

Have a look at the following publications about identification of high red-shift galaxy

A. arXiv:1603.00461

And answer the following questions:

1. How is the z-determination performed?
2. What is the origin of the Ly-alpha break?
3. How does light from nearby galaxies affect the determination?
4. Why are determined brightness and mass of this galaxy special?
5. What are the prospects of finding even younger galaxies?

1.) Wiederholung: was ist z und was sagt es aus?

$$1+z = \frac{\lambda_{\text{beobachtet}}}{\lambda_{\text{emittiert}}} = \frac{\lambda_{\text{emittiert}}}{\lambda_{\text{beobachtet}}}$$

Quelle emittiert Lichtspektrum, Zeit vergeht, Licht reist durch das Universum, Universum dehnt sich aus, Raum und somit auch die Welle dehnt sich aus  
 $\Rightarrow$  Photonenergie wird weniger bzw.  $\lambda_{\text{beobachtet}}$  wird größer da die Lichtgeschwindigkeit konst. ist

1.1) Ist hier die Energieerhaltung verletzt?

Jain... Die allgemeine Relativitätstheorie beinhaltet hierfür kein Erhaltungsgesetz.

Allerdings ist dies in der Kombination aus allgemeiner Relativitätstheorie und der QFT gelöst. Hier gilt:

die "verlorene" Energie geht in die Expansion des Universums über

$\hookrightarrow$  Bei einem kollabierenden Universum würden die Photonen ihre Energie in Form einer Blauverschiebung wieder bekommen  $\Rightarrow$  Energie ist erhalten

Aber wie bestimmt man z?

- $\hookrightarrow$  Spektrale Messung des Objekts
- $\hookrightarrow$  Bestimmung von Besonderen wie Absorptions- oder Emissionslinien
- $\hookrightarrow$  Diese auf ihr Ursprungselement (z.B. H) zurückführen
- $\hookrightarrow$  Gemessenen mit wahren Wert vergleichen und z berechnen

2.) Ly-alpha forest: Spektrallinien des Lyman-alpha Elektronen Übergangs in H-Atomen  
 = "Fingerabdruck" eines Objekts

Ly-alpha break galaxies: Galaxien mit hoher Anzahl an massereichen Sternen zeigen

im UV-Bereich zwei auffällige Sprünge:

- $912 \text{ \AA}$  (Lichtwellenlänge), beim Lyman-Limit, dieser Sprung: Lyman-Break  
=  $87.2 \text{ nm}$  diese Energie entspricht der Rydberg Konstante
- $1216 \text{ \AA}$  (höchste Wellenlänge), Lyman- $\alpha$   
=  $121.6 \text{ nm}$

Der Break entsteht dadurch, dass Wellenlängen  $< 912 \text{ \AA}$  vom intergalaktischen Medium praktisch vollkommen absorbiert wird.  
(Es ionisiert neutralen Wasserstoff)

Photonen mit  $\lambda < 91.2 \text{ nm}$  werden von unserer Atmosphäre geblockt. Kommt das Licht jedoch von einer sehr frühen Galaxy kann es auf der Erde trotzdem detektiert werden.

z.B.  $z=3 \Rightarrow \lambda_{emittiert} = 91.2 \text{ nm}$ ,  $\lambda_{beobachtet} = 364.8 \text{ nm}$

### 3.) Light from nearby galaxies:

Kann Verengung des Spektrums durch Licht von nahen Galaxien.

Besonderheiten im Spektrum können so unscharf oder gar verdeckt werden

Um diesen Effekt zu vermeiden bzw. zu vermeiden werden die Messungen von zwei verschiedenen Positionen durchgeführt. Siehe Figure 1 & 2 (hier ist jeweils noch eine dritte ältere Messung zu sehen)

### 4.) Special Luminosity and mass:

$M \sim 10^9 M_{\odot}$ , unter den hellsten bisher entdeckten Galaxien ( $z > 6$ )

So massereiche Galaxien sind sehr unwahrscheinlich nach nur  $400 \text{ Myr}$

Das Alter dieses Systems wird auf  $40 \text{ Myr}$  geschätzt ( $< 100 \text{ Myr}$  mit  $1\sigma$ )

Dies ergibt einen Massezuwachs von  $24 \pm 10 M_{\odot} \text{ yr}^{-1}$ !

Theorien bzgl. des sehr frühen Universums sind noch nicht bewiesen, jedoch gibt diese eine Entdeckung noch keine ausreichende Beweislage.

(Structure formation: siehe nächstes Semester)

### 5.) Even younger galaxies:

Davon ausgehend, dass GN-z11 richtig vermessen wurde, befürwortet es die Suche nach noch jüngeren Galaxien.

Die erwartete Dichte vergleichbarer Galaxien mit  $z > 8$  ist  $< 0.3 \text{ deg}^{-2}$ , also sehr gering.

Nächste Messungen durch: JWST und WFIRST

## Extra: Extreme (coronal) line emitter

(Nahezu) alle massive Galaxien haben in ihrem Zentrum ein super massives schwarzes Loch.  
Diese schwarzen Löcher können Gezeitenstörungen (tidal disruptions) bei Sternen verursachen.  
( $\Rightarrow$  Darüber kann die Präsenz eines solchen schwarzen Lochs nachgewiesen werden)  
Diese Ereignisse sind sehr selten:  $10^{-4} - 10^{-5} \frac{1}{\text{Jr. Galaxie}}$  (Theorie)

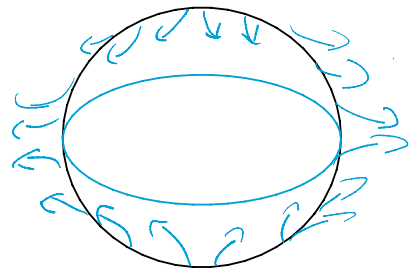
### Was passiert hier:

Stern kommt nahe an schwarzes Loch

$\rightarrow$  Stern erfährt "spaghettification"  $\rightarrow$   
(das heißt wirklich so...)

$\rightarrow$  Dabei kann der Stern einen Teil seiner Masse an die Umlaufbahn des schwarzen Lochs verlieren

$\rightarrow$  Dabei entsteht ein temporärer "Blitz" / "Leuchten" aus elektromagnetischer Strahlung, da die Masse vom schwarzen Loch absorbiert wird.



## Extra: Reionization

$\hookrightarrow$  Erneute Ionisierung der Materie bevor das Universum transparent für sichtbares Licht wurde. (Das Universum ist heute ionisiert)

### Phasenübergänge

1. 400.000 Jahre ( $z \approx 1100$ ) nach dem Urknall: Rekombination

$\hookrightarrow$  Abkühlung unter 3000 K

$\hookrightarrow$  Bildung von stabilem, neutralem Wasserstoff

2. 150 Millionen bis 1 Milliarde Jahre ( $10 > z > 6$ ) nach dem Urknall: Reionisierung

$\hookrightarrow$  Protonen und Elektronen voneinander getrennt  $\Rightarrow$  geringe Dichte des Plasmas

$\Rightarrow$  Weniger Streuung von Photonen

$\Rightarrow$  Licht durchlässig

$\hookrightarrow$  Die Energiequelle für die Ionisation ist noch unklar

$\hookrightarrow$  muss über 13,6 eV haben

$\hookrightarrow$  möglich: Quasare, Population-III Sterne