Noise”) aránya 100 fölé menjen! Ha kész vagytok a spektrumfelvétel elkészítésével, akkor mentsétek le a „**Save**” menüpont



3. ábra. A távcsöves kezelőfelület

segítségével. A lementendő spektrum nevének a csillag nevét adjátok meg egyszerűség kedvéért. Erre azért van szükség, hogy később a már megismert klasszifikációs program segítségével meg tudjátok mondani a csillag spektráltípusát.

Ehhez váltsatok át arra a programra a „**File** → **Run** → **Classify Spectra**” pontokkal. Az előbb mért spektrumot a „**File** → **Unknown Spectra** → **Saved Spectra**” menüpontokkal tudjátok előhozni.



4. ábra. A mérős kezelőfelület

4. Feladatok

1. Mérjétek meg a programcsillagok spektráltípusát. Állítsatok össze egy három oszlopos táblázatot, melynek első oszlopában a programcsillag neve, a második oszlopban a megállapított spektráltípus míg a harmadik oszlopban a jellemző vonalak legyenek.
2. Az egyik programmező csillagainak vegyétek fel a spektrumát és mentsétek le őket.
3. A lementett spektrumokat klasszifikáljátok és egy, az első feladatban szerkesztett táblázathoz hasonlóban foglaljátok össze a klasszifikáció eredményét.
4. Az egyik lementett spektrumot `gnuplotban` ábrázoljátok és tegyétek bele a dolgozatba.

A. Függelék

Spektráltípus	Felszíni hőmérséklet [°K]	Jellegzetes vonalak (abszorpciósak)
O	28000 - 40000	HeII
B	10000 - 28000	HeI, HI Balmer (a hidegebbekben)
A	8000 - 10000	A legerősebb a HI Balmer az A0-nál CaII a hidegebbeknél erősödik
F	6000 - 8000	CaII erősebb, H gyengébb, Ionizált fémvonalak
G	4900 - 6000	CaII erős, Fe és fémek erősek, semleges vonalakkal H gyengül
K	3500 - 4900	Semleges vonalak erősek, CH és CN vonalak
M	2000 - 3500	Nagyon sok vonal, TiO és egyéb molekulasávok, Semleges Ca, S csillagokban ZrO, N csillagokban C_2
Wolf-Rayet	> 40000	Széles HeII emisszió, CIII és CIV emisszió