

Univerza v Ljubljani
Fakulteta za *matematiko in fiziko*



Delo z javno dostopnimi podatki

2. naloga pri Opazovalni Astrofiziki

Avtor: Marko Urbanč (28191096)
Predavatelj: prof. dr. Janez Kos

13.3.2022

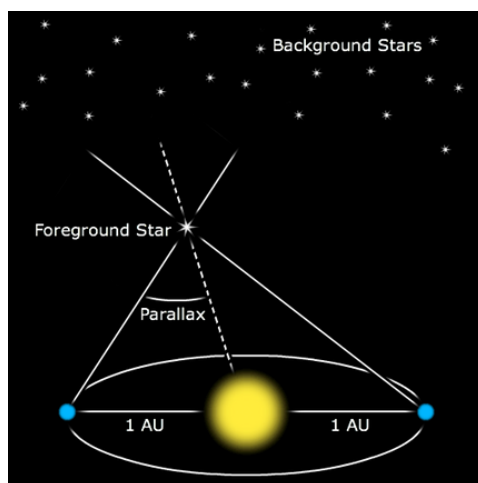
Kazalo

| | | |
|----------|--|----------|
| 1 | Uvod | 2 |
| 2 | Naloga | 2 |
| 3 | Opis reševanja | 3 |
| 4 | Rezultati | 3 |
| 4.1 | Oddaljenosti | 3 |
| 4.1.1 | LMC | 3 |
| 4.1.2 | SMC | 3 |
| 4.2 | Navidezna svetlost nadorjakinj | 4 |
| 4.3 | Pričakovan razpon paralaks | 4 |
| 4.4 | Poziva za Gaia ED3 katalog | 4 |
| 4.5 | Vizualizacija lastnega gibanja in rotacije | 5 |
| 4.6 | Replika slik Paula McMillana | 8 |
| 5 | Komentarji in izboljšave | 8 |
| | Literatura | 9 |

1 Uvod

Zdi se mi fascinantno, kako je v zadnjih časih postala ustaljena praksa, da so astrofizikalni podatki javno dostopni. Vrhunec verjetno predstavlja arhiv ESA misije GAIA, ki je vesoljski observatorij. Gaia arhiv podatkov vsebuje astrometrične podatke, torej oddaljenosti in ekvatorialne koordinate, za skoraj 2 milijardi zvezd. Vsi podatki satelita Gaia so javno dostopni na internetu na Gaia Arhivu [1, 2].

Gaia meri razdalje preko trigonometrične paralakse. To je preko razlike navideznega mesta objekta na nebu iz dveh zornih kotov. Preko znane razdalje med zornima kotoma in kota za katerega se na nebu objekt navidežno premakne lahko izračunamo njegovo oddaljenost. To je za meritev paralakse iz zemlje shematično prikazano na spodnji sliki.



Slika 1: Shematični prikaz trigonometrične paralakse

Preko spremljanja spreminjanja koordinat lahko Gaia določi tudi lastno gibanje objekta na nebu.

2 Naloga

Naloga od nas zahteva, da za najdemo v javno dostopni literaturi oddaljenosti Magellanovih oblakov. Iz te oddaljenosti naj bi potem preračunali kolikšno navidezno svetlost imajo nadorjakinje z $M_G = -4$. Preko znanega razpona paralaks za zvezde oblakov moramo sestaviti ADQL poziv, da izberemo zvezde oblakov iz Gaiega arhiva podatkov. Naloga za konec od nas zahteva da vizualiziramo lastno gibanje zvezd v obeh oblakih in da poskusimo replicirati vizualizacijo s tokovnicami, ki dobro predstavi, kako se vsak oblak vrti.

3 Opis reševanja

Na Astrophysical Data System sem iskal članke, ki so v povzetku vključevali besede *LMC* oz. *SMC* in *distance*. Tako sem naletel na nekaj člankov, ki so bili v grobem povezani z razdaljo do Magellanovih oblakov oz. so v sami vsebini članka citirali članke o razdaljah do oblakov. Ustrezno iz oddaljenosti sem lahko izračunal vse potrebno. Paralaksa se zračuna kot:

$$\varpi = \frac{1}{d}, \quad (1)$$

kjer je d razdalja v enotah pc. Navidezno svetlost pa lahko dobimo iz relacije

$$m = 5 \log d - 5 + M, \quad (2)$$

kjer je m nazidezna in M absolutna magnituda nekega objekta.

Ker je imel Gaia arhiv vzdrževanje spletne strani sem uporabljal alternativne verzije arhiva preko programa TOPCAT. Od tam sem izvozil .csv datoteke v Python, kjer sem si zopet pomagal z `numpy` in `matplotlib`.

4 Rezultati

4.1 Oddaljenosti

4.1.1 LMC

Prvi članek, ki sem ga našel o oddaljenosti LMC je meril oddaljenost preko prekrivajočih dvojnic [3]. Izmerili so oddaljenost

$$d_{LMC} = (49.97 \pm 1.1) \text{ kpc}.$$

Drugi novejši članek, ki tudi meri preko prekrivajočih dvojnic je dobil rezultat, ki se v okviru napake ujema z prejšnjim [4]. Dobili so

$$d_{LMC} = (49.57 \pm 0.54) \text{ kpc}.$$

Tretji članek pa ni meril preko prekrivajočih dvojnic ampak preko kefeid, ki služijo kot standardni svetilniki [5]. Izmerili so modul distance kot $\mu = 18.54 \pm 0.034$ kar ustreza oddaljenosti

$$d_{LMC} = (51.49 \pm 0.9) \text{ kpc}.$$

Zadnji rezultat je iz najnovejšega članka in je nekoliko večji, kot so kazali stari članki. Vseeno pa se rezultati precej dobro ujemajo. Za kotno velikost sem vzel podatek, ki je navoljo na SIMBADu [6], ki je

$$r_{LMC} = (322) \text{ arcmin}.$$

4.1.2 SMC

Prvi članek, ki sem ga našel za SMC je meril oddaljenost preko opazovanja kefeid v infrardeči svetlobi [7]. Dobili so oddaljenost

$$d_{SMC} = (62 \pm 0.3) \text{ kpc}.$$

Več člankov za oddaljenost SMC pa nisem uspel najti, predvsem zaradi časovne stiske. Prepričan sem, da obstaja še zelo veliko drugih meritev. Za kotno velikost sem zopet vzel SIMBADov podatek, ki je

$$r_{SMC} = (158) \text{ arcmin} .$$

4.2 Navidezna svetlost nadorjakinj

Za nadorjakinjo, ki ima v V filtru magnitudo $M_V = -4$, sem za LMC izračunal, da naj bi bila navidezna magnituda

$$m_{LMC} = 14.49 .$$

Podobno sem za SMC izračunal

$$m_{SMC} = 14.96 .$$

Sklepal sem, da bodo zvezde oblakov nekje v okolici te številke zato sem v obeh primerih omejil magnitudo pri iskanju po katalogu na

$$8.5 < m < 15.5 .$$

S tem upam, da sem zajel večino zvezd galaksij.

4.3 Pričakovan razpon paralaks

Da bi dobil razpon paralaks sem obe galaksiji aproksimiral kot krogelni. Za radij krogle sem vzel kotno velikost posamične galaksije in to pretvoril v paralakso. Tako sem dobil pričakovane razpone paralaks kot

$$\varpi_{LMC} < 0.02222 \text{ mas} ,$$

$$\varpi_{SMC} < 0.01724 \text{ mas} .$$

Paralaksam nisem postavil spodnje meje, saj bi lahko bile v teoriji tudi negativne. Tako sem raje vzel več zvezd in s tem imel večjo verjetnost, da sem zajel zvezde galaksij ob tem, da sem s tem dobil nekoliko več šuma.

4.4 Poziva za Gaia ED3 katalog

Spisal sem poziva z omenjenimi kriteriji in ju poslal podatkovni bazi.

Poziv za LMC:

```

1  SELECT TOP 10000000 source_id, ra, dec, parallax,
2  pmra, pmdec, phot_g_mean_mag
3  FROM gaiaedr3.gaia_source
4  WHERE 1=CONTAINS(POINT('ICRS ', ra , dec ),
5  CIRCLE('ICRS ', 80.8942 , -69.7561 , 5.37))
6  AND phot_g_mean_mag < 15.5
7  AND phot_g_mean_mag > 8.5
8  AND parallax < 0.022222
9

```

Poziv za SMC:

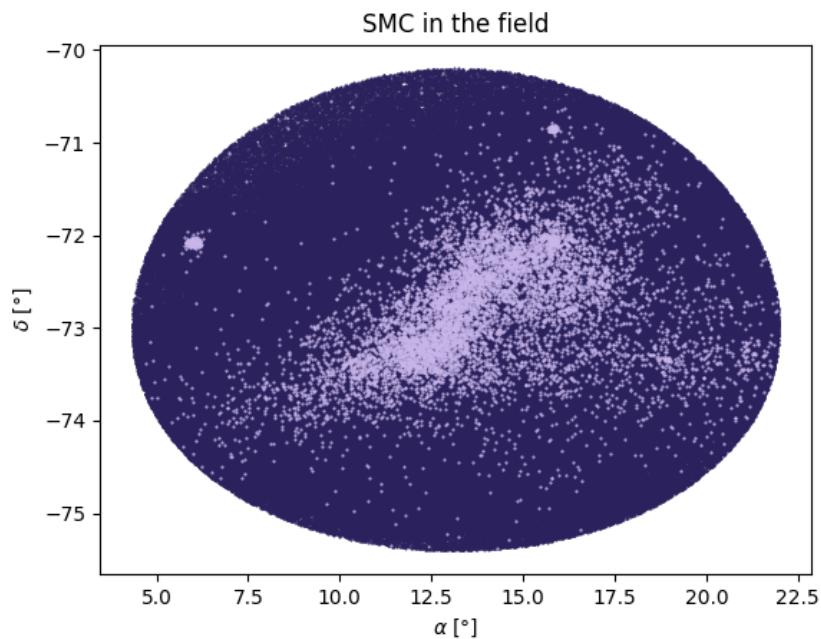
```

1  SELECT TOP 10000000 source_id, ra, dec, parallax,
2  pmra, pmdec, phot_g_mean_mag
3  FROM gaiaedr3.gaia_source
4  WHERE 1=CONTAINS(POINT('ICRS ', ra , dec ),
5  CIRCLE('ICRS ', 013.1583 , -72.8003 , 2.6))
6  AND phot_g_mean_mag < 15.5
7  AND phot_g_mean_mag > 8.5
8  AND parallax < 0.0172414
9

```

4.5 Vizualizacija lastnega gibanja in rotacije

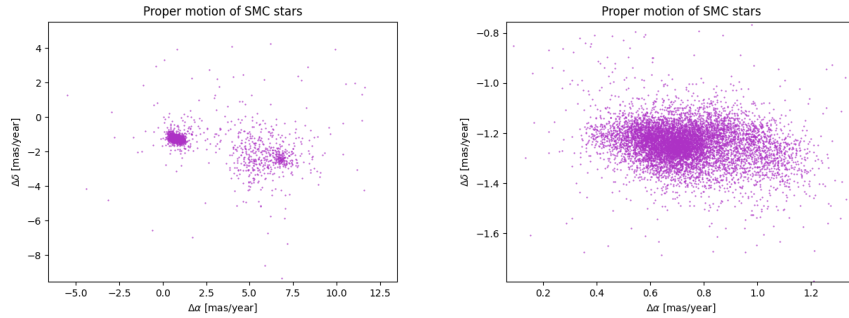
Zdelo se mi je smiselno, da bi prvo pogledal, ali so zvezde res iz oblakov. To bi načeloma lahko storil tudi grafično. Kot primer sem to prikazal na SMC, kjer so na grafu modre točke zvezde ozadja (torej brez omenjenih omejitvenih kriterijev) in vijolčne točke zveze, kjer je dodana omejitev.



Slika 2: SMC v zvezdnem polju

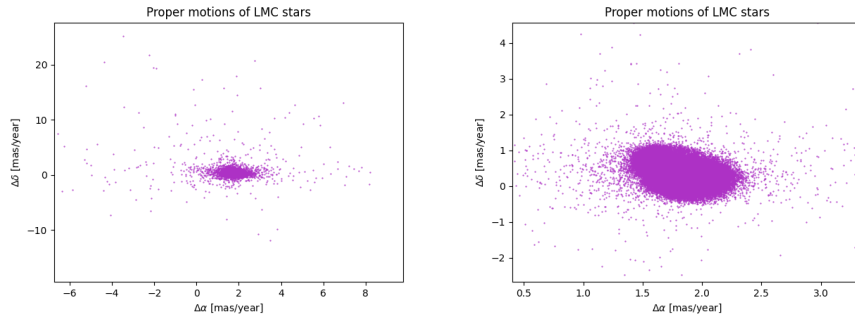
Večina zvezd res zgleda, kot da pripadajo neki galaksiji. Dobro se vidi tudi to, da sem zraven zajel še dve drugi kopici.

Boljša metoda je, da pogledamo lastno gibanje zvezd. Zvezde v galaksijah imajo približno enako lastno gibanje po analogiji zvezd v kopicah, ki imajo enako lastno gibanje zaradi istega časa nastanka, sestave ipd. Za SMC sem tako dobil gibanje na spodnjem grafu (Slika 3). Na desni slike je prikazana povečana leva zgoščina, ki predstavlja lastna gibanja zvezd galaksije. Desna zgoščina pa je od ene od tistih kopic, ki sem jo zajel ponesreči.



Slika 3: Lastno gibanje za SMC

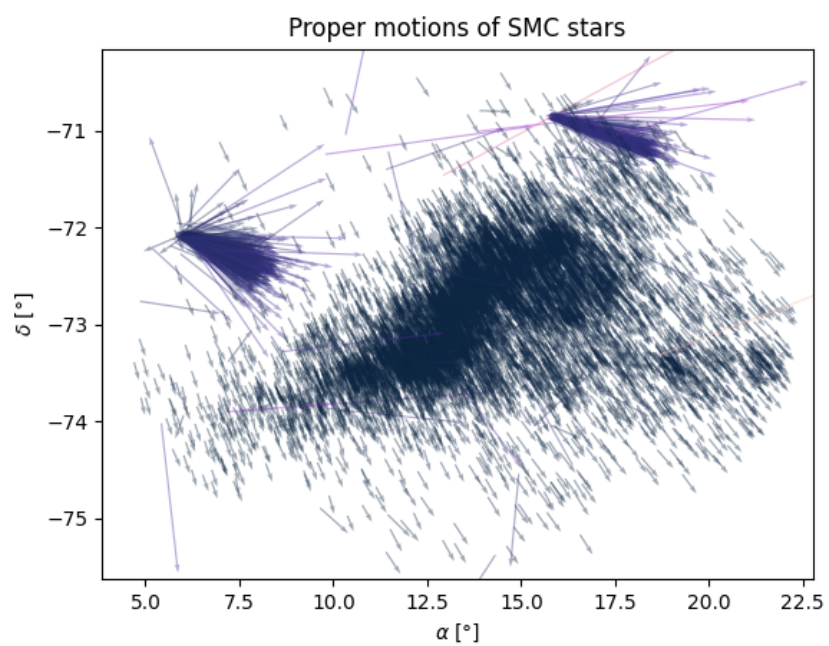
Podobno lahko storim še za LMC (Slika 4). Spet je na desni povečana centralna zgoščina. Tu k sreči nisem zajel kakih dodatnih kopic.



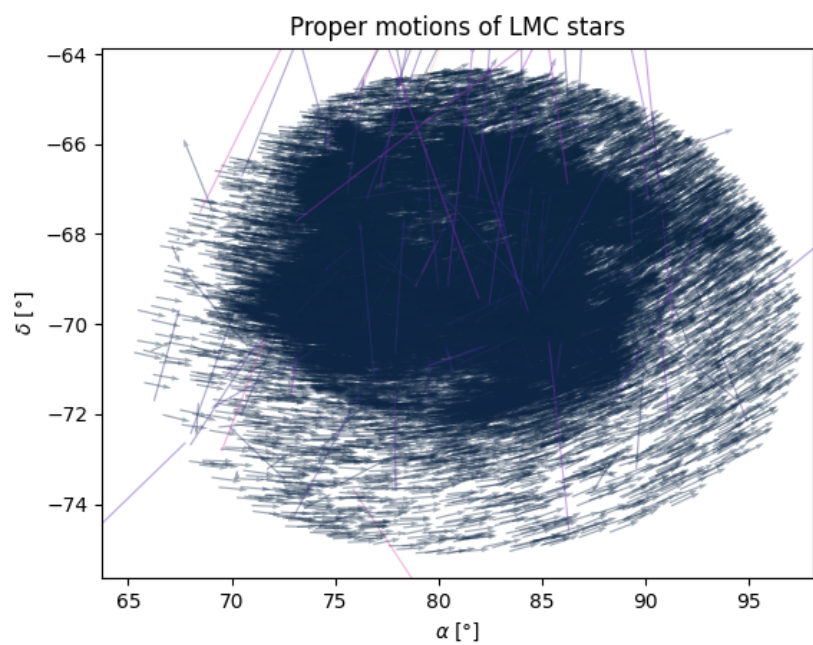
Slika 4: Lastno gibanje za LMC

Vidi se, da bi za dodatno razšumljanje podatkov lahko uporabil tudi lastno gibanje kot kriterij. V tem smislu, da bi zajel samo zvezde, ki pripadajo tem večjim zgoščinam. Tega zaradi časovne stiske in relativno čistostjo podatkov nisem tokrat počel.

Lepa ponazoritev se mi je zdela tudi z puščičnim diagramom. Ta tudi nekoliko nakazuje kako se gibljeta oba oblaka. Prosojnost je sorazmerna s številom zvezd v nekem območju. Pri diagramu za SMC pa sta očitno vidni tudi tisti dve kopici šuma.



Slika 5: Pušični diagram SMC



Slika 6: Pušični diagram LMC

4.6 Replika slik Paula McMillana

Po več dneh truda in branja dokumentacije sem praktično obupal nad risanjem diagramov s tokovnicami, ki ju je narisal avtor Paul McMillan. Izvorni članek [8] mi je dal namig kako sta bili slike ustvarjeni. Uporabil je metodo, kjer z konvolucijo krivuljnih integralov naslikamo vektorsko polje [9]. Tik pred rokom oddaje sem našel stran, kjer je ta metoda demonstrirana, ampak na mojem računalniku seveda ne dela. <https://scipy-cookbook.readthedocs.io/items/LineIntegralConvolution.html>

5 Komentarji in izboljšave

Tokrat res nisem imel nobene ideje, kako bi lahko napisal bolj pester teoretičen uvod. Upam, da bo vsaj za prvo silo okay. Praktično sem *rage quit-al* to nalogo, ker nikakor nisem uspel v času, ki smo ga imeli ugotoviti kako implementirati tisto metodo z konvolucijo krivuljnih integralov. Zasledil sem nek package na githubu, ki pa žal ni imel jasno napisano dokumentacijo, a sem ga kljub temu sprobil in žal nekaj ni več kompatibilno z mojo verzijo pythona (3.7.5). Ostalo se mi zdi, da sem dokaj uredi pokomentiral sproti. Želel bi si mogoče več časa ali pa dokumentacije o tem kako je nastala slika, ki naj bi jo replicirali. V originalnem članku je temu posvečeno okoli 5 stavkov in samo navedejo, da so uporabili prej omenjeno metodo. Saj v resnici nisem nič jezen bolj frustriran, ampak tako pač je kdaj. Tudi svoj quiver plot bi lahko mogoče nekoliko zožimiral, ampak nisem imel ideje kako.

```
PS D:\Backup\Documents\FMF\3. Letnik\Opazovalna Astrofizika\DN2> pip install .
Processing d:\backup\documents\fmf\3. letnik\opazovalna astrofizika\dn2
  Preparing metadata (setup.py) ... done
Using legacy 'setup.py install' for UNKNOWN, since package 'wheel' is not installed.
Installing collected packages: UNKNOWN
Running setup.py install for UNKNOWN ... error
error: subprocess-exited-with-error

  Running setup.py install for UNKNOWN did not run successfully.
  exit code: 1
  [end of output]

  running install
  running build
  running build_ext
  skipping 'lic_internal.c' Cython extension (up-to-date)
  building 'lic_internal' extension
  C:\Program Files (x86)\Microsoft Visual Studio\2019\BuildTools\VC\Tools\MSVC\14.28.29910\bin\HostX86\x64\cl.exe /c
  /nologo /Ox /W3 /GL /DNDEBUG /MD "-Ic:\program files\python37\include" "-Ic:\program files\python37\include" "-Ic:\Program
  Files (x86)\Microsoft Visual Studio\2019\BuildTools\VC\Tools\MSVC\14.28.29910\include" "-Ic:\Program Files (x86)\Win
  dows Kits\10\include\10.0.18362.0\ucrt" "-Ic:\Program Files (x86)\Windows Kits\10\include\10.0.18362.0\shared" "-Ic:\Pro
  gram Files (x86)\Windows Kits\10\include\10.0.18362.0\um" "-Ic:\Program Files (x86)\Windows Kits\10\include\10.0.18362.0
  \winrt" "-Ic:\Program Files (x86)\Windows Kits\10\include\10.0.18362.0\cppwinrt" /Tclic_internal.c /Fobuild\temp.win-amd
  64-3.7\Release\lic_internal.obj
  lic_internal.c
  lic_internal.c(687): fatal error C1083: Cannot open include file: 'numpy/arrayobject.h': No such file or directory
  error: command 'C:\Program Files (x86)\Microsoft Visual Studio\2019\BuildTools\VC\Tools\MSVC\14.28.29910\
  bin\HostX86\x64\cl.exe' failed with exit status 2
  [end of output]

  note: This error originates from a subprocess, and is likely not a problem with pip.
error: legacy-install-failure

  Encountered error while trying to install package.
  --> UNKNOWN

  note: This is an issue with the package mentioned above, not pip.
hint: See above for output from the failure.
```

Slika 7: REEEEEEEEEEEEEEE

Literatura

- [1] Gaia Collaboration, T. Prusti, J. H. J. de Bruijne, A. G. A. Brown, A. Vallenari, C. Babusiaux, C. A. L. Bailer-Jones, U. Bastian, M. Biermann, D. W. Evans, and et al. The Gaia mission. , 595:A1, November 2016.
- [2] Gaia Collaboration, A. G. A. Brown, A. Vallenari, T. Prusti, J. H. J. de Bruijne, C. Babusiaux, C. A. L. Bailer-Jones, M. Biermann, D. W. Evans, L. Eyer, and et al. Gaia Data Release 2. Summary of the contents and survey properties. , 616:A1, August 2018.
- [3] G. Pietrzyński, D. Graczyk, W. Gieren, I. B. Thompson, B. Pilecki, A. Udalski, I. Soszyński, S. Kozłowski, P. Konorski, K. Suchomska, G. Bono, P. G. Prada Moroni, S. Villanova, N. Nardetto, F. Bresolin, R. P. Kudritzki, J. Storm, A. Gallenne, R. Smolec, D. Minniti, M. Kubiak, M. K. Szymański, R. Poleski, L. Wyrzykowski, K. Ulaczyk, P. Pietrukowicz, M. Górski, and P. Karczmarek. An eclipsing-binary distance to the Large Magellanic Cloud accurate to two per cent. , 495(7439):76–79, March 2013.
- [4] G. Pietrzyński, D. Graczyk, A. Gallenne, W. Gieren, I. B. Thompson, B. Pilecki, P. Karczmarek, M. Górski, K. Suchomska, M. Taormina, B. Zgierski, P. Wielgórski, Z. Kołaczowski, P. Konorski, S. Villanova, N. Nardetto, P. Kervella, F. Bresolin, R. P. Kudritzki, J. Storm, R. Smolec, and W. Narloch. A distance to the Large Magellanic Cloud that is precise to one per cent. , 567(7747):200–203, March 2019.
- [5] Piotr Wielgórski and Grzegorz et al. Pietrzyński. An Absolute Calibration of the Near-infrared Period-Luminosity Relations of Type II Cepheids in the Milky Way and in the Large Magellanic Cloud. , 927(1):89, March 2022.
- [6] David O. Cook, Daniel A. Dale, Benjamin D. Johnson, Liese Van Zee, Janice C. Lee, Robert C. Kennicutt, Daniela Calzetti, Shawn M. Staudaher, and Charles W. Engelbracht. The Spitzer Local Volume Legacy (LVL) global optical photometry. , 445(1):881–889, November 2014.
- [7] Victoria Scowcroft, Wendy L. Freedman, Barry F. Madore, Andy Monson, S. E. Persson, Jeff Rich, Mark Seibert, and Jane R. Rigby. The Carnegie Hubble Program: The Distance and Structure of the SMC as Revealed by Mid-infrared Observations of Cepheids. , 816(2):49, January 2016.
- [8] Gaia Collaboration and X. et al. Luri. Gaia Early Data Release 3. Structure and properties of the Magellanic Clouds. , 649:A7, May 2021.
- [9] Brian Cabral and Leith Casey Leedom. Imaging vector fields using line integral convolution. *Proceedings of the 20th annual conference on Computer graphics and interactive techniques - SIGGRAPH '93*, 1993.