Forside

Eksamensinformationer
NFYB05035E - Bachelorprojekt i de fysiske fag, Niels Bohr Institutet - ID:bqt280 (Bibi Saleha Rahimi)

Besvarelsen afleveres af
Bibi Saleha Rahimi
bqt280@alumni.ku.dk

Administration
Eksamensteam, tel 35 33 64 57
eksamen@science.ku.dk

Bedømmere
Johan Peter Uldall Fynbo
Eksaminator
jfynbo@nbi.ku.dk
+4535325983

Besvarelsesinformationer

Tro og love-erklæring: Ja

Sjældne kvasar-typer

- En karakteristik af kvasarer med røde farver

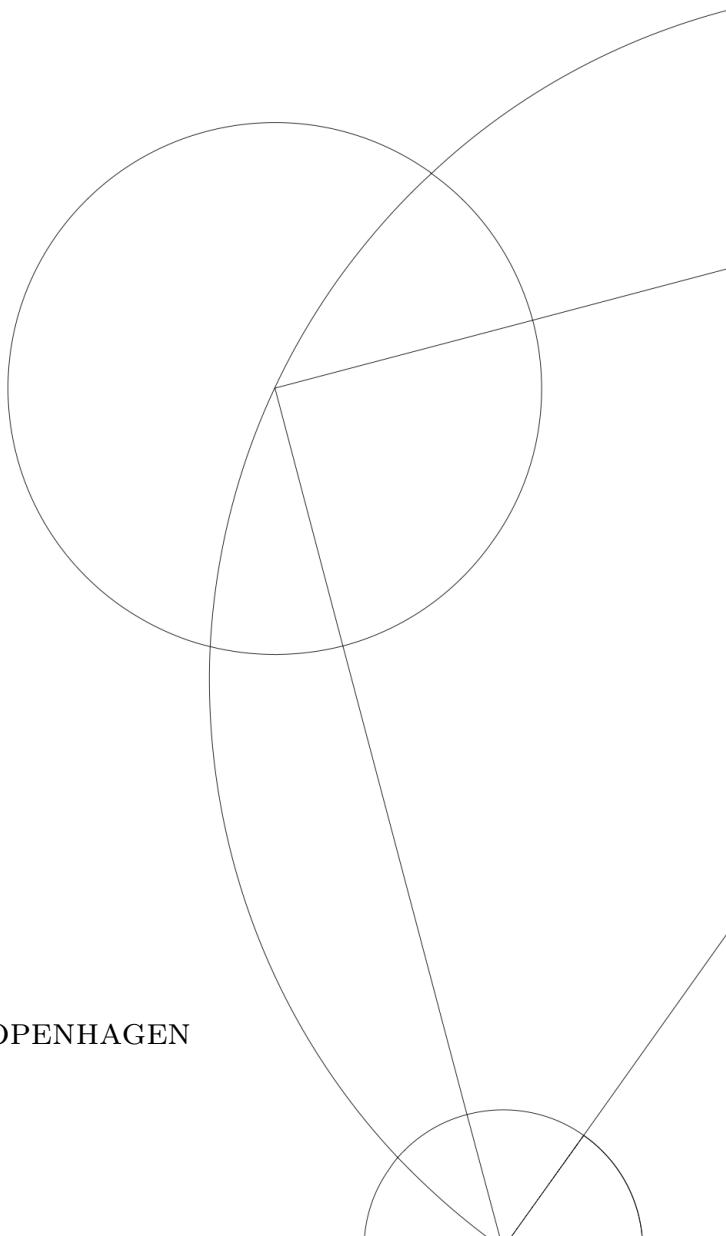
Bachelor Project

Skrevet af *Saleha Bibi Rahimi*

16. juni , 2021

Vejleder:

Johan Fynbo



University of Copenhagen

Institutnavn:	Niels Bohr Institutet
Forfatter:	Saleha Bibi Rahimi
Email:	bqt280@alumni.ku.dk

Title and subtitle:	Sjældne kvasar-typer - En karakteristik af kvasarer med røde farver
Vejleder:	Johan Fynbo
Afleveret:	16. juni, 2021
Forsvaret:	21. juni, 2021

Abstract

I dette bachelorprojekt vil jeg undersøge sjældne kvasar-typer som er udvalgt med en ny metode, der kombinerer astrometri og fotometri. Særligt er fokus på at karakterisere røde kvasarer som er underrepræsenteret i kvasar-kataloger udvalgt med sædvanlige metoder for lokalisering af kvasarer. I opgaven jeg fået givet et sæt af kvasarspektre observeret med teleskopet Gran Telescopio Canarias på La Palma. Disse spektre vil jeg analysere med henblik på bestemmelse af rødforskydning, rødfarvning p.g.a. støv samt tilstedeværelsen af såkaldte Brede AbsorptionsLinjer (BALs). Undersøgelsen er overordnet kvalitativ, således at det ikke er afgørende at bestemme kvantitative mål for de enkelte kvasarer, men snarere end overordnet karakteristik af, hvilke typer kvasar man finde forskellige steder i et $g - r$ vs. $J - K$ farve-farve diagram.

Contents

1 Indledning **4**

1.1 Kvasarer 4

1.2 Rødfarvning 5

1.3 Nye måder at lokalisere kvasarer med 6

2 Opgaven **6**

3 Analyse af data **7**

3.1 Fremgangsmåde for analysen af spektre og rødfarvning 7

3.2 Resultater af kvasarkandidater 9

3.3 Noter om hvert objekt 12

3.3.1 GQ1309+2904 12

3.3.2 GQ1327+3527 12

3.3.3 GQ1237+1233 12

3.3.4 GQ1213+1420 12

3.3.5 GQ1206+1012 12

3.3.6 GQ1203+0652 12

3.3.7 GQ1201+1128 13

3.3.8 GQ1159+0039 13

3.3.9 GQ1142+0726 13

3.3.10 GQ1139+0441 13

3.3.11 GQ1138+0851 13

3.3.12 GQ1136+1235 13

3.3.13 GQ1120+0811 13

3.3.14 GQ1119+1430 14

3.3.15 GQ1114+1549 14

3.3.16 GQ1112+1410 14

3.3.17 GQ1103+1325 14

3.3.18 GQ1250+2827 14

3.3.19 GQ1457+3318 14

3.3.20 GQ143417+094009 15

3.3.21 GQ142812+095206 15

3.3.22 GQ135948+255939 15

3.3.23 GQ135923+341248 15

3.3.24 GQ135855+223012 . . . 15
3.3.25 GQ134531+341901 . . . 15
3.3.26 GQ133411+322639 . . . 16
3.3.27 GQ131717+310135 . . . 16
3.3.28 GQ123855+035012 . . . 16
3.3.29 GQ131341+312036 . . . 16
3.3.30 GQ133118+013128 . . . 16
3.3.31 GQ135305+255429 . . . 16
3.3.32 GQ131417+342122 . . . 17
3.3.33 GQ1218+0832 . . . 17
3.4 Klassificering af røde kvasarer . . . 17
3.4.1 Sub-boks nederst til venstre . . . 17
3.4.2 Sub-boks nederst til højre . . . 18
3.4.3 Sub-boks øverst til venstre . . . 18
3.4.4 Sub-boks øverst til højre . . . 18

4 Konklusion af afhandlingen **19**

4.1 Spektra for alle observerede kvasarer, der er analyseret i afhandlingen . . . 22

1 Indledning

I dette projekt vil kvarsartyper identificeret med en ny udvalgsmetode blive undersøgt. I den første del redegøres der for egenskaber af kvarsarer og de anvendte udvalgsmetoder og observationsmetoder. Derefter fokuseres på analyse af kvasarkandidater med henblik på at karakterisere naturen af disse kvasarer med hensyn til rødforskydning, graden af rødfarvning p.g.a. støv samt tilstedeværelsen af såkaldte Brede Absorptions-Linjer (eng. Broad Absorption Lines, BALs).

1.1 Kvasarer

Kvasarer er stjernelignende objekter på himlen som i virkeligheden er ekstremt lysstærke centre af fjerne galakser. Den kraftige lysudsendelse kommer fra aktive galaksecentre, nærmere bestemt omgivelserne af et supermassivt sort hul i centrum af værtgalaksene, som opsluger alt det gas og støv der ligger omkring det. På grund af den enorme tyngdekraft trækkes gasserne fra omgivelserne ind mod det sorte hul med en meget stor hastighed, hvilke resulterer at gasserne omkring det sorte hul opvarmes til millioner af grader. Desuden kommer der lys fra andre dele af det sorte huls omgivelser, f.eks. den såkaldte "Broad Line Region", hvor de kraftige emissionslinjer menes dannet. Der kan også være en kraftig jet langs hvilken materiale acceleres og udsender synchrotron-stråling. Kvasarer udsender stråling næsten det mest af det elektromagnetiske spektrum og kan observeres ved mange forskellige bølgelængder: gammastråling, røntgen, UV, optisk, infrarød og radiostråling. På grund af de store afstande til Jorden, er lyset fra de kvasarer rødforskudt. Den fjerneste kendte kvasar har idag en rødforskydning på 7.64 [19]. Hvilken kvasar, der er nærmest Jorden afhænger lidt af af definitionen, men f.eks. er 3C 273 en klar kvasar ved z=0.16, så kvasarer findes også i det "lokale" univers [16]. Markarian 231 ved en rødforskydning på $z = 0.041$ nævnes nogle gange som den nærmeste kvasar [2]. Fig. 1 viser et såkaldt "composite" (fra Engelsk, på dansk "sammensat") spektrum af normale kvasar konstrueret ved at kombinere spektre fra mange kvasarer, så man kan opnå en bred dækning af bølgelængderne (fra [17]). Det kan lade sig gøre, da de fleste kvasarer er meget ens på samme måde som f.eks. alle G2 stjerner ser meget ens ud.

Man støder nogen gange på kategoriseringen type 1 og type 2 kvasarer [13]. Denne opdeling er baseret på hastighedsbredden af emissionslinjerne. Type 1 kvasarer har brede emissionslinjer (> 1000 km/s), mens type 2 kvasarer har smallere linjer end det. Type 2 kvasarer menes at være kvasarer, hvor det område, der laver de brede linje ("Broad Line Region" nævnt ovenfor) ikke kan ses p.g.a. at området er skjult bag en støvrig torus tæt på det sorte hul [1].

I opgaven vil vi også se såkaldte BAL kvasarer (akronymet er defineret ovenfor, se også [18]). Det er kvasarer hvis spektrum er prægede af meget kraftige vinde som skaber absorption på den blå side af emissionslinjerne (såkaldte P-Cygni profiler opkaldte efter stjernen P Cygni som også har en kraftig

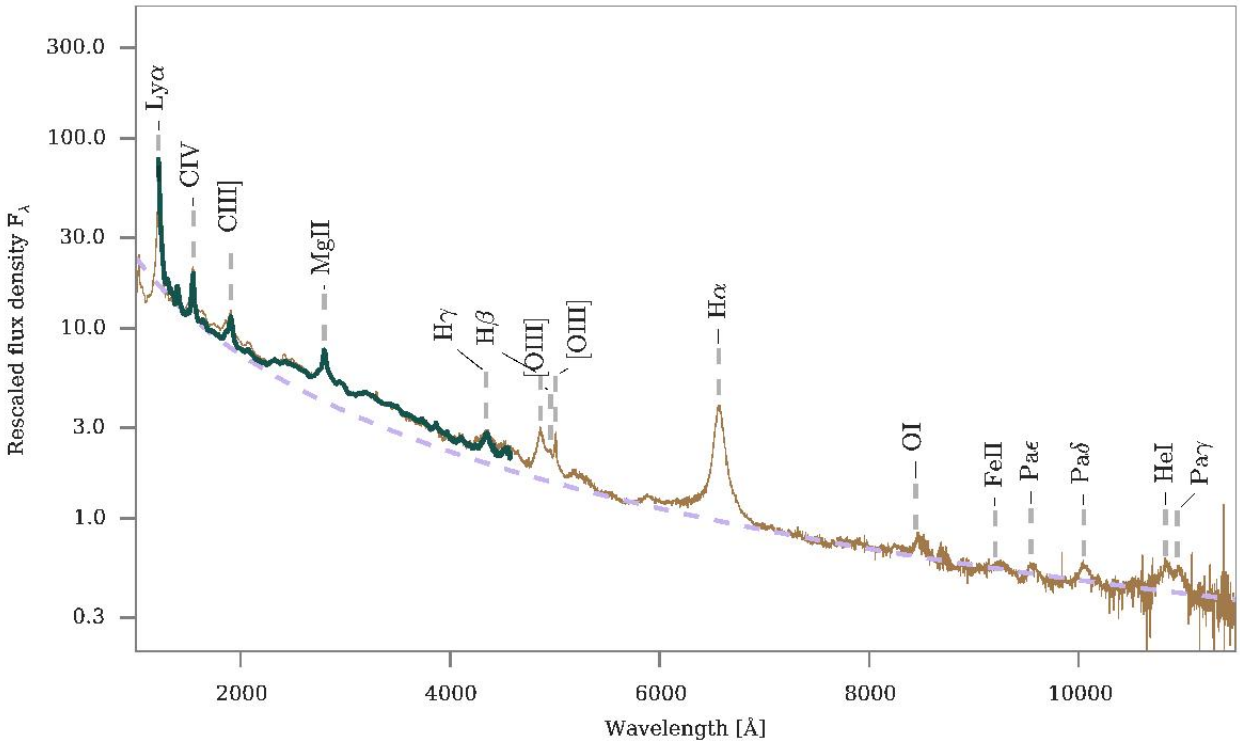


Figure 1: Denne figur viser det sammensatte kvasarspektrum fra [17]. Her kan man se, hvordan "normale" kvasarer ser ud, altså karakteriseret ved et blå kontinuum (potens-lov) med meget brede emissionslinjer fra Broad Line Region overlejret. Vi vil i analysen bruge dette sammensattespektrum til at modulere de spektre vi undersøger i opgaven.

vind). Nogle BAL kvasarer er meget pekuliære og deres spektre kan være meget svære at analysere, der de simpelthen er fulde af et virvar af absorptionslinje (se f.eks. [8]).

1.2 Rødfarvning

Traditionelt er kvasarer blevet fundet som punktkilder på himlen, der ligner kvasarer, men som er mere blå end de fleste stjerner i deres optiske farver (se Fig. 2 herunder og [15]). Imidlertid er der støv i galakser. Vi kender f.eks. støv, når vi ser på Mælkevejen. De mørke områder i Mælkevejen er områder, hvor lyset fra de bagvedliggende stjerner er absorberet af interstellart støv. Man fandt også ud af, at støv er vigtigt for kvasarer og at der kan være et stort antal "manglende" kvasarer, som man havde overset fordi rødfarvningen fra støv havde gjort dem røde i stedet for blå [21], så man ikke kan skelne dem fra stjerner i optisk fotometri (se også [6] og referencer i den artikel). Denne opgave handler eksplicit om at undersøge nogle af disse understuderede røde kvasarer.

1.3 Nye måder at lokalisere kvasarer med

For at undersøge problemet med de pontentielt manglende kvasarer har projektets vejleder og samarbejdspartnere igennem en årrække arbejdet med at undersøge alternative metoder til lokalisering af kvasarer som ikke lider under, at de "overser" de rødfarvede kvasarer. Disse metoder kan f.eks. bestå i at vælge kvasarer ud fra infrarød fotometri [6, 12]. Infrarødt lys er mindre påvirket af støv og derfor vil en udvalgsmetode baseret på infrarødt lys være mindre følsom for støv. En anden strategi er at benytte astrometri og udvælge kvasar kandidater som punktkilder, der står helt stille på himlen [9, 11, 10]. På grund af kvasarenes enorme afstand er deres forventede egenbevægelse på himlen langt mindre en det man kan måle med eksisterende målinger. Astrometri er kun afhængig af støv i den udstrækning af kilden skal være klar nok til at kunne måles f.eks. af Gaia-satellitten som måler i det optiske område [3].

2 Opgaven

I denne opgave er hensigten at undersøge et udvalg af kvasarkandidater primært udvalgt med den astrometriske metode. Kandidaterne er udvalgt på følgende måde. Vi vælger at undersøge et område 30 grader omkring den nordlige galaktiske pol. Her er den astrometriske udvalgsmetode mest effektiv, da der er færre stjerner [9]. I dette område har vejleder og hans samarbejdspartnere lavet et katalog af punktkilder fra Gaia-satellitten og matchet dette med fotometrisk data fra Sloan Digital Sky Survey (SDSS, $griz$ filtre, [4]) det nær-infrarøde UKIDSS survey, $YJHKs$, [20]) samt WISE satelitten (W1 og W2, [22]). Fig. 2 viser et farve-farve diagram for punktkilder i dette diagram. Figurteksten samt Fig. 3 forklarer, hvordan denne figur skal læses. Vi er interesseret i at undersøge røde kvasarer i dette katalog. Til det formål har vejleder og samarbejdspartnere får taget spektre af et udvalg af punktkilder, der ligger i et område i diagrammet væk fra stjernerne og væk fra de "normale" kvasarer. Spektrene er taget med 10-m Gran Telescopio Canarias (GTC) på La Palma, med instrumentet OSIRIS og et grisme 1000B, der dækker den blå del af spektret. Spektrene er taget gennem et såkaldt "filler program" ved teleskopet, hvilket vil sige, at der har været et større katalog af mulige targets som er blevet observeret, når der er huller i det øvrige observationsprogram på teleskopet. Opgaven er nu at karakterisere disse spektre, bestemme rødforskydning, rødfarvning samt andre grunde, der kan være til at disse kvasarer er røde.

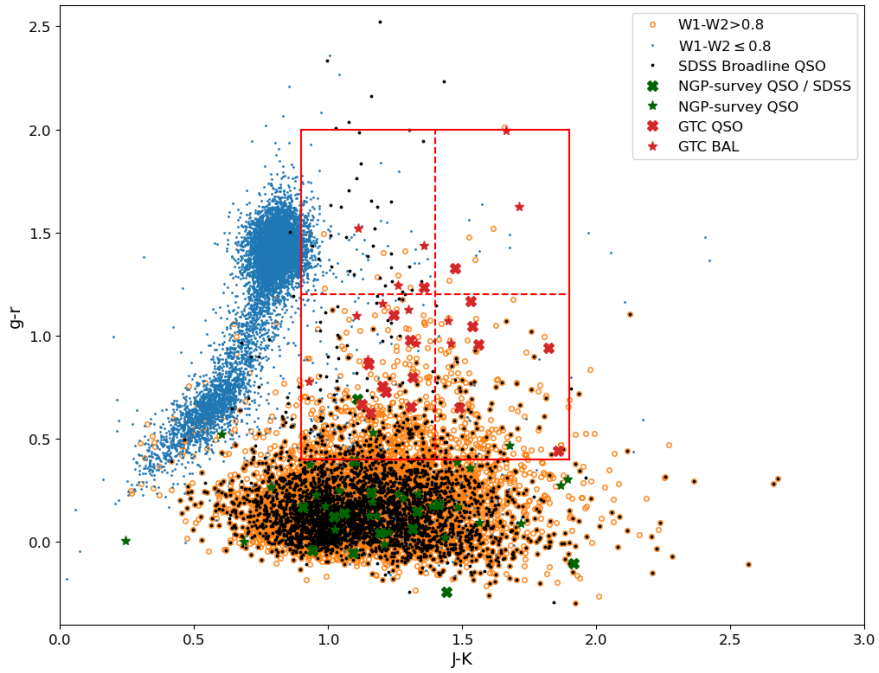


Figure 2: Dette plot er det centrale plot i denne opgave. Her ses $g - r$ plottet mod $J - K$ for alle punktkilder i vores katalog at punktkilder 30 grader omkring den nordlige galaktiske pol. Alle punktkilder er udvalgt til ikke at have målbar egenbevægelse i Gaia dataene, hvilket betyder at langt de fleste stjerner falder bort. De forskellige punkter er farvegivet efter det skema man kan se foroven til højre. Objekter med WISE farver $W1 - W2$ større og mindre end 0.8 er markeret med orange og blåt. $W1 - W2 > 0.8$ er et godt kriterium for at adskille kvasarer og stjerner [12]. I plottet kan man se, at de fleste blå punkter definerer en nær vertikal sekvens til venstre i diagrammet: det er stjernerne. Kvasarer befinder sig til højre i diagrammet. De grønne punkter er kvasarer lokaliseret i et pilot-studie, der ledte efter kvasarer i et felt 1 grad omkring den nordlige galakstiske pol alene udfra astrometri. [11, 10]. De røde punkter er centrale for denne opgave: de markerer objekter som vi har spektrale data for og som analyseres i opgaven. De fire kvadrater markeret med rødt er fire områder i diagrammet som vil blive brugt i undersøgelsen (Figur lavet af Johan Fynbo).

3 Analyse af data

3.1 Fremgangsmåde for analysen af spektre og rødfarvning

Vejlederen og hans samarbejdspartnere har udarbejdet et python skript til kvalitativt at analysere de observerede objekter fra Gaia-satellitten. Spektre (de blå kurver i plotsene herunder) for de observerede kvasar kandidater skaleres og plottes sammen med fotometriske målinger over de observeret bølgelængder i [$\AA$], i det optiske og infrarøde område omkring 3500Å til 23000Å. De fotometriske målinger overplottes med orange punkter. De fotometriske punkter er fra Sloan Digital Sky Survey (SDSS, *griz* filtre, [4]) det nær-infrarøde UKIDSS survey, $YJHKs$, [20]). Oven på det observerede spektrum og de fotometriske punkter plottes endvidere en model bestående af det sammensatte kvasar-

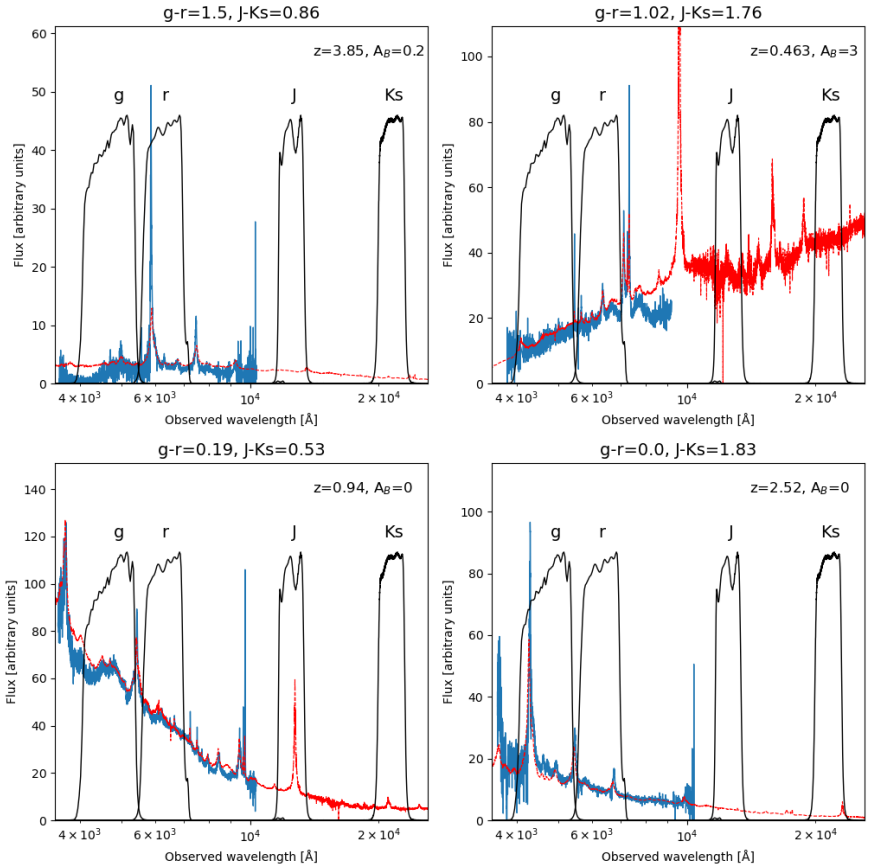


Figure 3: Her ønsker vi at forklare, hvorfor forskellige kvasarer placerer sig forskellige steder i Fig. 2. Der gives fire eksempler på kvasarer valgt fra Sloan Digital Sky Surveys kvasarkatalog og som placerer sig i hver sin kvadrant i Fig. 2. Kvasaren forneden til venstre er blå i $g-r$ og blå i $J-K$. Det er den fordi den har et blå kontinuum og desuden har en kraftig emissionslinje (Hα) i J-filteret. Kvasaren foroven til venstre er rød i $g-r$ og blå i $J-K$. Det er den fordi den har en kraftig emissionslinje i r-filteret (Lyman-α), da den p.g.a. Lyman-α skoven er absorberet i g-filteret og da den har et blåt konbtinuum i det nær-infrarøde spektrum. Kvasaren foroven til højre er rød i $g-r$ og rød i $J-K$. Det er den fordi den er meget rødfarvet af støv ($A_B = 3$). Kvasaren forneden til højre er blå i $g-r$ og rød i $J-K$. Det er den fordi den har en kraftig emissionslinje i g-filteret (Lyman-α og en kraftig emissionslinje i K-filteret (Hα) (Figur lavet af Johan Fynbo).

spektrum fra [17] (se Fig. 1) rødfarvet med en SMC-ekstiktionskurve [14]. Denne model ses i plotsene som en rød kurve. Ud over rødfarvningen er modellen også rødforskudt. Den røde skabelon består af emissionslinjer som vil give en illustration af de brede emissionslinjer som en normal kvasar typisk har (Fig. 1). Analysen er kvalitativ, da der ikke foretages et egentlig fit f.eks. med χ^2-minimalisering. Målsætningen er kun at få en grov bestemmelse af rødforskydning og rødfarvning (kvantificeret ved A_B) for at kunne beskrive de grove træk ved kvasarene forskellige steder i farve-frave diagrammet Fig. 2. Det er udover det vi kan nå i dette projekt at lave et egentlig χ^2-fit af rødforskydning og A_B og til vores formål er en grov kategorisering tilstrækkelig.

Vi kategoriserer de observerede kvasarer i flg. grupper: QSO: en kvasar, der ligner modellen pånær evt. rødfarvning. BAL kvasar: en kvasar med kraftige, brede absorptionslinjer på den blå side af

emissionslinjerne. Disse BAL-linjer skyldes kraftige vinde fra gas, der udsendes fra et område tæt på det centrale sorte hul. Pekuliær BAL kvasar: Nogle BAL kvasarer er meget mærkelig, f.eks. kan de helt mangle emissionslinjer. Dem kalder vi pekuliære BAL kvasarer. FeII LoBAL kvasar: Nogle BAL kvasarer har meget kraftig absorption på den blå side af MgII emissionslinjen. De skyldes absorption fra FeII i kraftige vinde. Ud over kategori ønsker vi også at estimere rødforskydning og A_B.

3.2 Resultater af kvasarkandidater

Her gives fire eksempler. De restende plots kan findes i appendiks.

Table 1: Oversigt over de observerede objekter og deres typer

Objekt	Rødforskydning (z)	A_B	Type
GQ1309+2904	2.66	0.55	Pekuliær BAL
GQ1327+3527	2.35	0.70	QSO
GQ1237+1233	2.31	0.8	BAL kvasar
GQ1213+1420	0.87	0.7	QSO
GQ1206+1012	1.65	1.1	QSO
GQ1203+0652	2.4	0.3	Pekuliær BAL kvasar
GQ1201+1128	1.36	0.95	QSO
GQ1159+0039	1.84	0.6	Svag BAL kvasar
GQ1142+0726	2.15	0.5	BAL kvasar
GQ1139+0441	0.95	1.4	QSO
GQ1138+0851	1.57	0.3	FeII LoBAL kvasar
GQ1136+1235	1.25	0.7	QSO
GQ1120+0811	1.45	1.3	BAL kvasar
GQ1119+1430	1.9	0.3	Pekuliær BAL kvasar
GQ1114+1549	1.75	0.6	BAL kvasar
GQ1112+1410	2.25	0.75	QSO
GQ1103+1325	2.16	0.4	BAL kvasar
GQ1250+2827	1.48	1.2	BAL kvasar
GQ1457+3318	1.38	1.2	QSO
GQ143417+094009	1.18	0.5	FeII LoBAL kvasar
GQ142812+095206	2.51	1.4	BAL kvasar
GQ135948+255939	2.18	0.3	BAL kvasar
GQ135923+341248	2.38	0.3	BAL kvasar
GQ135855+223012	3.09	0.7	BAL kvasar
GQ134531+341901	2.55	0.6	QSO
GQ133411+322639	2.52	0.80	BAL kvasar
GQ131717+310135	3.46	0.0	Type 2 (pekuliær) BAL kvasar
GQ123855+035012	0.56	2.2	QSO
GQ131341+312036	2.32	0.8	QSO
GQ133118+013128	1.042	1.5	QSO
GQ135305+255329	2.145	1.0	BAL kvasar
GQ131417+342122	2.38	0.5	BAL kvasar
GQ1218+0832	2.6	0.45	QSO

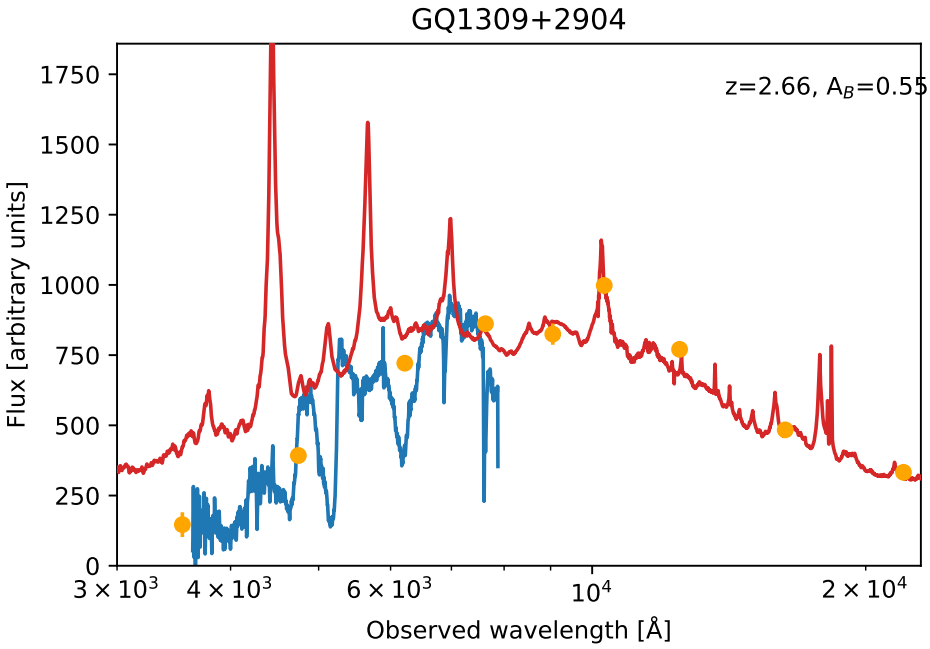


Figure 4: Spektret viser en pekuliær BAL-kvasar, hvor den blå kurve er det observerede spektrum fra GTC. Den er pekuliær, fordi man slet ikke ser emissionslinjer. De orange punkter præsenterer de fotometriske målinger af kvasaren. Den røde kurve viser en model med en estimeret rødfarvning p.g.a. støv svarende til $A_B = 0.55$. Denne kvasar er der skrevet en særskildt artikel omkring [5].

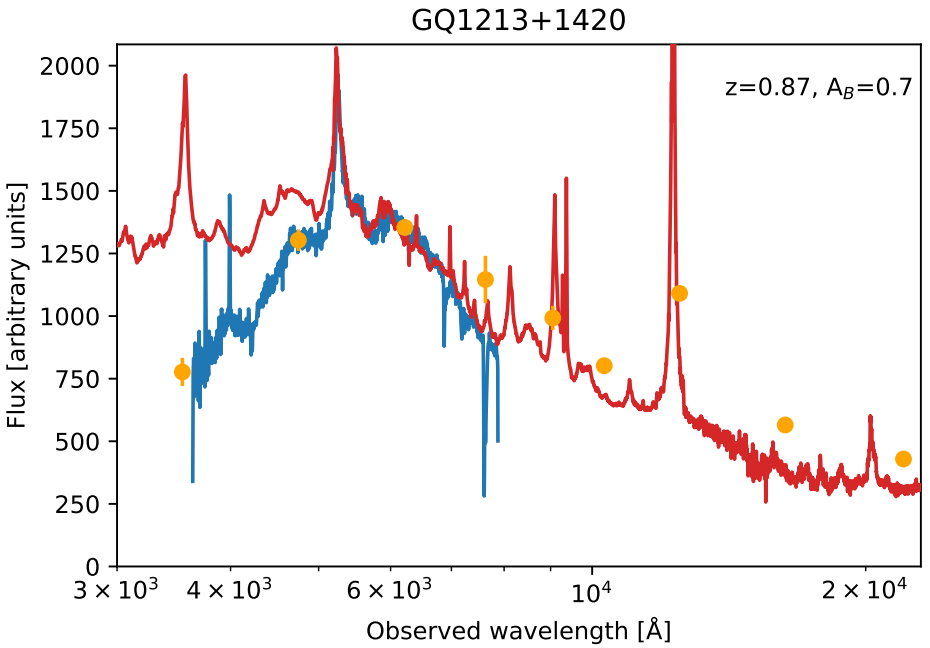


Figure 5: Det observerede spektrum (den blå kurve) viser en enkelt emissionslinje og ingen absorptionslinjer i det optiske spektrum. De orange punkter præsenterer de fotometrisk målinger af kvasaren. Den røde kurve viser en model med en estimeret rødfarvning svarende til $A_B = 0.7$, altså 0.7 størrelsesklasser i B filteret (i hvilesystemet). Modellen passer ikke særligt godt på den blå side af MgII emissionslinjen, hvilket er noget man har set i et tidligere studie [6].

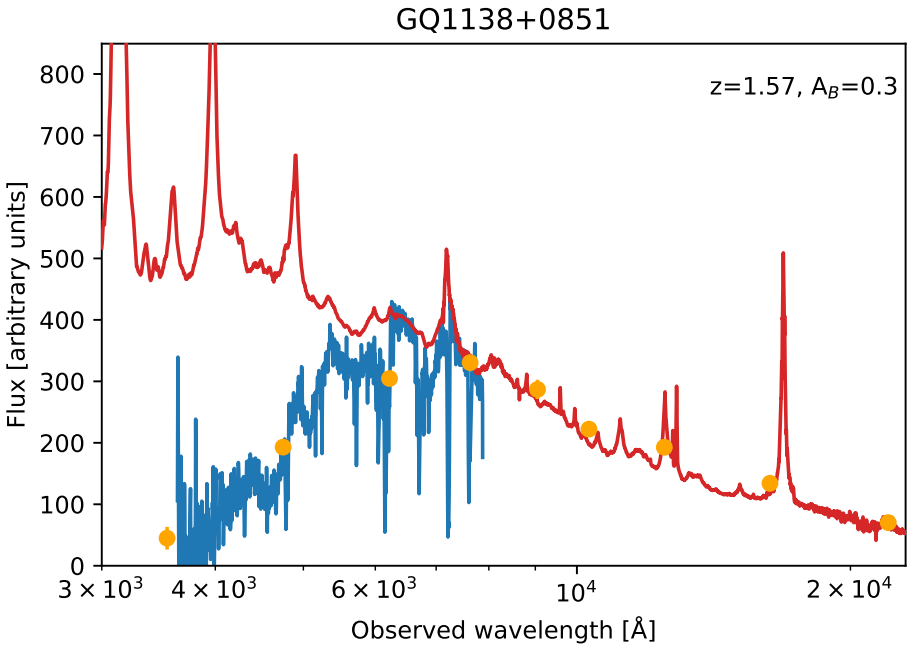


Figure 6: En Fe II LoBals kvasar [8], hvor jeg minder om, at den blå kurve er det observerede spektrum og de orange punkter præsenterer de fotometriske målinger. Den røde kurve viser modellen fra fra Fig. 1 rødforskudt til $z = 1.57$ og rødfarvet med en faktor $A_B = 0.3$.

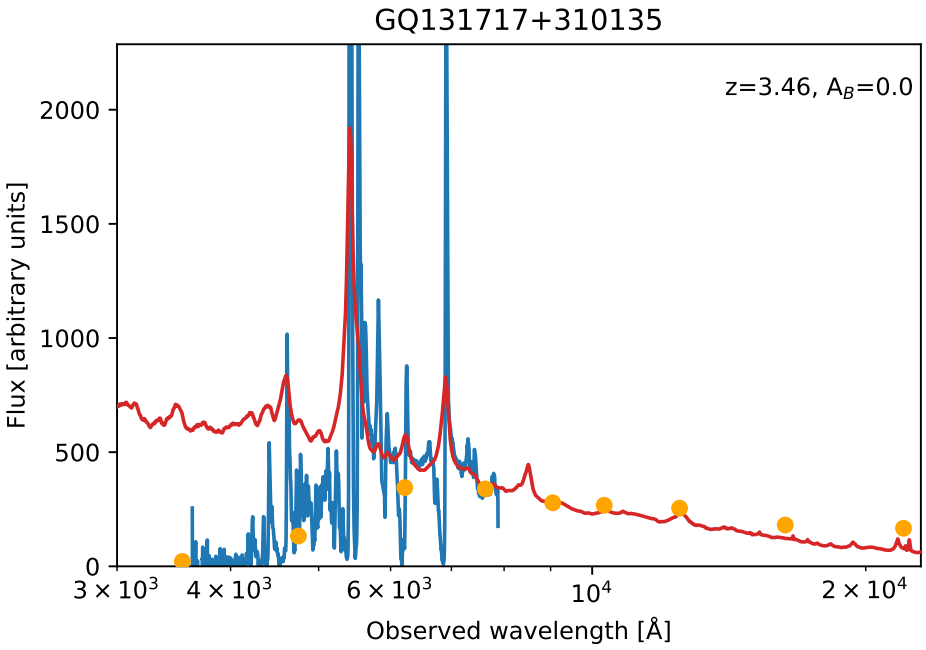


Figure 7: En type 2 BAL kvasar med kraftige og smalle emissionslinjer. Om denne kvasar opfylder kriterierne for formelt at være en type 2 kvasar ved jeg ikke, men den har påfaldende smalle emissionslinjer. De orange punkter præsenterer den fotometrisk fit til kvasaren. Den røde kurve er ekstinktionen med faktor $A_B = 0$ (altså ingen rødfarvning).

3.3 Noter om hvert objekt

3.3.1 GQ1309+2904

Dette er en pekuliær BAL kvasar som er vist i Fig. 4. Det observerede spektrum viser dybe, brede absorptionslinjer, men de sædvanlige kvasar absorptionslinjer mangler. Dette objekt er studeret i større detalje i en dedikeret publikation [5]. Objektet er rødfarvet i et omfang, der kan modelleres med en SMC ekstinktionskurve med $A_B = 0.55$.

3.3.2 GQ1327+3527

Det observerede spektrum og fotometrien for objektet kan reproduceres godt med en model, der består af en normal kvasar ved $z = 2.35$ rødfarvet med en SMC-ekstinktionskurve med $A_B = 0.7$. Objektet har også kraftig associeret absorption ved kvasarens rødforskydning, men disse absorptionslinjer er ikke BAL-linjer (de er smallere i hastighedsforbredning).

3.3.3 GQ1237+1233

Det observerede spektrum består både af dybe brede og smalle absorptionslinjer. En typisk BAL kvasar ved rødforskydning $z = 2.31$ og rødfarvet med en SMC ekstinktionskurve er $A_B = 0.8$. Figuren kan ses i appendiks.

3.3.4 GQ1213+1420

Dette observerede spektrum viser ikke særlig meget absorption ved $z = 0.87$. SMC-ekstinktionskurven er stejlere og stigende i forholde til det observerede objektet i det blå spektrum. Der kan benyttes en merged [6] QSO skabelon til at undersøge denne type af kvasar. Figuren kan ses i Fig. 5.

3.3.5 GQ1206+1012

Det observerede spektrum viser smalle absorptionslinjer. Spektret og fotometrien for objektet kan reproduceres godt med en model, der består af en normal kvasar ved $z = 1.65$ rødfarvet med en SMC-ekstinktionskurve med $A_B = 1.1$. Figuren kan ses i appendiks.

3.3.6 GQ1203+0652

Det er en pekuliær BAL kvasar ved $z = 2.4$. Det observerede spektrum viser dybe, brede absorptionslinjer. Objektet er rødfarvet i et omfang, der kan modelleres med en SMC ekstinktionskurve med $A_B = 0.3$. Figuren kan ses i appendiks.

3.3.7 GQ1201+1128

Spektret for dette objekt viser ikke særlig meget absorptionlinjer, men har nogle kraftige emissionslinjer ved $z = 1.36$. Fotometrien for objektet stemmer overens med det observerede spektrum. Kvasaren er rødfarvet med en SMC-ekstinktionskurve med $A_B = 0.95$. Figuren kan ses i appendiks.

3.3.8 GQ1159+0039

Det er en svag-BAL kvasar, som har en enkelt BAL linje (CIV). Spektret ser kompakt ud, som kan skyldes høj indhold af støjen. Men både fotometrien og SMC-ekstinktionskurven med $A_B = 0.6$, har et godt match med det observerede spektrum ved $z = 1.84$. Figuren kan ses i appendiks.

3.3.9 GQ1142+0726

Det observerede spektrum og fotometrien for objektet kan reproduceres godt med en model, der består af en normal kvasar ved $z = 2.15$. Det er rødfarvet med en SMC-ekstinktionskurve med $A_B = 0.5$, men den faktor er usikkert. Objektet har brede absorptionslinjer ved kvasarens rødforskydning, samt flere smalle linjer. Figuren kan ses i appendiks.

3.3.10 GQ1139+0441

Det observerede spektrum viser ikke særlig meget absorption ved rødforskydning,$z = 0.95$. Fotometrien og SMC-ekstinktionskurven med $A_B = 1.4$, passer godt med det observerede objekt. Figuren kan ses i appendiks.

3.3.11 GQ1138+0851

Det observerede spektrum ved $z = 1.57$, er en Fe II Low-ionization broad absorption lines, (Fe II LoBAl), fordi det består af flere Fe II absorptionslinjer [8]. SMC-ekstinktionkurven med $A_B = 0.3$ er meget stejlere i forhold til kvasarspektret, og kan skyldes outflows fra BAL-linjerne, men passer fint med fotometrikurven. Figuren kan ses i Fig. 6.

3.3.12 GQ1136+1235

Det observerede spektrum viser smalle absorptionslinjer ved rødforskydningen $z = 1.25$. Objektet er rødfarvet med en SMC ekstinktionskurve med $A_B = 0.7$. Figuren kan ses i appendiks.

3.3.13 GQ1120+0811

Det observerede spektrum består både af flere smalle absorptionslinjer og en enkelt BAL-linje ved rødforskydning, $z = 1.45$. Men spektrum mangler de sædvanlige absorptionlinjer som en normal kvasar

kan have. Objektet er meget rødfarvet med en SMC-ekstinktionskurve med $A_B = 1.3$. Figuren kan ses i appendiks.

3.3.14 GQ1119+1430

Dette er en pekuliær BAL kvasar. Det observerede spektrum er meget kompakt og viser flere kraftig brede og smalle absorptionslinjer. Objektet er rødfarvet i et omfang, der kan modelleres med en SMC ekstinktionskurve med $A_B = 0.3$. Figuren kan ses i appendiks.

3.3.15 GQ1114+1549

Det observerede spektrum viser nogle brede absorptionslinjer. Fotometrien og spektret kan godt sammenlignes med en model af en normal kvasar ved $z = 1.75$ og rødfarvet med en SMC-ekstinktionskurve med $A_B = 0.6$. Figuren kan ses i appendiks.

3.3.16 GQ1112+1410

Det observerede spektrum og fotometrien for objektet kan reproduceres godt med en model, der består af en normal kvasar ved $z = 2.25$ rødfarvet med en SMC-ekstinktionskurve med $A_B = 0.75$. Objektet viser også kraftig associeret absorption ved kvasarens rødforskydning, men disse absorptionslinjer er ikke BAL-linjer. Figuren kan ses i appendiks.

3.3.17 GQ1103+1325

Det observerede spektrum består er dybe, brede absorptionslinjer. Sammenhænge mellem spektret og fotometrien for objektet, kan modelleres som en normal kvasar ved $z = 2.16$. Objektet er rødfarvet med en SMC ekstinktionskurve med $A_B = 0.4$. Figuren kan ses i appendiks.

3.3.18 GQ1250+2827

Dette objekt ligner meget med $(GQ1201 + 1128)$ og $(GQ1139 + 0441)$, med en rødforskydning ved $z = 1.48$ og $A_B = 1.2$.

3.3.19 GQ1457+3318

Det observerede spektrum består af smalle absorptionslinjer. men emissionslinjer er både smalle og brede ved $z = 1.38$. Objektet er meget rødfarvet med en SMC ekstinktionskurve med $A_B = 1.2$. Fotometrien og ekstinktionkurven passer til det observerede objekt, men det mangler de sædvanlige kvasar absorptionlinjer.

3.3.20 GQ143417+094009

Dette observerede objekt er en Fe II LoBAL [8] kvasar. Spektret viser flere smalle absorptionslinjer af Fe II ved $z = 1.18$, som efterfølges af bred BAL-trug. Kraftigt afvigelse mellem spektrum og den rødkurven viser at det er en meget blå kvasar. Objektet er rødfarvet med en SMC-ekstinktionskurve med $A_B = 0.5$.

3.3.21 GQ142812+095206

Det observerede spektrum består af nogle brede og kompleks absorptionslinjer ved $z = 2.51$. En meget rød kvasar hvor spektrets form passer godt med SMC ekstinktion- og fotometrikurven i den optiske dele, men SMC ekstinktionkurven bliver for rød i IR med $A_B = 1.4$. Figuren kan ses i appendiks.

3.3.22 GQ135948+255939

Det observerede spektrum er en BAL kvasar, som viser nogle brede absorptionslinjer. Rødforskydning er svær at fastlægge præcis. Der er en emssionslinje som kan fortolkes som CIII ved $z = 2.5$ og der er BAL-linjer som er blåforskudte i forholde til denne rødforskydning. Rødfarvningen i plottet antager en SMC ekstinktionskurve med $A_B = 0.4$, men som det ses er det langt fra et godt match til observationerne. Figuren kan ses i appendiks.

3.3.23 GQ135923+341248

Dette observerede objekt har en enkelt brede absorptionlinje ved $z = 2.38$. Det er en blå kvasar med en lav ekstinktion på $A_B = 0.3$. Fotometrien varier fra det observerede spektrum, hvilket enten kan skyldes problemer under observationerne eller at kvasaren varierer. Figuren kan ses i appendiks.

3.3.24 GQ135855+223012

Det er et BAL kvasar med en forholdsvis høj rødforskydning ved $z = 3.09$. Objektet er rødfarvet med en SMC ekstinktionskurve med $A_B = 0.7$, og de brede emissionslinjer fra den rødkurve passer rimelig godt med emissionslinjerne fra spektrum. Figuren kan ses i appendiks.

3.3.25 GQ134531+341901

Dette observerede spektrum ved $z = 2.55$ består af smelle absorptionslinjer. SMC-ekstinktionskurven med $A_B = 0.6$ og fotometrien giver indikation om en normale kvasar lig spektret i Fig. 1. Figuren kan ses i appendiks.

3.3.26 GQ133411+322639

Spektrets brede emissionslinjer passer godt med den rødkurves fit ved $z = 2.52$. De smalle emissionslinjer kan skyldes outflows fra kvasaen. Det observerede objekt har smalle absorptionslinjer og er rødfarvet med en SMC-ekstinktionskurve med $A_B = 0.8$. Figuren kan ses i appendiks.

3.3.27 GQ131717+310135

Denne kvasar har en høj rødforskydning ved z = 3.46 og ingen ekstinktions faktor, dvs. $A_B = 0.0$. Det er en Type 2 BAL kvasar, for den består både af brede absorptionlinjer og flere smelle absorptionslinjer. Spektret viser kraftige smalle emissionslinjer med P Cygni profiler som kan skyldes outflows. Figuren kan ses i Fig. 7.

3.3.28 GQ123855+035012

Det observerede objekt har en meget lavere rødforskydning ved $z = 0.56$ og er meget rødfarvet med SMC-ekstinktionskurven med $A_B = 2.2$. Spektret viser næsten inger absorption ved det optiske område. Figuren kan ses i appendiks.

3.3.29 GQ131341+312036

Objektet viser karaftig emissionslinjer ved rødforskydning $z = 2.32$, som har et godt match med SMC-ekskstinktionskurnen og kan godt modulleres med skpektrum for den normale kvasar 1. Men kvasaren varierer sig med hensyn til fotometri-punkterne. Absorptionslinjer for det observerede objek er smalle.

3.3.30 GQ133118+013128

Dette er et mere rød objekt ved $z = 1.042$, og SMC -ekskstinktion har en høj faktor på $A_B = 1.5$. Spektret mangler de karakteristiske absorptions- og emissionslinjer som en normale kvasar har. Rødforskydningen er baseret på en række smalle absorptionslinjer som kan identificeres som FeII og MgII absorption. Figuren kan ses i appendiks.

3.3.31 GQ135305+255429

Det observerede spektrum består af nogle brede absorptionslinjer og minder meget om ($GQ1309+2904$) - en pekuliær BAL kvasar [5]. Fotometrien antyder, at der må være en kraftig emissionslinje fra MgII tæt på 10000 Å. Figuren kan ses i appendiks.

3.3.32 GQ131417+342122

En BAL kvasar med rødforskydning ved $z = 2.38$, som er identisk med ($GQ133411{+}322639$). Fotometri-fit og SMC-ekstinktionkurven er modelleret rimelig godt med det observerede objekt i det optiske område af spektret, men varierer i IR. Figuren kan ses i appendiks.

3.3.33 GQ1218+0832

Det observerede spektrum, fotometrien og ekstinktionskurven for objektet kan reproduceres godt med en model, der består af en normal kvasar ved $z = 2.6$ og rødfarvet med en SMC-ekstinktionskurve med $A_B = 0.45$. Objektet har kraftig brede emissionslinjer som stemmer overens med den rødkurve. Absorptionlinjer er ikke BAL-linjer (de er smallere i hastighedsforbredning). I dette tilfælde skyldes rødfarvningen sikkert støv i en forgrundsgalakse ved rødforskydning $z = 2.226$. En artikel er skrevet om dette system [7]. Figuren kan ses i appendiks.

3.4 Klassificering af røde kvasarer

For at undersøge de røde kvasarkandidaters placering blandt stjerner- og andre typer af kvasarpopulationer anvendes farvekriteriene $g - r$ versus $J - K$ i Fig. 2. Der skal laves en statistiske undersøgelse af de observerede objekter fra tabel 1 for at identificere typer af kvasaer som vil befinde sig i et bestemte område. I farve-farve-diagrammet i Fig. 2 kan ses et udvalgte område (rød boks) opdelt i fire sub-bokse både i $x-$ og $y-aksen$, sådan så der er en boks med et bestemt interval af $g-r$ og $J-K$ i hver sub-boks. Kvasarene i hver boks (de røde prikker) undersøges nærmer for at karakterisere egenskaberne for de røde kvasarer i hver sub-boks ved at kigge på rødforskydning, A_B faktoren og hvilke type af kvasarer, der findes i den valgte sub-boks. For hver sub-boks bestemmes en minimum-værdi, en maksimum-værdi og en median værdi af rødforskydning (z) og for rødfarvning A_B.

3.4.1 Sub-boks nederst til venstre

Table 2: De fundne værdier for intervallet $J - K = [0.9, 1.4]$ og $g - r = [0.4, 1.2]$

	Rødforskydning (z)	A_B faktor
Minimum	0.87	0.3
Maksimum	3.09	1.5
Median	1.83	0.73

I denne sub-boks indholder de fleste af de observerede objekter fra tabel 1. Der er 16 i alt, hvor ni af dem er BAL-kvasarer og syv er QSO. BAL kvasar udgøre en procentdel på omkring 56.25% af det samlede antal objekter i boksen. Blandt de BAL-kvasar er der forskellige typer, hvor to af dem er

pekuliærer-BAL kvasaer [5], $GQ1119+1430$, $GQ1203+0652$, en FeII LoBAL kvasar Fig. 6 [8] og en svag-BAL kvasar, $GQ1159+00039$.

3.4.2 Sub-boks nederst til højre

Table 3: De fundne værdier for intervallet $J-K=[1.4,1.9]$ og $g-r=[0.4,1.2]$

	Rødforskydning (z)	A_B faktor
Minimum	0.56	0.3
Maksimum	2.52	2.2
Median	2.12	0.84

I denne sub-boks er der ni objekter, hvor fem af dem er BAL kvasarer og fire er QSO. De fem BAl kvasarer vil svare til en procentdel på omkring 55.56%. Median værdier for både rødforskydning og A_B er forholdsvis højere end for objekter i tabel 2. Det vil sige at objekterne er mere røde med denne placering.

3.4.3 Sub-boks øverst til venstre

Table 4: De fundne værdier for intervallet $J-K=[0.9,1.4]$ og $g-r=[1.2,2.0]$

	Rødforskydning (z)	A_B faktor
Minimum	1.18	0.3
Maksimum	2.66	1.2
Median	1.88	0.64

Denne sub-boks indholder fire objekter fra tabel 1. Alle fire er BAL-kvasar, heriblandt en FeII LoBAL kvasar [8], GQ143417+094009 og en pekuliær-BAL kvasar [5],Fig. 4, GQ1309+2904. Den procentdel af BAL kvasar er dermed 100% i denne sub-boks.

3.4.4 Sub-boks øverst til højre

Table 5: De fundne værdier for intervallet $J-K=[1.4,1.9]$ og $g-r=[1.2,2.0]$

	Rødforskydning (z)	A_B faktor
Minimum	1.38	0.0
Maksimum	3.46	1.4
Median	2.45	0.87

I denne sub-boks befinder sig kun tre røde objekter, en BAL kvasar, en QSO og en Type 2 pekuliær BAL kvasar, $GQ131717+310135$. De to BAL kvasarer vil til sammen udgøre den procentdel på 66.67%. Denne sub-boks viser de største median værdier både for rødforskydning og A_B faktoren, som indikerer at objekterne er forholdsvis meget rødere. Her har Type 2 pekuliær BAL kvasar $A_B=0.0$, men Type

2 er generalt meget rød på grund af flere smalle og støvet emissionslinjer, som gøre at den ligger i det område.

Anvendelse af farverne $g - r$ versus $J - K$ med bestemte intervaller fordelt på de fire sub-boks Fig. 2, giver en oversigt over hvor rød eller blå de objekter er placeret. Relsutaterne viser, at BAL kvasarer er dominerende objekter blandt de røde valgte objekter fra tabel 1.

Artiklen [12] finder ca. 50% BAL kvasarer blandt røde kvasarer. Vi finder en lidt højere andel på omkring 62.50%, hvilket kan skyldes at vi ser på endnu rødere kvasarer end det studie.

4 Konklusion af afhandlingen

I dette projekt var vi interesseret i at undersøge de sjælende type rød kvasar ved hjælp af de nye udvælgs metoder som er beskrevet i afsnit (1.3), og hvorfor er de placeret i et område ud for de normale kvasarer og blandt stjerner som en punktkilde. Ud fra den spektrale data analyse i punktet (3.3) og i appendiks ses, at vi kunne give en karakteristik samt bestemmelse af rødforskydning, A_B faktor og typen af de forskellige observerede objekter i tabel 1. De fleste af de observerede spektre kunne godt matches med den rødfarvet skabelon af SMC-ekstinktionskurven, i det optiske område.

Ud over det, identificerede vi også forskellige typer af BAL-kvasarer, hvor der blev øje-målt/undersøgt nogle specifikke BAL-linjer fra spektrerne.

Formål med at anvende farvekriterierne for $g - r$ versus $J - K$ var, for at kategorisere de blå og røde kvasarer samt afvise stjernerne. Med denne kvalitative analyse kom vi frem at kvasaer er fordelt blandt røde og blå farver på en måde, det er svært at sige noget systematisk om. Vi opdagede også flere BAL kvasarer blandt de røde objekter, det vil sige at BAL-linjer kan gøre, at disse kvasarer er placeret i det område.

References

[1] Robert Antonucci. "Unified models for active galactic nuclei and quasars." In: *Annual Reviews of Astronomy & Astrophysics* 31 (Jan. 1993), pp. 473–521. DOI: 10.1146/annurev.aa.31.090193.002353.

[2] A. Boksenberg et al. "The remarkable Seyfert galaxy Markarian 231." In: *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society* 178 (Feb. 1977), pp. 451–466. DOI: 10.1093/mnras/178.3.451.

[3] A. G. A. Brown et al. "Gaia Data Release 2. Summary of the contents and survey properties". In: *Astronomy & Astrophysics* 616, A1 (2018), A1. DOI: 10.1051/0004-6361/201833051. arXiv: 1804.09365 [astro-ph.GA].

[4] Daniel J. Eisenstein et al. "SDSS-III: Massive Spectroscopic Surveys of the Distant Universe, the Milky Way, and Extra-Solar Planetary Systems". In: *The Astronomical Journal* 142.3, 72 (2011), p. 72. DOI: 10.1088/0004-6256/142/3/72. arXiv: 1101.1529 [astro-ph.IM].

[5] J. P. U. Fynbo et al. "Gaia-assisted discovery of a detached low-ionisation BAL quasar with very large ejection velocities". In: *Astronomy & Astrophysics* 634, A111 (Feb. 2020), A111. DOI: 10.1051/0004-6361/201936957. arXiv: 1912.10649 [astro-ph.GA].

[6] J. P. U. Fynbo et al. "Optical/Near-infrared Selection of Red Quasi-stellar Objects: Evidence for Steep Extinction Curves toward Galactic Centers?" In: *Astrophysical Journal Supplements* 204.1, 6 (Jan. 2013), p. 6. DOI: 10.1088/0067-0049/204/1/6. arXiv: 1207.1193 [astro-ph.CO].

[7] S. J. Geier et al. "Gaia-assisted selection of a quasar reddened by dust in an extremely strong damped Lyman-α absorber at z = 2.226". In: *Astronomy & Astrophysics* 625, L9 (May 2019), p. L9. DOI: 10.1051/0004-6361/201935108. arXiv: 1904.01686 [astro-ph.GA].

[8] Patrick B. Hall et al. "Unusual Broad Absorption Line Quasars from the Sloan Digital Sky Survey". In: *The Astrophysical Journal Supplement Series* 141.2 (Aug. 2002), pp. 267–309. ISSN: 1538-4365. DOI: 10.1086/340546. URL: http://dx.doi.org/10.1086/340546.

[9] K. E. Heintz, J. P. U. Fynbo, and E. Høg. "A study of purely astrometric selection of extragalactic point sources with Gaia". In: *Astronomy & Astrophysics* 578, A91 (2015), A91. DOI: 10.1051/0004-6361/201526038. arXiv: 1503.02874 [astro-ph.HE].

[10] K. E. Heintz et al. "Spectroscopic classification of a complete sample of astrometrically-selected quasar candidates using Gaia DR2". In: *Astronomy & Astrophysics* 644, A17 (2020), A17. DOI: 10.1051/0004-6361/202039262. arXiv: 2010.05934 [astro-ph.GA].

[11] K. E. Heintz et al. "Unidentified quasars among stationary objects from Gaia DR2". In: *Astronomy & Astrophysics* 615, L8 (2018), p. L8. DOI: 10.1051/0004-6361/201833396. arXiv: 1805.03394 [astro-ph.GA].

[12] J. -K. Krogager et al. "The Extended High A(V) Quasar Survey: Searching for Dusty Absorbers toward Mid-infrared-selected Quasars". In: *Astrophysical Journal* 832.1, 49 (Nov. 2016), p. 49. DOI: 10.3847/0004-637X/832/1/49. arXiv: 1608.08404 [astro-ph.GA].

[13] Colin Norman et al. "A Classic Type 2 QSO". In: *Astrophysical Journal* 571.1 (May 2002), pp. 218–225. DOI: 10.1086/339855. arXiv: astro-ph/0103198 [astro-ph].

[14] Yichuan C. Pei. "Interstellar Dust from the Milky Way to the Magellanic Clouds". In: *Astrophysical Journal* 395 (Aug. 1992), p. 130. DOI: 10.1086/171637.

[15] Allan Sandage. "The Existence of a Major New Constituent of the Universe: the Quasistellar Galaxies." In: *Astrophysical Journal* 141 (May 1965), p. 1560. DOI: 10.1086/148245.

[16] M. Schmidt. "3C 273 : A Star-Like Object with Large Red-Shift". In: *Nature* 197.4872 (Mar. 1963), p. 1040. DOI: 10.1038/1971040a0.

[17] J. Selsing et al. "An X-Shooter composite of bright 1 ¡ z ¡ 2 quasars from UV to infrared". In: *Astronomy & Astrophysics* 585, A87 (Jan. 2016), A87. DOI: 10.1051/0004-6361/201527096. arXiv: 1510.08058 [astro-ph.GA].

[18] Jonathan R. Trump et al. "A Catalog of Broad Absorption Line Quasars from the Sloan Digital Sky Survey Third Data Release". In: *Astrophysical Journal Supplements* 165.1 (July 2006), pp. 1–18. DOI: 10.1086/503834. arXiv: astro-ph/0603070 [astro-ph].

[19] Feige Wang et al. "A Luminous Quasar at Redshift 7.642". In: *Astrophysical Journal Letters* 907.1, L1 (Jan. 2021), p. L1. DOI: 10.3847/2041-8213/abd8c6. arXiv: 2101.03179 [astro-ph.GA].

[20] S. J. Warren, P. C. Hewett, and C. B. Foltz. "The KX method for producing K-band flux-limited samples of quasars". In: *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society* 312.4 (2000), pp. 827–832. DOI: 10.1046/j.1365-8711.2000.03206.x. arXiv: astro-ph/9911064 [astro-ph].

[21] Rachel L. Webster et al. "Evidence for a large undetected population of dust-reddened quasars". In: *Nature* 375.6531 (June 1995), pp. 469–471. DOI: 10.1038/375469a0.

[22] Edward L. Wright et al. "The Wide-field Infrared Survey Explorer (WISE): Mission Description and Initial On-orbit Performance". In: *The Astronomical Journal* 140.6 (2010), pp. 1868–1881. DOI: 10.1088/0004-6256/140/6/1868. arXiv: 1008.0031 [astro-ph.IM].

Appendiks

4.1 Spektra for alle observerede kvasarer, der er analyseret i afhandlingen

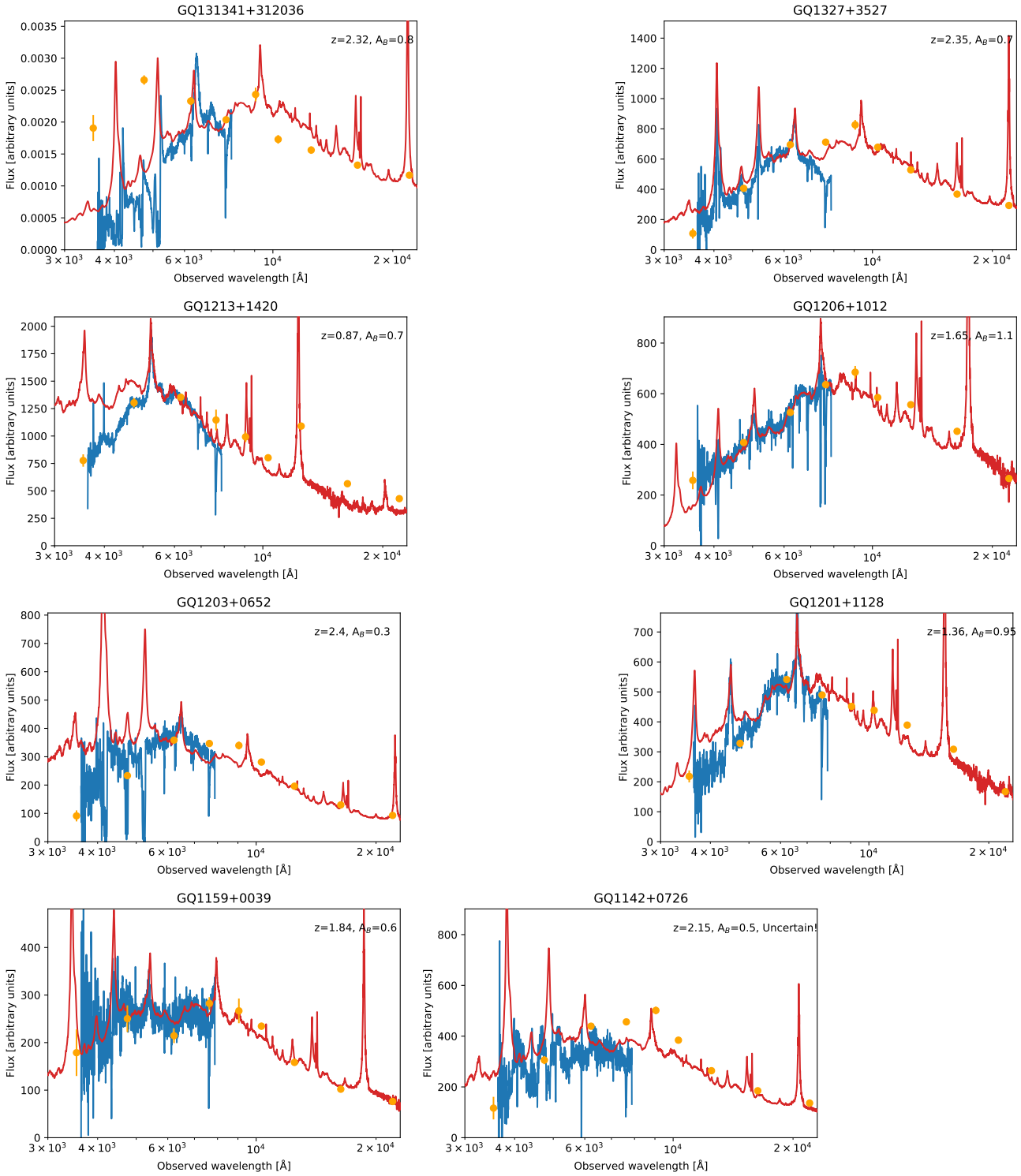
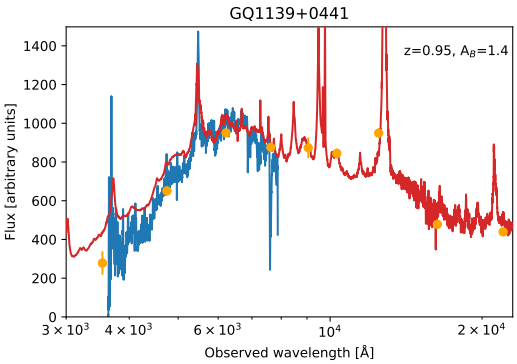
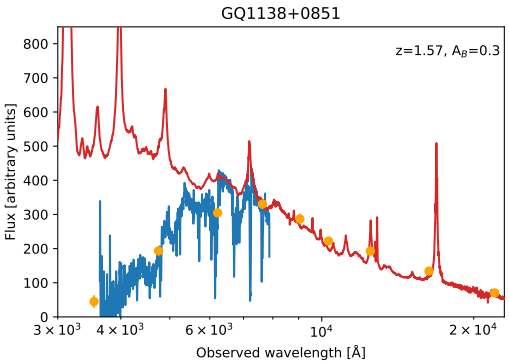
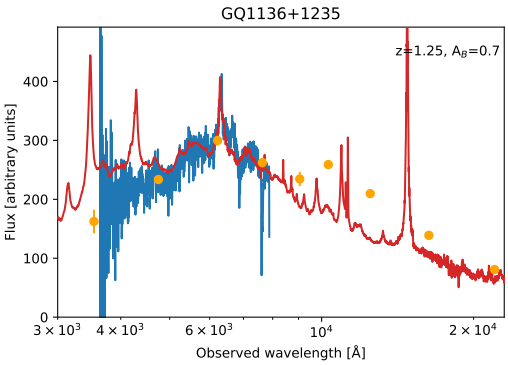
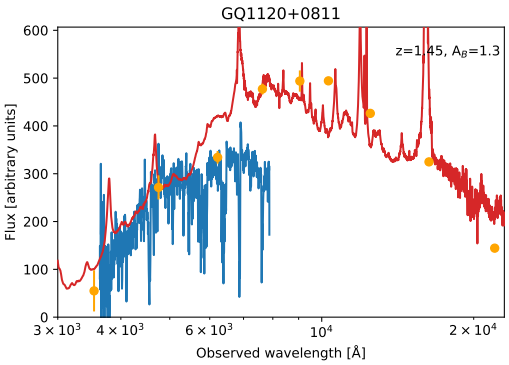


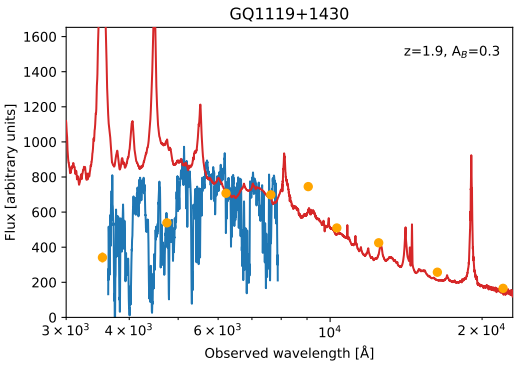
Figure 8: Spektra for de forskellige kvasarer, der er analyseret i afhandlingen. Figuren fortsætter på de følgende sider.

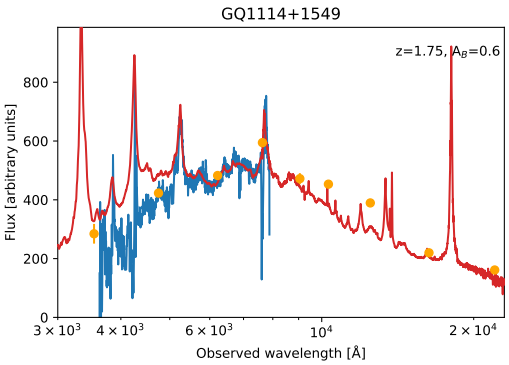

GQ1139+0441
z=0.95, A_B=1.4
Flux [arbitrary units]
Observed wavelength [Å]

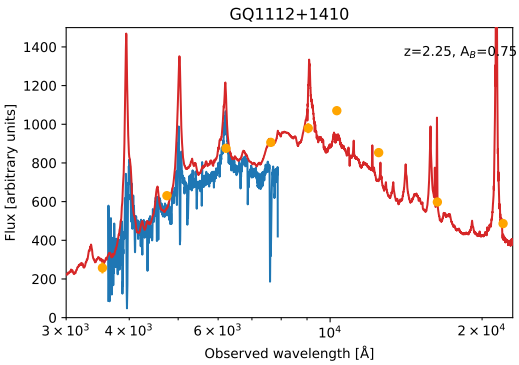

GQ1138+0851
z=1.57, A_B=0.3
Flux [arbitrary units]
Observed wavelength [Å]

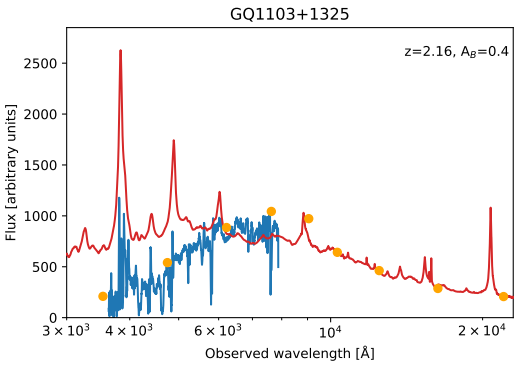

GQ1136+1235
z=1.25, A_B=0.7
Flux [arbitrary units]
Observed wavelength [Å]

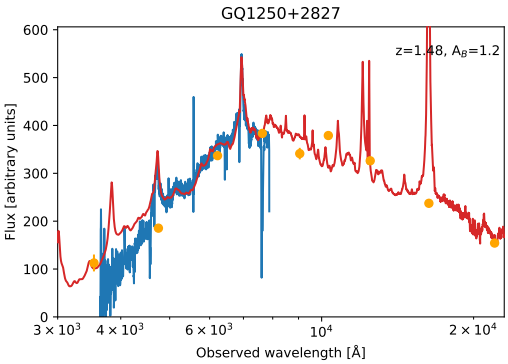

GQ1120+0811
z=1.45, A_B=1.3
Flux [arbitrary units]
Observed wavelength [Å]

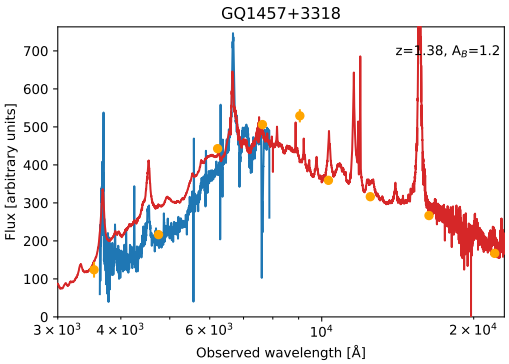

GQ1119+1430
z=1.9, A_B=0.3
Flux [arbitrary units]
Observed wavelength [Å]

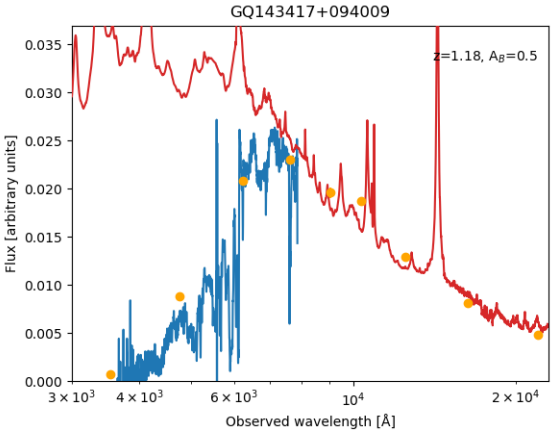

GQ1114+1549
z=1.75, A_B=0.6
Flux [arbitrary units]
Observed wavelength [Å]

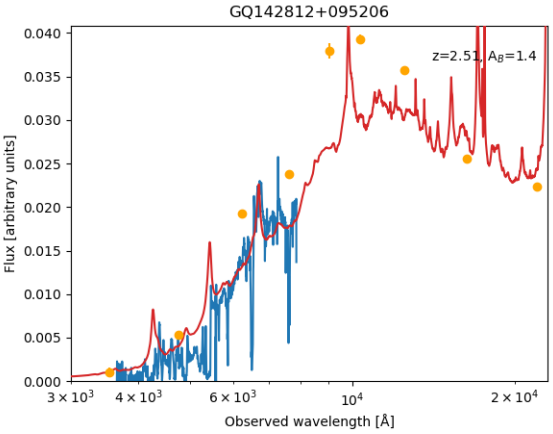

GQ1112+1410
z=2.25, A_B=0.75
Flux [arbitrary units]
Observed wavelength [Å]

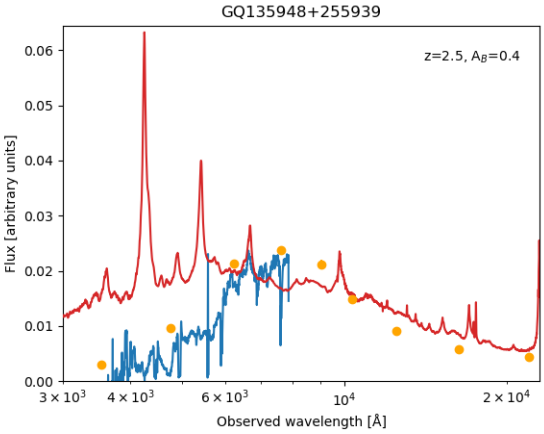

GQ1103+1325
z=2.16, A_B=0.4
Flux [arbitrary units]
Observed wavelength [Å]

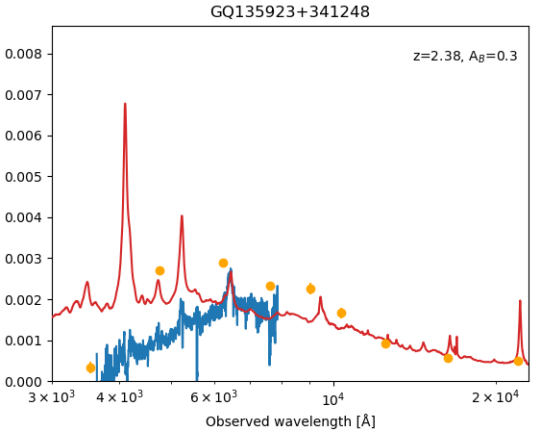

GQ1250+2827
z=1.48, A_B=1.2
Flux [arbitrary units]
Observed wavelength [Å]

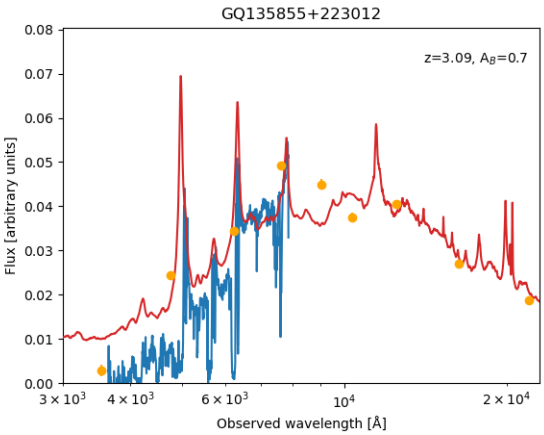

GQ1457+3318
z=1.38, A_B=1.2
Flux [arbitrary units]
Observed wavelength [Å]

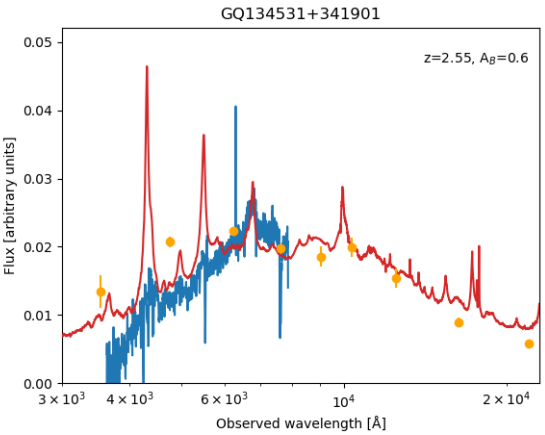

GQ143417+094009
z=1.18, A_B=0.5
Flux [arbitrary units]
Observed wavelength [Å]

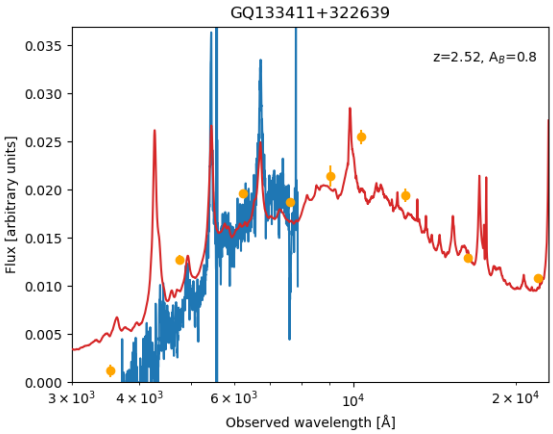

GQ142812+095206
z=2.51, A_B=1.4
Flux [arbitrary units]
Observed wavelength [Å]

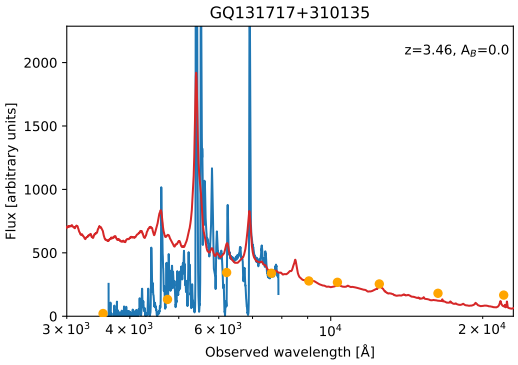

GQ135948+255939
z=2.5, A_B=0.4
Flux [arbitrary units]
Observed wavelength [Å]

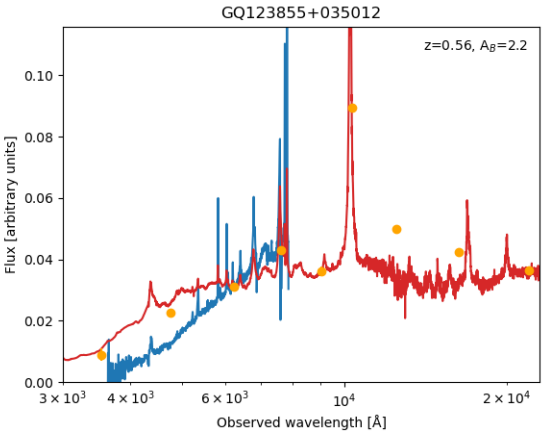

GQ135923+341248
z=2.38, A_B=0.3
Flux [arbitrary units]
Observed wavelength [Å]

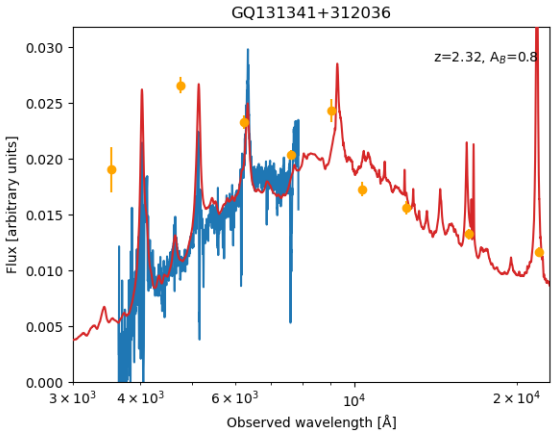

GQ135855+223012
z=3.09, A_B=0.7
Flux [arbitrary units]
Observed wavelength [Å]

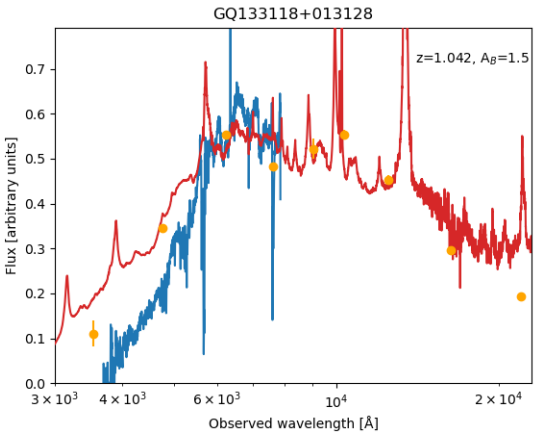

GQ134531+341901
z=2.55, A_B=0.6
Flux [arbitrary units]
Observed wavelength [Å]

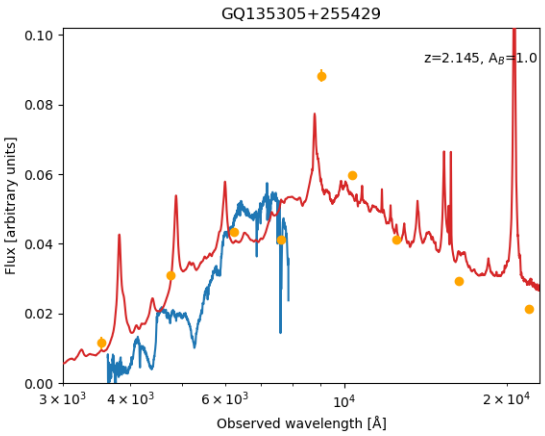

GQ133411+322639
z=2.52, A_B=0.8
Flux [arbitrary units]
Observed wavelength [Å]

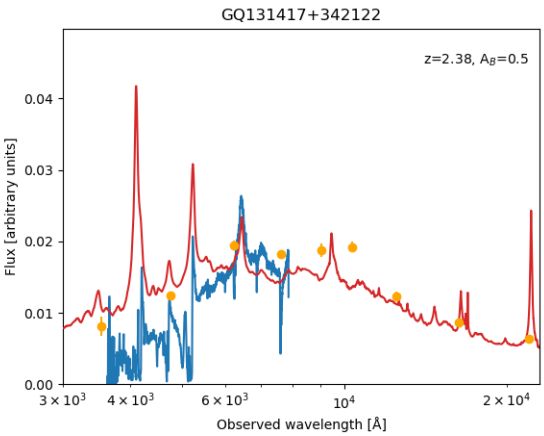

GQ131717+310135
z=3.46, A_B=0.0
Flux [arbitrary units]
Observed wavelength [Å]

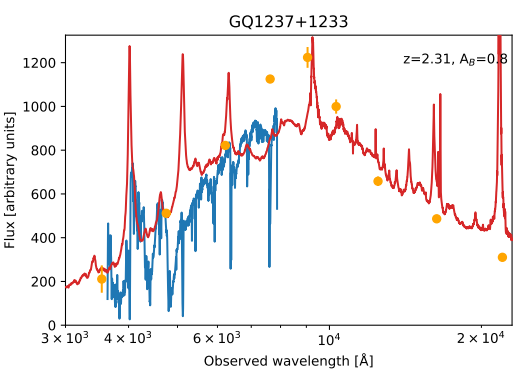

GQ123855+035012
z=0.56, A_B=2.2
Flux [arbitrary units]
Observed wavelength [Å]

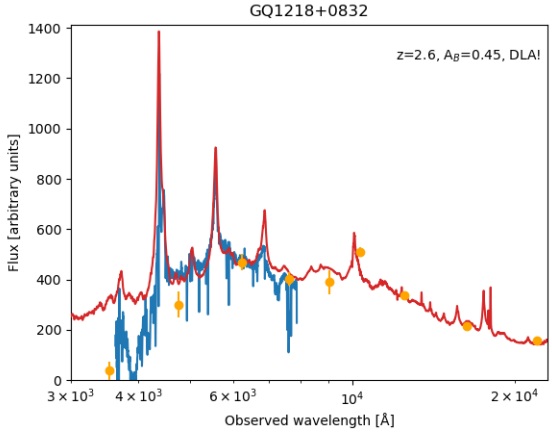

GQ131341+312036
z=2.32, A_B=0.8
Flux [arbitrary units]
Observed wavelength [Å]


GQ133118+013128
z=1.042, A_B=1.5
Flux [arbitrary units]
Observed wavelength [Å]


GQ135305+255429
z=2.145, A_B=1.0
Flux [arbitrary units]
Observed wavelength [Å]


GQ131417+342122
z=2.38, A_B=0.5
Flux [arbitrary units]
Observed wavelength [Å]


GQ1237+1233
z=2.31, A_B=0.8
Flux [arbitrary units]
Observed wavelength [Å]


GQ1218+0832
z=2.6, A_B=0.45, DLA!
Flux [arbitrary units]
Observed wavelength [Å]
0
200
400
600
800
1000
1200
1400
3×10^3
4×10^3
6×10^3
10^4
2×10^4