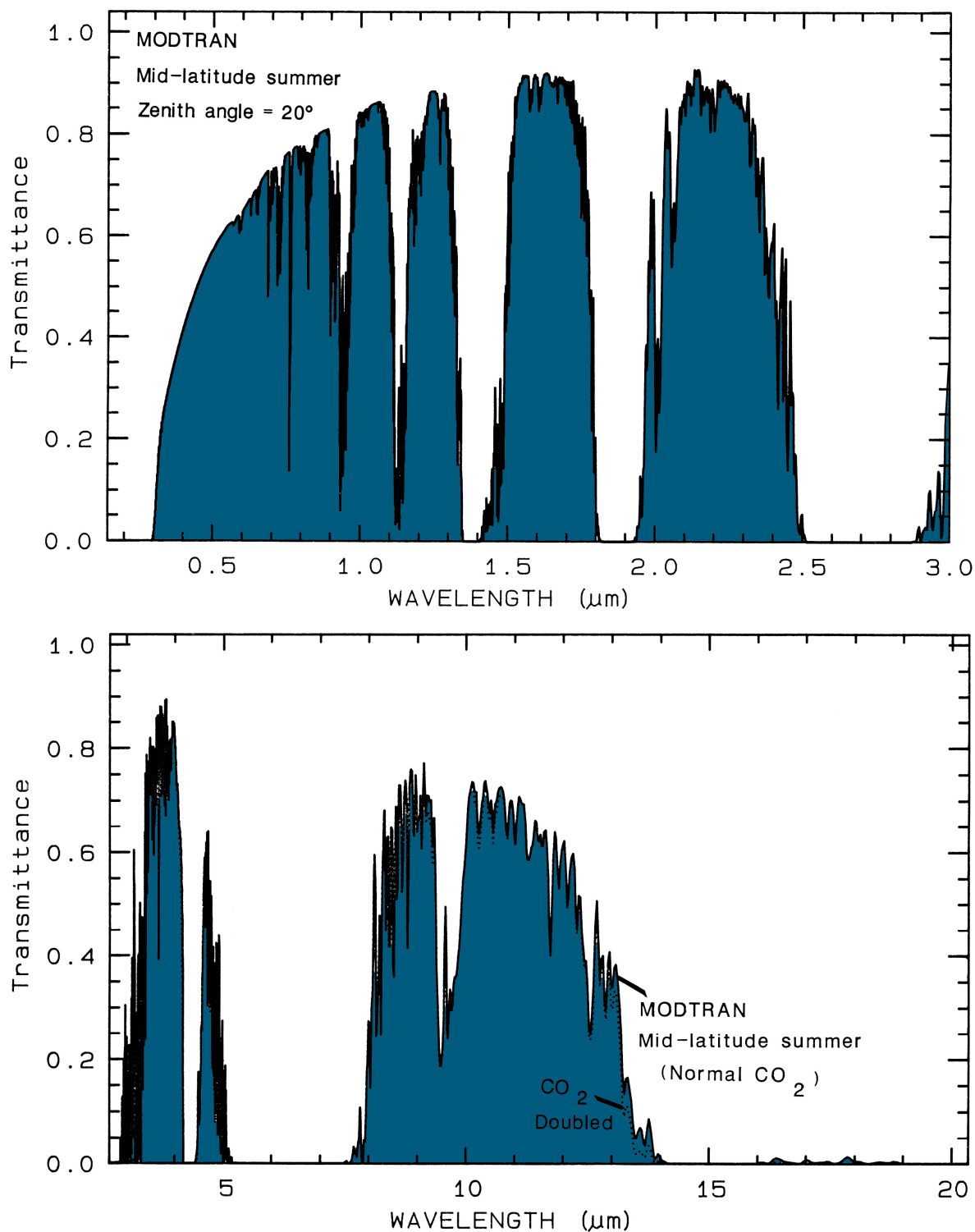


A 3. HF – infravörös spektrumok

INFRAVÖRÖS CSILLAGÁSZAT:



1. ábra.: A légkör átérésztése a MODTRAN (MODerate resolution atmospheric TRANsmission) modell alapján (<http://speclab.cr.usgs.gov/> - a szerző módosításával)

Az infravörös sugárzást [Sir Frederick William Herschel](#) (1738-1822) fedezte fel 1800-ban, amikor a fényt prizma segítségével színekkomponensekre bontotta, és tanulmányozta a komponensek hőmérsékletét (egyszerű hőmérővel). Azt tapasztalta, hogy a hőmérséklet a vörös utáni tartományban a legmagasabb, ahova látszólag már nem is érkezik fény a prizmából. További kísérleteivel kimutatta, hogy ez a sugárzás ugyanazokkal a tulajdonságokkal bír, mint a látható fény.

Ma már köztudott, hogy az infravörös (IR) sugárzás az elektromágneses sugárzás spektrumának egy keskeny szelete. (A legtágabb értelmezés szerint a 0,7-350 mikronos tartomány – de erről később, részletesen lesz szó.)

Az infravörös csillagászat tárgya az IR-sugárzás detektálása és tanulmányozása. Mivel minden objektum sugároz infravörösben – lévén az IR-sugárzás részben termikus eredetű –, így ez a kritérium nem szűkíti le a vizsgálható objektumok körét. Az emberi szem 0,69 mikronon már csak a sugárzás 1%-át érzékeli, míg 0,75 mikronon már csak 0,01%-át, így speciális detektorokra van szükség az infravörös sugárzás detektálására. Ezek az érzékelők általában 1 és 300 mikron között érzékenyek.

Az infravörös tartomány vizsgálatát megnehezíti, hogy az IR sugárzás nagy részét a légkör elnyeli, nagyrészt a benne található vízgőz (H₂O) és széndioxid (CO₂) révén. E miatt a Föld felszínéről csak keskeny áteresztési ablakokban (*1. táblázat*), illetve csupán nagyobb tengerszintfeletti magasságokban, száraz környezetben lehet megfigyeléseket végezni (3000 m felett). A légkör infravörös tartományba eső áteresztési görbáját az *1. ábrán* láthatjuk – nagyobb hullámhosszokon egyáltalán nem átlátszó (vagy csak minimális mértékben) a légkör, ez a tartomány azért nincs feltüntetve.

Hullámhossz [mikron]	Sáv	Átlátszóság	Égbolt „fényessége”
1,1 – 1,4	J	Nagyon jó	Éjjel alacsony
1,5 – 1,8	H	Nagyon jó	Nagyon alacsony
2,0 – 2,4	K	Nagyon jó	Nagyon alacsony
3,0 – 4,0	L	Közepes – jó	Alacsony
4,6 – 5,0	M	Alacsony	Magas
7,5 – 14,5	N	Közepes – alacsony	Nagyon Magas
17 – 40	Q, Z	Nagyon alacsony	Nagyon Magas
330 - 370		Nagyon alacsony	Alacsony

1. táblázat.: A légkör infravörös áteresztési ablakai

(http://coolcosmos.ipac.caltech.edu/cosmic_classroom/ir_tutorial/irwindows.html)

De nem csak a légköri elnyelés jelent problémát. Maga a légkör is erős infravörös sugárzást bocsát ki, mely nem ritkán erősebb, mint a megfigyelni kívánt objektum sugárzása. Ez az atmoszférikus sugárzás 10 mikron környékén a legerősebb. Ezen tények ismeretében egyértelmű, hogy az IR megfigyelésekhez a legideálisabb helyszín a világűr.

Az Univerzum számos szeglete optikai tartományban láthatatlan, például a látóirányba eső sűrű por és gázfelhők miatt. Az infravörös sugárzás azonban hosszabb hullámhossza révén sokkal kisebb mértékben szóródik ezekben a régiókban, mint a látható fény, azaz ezek a területek IR-ben már átlátszóbbak. A világegyetem számos olyan objektuma figyelhető meg az infravörös tartományban, mely túl hideg és halvány a látható tartományban való észleléshez. Ilyen objektumok a hideg csillagok, infravörös galaxisok, csillagok körüli felhők, ködök, intersztelláris molekula-felhők, barna törpék és a bolygók. Az infravörös kutatás egyik legérdekesebb eredménye volt a csillagok körüli diszkek kimutatása – melyek protoplanetáris korongok lehetnek. A világegyetem őstörénetének tanulmányozásában is nagy szerepe van az infravörös tartománynak, ugyanis nagy vöröseltolódások esetén a forrásokból származó UV és látható sugárzás a detektorainkba már infravörös sugárzásként érkezik a fellépő Doppler-effektus következményeként.

Az infravörös tartományt három csoportra szokás bontani. Ezek a közeli, közepes és távoli infravörös (near, mid, far) tartományok. A határok nem élesek, nincs közmegegyezés a pontos értékekről.

Tartomány	Hullámhossz [μm]	Hőmérséklet [K]
Közeli IR	(0,7-1) – 5	740 – (3000-5200)
Közepes IR	5 – (25-40)	(92,5-140) – 740
Távoli IR	(25-40) – (200-350)	(10,6-18,5) – (92,5-140)

2. táblázat.: Az infravörös tartományok

(http://coolcosmos.ipac.caltech.edu/cosmic_classroom/ir_tutorial/irregions.html)

Közeli infravörös: 0,7 és 1,1 mikron között még ugyan azokat a megfigyelési módszereket lehet alkalmazni, mint a látható tartományban – leszámítva a vizuális megfigyelést. Ebben a hullámhossztartományban a megfigyelt sugárzás még nem termikus eredetű, míg ez után már elsődlegesen az. Ahogy haladunk a hosszabb hullámhosszak felé, egyre inkább a hidegebb csillagok sugárzása válik erőteljessé – nagy vörös óriások és kis tömegű vörös törpecsillagok dominálnak ebben a tartományban, valamint ez az a régió, melyben az intersztelláris por a leginkább átlátszó.

Közepes infravörös: ebben a régióban már egyre halványabbak a hűvös csillagok is, és a domináns szerepet átveszik a bolygók, üstökösök és aszteroidák. A bolygók a csillagok sugárzásából elnyelt energiát sugározzák ki az infravörös tartományban (természetesen ez nem azonos a vizuális tartományban megfigyelhető visszavert fényvel). Ezen felül a csillagok által felfűtött por is igen jelentős ebben a tartományban – itt nem csak az intersztelláris porra, de például az állatövi fényt adó interplanetáris porra is gondolhatunk. A csillagokat körülvevő por sokszor (pl. a csillagfejlődés kezdeti fázisaiban) olyan vastag, hogy optikailag átlátszatlan, a benne található objektum csak a por sugárzása lévén válik detektálhatóvá. Így pl. a protoplanetáris korongok megfigyelése is ebben a hullámhossztartományban végezhető.

Távoli infravörös: ebben a tartományban csillagok már egyáltalán nem látszanak, csupán az igen hideg anyagok megfigyelhetőek. Ilyenek lehetnek pl. a galaxisokban található hatalmas por és gázfelhők, csillagkeletkezési régiókban található protocsillagok környezete, stb. A Tejút központja is igen fényes a távoli infravörös tartományban. Az extragalaktikus objektumok közül is főleg az aktív galaxisok központi régiója az, mely igen erős távoli-IR sugárzást bocsájt ki.

A VONALAK KELETKEZÉSE, JELLEGZETES VONALAK AZ IR-BEN: lásd Kerekes Gyöngyi előadását. Ha van igény rá, ezt a részt is beépítem a jegyzetbe, de erre már csak a vizsgák után lenne időm.

AZ ISO: az **Infrared Space Observatory**, az Európai Űrügynökség (ESA – European Space Agency) csillagászati megfigyelő műholdja (5,3×3,6×2,8 méter, 2400 kg) volt, és 1995. november és 1998. május között működött. A 2,5 és 240 mikron közötti tartományban végzett méréseket az elektromágneses spektrum infravörös tartományában. A bizonyos szempontból elődjének is tekinthető amerikai-német-brit összefogás eredményeképpen megszülető IRAS műholdnál 1000-szer érzékenyebb és 100-szor jobb szögfelbontásra képes (12 mikronon) műszerekkel szerelték fel. Életciklusa során nagyjából 26000 megfigyelést végzett, több mint 500 tudományos csoportnak.

Az ISO-nak négy műszere volt. Az Infravörös Kamera (Infrared Camera – **ISOCAM**: lényegében egy IR „fényképezőgép”, mely a 2,5 és 17 mikron közötti tartományt lefedő fotókat készített), a Fotó-polariméter (Photo-Polarimeter – **ISOPHOT**: a csillagászati objektumokból érkező IR sugárzás mennyiségének detektálására tervezték, a teljes 2,5-240 mikronos tartományban érzékelt, így lehetővé vált az alig az abszolút zérus hőmérséklet feletti objektumok, pl. intersztelláris porfelhők észlelése is), a Rövid-hullámú Spektrométer (Short-Wave Spectrometer – **SWS**: a 2,4-45 mikronos tartományt lefedő spektrométer, eredményei révén sokat bővült tudásunk az Univerzum kémiáját, anyagösszetételét illetően) és a Hosszú-hullámú Spektrométer (Long-Wave Spectrometer – **LWS**: a 45-196,8 mikronos tartományt lefedő spektrométer, mely főleg az SWS-nél hidegebb objektumokra koncentrált, és különösen a hideg intersztelláris porfelhőkről tudunk meg sokat általa). – a műszerek részletes leírása megtalálható az **ISO Handbook**-ban.

Mind az SWS-t, mind az LWS-t több módon lehetett üzemeltetni. Ezek úgynevezett **AOT**-khez, azaz **Astronomical Observation Template**-ekhez kapcsolódtak.

Voltak **közepes spektrális felbontású** észlelések (**SWS01**, **SWS02**, **SWS06**, valamint **L01**, **L02**) és **nagy spektrális felbontású** megfigyelések (**SWS07** és **L03**, **L04**). Ezen észlelési sablonok egy része (pl. az L01 és az L03) az egész hullámhossztartományt lefedte, míg másik részük csak bizonyos adott hullámhosszak szűk környezetét (pl. az L02 és az L04). Ezeknek a sablonoknak a részletes leírása ugyancsak megtalálható az **ISO Handbook**-ban.

HÁZI FELADAT: egy az ISO adatbázisából tetszőlegesen választott objektum infravörös spektrumának feldolgozása egy önállóan elkészített IDL script segítségével; a kontinuum jellemzése és minimum egy vonal illesztése, paramétereinek meghatározása.

A HASZNÁLT ÉS HIVATKOZOTT FORRÁSOK:

ISO facts (http://www.iso.esac.esa.int/outreach/bck_grnd/iso_fact.htm)

The ISO Handbook (<http://www.iso.esac.esa.int/users/handbook/>)

ISO Data Archive 11.0 (<http://www.iso.vilspa.esa.es/ida/>)

Cool Cosmos (<http://coolcosmos.ipac.caltech.edu/>)

Astrophysics Data System (http://adsabs.harvard.edu/abstract_service.html)

ApJ **243**, 170-174.: Far-Infrared Emission-line and Continuum Obs. of NGC 7027 [Melnick et al. 1981]

MNRAS **290**, L71-L75.: An ISO LWS detection of CH in NGC 7027 and an HeH⁺ upper limit [Liu et al. 1997]

A MEGOLDÁS MENETE: a feladat megoldásához először egy olyan objektumot kell választanunk, melyről ezután megfelelő adatot is találhatunk az ISO adatbázisában.

A keresést a legkönnyebben, leghatékonyabban és legkézenfekvőbben úgy tehetjük meg, ha az ADS-ben rákeresünk a megfelelő kulcsszavakra (vagy lehet egyből az ISO adatbázisban kezdeni, és visszafelé megoldani a problémát, de ehhez ismernünk kell legalább egy olyan objektumot, amiről biztosan van mérés) – ezek közül az egyik legyen az ISO, az SWS és/vagy az LWS, és ha esetleg konkrét elképzelésünk van a feldolgozni kívánt objektum típusáról, akkor azt is érdemes beírni. Így számos cikket kiad majd a rendszer, érdemes ezek közül a szimpatikusabbakba beleolvasni. A lehető legjobb az az eset, amikor a cikkben említik, hogy mi a feldolgozott spektrum hivatkozási száma (TDT), mert akkor konkrétan erre az adatsorra nagyon egyszerűen rátalálhatunk majd az ISO adatbázisban. Azért is érdemes ezt az utat követni, mert így a cikk(ek) alapján sokkal könnyebben és nem utolsó sorban biztosabban beazonosíthatjuk a vonalainkat, mintha azokat valamilyen táblázatból határoznánk meg.

Tehát ha megvan az objektum neve, vagy optimális esetben a TDT-szám, akkor mehetünk is az ISO adatbázisba (érdeemes regisztrálni, mert bizonyos szolgáltatások csak így érhetőek el). Itt beadhatjuk a TDT-számot, de rákereshetünk névre, objektum típusra, vagy egy koordináta adott sugarú környezetére is, illetve kiválaszthatjuk, hogy mely műszerekkel készült adatsorokra vagyunk kíváncsiak. Ez után az *Execute Query* gomb megnyomásával lekérhetjük az űrlap kitöltésének megfelelő adatsorok listáját. Itt egymás alatt elég sok információt és egy előnézeti képet is tartalmazó cellákat (ha TDT-számot adtunk meg, akkor csak az ahhoz tartozó egy darab cellát) kapunk, melyek a nekünk megfelelő adatrokhoz/adatsorhoz tartoznak.

Details	Related	NGC7027	LWS01	21h07m01.23s	+42d14'07.3"	-----
Articles	HPDP	Medium resolution wavelength range		Scientifically Validated		
<input type="checkbox"/> Retrieve Default Dataset		43.01-50.48	49.53-63.97	56.100-1	Planetary Nebula	f.o.v. 84" D
<input type="checkbox"/> Query Other Archives		37701104	LWS_CAL	CAL_R377	1996-11-27 15:04:27.9	2084 sec
<input type="button" value="Retrieve Other Products"/>						<input type="button" value="Quality Report"/>

2. ábra.: Az eredmények ilyen cellákban jelennek meg

A fent látható cellában található információs mezők fölé helyezve az egeret megjelenik a kérdéses mező rövid leírása – így megkaphatunk minden szükséges információt az objektumról és az adatokról. Ebben a minta-megoldásban az NGC 7027 jelű [planetáris ködnek](#) (21^h 07^m 01,6^s, +42° 14' 10,0") az LWS műszerrel készített infravörös spektrumát fogjuk körüljárni, a házi feladat megoldásához használható egy példa script-et végignézni.

Milyen [információkat](#) érdemes a megoldásban is feltüntetni a mérésről és az objektumról? Ahogy azt már láthattuk, elengedhetetlen az objektum neve, koordinátái, műszer neve, mellyel az adatsort készítették, stb. Így a még nem említett de fontos paraméterek lehetnek: a feldolgozott adatsor ISO adatbázisbeli hivatkozási száma [TDT 37701104](#), a mérést a [43,01-195,41 μm](#) hullámhossztartományban végezték [1996. november 27-én...](#)

Az adatsort a [Retrive Default Dataset](#) gomb megnyomásával tölthetjük le egy tömörített (.tar) állományban (ehhez már regisztrált felhasználónak kell lennünk). Ebben a csomagban általában találunk egy kicsi és egy nagy előnézeti képet, két .fits file-t az adatokkal, illetve a számunkra talán legkönnyebben kezelhető .txt file-t, mely ugyancsak az adatokat tartalmazza. Természetesen lehet egyből .fits-t beolvasni és az adatokat ez után feldolgozni, de most a text file-os megoldással foglalkozunk (az elmélet ugyan az, csak pár kezdeti lépés más, de a megfelelő adatformátum elérése után az illesztések megírása már teljes mértékben ugyan úgy zajlik).

Első lépésként egy könnyen kezelhető adatsort kell készítenünk a letöltött txt file-ból, mely az adatokon kívül egyéb információkat is tartalmaz a FITS file-okéhoz hasonló header-ben. Ezt például megtehetjük úgy, hogy [az azonos hullámhosszakhoz de különböző scan-ekhez tartozó fluxusokat kiátlagoljuk](#), majd úgy [normáljuk](#), hogy [100 μm-en a fluxus egység nagyságú legyen](#) (így „emberibb” értékekkel dolgozhatunk a későbbiekben), végül ezekből egy két oszlopból (hullámhossz, normált fluxus) álló file-t készítünk – az iménti lépéseket még akár valamilyen táblázatkezelő program segítségével is elvégezhetjük. Ezután következik az IDL-es munka (itt most csak egy példa kerül bemutatásra, de próbáljuk meg önállóan hatékonyabb és esetleg egyszerűbb rutinokat írni – bőven vannak olyan pontok, ahol más megoldás is lehetséges), amit először röviden tekintsünk át, aztán kövessük végig lépésről lépésre az egyik lehetséges megoldást.

Az adatok beolvasása után először a kontinuum illesztésével foglalkozunk. Ehhez meg kell szűrni a fluxusértékeket, hogy a vonalakat itt ne vegyük figyelembe. Ez történhet például úgy, hogy ahol az egymás után következő fluxusértékek között az eltérés nagyobb, mint egy [delta érték](#), ott kivágjuk a pontokat. A deltát jelen esetben [0,05](#)-nek választva a beolvasott 4075 pontból 2867 marad meg (érdeemes a szűrést vizuálisan – „szemre” – ellenőrizni). [Első nekifutásra ebben a példában érdemes mondjuk Rayleigh-Jeans függvényt illeszteni](#) (a hőmérséklet paramétert változónak hagyni és léptetni, a kész függvényeket 100 mikronnál normálni, és a minimális négyzetes eltérést keresni), de ez a rövid hullámhosszon kissé eltér a mért kontinuumtól. Ezért a λ kitevőjét „-4”-ről itt „-3,5”-re változtatjuk. Így [az illesztett függvény](#):

$$F(\lambda, T) = \frac{2ckT}{\lambda^{3,5}}$$

Ezek után a függvényt kivonjuk a spektrumból, így azt 0 környezetére normáljuk – azaz elméletileg (ha az illesztés tökéletes) csak a vonalak maradnak meg. Fontos, hogy nem csak ilyen alakú kontinuumokat fogunk találni, de valamilyen hatványfüggvénnyel szinte minden esetben megfelelően jó illesztést lehet elérni.

Végül következhet a **vonalak illesztése**: a hivatkozott cikkek alapján az [OI] és a [CII] vonalakat vizsgáljuk. Ezeknek egy kisebb környezetét vágjuk ki, így egyszerűbben dolgozhatunk – érdemes automatikusan egy adott környezetben megkeresni a vonalhoz tartozó hullámhossz és intenzitás értékeket, mert később ezek ismeretében könnyebben automatizálhatjuk a script-ünket. Generáljunk a tartományba egy a vonalhoz tartozó hullámhosszértékre elhelyezett **Gauss-függvényt**, és ezt hozzáadva a kontinuum függvényéhez, vizsgáljuk a négyzetes eltérést, és illesszük a Gauss-függvény paramétereit. (Ezt a lépést is érdemes máshogy, elegánsabban, vagy hatékonyabban megoldani.)

$$f(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \cdot e^{-\frac{(x-m)^2}{2\sigma^2}} \cdot C \quad \text{A Gauss-függvény}$$

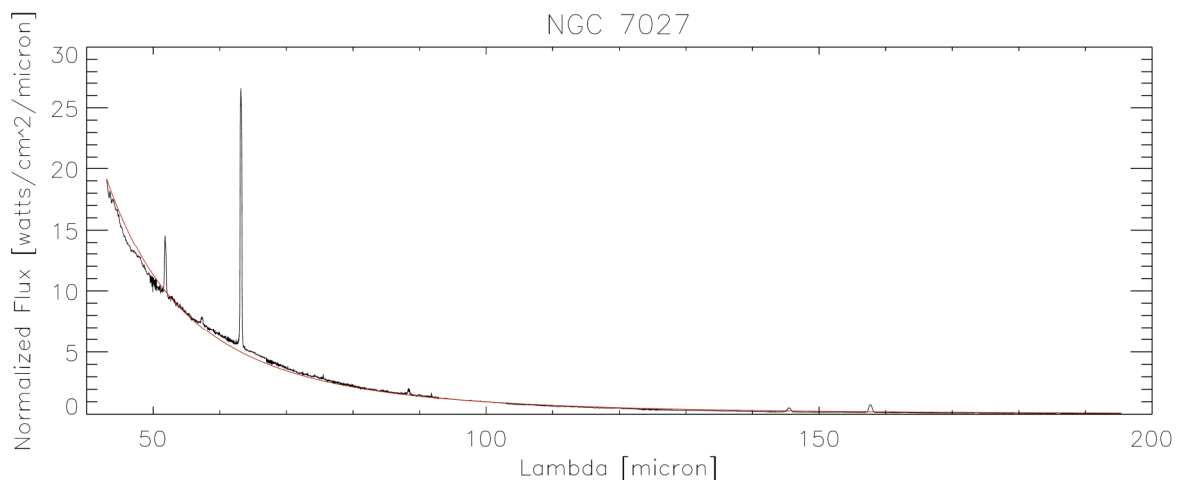
Két egymásba épülő ciklussal léptetve mind a szigmát, mind egy normálási tényezőt (C), lényegében a félértékszélesség és a „maximális intenzitás” változtatását érhetjük el. A legkisebb eltéréshez tartozó paramétereket kiíratjuk (lásd a 9. oldal alján) és automatikusan ezekkel készítetjük el az ábrákat is.

Végül pedig számoljuk ki a Gauss-görbékhez tartozó **félértékeket** a következő képlet segítségével:

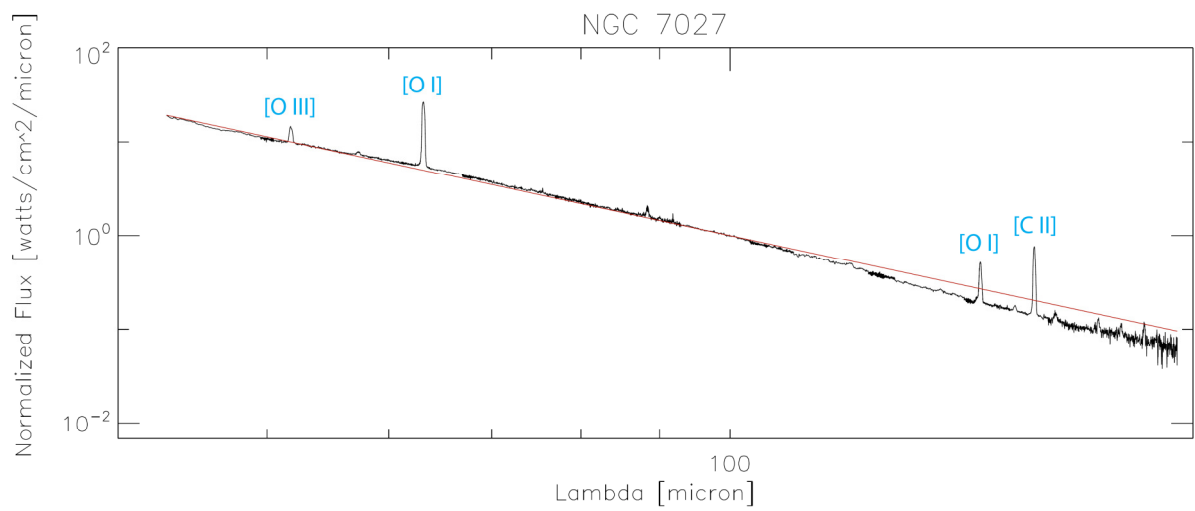
$$FWHM = 2\sigma\sqrt{2\ln 2}$$

Ezzel a házi nehezebb részével készen is vagyunk, már csak véglegesíteni kell az ábrákat (melyeket a következőkben még a minta-program lépésről lépésre történő végigkövetése előtt láthatunk) és összerakni egy jegyzőkönyvet.

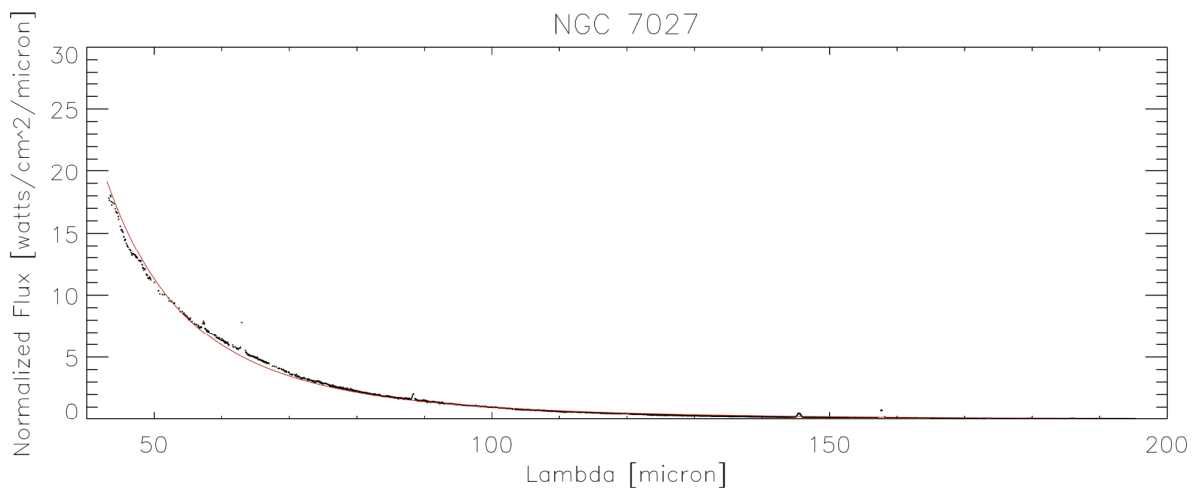
AZ ÁBRÁK ÉS A KINYERT ADATOK:



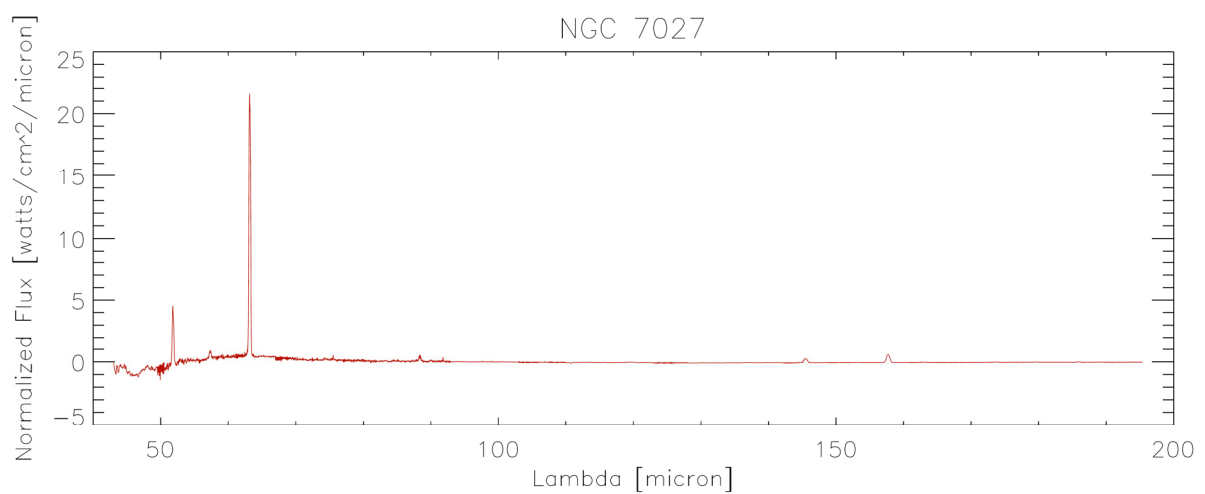
3. ábra.: Az NGC 7027 spektruma az *illesztett függvénnyel*



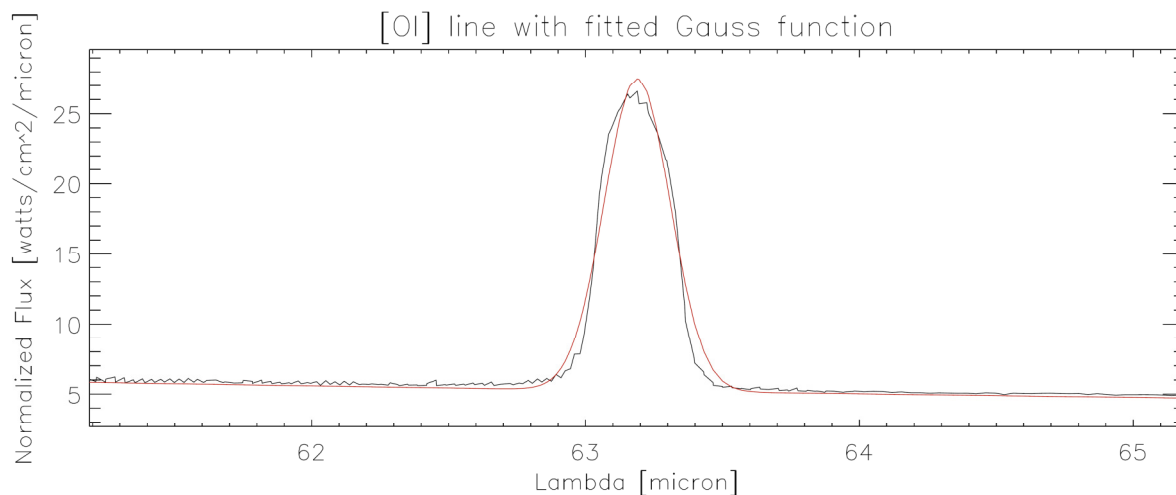
4. ábra.: Mint a 3. ábra, csak log-log skálán és *pár vonal megnevezésével* – jól látható, hogy tökéletes illesztést nagy valószínűséggel soha nem kapunk, és a logaritmikusság jól „megmutatja” az eltérést!



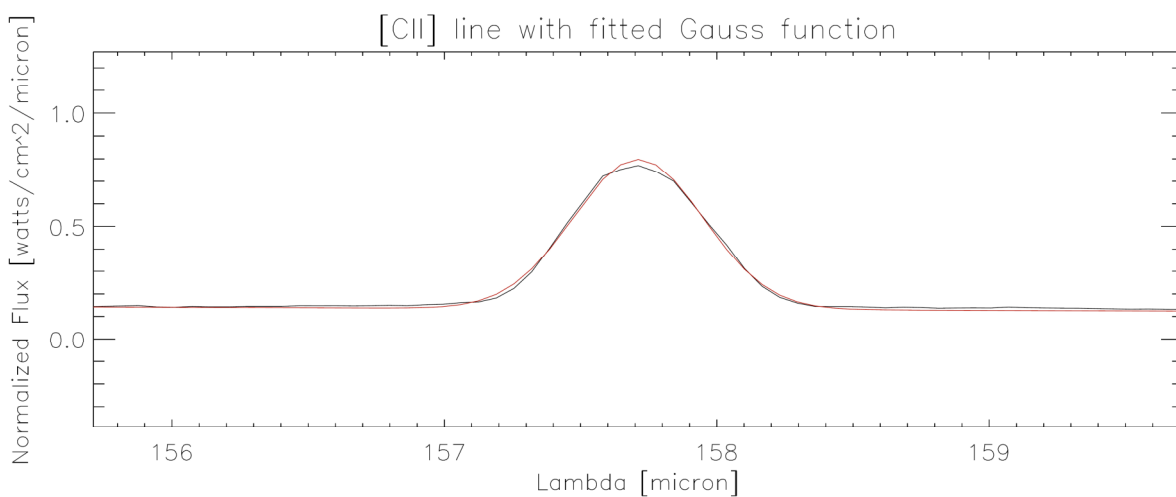
5. ábra.: A kontinuum illesztésénél felhasznált pontok és az *illesztett görbe*



6. ábra.: Az *illesztett görbével normált spektrum*



7. ábra.: Az [OI] vonal és az illesztett Gauss-görbe



8. ábra.: A [CII] vonal és az illesztett Gauss-görbe

Az [OI] vonal hullámhossza = 63,1889 mikron
 Maximális normált fluxus = 26,5898
 Szigma = 0,12
 Normálási tényező = 6,7
 A Gauss-görbe „magassága” = 22,2743
 A Gauss FWHM értéke = 0,282578 mikron

A [CII] vonal hullámhossza = 157,712 mikron
 Maximális normált fluxus = 0,770750
 Szigma = 0,24
 Normálási tényező = 0,4
 A Gauss-görbe „magassága” = 0,664904
 A Gauss FWHM értéke = 0,565157 mikron

AZ IDL PROGRAM RÉSZLES MAGYARÁZATTAL:

Érdeemes jegyzeteket beszúrni a programba (amit csak ennél az első példánál mutatunk meg, később már a kódban nem szerepeltetjük), mert egy szemeszterrel később különben már nagyon nehéz lesz visszaemlékezni egy korábbi script működésére. Itt tehát először is megjegyezzük, hogy ez egy spektrum-illesztő program, és megmagyarázzuk, hogy mely változóknak milyen adatokat tároltunk el. Már a beolvasandó text file-ban a normált intenzitás-értékek szerepelnek, de érdemes ezt itt is feltüntetni, hogy ha esetleg a text file elvész az idők folyamán, akkor is tudjuk, mit kell az eredeti adatokkal kezdenünk, hogy az alábbi script kezelni tudja azokat.

```
;pro spill
;intenzitas: az eredetileg beolvasott értékek
;lambdameter: az eredeti hullámhosszak
;lambdaszurt: kontinuum intenzitásához tartozó hullámhosszak
;intszurtvagott: nullák kivágva
;lambdaszurtvagott: nullák kivágva
;az int-ben van a kontinuum függvénye
;eleve egy-re normált intenzitás 100 mikronnál (110316829935575000 a szorzó)
```

Ezek után betölthetünk egy nekünk szimpatikus színtáblát is, hogy majd színes ábrákat készíthessünk, majd a később beolvasandó adatoknak megfelelő tömböket definiálunk (ehhez vagy érdemes tudni, hogy hány soros lesz a beolvasandó adat – itt 4075 –, vagy le kell számoltatni). A beolvasást egy egyszerű for-ciklussal lehet elvégezni, melyben a könnyebb számolás érdekében célszerű egy olyan tömböt is feltölteni, melyben a hullámhosszak méterben szerepelnek.

```
loadct,3

N=4075
lambda=fltarr(N)
lambdameter=fltarr(N)
intenzitas=fltarr(N)
intszurt=fltarr(N)
lambdaszurt=fltarr(N)
openr,1,'sp4075sorlrenormalt.txt'
i=0
while (not eof(1)) do begin
    readf,1,ertek1,ertek2
    lambda[i]=ertek1
    lambdameter[i]=(ertek1)*(1E-6)
    intenzitas[i]=ertek2
    i=i+1
endwhile
close,1
```

Most jön a kontinuum illesztése. Ehhez először meg kell szűrni az adatsort, hogy csak a kontinuumhoz tartozó pontokat vegyük figyelembe a négyzetes eltérés számolásánál. Jelen esetben ez már a bevezetőben említett módszerrel történt, melyhez a **delta** paramétert definiáltuk. Ennek változtatásával lehet szabályozni a szűrés erősségét. Pontosan úgy történik a dolog, hogy ha egy pont intenzitásának és az előtte lévő intenzitásának különbsége kisebb mint ez a **delta** érték, akkor áttesszük a szűrt vektorokba a pont hullámhosszát és intenzitását (azaz megtartjuk). Közben számoljuk is a jó pontok számát, ez lesz az **nn** paraméter. Ennek megfelelően utólag a szűrt vektorokat **nn** hosszúságúra kell vágni, hogy ne maradjanak nullák az illesztendő adatsorban.

```
delta=0.05
nn=-1
i=0
while (i LT 4074) do begin
    IF (abs(intenzitas[i]-intenzitas[i+1]) LT delta) THEN nn=nn+1
    IF (abs(intenzitas[i]-intenzitas[i+1]) LT delta) THEN intszurt[nn]=intenzitas[i]
    IF (abs(intenzitas[i]-intenzitas[i+1]) LT delta) THEN lambdaszurt[nn]=lambda[i]
    i=i+1
endwhile

print,"A jó pontok száma: ",nn

intszurtvagott=fltarr(nn)
lambdaszurtvagott=fltarr(nn)
```

```

lambdaszurtvagottmeter=fltarr(nn)
i=0
while (i LT nn) do begin
    intszurtvagott[i]=intszurt[i]
    lambdaszurtvagott[i]=lambdaszurt[i]
    lambdaszurtvagottmeter[i]=lambdaszurtvagott[i]*(1E-6)
    i=i+1
endwhile

```

Az illesztést tehát a szűrt és megvágott tömbökre kell megírni. Itt ugyan T a függvény paramétere, de ez a T nem fogja egzaktan visszaadni az effektív hőmérsékletet, mert eleve nem Planck-függvényről van szó. Definiálunk egy `minelteres` változót is, melyet az illesztésben fogunk használni, valamint még fizikai konstansokat is, bár ezek nem feltétlenül szükségesek, valójában csak a hullámhosszfüggés érdekes, a többi normálás kérdése. Az illesztés úgy zajlik, hogy léptetve a T -t, hogy a cikluson belül mindig generálódik egy függvény, melyet 100 mikronnál 1-re normálunk, és kiszámoljuk pontonként az eltérések négyzetét, és ezeket összegezzük, valamint eltároljuk a legkisebb eltéréshez tartozó paramétert.

```

T=0
Tjo=0
minelteres=100000000

while (T LT 300) do begin

    int=fltarr(nn)
    c=299792458
    h=6.626068E-34
    k=1.3806503E-23
    i=0
    lambdameter100=100*(1E-6)
    while (i LT nn) do begin
        int[i]=2*c*k*T/(lambdaszurtvagottmeter[i])^3.5
        int100=2*c*k*T/(lambdameter100)^3.5
        i=i+1
    endwhile
    int=int/int100

```

Itt jön a négyzetes eltérés számolása, majd annak eldöntése, hogy kisebb-e, mint az addigiak. Érdekes ennél a lépésnél előbb nagyobb intervallumon belül nagyobb lépésekkel lefuttatni az illesztést, majd amikor már van egy közelítően jó T érték, akkor annak környezetében kisebb lépésközzel illeszteni.

```

    elteres=0
    i=0
    while (i LT nn) do begin
        elteres=elteres+((int[i]-intszurtvagott[i])*(int[i]-intszurtvagott[i]))
        i=i+1
    endwhile

    IF (elteres LT minelteres) THEN Tjo=T
    IF (elteres LT minelteres) THEN minelteres=elteres

    T=T+0.1

endwhile

print,"A homerseklet-parameter = ",Tjo," K"
print,"A min elteres = ",minelteres

```

Most ezzel a paraméterrel létrehozzuk a majd ábrázolandó (és ugyancsak 100 mikronnál 1-re normált) függvényünket.

```

T=Tjo
int=fltarr(N)
i=0
lambdameter100=100*(1E-6)
while (i LT N) do begin
    int[i]=2*c*k*T/(lambdameter[i])^3.5
    int100=2*c*k*T/(lambdameter100)^3.5
    i=i+1
endwhile
int=int/int100

```

Jöhet az ábra elkészítése: először az illesztett görbét jelenítsük meg az eredeti spektrumon. Ne felejtsük el a tengelyek feliratozását!

```

window,0,retain=2
plot,lambda,intenzitas,$
xstyle=1,xrange=[40,200],xtitle='Lambda [micron]',$
ystyle=1,yrange=[0,30],yttitle='Normalized Flux [watts/cm^2/micron]',$
title='NGC 7027'
oplot,lambda,int,color=200

```

Majd ábrakészítés ezúttal már PS kimenetre. Így készült a korábbiakban bemutatott 3. és 4. ábra – utóbbinál a vonalak feliratozása már képszerkesztő program segítségével került a képre. A `set_plot, 'WIN'` akkor jó, ha MS Windows környezetben dolgozunk, linux alatt `set_plot, 'WIN'` kell!

```

set_plot, 'PS'
device,filename='sp01RJ.ps',xsize=20,ysize=8,/color,bits=8
plot,lambda,intenzitas,$
xstyle=1,xrange=[40,200],xtitle='Lambda [micron]',$
ystyle=1,yrange=[0,30],yttitle='Normalized Flux [watts/cm^2/micron]',$
title='NGC 7027'
oplot,lambda,int,color=128
device,/close
set_plot, 'WIN'

set_plot, 'PS'
device,filename='sp01RJlog.ps',xsize=20,ysize=20,/color,bits=8
plot,lambda,intenzitas,/xlog,/ylog,$
xstyle=1,xrange=[40,200],xtitle='Lambda [micron]',$
ystyle=1,yrange=[10^(-2),10^2],yttitle='Normalized Flux [watts/cm^2/micron]',$
title='NGC 7027'
oplot,lambda,int,color=128
device,/close
set_plot, 'WIN'

```

A következő két tömb a képernyőre és PS-be is elkészíti azt az ábrát, ahol az illesztéshez használt pontokon láthatjuk az illesztett kontinuumot (ez a 5. ábra).

```

window,1,retain=2
plot,lambdaszurtvagott,intszurtvagott,psym=3,$
xstyle=1,xrange=[40,200],xtitle='Lambda [micron]',$
ystyle=1,yrange=[0,30],yttitle='Normalized Flux [watts/cm^2/micron]',$
title='NGC 7027'
oplot,lambda,int,color=200

set_plot, 'PS'
device,filename='sp02RJszurt.ps',xsize=20,ysize=8,/color,bits=8
plot,lambdaszurtvagott,intszurtvagott,psym=3,$
xstyle=1,xrange=[40,200],xtitle='Lambda [micron]',$
ystyle=1,yrange=[0,30],yttitle='Normalized Flux [watts/cm^2/micron]',$
title='NGC 7027'
oplot,lambda,int,color=128
device,/close
set_plot, 'WIN'

```

Ez a két tömb a képernyőre és PS-be is elkészíti azt az ábrát, ahol a kontinuumra illesztett görbével korrigált spektrum látható (ez a 6. ábra).

```

intnormalt=intenzitas-int
window,2,retain=2
plot,lambda,intnormalt,/nodata,$
xstyle=1,xrange=[40,200],xtitle='Lambda [micron]',$
ystyle=1,yrange=[-5,25],yttitle='Normalized Flux [watts/cm^2/micron]',$
title='NGC 7027'
oplot,lambda,intnormalt,color=200

set_plot, 'PS'
device,filename='sp03RJnormalt.ps',xsize=20,ysize=8,/color,bits=8
plot,lambda,intnormalt,/nodata,$
xstyle=1,xrange=[40,200],xtitle='Lambda [micron]',$
ystyle=1,yrange=[-5,25],yttitle='Normalized Flux [watts/cm^2/micron]',$
title='NGC 7027'
oplot,lambda,intnormalt,color=128
device,/close

```

```
set_plot, 'WIN'
```

Következhet a Gauss-függvény illesztésének megírása először az [OI] vonalra. Itt először meg kell keresnünk, hogy hol is van pontosan a vonal (keressük a 60-70 mikronos intervallumban), ez lesz a `h1` érték. Erre a tartományra készítsünk külön tömböket, ezek lesznek a 2-es utótaggal jelölve (például `lambda2`-ben vannak az említett intervallumba eső hullámhosszértékek, stb.). Itt érdemes eltárolni az intervallumon belüli minimális és maximális intenzitásértékeket is (`m1` és `mm1`), mert az ábrák készítésénél így sokkal könnyebb lesz a határokat megadni.

```
intervallum=where((lambda GE 60.)and(lambda LE 70.))
lambda2=lambda(intervallum)
intenzitas2=intenzitas(intervallum)
m1=MIN(intenzitas2,min_subscript)
mm1=MAX(intenzitas2,max_subscript)
print,"The [OI] line is at: ",lambda2(max_subscript)," (micron)"
print,"with a maximum normalized flux of: ",mm1
h1=lambda2(max_subscript)
```

A képernyőre készített ábrával ellenőrizhetjük, hogy ez a lépés megfelelően lefutott-e (érdemes lehet a kontinuumot kicsit eltolni, hogy tökéletesebb legyen az illeszkedés, ezért itt a `+0.25`-ös tag).

```
window,3,retain=2
plot,lambda,intenzitas,$
xstyle=1,xrange=[h1-2,h1+2],xtitle='Lambda [micron]',$
ystyle=1,yrange=[m1-1,mm1+1],ytitle='Normalized Flux [watts/cm^2/micron]',$
title='The [OI] line'
oplot,lambda,int+0.25,color=200
```

Most a vizsgált intervallumba kell egy Gauss-függvényt létrehozni, úgy, hogy annak csúcsa a `h1` értéknél legyen, melyet a Gauss-függvény korábban bemutatott képletében `m`-el jelöltünk, ezért itt át is nevezzük `m`-re. A kis eltolással korrigált kontinuumot pedig beletesszük az `intVonal` tömbbe.

```
intVonal=int(intervallum)+0.25
m=lambda2(max_subscript)
```

Az illesztést megint a legkisebb négyzetes eltérés eléréséig folytatjuk, de itt egymásba ágyazott ciklusokkal a `sigma` és egy normálási tényező, a `normalas` léptetésével. Itt is igaz az a megállapítás, hogy előbb érdemes nagyobb lépésközzel és tágabb határokkal dolgozni, majd utána finomítani az illesztést. A végén a legjobb paramétereket kiíratjuk a képernyőre, ezeket is érdemes elmenteni, majd a beadandóban feltüntetni.

```
sigma=0.01
normalas=1
minelteres=100000000

while sigma LE 0.5 do begin

    while normalas LE 20 do begin
        i=0
        elteres=0
        intGauss=(1./(sqrt(2.*3.141592654)*sigma))*exp(-(lambda2-m)*(lambda2-$
            m)/(2.*sigma*sigma))*normalas
        intVonalGauss=intVonal+intGauss

        while i LT 492 do begin
            elteres=elteres+((intVonalGauss[i]-intenzitas2[i])*(intVonalGauss[i]-$
                intenzitas2[i]))
            i=i+1
        endwhile

        IF (elteres LT minelteres) THEN sigmaJo=sigma
        IF (elteres LT minelteres) THEN normalasJo=normalas
        IF (elteres LT minelteres) THEN minelteres=elteres

        normalas=normalas+0.1
    endwhile

    sigma=sigma+0.01
    normalas=1
endwhile
```

```

print,"A legjobb szigma = ",sigmaJo
print,"A legjobb normalasi tenyezo = ",normalasJo
print,"A min elteres = ",minelteres

```

A megtalált legjobb paraméterekkel készítjük el az ábrát először a képernyőre (így menet közben hamar látszik, ha valami nem úgy történik, ahogy kellene), majd számoljuk ki a félérték-szélességet, végül készítjük el az ábrát PS formátumban is!

```

intGauss=((1./(sqrt(2.*3.141592654)*sigmaJo))*exp(-(lambda2-m)*(lambda2-$
                                                    m)/(2.*sigmaJo*sigmaJo)))*normalasJo
intVonalGauss=intVonal+intGauss
window,4,retain=2
plot,lambda,intenzitas,$
xstyle=1,xrange=[h1-2,h1+2],xtitle='Lambda [micron]',$
ystyle=1,yrange=[m1-1,m1+3],ytitle='Normalized Flux [watts/cm^2/micron]',$
title='[OI] line with fitted Gauss function'
oplot,lambda2,intVonalGauss,color=200

FWHM=2*sigmaJo*sqrt(2*ALOG(2))
print,"A Gauss magassaga = ",intGauss[max_subscript]
print,"A Gauss FWHM erteke = ",FWHM

    set_plot,'PS'
    device,filename='sp04VonalGauss.ps',xsize=20,ysize=8,/color,bits=8
    plot,lambda,intenzitas,$
    xstyle=1,xrange=[h1-2,h1+2],xtitle='Lambda [micron]',$
    ystyle=1,yrange=[m1-1,m1+3],ytitle='Normalized Flux [watts/cm^2/micron]',$
    title='[OI] line with fitted Gauss function'
    oplot,lambda2,intVonalGauss,color=128
    device,/close
    set_plot,'WIN'

```

A másik vonal esetén ugyan ezeket a lépéseket kell követni, csak az intervallum, a kis eltolás és a paraméterek lesznek mások.

```

intervallum=where((lambda GE 152.)and(lambda LE 162.))
lambda2=lambda(intervallum)
intenzitas2=intenzitas(intervallum)
m1=MIN(intenzitas2,min_subscript)
m1=MAX(intenzitas2,max_subscript)
print,"The [CII] line is at: ",lambda2(max_subscript)," (micron)"
print,"with a maximum normalized flux of: ",m1
h1=lambda2(max_subscript)

window,3,retain=2
plot,lambda,intenzitas,$
xstyle=1,xrange=[h1-2,h1+2],xtitle='Lambda [micron]',$
ystyle=1,yrange=[m1-1,m1+1],ytitle='Normalized Flux [watts/cm^2/micron]',$
title='The [CII] line'
oplot,lambda,int-0.07,color=200

intVonal=int(intervallum)-0.07
m=lambda2(max_subscript)

sigma=0.01
normalas=0.1
minelteres=100000000

while sigma LE 0.5 do begin

    while normalas LE 20 do begin
        i=0
        elteres=0
        intGauss=((1./(sqrt(2.*3.141592654)*sigma))*exp(-(lambda2-m)*(lambda2-$
                                                    m)/(2.*sigma*sigma)))*normalas
        intVonalGauss=intVonal+intGauss

        while i LT 160 do begin
            elteres=elteres+((intVonalGauss[i]-intenzitas2[i])*(intVonalGauss[i]-$
                                                    intenzitas2[i]))
            i=i+1
        endwhile

        IF (elteres LT minelteres) THEN sigmaJo=sigma
    endwhile
endwhile

```

```

        IF (elteres LT minelteres) THEN normalasJo=normalas
        IF (elteres LT minelteres) THEN minelteres=elteres

    normalas=normalas+0.1
    endwhile

sigma=sigma+0.01
normalas=0.1
endwhile

print,"A legjobb szigma = ",sigmaJo
print,"A legjobb normalasi tenyezo = ",normalasJo
print,"A min elteres = ",minelteres

intGauss=((1./(sqrt(2.*3.141592654)*sigmaJo))*exp(-(lambda2-m)*(lambda2-$
                                                m)/(2.*sigmaJo*sigmaJo)))*normalasJo

intVonalGauss=intVonal+intGauss
window,5,retain=2
plot,lambda,intenzitas,$
xstyle=1,xrange=[h1-2,h1+2],xtitle='Lambda [micron]',$
ystyle=1,yrange=[m1-0.5,m1+0.5],ytitle='Normalized Flux [watts/cm^2/micron]',$
title='[CII] line with fitted Gauss function'
oplot,lambda2,intVonalGauss,color=200

FWHM=2*sigmaJo*sqrt(2*ALOG(2))
print,"A Gauss magassaga = ",intGauss[max_subscript]
print,"A Gauss FWHM erteke = ",FWHM

    set_plot,'PS'
    device,filename='sp05VonalGauss.ps',xsize=20,ysize=8,/color,bits=8
    plot,lambda,intenzitas,$
    xstyle=1,xrange=[h1-2,h1+2],xtitle='Lambda [micron]',$
    ystyle=1,yrange=[m1-0.5,m1+0.5],ytitle='Normalized Flux [watts/cm^2/micron]',$
    title='[CII] line with fitted Gauss function'
    oplot,lambda2,intVonalGauss,color=128
    device,/close
    set_plot,'WIN'

end

```

Budapest, 2007. május 25.