

Precisa-se de um título desesperadamente

André Luiz de Amorim

Orientador:

Prof. Dr. Roberto Cid Fernandes Jr.

• • •

Universidade Federal de Santa Catarina
Centro de Ciências Físicas e Matemáticas
Departamento de Física

Dissertação de mestrado apresentada ao Departamento de Física da UFSC em preenchimento parcial dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Física.

Trabalho financiado pela Capes.

Florianópolis (SC) – 2011

Dedica

Agradecimientos

Agradece

Resumo

Resumo.

Abstract

Abstract.

Sumário

1	Introdução	1
1.1	A nova era da astrofísicas	1
1.2	STARLIGHT+ SDSS	1
1.3	GALEX	1
1.4	Trabalhos Anteriores	1
1.5	Este Trabalho	2
1.6	Organização deste trabalho	2
2	<i>GALEX</i>	3
2.1	Objetivos	3
2.2	Histórico do estudo do céu no ultravioleta	5
2.3	Resultados obtidos	6
2.4	Data releases e banco de dados	10
3	Crossmatch entre SDSS/Starlight e Galex	13
4	Problemas astrofísicos	14
5	Conclusões e Perspectivas	15
5.1	Este trabalho	15

5.2	Trabalhos Futuros	15
A	Anexo 1: Manual de Acesso aos dados do starlight+ Galex	16
	Referências Bibliográficas	I

Lista de Figuras

2.1	Curvas de transmissão dos filtros do <i>GALEX</i>	4
2.2	<i>Footprint</i> dos <i>surveys GALEX</i> AIS, MIS e SDSS	5
2.3	Diagrama cor-magnitude em ultravioleta.	10
2.4	Tela do programa <i>GalexView</i>	11

Lista de Tabelas

2.1	<i>Surveys</i> realizados pelo <i>GALEX</i>	4
2.2	Campos observados em cada <i>General Release</i> do <i>GALEX</i>	11

Capítulo 1

Introdução

1.1 A nova era da astrofísicas

Motivação. Nova era de bancos de dados em astronomia. Grandes bancos de dados. Datamining. Olhar o projeto do mestrado.

Falar do papel do SLOAN. WISE, 2dF, GALEX.

1.2 starlight+ SDSS

Falar do sucesso do STARLIGHT. Estudo das propriedades das galaxias no UV.

1.3 GALEX

Resumo do Galex, o que é, como funciona, motivação. Por que UV? Ir pra outros comprimentos de onda. Limitações do UV. Propaganda do GALEX. Necessidade de ir para outros λ , e qual ciência pode ser feita com cada faixa.

1.4 Trabalhos Anteriores

Observatórios virtuais. Crossmatch.

1.5 Este Trabalho

Crossmatch entre fontes SDSS do STARLIGHT e do Galex. Adicionar alguns problemas astronômicos.

1.6 Organização deste trabalho

Capítulo 2

GALEX

2.1 Objetivos

O *Galaxy Evolution Explorer* (*GALEX*) é um telescópio espacial de pequeno porte da NASA¹, lançado em 28 de abril de 2003 para conduzir um *survey* de todo o céu numa faixa espectral do ultravioleta (1350–2750Å). O objetivo principal do *GALEX* é estudar a evolução da taxa de formação estelar em galáxias (Martin et al. 2005). Os dados coletados pela missão são publicados em *Data Releases* periódicos, denominados *General Releases*. Este trabalho foi realizado sobre os dados do sexto *General Release*, GR6.

A missão consiste em uma série de *surveys* fotométricos e espectroscópicos (ver tabela 2.1). Destes, os principais *surveys* são o *All Sky Survey* (AIS) e o *Medium Imaging Survey* (MIS), que foram utilizados neste trabalho. O imageamento é feito em duas bandas espectrais: ultravioleta distante (*far ultraviolet*, FUV), de 1350 a 1750Å, e ultravioleta próximo (*near ultraviolet*, NUV), de 1750 a 2750Å. As curvas de transmissão dos filtros utilizados nessas bandas podem ser visto na figura 2.1. A espectroscopia é feita inserindo-se no caminho ótico um *grism*, que consiste num prisma combinado com uma rede de difração. Obtém-se deste modo um espectro de baixa resolução para cada objeto na imagem, conforme descrito por Morrissey et al. (2007).

Os *surveys* do *GALEX* foram planejados de forma a se valer de outros *surveys* já existentes em outros comprimentos de onda. A figura 2.2 mostra a sobreposição da

¹NASA *Small Explorer* (SMEX) - <http://explorers.gsfc.nasa.gov/missions.html>

Tabela 2.1: *Surveys* realizados pelo *GALEX*. O CAI consiste em observações de anãs brancas para calibração. No caso do NGS, a magnitude limite é dada em unidades de densidade superficial de magnitude. Informações retiradas de Martin et al. (2005).

<i>Survey</i>	Cobertura (<i>graus</i> ²)	Magnitude AB limite
<i>Calibration Imaging (CAI)</i>	-	-
<i>All-sky Imaging Survey (AIS)</i>	26000	20.5
<i>Medium Imaging Survey (MIS)</i>	1000	23
<i>Deep Imaging Survey (DIS)</i>	80	25
<i>Nearby Galaxy Survey (NGS)</i>	80	27.5 <i>arcsec</i> ⁻²
<i>Wide Field Spectroscopic Survey (WSS)</i>	80	20
<i>Medium-deep Spectroscopic Survey (MSS)</i>	8	21.5–23
<i>Deep Spectroscopic Survey (DSS)</i>	2	23–24



Figura 2.1: Curvas de transmissão dos filtros do *GALEX*, medidas em laboratório (Morrissey et al. 2005).

área observada ² pelos surveys AIS e MIS do *GALEX* e do *Sloan Digital Sky Survey (SDSS)*. O objetivo primário da missão do *GALEX* é calibrar a taxa de formação estelar no universo local e a determinar o histórico cosmológico de formação estelar

²*Footprint*, no linguajar astronômico.



Figura 2.2: *Footprint* dos *surveys* *GALEX* AIS, MIS (GR2+3) e SDSS (DR6), conforme Budavári et al. (2009)

entre os redshifts $0 < z < 2$ (Martin et al. 2005). A comparação com dados de *surveys* em outros comprimentos de onda tem um papel fundamental no cumprimento deste objetivo.

2.2 Histórico do estudo do céu no ultravioleta

A camada de ozônio, tão desejável pela proteção que oferece aos seres vivos, cobra a sua taxa na astronomia. Observações na banda ultravioleta precisam ser feitas fora da atmosfera terrestre, portanto não é de se estranhar que o trabalho nesta faixa espectral tenha progredido menos do que na faixa do óptico e do infravermelho.^[citation needed]

O primeiro trabalho sistemático de observação UV foi feito pelo *Orbiting Astronomical Observatory 2* (Code et al. 1970), obtendo fotometria e espectroscopia de estrelas brilhantes, aglomerados globulares e galáxias próximas. Durante as décadas de 1970 e 1980, este e outros satélites como o TD-1 (Boksenberg et al. 1973), o *Astronomical Netherlands Satellite* (van Duinen et al. 1975) e o *International Ultraviolet Explorer* (Kondo & Wamsteker 1987) – o primeiro satélite a utilizar um detetor de imageamento UV – forneceram os dados fundamentais para os modelos de síntese de população estelar de galáxias. *Surveys* de campo amplo foram feitos por uma camera lunar erguida por

astronautas da *Apollo 16* (Carruthers 1973), a bordo do *Skylab* (Henize et al. 1975) e pelo instrumento *FAUST* a bordo do *Spacelab* (Bowyer et al. 1993). Muitas imagens UV também foram obtidas pelo *Ultraviolet Imaging Telescope* em duas missões em ônibus espacial (Stecher et al. 1997).

?) The balloon-borne FOCA Telescope (Milliard et al. 1992) obtained the first far-UV (FUV) luminosity function for galaxies in the local universe (Treyer et al. 1998) and the first rest-UV anchor point for the star formation history plot.

2.3 Resultados obtidos

o *GALEX* fez o primeiro *survey* do céu inteiro em UV.³

Wyder et al. (2007) analisa a distribuição de galáxias em função da cor UV e da magnitude absoluta no universo local. Esta distribuição é conhecida como *Diagrama Cor-Magnitude* (CMD, na sigla em inglês para *Color-Magnitude Diagram*). O autor usa *redshifts* e fotometria óptica obtidas do *SDSS* junto com fotometria UV do *survey* MIS do *GALEX*. A amostra do *SDSS* é correlacionada com a do *GALEX* procurando o objeto do *GALEX* mais próximo de cada objeto *SDSS* até um limite de 4" (4 segundos de arco).

O diagrama cor-magnitude elaborado por Wyder et al. (2007) mostra a separação das galáxias nas sequências vermelha e azul (figura 2.3). Esta distribuição bimodal é um resultado bem conhecido na astronomia. Porém, diferente do diagrama cor-magnitude para a faixa espectral do óptico, a distribuição de cores em UV não pode ser ajustada somente pela soma de duas gaussianas, há um excesso de objetos nas cores intermediárias entre os picos vermelho e azul. O autor atribui a boa separação entre as sequências a uma maior sensibilidade à formação estelar recente.

distribuição bimodal

We have determined the volume density of galaxies in the local universe as a function of absolute magnitude $M_r;0:1$ and $(NUV - r)_{0:1}$ and $(FUV - r)_{0:1}$ colors based on a sample of galaxies observed in the UV by *GALEX* and with optical data from the *SDSS*. The galaxies in these CMDs separate into well-defined blue and red sequences that become redder with increasing luminosity. While the most luminous galaxies are

³Lista de publicações do *GALEX*: <http://www.galex.caltech.edu/researcher/publications.html>

on the red sequence, a separate blue peak is detectable as bright as $M_{r;0:1} = -23$. In contrast to CMDs relying solely on an optical color such as $(u - r)$ (Baldry et al. 2004), the color distribution at fixed absolute magnitude is not well fit by the sum of two Gaussians due to an excess of objects at intermediate colors between the blue and red peaks. The greater separation between the blue and red sequences is a consequence of the greater sensitivity of the UV 314 WYDER ET AL. bands to very low levels of recent star formation.

The $r_{0:1}$ -band luminosity function shape varies systematically with color, with the faint-end slope gradually increasing across the blue sequence, reaching a value of -0.6 at intermediate colors before increasing even more for the reddest galaxies. We have used these fits to the luminosity functions to derive the fraction of the luminosity density in the local universe as a function of color. Dust-free starburst galaxies with colors $(NUV - r)_{0:1} < 1$ are rare in the local universe and account for only about 5% of the luminosity density emitted by blue sequence galaxies with colors $1 < (NUV - r)_{0:1} < 3$. We have used both the Balmer decrement and the dust-SFH-color relation of Johnson et al. (2006) to estimate the effect of dust on the galaxy colors and absolute magnitudes. For the Balmer decrement method, the increase in color with luminosity along the blue sequence is due entirely to dust with the dispersion at fixed absolute magnitude relatively unchanged. On the other hand, the blue sequence color in the CMD corrected for dust using the Johnson et al. (2006) method does still increase with luminosity, indicating that part of this change in color is due to the star formation history and not to dust alone. We argue that we prefer the Johnson et al. (2006) method as it is ultimately based on an attenuation derived from the FIR / UV ratio. Regardless of which dust correction we employ, however, a significant number of galaxies remain at colors in between the two sequences, indicating that not all of the galaxies there are simply dusty versions of blue sequence star-forming galaxies. We have used the $NUV_{0:1}$ luminosities corrected for dust using the Johnson et al. (2006) method in conjunction with the stellar masses determined by Kauffmann et al. (2003a) to plot the density of galaxies as a function of specific star formation rate SFR / M^* and stellar mass M^* . The dispersion in SFR / M^* is only a factor of 2–3 at a fixed stellar mass along the blue sequence. The value of SFR / M^* decreases from values of $\approx 10^{-9.3} \text{ yr}^{-1}$ at $M^* = 10^{8.5} M_{\odot}$ to $\approx 10^{-10.3}$ near the tip of the blue sequence at $M^* = 10^{11} M_{\odot}$. Similar to previous optical results (Kauffmann et al. 2003a, 2003b), galaxies with low specific star formation rates begin to dominate above a stellar mass of about $10^{10.5} M_{\odot}$. In addition to the small number of galaxy properties explored here, many galaxies in our sample contain many other measurements mainly from the SDSS.

In a companion paper in this volume, Martin et al. (2007) have estimated the mass flux of galaxies from the blue to the red sequence and have discussed some of the other properties of the galaxies in between the red and blue sequences.

In another paper, Schiminovich et al. (2007) have investigated the correlation of morphology and other characteristics with position in the CMD. While detecting red sequence galaxies out to significant distances in the rest-frame UV is very difficult, it should be possible to use data from GALEX deep exposures in conjunction with ground-based photometry and spectra to investigate the evolution of the blue sequence with redshift. In addition, the variation of the CMD with local galaxy density should provide interesting constraints on the nature of the galaxies in between the blue and red peaks as well as models of the physical processes affecting the evolution of galaxies in the CMD.

Schiminovich et al. (2007) We have generated a catalog of galaxies in the local ($z < 0.25$) universe with a combination of UV-optical photometry, spectroscopic measures, structural parameters, and value-added and physical quantities, and have used it for an investigation into the distribution of star formation across galaxies of different morphologies and stellar masses. Our chief results are as follows. 1. We have derived a new set of physical properties of the galaxies in our samples, including star formation and stellar mass rates and surface densities, dust attenuations, and gas fractions. Our measurements incorporate a slightly modified prescription for dust attenuation, designed to use the best available data to derive star formation rates across the whole galaxy sample. In general, this follows most closely the approaches described in Johnson Fig. 26.—Estimated stellar mass flux density off of the SF sequence and comparison with the SFR density vs. M^* . Solid lines: Total stellar mass flux density for all galaxies (black) and bulge-dominated galaxies (red) with $\log \text{sum SFR} > 0.5$. Green dotted line: Stellar mass flux rate for transition galaxies from Paper III (Table 3). Dashed lines: SFR density vs. M^* for total (black), disk-dominated (blue), and bulge-dominated (red) subsamples. Values are per 0.3 dex M^* bin. et al. (2007) and Kauffmann et al. (2003a), but ultimately we hope to develop it as a refinement over current methodology. 2. For the first time, we have measured the local UV luminosity function against galaxy structural parameters as well as inclination. Among our key results is that we have shown that the fraction of intermediate and early-type galaxies is highest for the most UV luminous galaxies, dropping off to low fractions for the least luminous galaxies. 3. Throughout this study, our emphasis has been on the properties of galaxies on and off of a local “star-forming sequence” defined by $\log \text{SFR} / M^* \text{ SUM } 0.36 \log M 6.4$. We find, among other trends, that our measure of the star formation rate surface density,

Sum SFR (measured within r_{50}) is nearly constant along this sequence. 4. We have split our sample into disk and bulge-dominated galaxies using the i-band Sersic index, and find that disk galaxies occupy a very tight locus in SFR vs. M^* space, while bulge-dominated galaxies display a much larger spread of SFRs at fixed stellar mass. In particular, a significant fraction of galaxies with SFR and sumSFR above those on the “star-forming sequence” are bulge-dominated. 5. We have used our derived distribution functions to ask whether a significant fraction of these galaxies may be experiencing a final episode of star formation (possibly induced by merger or other bursts), soon to be quenched, by determining whether this population can explain the growth rate of the non-star-forming population. We find that this is a plausible scenario for bulge-dominated galaxies near the characteristic transition mass under reasonable assumptions regarding quenching timescales. We use this technique to estimate the rate of mergers/starbursts that take galaxies off of the star-forming sequence and show that the implied merger rates are consistent with local measurements.

Martin et al. (2007) We have introduced a new quantity, the mass flux density of galaxies evolving from the blue sequence to the red sequence. We developed a simple technique for constraining this mass flux that exploits the excellent separation of red and blue sequences in the NUV - r band Hess function. We used the volume-corrected number density in the extinction-corrected UV-optical color-magnitude distribution, the stellar age indexes $H\delta_A$ and $D_n(4000)$, and a simple prescription for spectral evolution using a quenched starformation history. Our estimated mass flux $M \text{ yr}^{-1} \text{ Mpc}^3$, although strictly an upper limit, compares favorably with estimates of the average mass flux that we make based on the optical and UV data. Galaxies in the transition zone are preferentially AGNs, although we find at best weak evidence that the quench rates are higher in higher luminosity AGNs. We note that our technique could be applied with alternative evolutionary clocks, such as morphology. Our approach using a single color and spectral index was simple, but a more refined technique would use the entire spectral energy distribution in addition to any relevant spectral indices. Our simple approach is fairly easy to apply to deep galaxy surveys, future work will study the evolution of the mass flux as well as its dependence on galaxy density and environment.

Falar da bimodalidade. Conclusões dos principais artigos.



Figura 2.3: Diagrama cor-magnitude em ultravioleta. Figura 7 de Wyder et al. (2007).

2.4 Data releases e banco de dados

Os dados obtidos pelo *GALEX* são armazenados no *Multi-Mission archive at the Space Telescope Science Institute* (MAST). O acesso a estes dados é público, a liberação é feita anualmente em *General Releases* (GR). Os dados consistem basicamente em imagens e catálogos, divididos em campos (*tiles*) com área de aproximadamente 1,2 graus quadrados. Devido ao modo como o *GALEX* faz as observações, um determinado objeto pode estar presente em mais de um campo. A tabela 2.2 mostra o número cumulativo de campos observados por *survey* em cada GR⁴. Observações de pesquisadores convidados (*Guest Investigators*, GI) foram selecionadas de forma a complementar os *surveys*.

Para facilitar o acesso aos dados do *GALEX*, o MAST desenvolveu uma ferramenta chamada *GalexView*, utilizando tecnologia *Adobe Flex*⁵. Desta forma o *GalexView* pode ser acessado através de seu *website*⁶ em qualquer *web browser* que tenha suporte ao *Adobe Flash Player*⁷.

⁴Informações retiradas do website do GR6: <http://galex.stsci.edu/GR6/>

⁵*Adobe Flex* é um *framework* de código aberto que permite desenvolver aplicações para *web browsers*. Ver <http://www.adobe.com/products/flex.html>.

⁶*GalexView*: <http://galex.stsci.edu/GalexView/>

⁷*Adobe Flash Player* é uma extensão multiplataforma para *web browsers* que provê capacidade de visualização de conteúdo *flash* gerado tanto pelos seus editores proprietários quanto por ferramentas de

Tabela 2.2: Campos observados em cada *General Release* do *GALEX*.

<i>Release</i>	AIS	DIS	MIS	NGS	GI	CAI	Espectros	Total
GR1	3074	14	112	52	-	-	7	3259
GR2/GR3	15721	165	1017	296	288	20	41	17548
GR4/GR5	28269	292	2161	458	788	38	174	32180
GR6	28889	338	3479	480	1314	51	-	34551

**Figura 2.4:** Tela do programa *GalexView*.

Através do *GalexView* é possível fazer buscas, visualizar e obter imagens e catálogos dos campos do *GALEX*. As buscas podem ser feitas de forma bastante versátil, tanto pelo nome do objeto quanto pelas coordenadas do céu. O formato de entrada é flexível o suficiente para evitar os problemas causados por idiosincrasias na notação de coordenadas (por exemplo, tanto “14h03m12.6s +54d20m56.7s” quanto “14 03 12.6 54 20 56.7” ou “210.83 54.35” apontam para a mesma região). A sua interface (figura 2.4) permite filtrar o conteúdo retornado pelas buscas, separando por *surveys*. Há também uma ferramenta de histograma, permitindo filtrar pelos valores das colunas dos catálogos. Os objetos selecionados na busca aparecem marcados na visualização da imagem. Utilizando um sistema do tipo “carrinho de compras”, pode-se selecionar campos e objetos de interesse, para ao final do uso do sistema baixar toda a seleção de uma vez.

terceiros. Ver <http://www.adobe.com/products/flashplayer/>.

Tanto o *GalexView* quanto outras ferramentas de busca do MAST, como o *GALEX Search Form* e o *GALEX Tilelist*, são construídos sobre um *banco de dados relacional* acessado através da linguagem *SQL* (Chamberlin & Boyce 1974). Muito comum na indústria, bancos de dados relacionais dispõem em geral de uma vasta gama de ferramentas para gerenciamento dos dados. Uma de suas grandes vantagens é o uso de índices⁸ para agilizar o acesso a dados. Embora a tecnologia exista desde a década de 1970 (Codd 1970), até uma década atrás suas vantagens eram praticamente negligenciadas na astronomia.

Tradicionalmente astrônomos armazenam seus dados em arquivos texto ou binários contendo um registro por linha, de uma forma tecnicamente conhecida como *flat file*. Buscas neste tipo de banco de dados são feitas examinando individualmente cada registro do arquivo. Com o volume de dados obtido pelo *GALEX* (aproximadamente 222 milhões de objetos, 34 mil campos)^[citation needed], o uso de arquivos simples para armazenamento de dados se torna inviável.^[citation needed] É preciso “profissionalizar” o gerenciamento de dados de um *survey* desta escala.

Bancos de dados relacionais e ferramentas para gerenciamento e acesso a dados serão tratados com mais detalhes no capítulo 3.

⁸Um índice numa tabela de banco de dados é uma estrutura que copia partes da tabela numa determinada ordem, de forma a aumentar a velocidade de acesso aos dados ao custo de espaço de armazenamento.

Capítulo 3

Crossmatch entre SDSS/Starlight e Galex

Crossmatch SDSS/GALEX. Análise de completeza Budavári et al. (2009). Indexação HTM.

Como foi feito o match - script. Alguma estatística.

Construção do banco de dados.

Correção por poeira etc.

Definição das amostras a serem usadas no próximo cap. (MGS e LRG).

Capítulo 4

Problemas astrofísicos

Gaivota com cores UV.

Onde caem as diferentes classes (star forming, etc, ver ultimo paper do Cid) num diagrama parecido com o de ?)Chilingarian2011).

Capítulo 5

Conclusões e Perspectivas

5.1 Este trabalho

5.2 Trabalhos Futuros

Apêndice A

Anexo 1: Manual de Acesso aos dados do starlight+ Galex

Referências Bibliográficas

- Boksenberg, A., Evans, R. G., Fowler, R. G., Gardner, I. S. K., Houziaux, L., Humphries, C. M., Jamar, C., Macau, D. et al. 1973, MNRAS, 163, 291
- Bowyer, S., Sasseen, T. P., Lampton, M., & Wu, X. 1993, ApJ, 415, 875
- Budavári, T., Heinis, S., Szalay, A. S., Nieto-Santisteban, M., Gupchup, J., Shiao, B., Smith, M., Chang, R. et al. 2009, ApJ, 694, 1281
- Carruthers, G. R. 1973, Appl. Opt., 12, 2501
- Chamberlin, D. D. & Boyce, R. F. 1974, in Proceedings of the 1974 ACM SIGFIDET (now SIGMOD) workshop on Data description, access and control, SIGFIDET '74 (New York, NY, USA: ACM), 249–264
- Codd, E. F. 1970, Commun. ACM, 13, 377
- Code, A. D., Houck, T. E., McNall, J. F., Bless, R. C., & Lillie, C. F. 1970, ApJ, 161, 377
- Henize, K. G., Wray, J. D., Parsons, S. B., Benedict, G. F., Bruhweiler, F. C., Rybski, P. M., & Ocallaghan, F. G. 1975, ApJ, 199, L119
- Kondo, Y. & Wamsteker, W. 1987, Exploring the universe with the IUE satellite, Astrophysics and space science library (D. Reidel)
- Martin, D. C., Fanson, J., Schiminovich, D., Morrissey, P., Friedman, P. G., Barlow, T. A., Conrow, T., Grange, R. et al. 2005, ApJ, 619, L1
- Martin, D. C., Wyder, T. K., Schiminovich, D., Barlow, T. A., Forster, K., Friedman, P. G., Morrissey, P., Neff, S. G. et al. 2007, ApJS, 173, 342
- Morrissey, P., Conrow, T., Barlow, T. A., Small, T., Seibert, M., Wyder, T. K., Budavári, T., Arnouts, S. et al. 2007, ApJS, 173, 682
- Morrissey, P., Schiminovich, D., Barlow, T. A., Martin, D. C., Blakkolb, B., Conrow, T., Cooke, B., Erickson, K. et al. 2005, ApJ, 619, L7
- Schiminovich, D., Wyder, T. K., Martin, D. C., Johnson, B. D., Salim, S., Seibert, M., Treyer, M. A., Budavári, T. et al. 2007, ApJS, 173, 315

- Stecher, T. P., Cornett, R. H., Greason, M. R., Landsman, W. B., Hill, J. K., Hill, R. S., Bohlin, R. C., Chen, P. C. et al. 1997, *PASP*, 109, 584
- van Duinen, R. J., Aalders, J. W. G., Wesselius, P. R., Wildeman, K. J., Wu, C. C., Luinge, W., & Snel, D. 1975, *A&A*, 39, 159
- Wyder, T. K., Martin, D. C., Schiminovich, D., Seibert, M., Budavári, T., Treyer, M. A., Barlow, T. A., Forster, K. et al. 2007, *ApJS*, 173, 293