

Die Debatte über das erste Licht im Universum [20. Mai]

Bereits kurz nach dem *Urknall* [1] wurde das Universum dunkel. Bisher wissen wir nichts oder sehr wenig über diese frühen Momente des Weltalls. Während einiger Hundert Millionen Jahre nach dem Urknall liegen die Ereignisse im Dunkeln, sie sind unbeobachtbar. Selbst wenn in diesem Zeitraum bereits Sterne entstanden, können wir ihr Licht nicht sehen.

Möglicherweise lüftete sich dieser dunkle Schleier als *hochenergetische UV-Photonen* [1] die ersten *Atome* [1] während der sog. **Reionisierung** [1] aufbrachen (Abb. 1). Jedoch stellt sich den Wissenschaftlern immer noch die Frage, wie genau dieser Prozeß vonstatten ging. Welche Himmelsobjekte kurbelten diesen Prozeß an und wieviele davon werden zum Lüften des Schleiers benötigt?

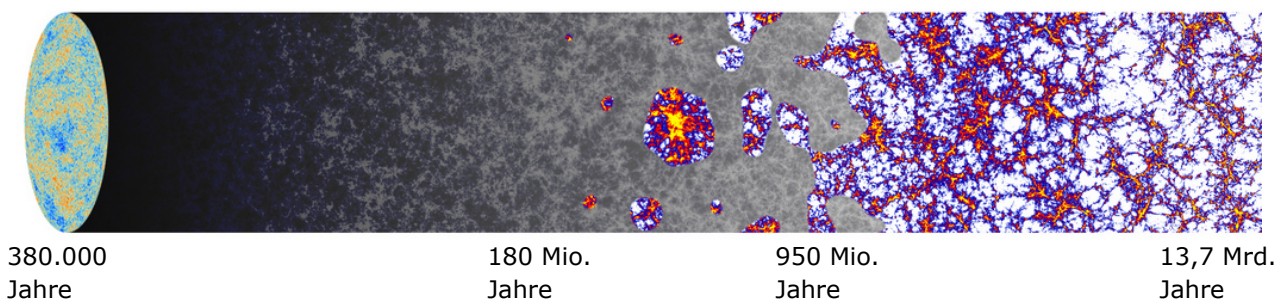


Abb. 1 Schematische Darstellung der Entwicklung des Universums.

Das erste Licht des Universums im Visuellen Bereich stammt nicht von der kosmischen Hintergrundstrahlung (links), sondern nach dem Dunklen Zeitalter (links der Mitte) entweder von den ersten Sternen oder Galaxien im Zeitalter der Reionisierung (rechts der Mitte). Bis sich das heutige Netzwerk aus Galaxienhaufen bildete (rechts) vergingen viele Milliarden Jahre.

© kaurov.org

Nun haben Forscher mithilfe von mehreren Studien tiefer in das frühe Universum geblickt als jemals zuvor. Dabei dienten *Galaxien* [1] und *Dunkle Materie* [1] als riesige *kosmische Linsen* [1], um einige der ersten bekannten Galaxien des Universums zu beobachten und deren Mithilfe beim Lüften des Schleiers zu beurteilen.

Zudem hat ein internationales Team aus Astronomen mehrere Dutzend **supermassereiche Schwarze Löcher** [1] entdeckt, von denen jedes millionenfach schwerer ist als die Sonne, die ebenfalls das Geschehen im frühen Universum beleuchten. Ein weiteres Forscherteam hat Beweise veröffentlicht, daß diese supermassereichen Schwarzen Löcher viele Hundert Millionen Jahre **früher existierten** als bisher angenommen.

Die neuen Entdeckungen machten deutlich, wie groß der Beitrag der Schwarzen Löcher zur Reionisierung des Universums war, auch wenn durch die Beobachtung zahlreiche neue Fragen auftreten, beispielsweise wie die supermassereichen Schwarzen Löcher so früh nach dem Urknall entstehen konnten.

Das erste Licht

Kurz nach dem Urknall war das Universum viel zu heiß als daß sich Atome hätten bilden können. Zwar entstanden nach dem Urknall *Protonen* [1] und *Elektronen* [1], jedoch *streteten* [1] diese das Licht in alle Richtungen. Das Licht konnte sich nicht ungehindert über große Strecken ausbreiten.

Erst **nach rund 380.000 Jahren** war das Universum ausreichend abgekühlt, so daß sich aus Protonen und Elektronen schließlich *Wasserstoffatome* [1] bilden konnten, die innerhalb einiger Hundert Millionen Jahre Sterne und Galaxien bilden konnten (Abb. 2).

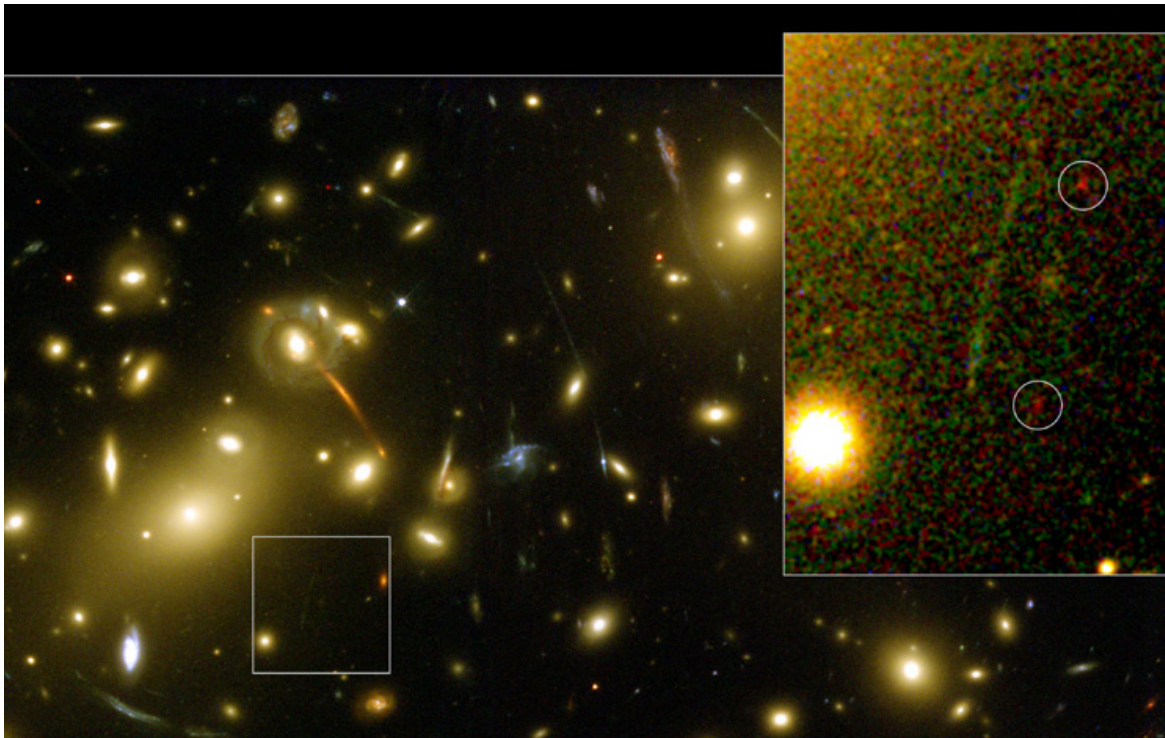


Abb. 2 Der entfernte Galaxienhaufen Abell 2218.

Bei der Suche nach dem ersten Licht im Universum muß man nach den ersten Galaxien suchen, in denen große Mengen neuer Sterne entstehen. Bevorzugt findet man derartig entfernte und zudem lichtschwache junge Galaxien mithilfe von Gravitationslinsen, bei denen es sich um große Galaxienhaufen handelt. Ein Beispiel hierfür ist der Galaxienhaufen *Abell 2218* [1]. Das Detailbild (rechts oben) zeigt die verstärkte (Doppel-)Aufnahme einer einzelnen Lichtquelle, die durch den Galaxienhaufen Abell 2218 um etwa einen Faktor 30 verstärkt wurde. Die ferne junge Galaxie befindet sich in einer Entfernung von rund 13,4 Milliarden *Lichtjahren* [1]. Sie enthält lediglich einige Millionen Sterne. Erstaunlich ist, daß sich bereits etwa 300 Millionen Jahre nach dem Urknall derartige Sternsysteme bilden konnten.

© NASA/HST

Das Licht dieser jungen Galaxien wäre sicherlich sehr hell und energiereich gewesen, insbesondere im ultravioletten Bereich des *elektromagnetischen Spektrums* [1]. Als diese Strahlung sich im Universum verbreitete, traf sie auf weitere Wasserstoffatome und brach diese erneut auseinander; dieser Prozeß trug zur Reionisierung des Universums bei; allerdings ging dabei wieder das **Licht aus** (Abb. 1, 3).

Die Suche nach dem ersten Licht

Bei der **Suche nach den ersten Sternen** konzentrieren sich die Astronomen nicht auf den UV-Bereich des Lichts. Jedoch ist in diesem Fall die betreffende Strahlung lichtschwach und schwer aufzufühlen.

Als Hilfsmittel bei der Suche nach den lichtschwachen Himmelsobjekten dienen den Forschern riesige **Gravitationslinsen** [1]. Diese Linsen entstehen, wenn ein *Galaxienhaufen* [1], in dem sich viel Dunkle Materie und damit Masse befindet, die *Raumzeit* [1] verbiegt und damit Licht eines oder mehrerer dahinterliegender Himmelsobjekte fokussiert und vergrößert.

Das Universum durchlebte eine wilde Kinderstube, bevor es kühler und ruhiger wurde. Während der ersten Millionen Jahre war das Universum mit einem atomaren Gas gefüllt, das das erste Sternenlicht *absorbierte* [1].

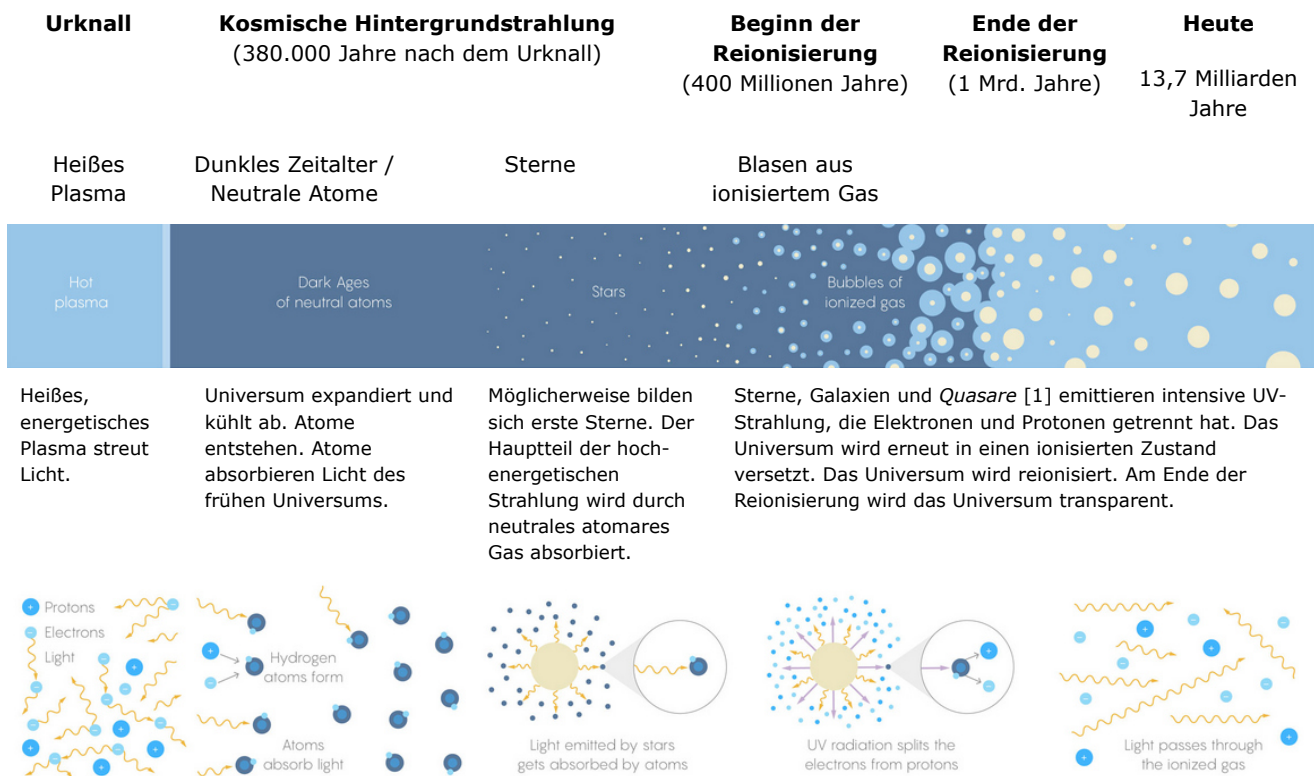


Abb. 2 Schematische Darstellung des Zeitalters der Reionisierung.

Nachdem sich Protonen und Elektronen im frühen Universum bildeten (links) und anschließend Wasserstoffatome formten, wurden diese durch die intensive Strahlung der ersten Sterne (Mitte) erneut zerstört. Das Universum war erneut ionisiert. Erst später kann das Universum transparent (rechts).
© Quanta Magazine

Die Forscher [2] nutzten das Phänomen der Gravitationslinsen bei Aufnahmen des *Weltraumteleskops Hubble* [1], um im Bereich der Galaxienhaufen *Abell 2744* (Abb. 4) [1] und *MACS 0416* [1] sehr lichtschwache Galaxien bis etwa 600 Millionen Jahre nach dem Urknall, im Bereich des Zeitalters der Reionisierung, aufzuspüren. Die betreffenden Galaxien waren etwa 10 Mal lichtschwächer als andere bisher bekannte, lichtschwache Galaxien in dieser Entfernung.



Abb. 4 Der entfernte Galaxienhaufen Abell 2744.

Die neue Studie, die beweisen will, daß die ersten Sterne für die Reionisierung des Universums verantwortlich sind, konzentrierte sich unter anderem auf die Gravitationslinsenwirkung des Galaxienhaufens *Abell 2744*.

© NASA/HST/ESA

Die Studie kommt zu dem **Ergebnis**, daß bei der Addition dieser schwachen Galaxien zu den bisher bekannten Sternen diese sehr wohl intensive UV-Strahlung erzeugen und damit das Universum reionisieren konnten.

Allerdings muß man abschätzen, wieviel dieser UV-Strahlung die entsprechende Galaxie in Richtung des übrigen Universums verläßt und zur globalen Reionisierung beitragen kann.

Zweifel

Die Zweifler kamen schnell auf die Astro-Bühne: ein niederländischer Wissenschaftler argumentiert in seiner Fachveröffentlichung [3], die Daten seien nicht gut genug ausgewertet; insbesondere bezweifelt er die **korrekte Subtraktion des Lichts** der Galaxienhaufen, der die Gravitationslinse erzeugt. Die entfernten Galaxien seien nicht so lichtschwach wie in der Studie [2] behauptet, außerdem habe man **nicht ausreichend viele derartige Galaxien** gefunden, um behaupten zu können, daß die Sterne für die Ionisierung des Universums [4] verantwortlich seien. Die Ergebnisse der vorhergehenden Studie [1] seien um mindestens einen Faktor 3-4 zu hoch geschätzt.

Und die Lösung ... – Quasare ?

Wenn Sterne keinen ausreichenden Beitrag zur Reionisierung leisten können, wie steht es mit **supermassereichen Schwarzen Löchern?**

Supermassereiche Schwarze Löcher sind riesig und besitzen oftmals bis zu einigen Milliarden Sonnenmassen. Diese gefräßigen Objekte ziehen alles an, was ihnen zu nahe kommt, und heizen diese Materie auf, wobei Unmengen Licht erzeugt wird. Mithilfe dieses Prozesses machen sich extrem entfernte Objekte, die **Quasare**, bemerkbar. Quasare (Abb. 5) emittieren wesentlich mehr ionisierende Strahlung als Sterne, theoretisch könnten sie das Universum reionisieren. Theoretisch.

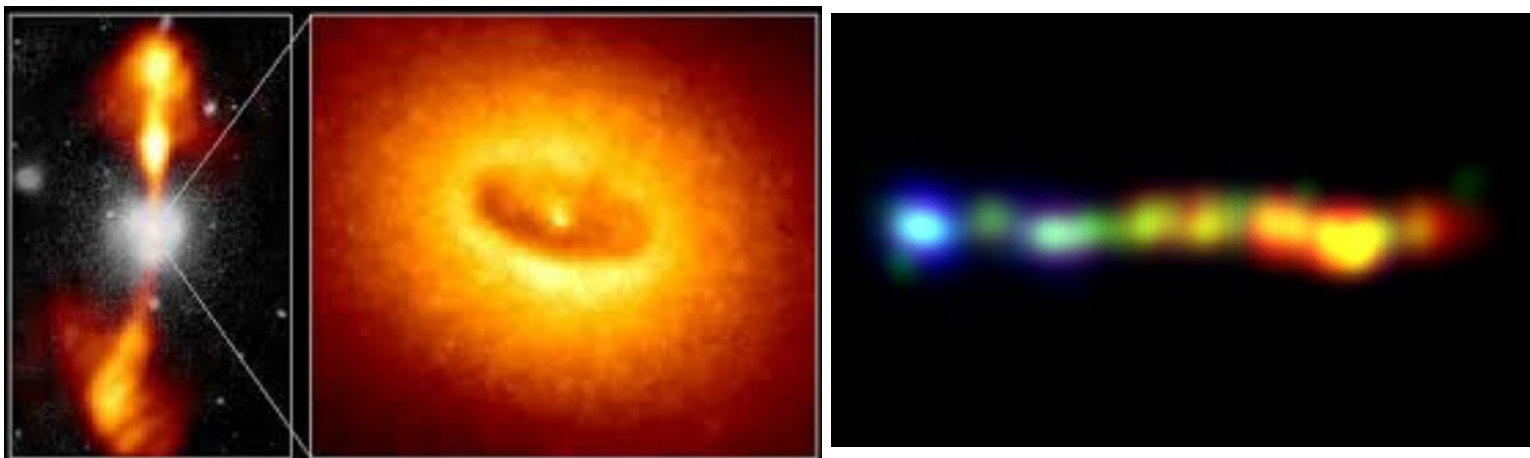


Abb. 5 Das Leuchten von Quasaren.

Quasare sind die hellsten Objekte des Universums. Ihr intensives Licht wird durch Gas erzeugt, das auf die Scheibe um ein supermassereiches Schwarzes Loch fällt, die *Akkretionsscheibe* [1]. Der erste Quasar wurde im Jahr 1965 entdeckt. Links: Das helle Licht eines Quasars stammt nicht unbedingt aus seinem Zentrum (Mitte), in dem sich ein supermassereiches Schwarzes Loch und eine es umgebende

Akkretionsscheibe befinden, sondern auch durch heißes Gas, das in Form von *Jets* [1] (links) ausgeschleudert wird. Rechts: Manchmal machen sich Quasare ausschließlich über ihre hellen Jets bemerkbar. In diesem Fall beträgt die Länge des Jets rund 100.000 Lichtjahre, das entspricht etwa dem Durchmesser unserer *Milchstraße* [1].

© NASA/JWST/MIRI//NASA/JPL-CalTech/Yale Univ.

Um diese These zu beweisen, muß man Quasare finden, die derart viel Strahlung abstrahlen. **Existierten im betreffenden Zeitraum ausreichend viele Quasare, die das Universum hätten ionisieren können?**

Letzten Monat wurde eine Facharbeit [5] veröffentlicht, in der die **Entdeckung von 32 Quasaren** mithilfe des *Subaru-Teleskops* [1] (Abb. 6) bekanntgegeben wurde. Das Besondere daran: die Quasare sind nur ein Zehntel so lichtstark wie die bisher bekannten. Mithilfe dieser Quasare wollen die Wissenschaftler berechnen, wieviel UV-Strahlung diese entfernten, lichtschwachen, supermassereichen Schwarzen Löcher emittieren. Allerdings ist die Analyse noch nicht abgeschlossen; jedoch soll dies bis zum Ende des Jahres der Fall sein.



Abb. 6 Blick auf das Subaru-Teleskop.

Das Subaru-Teleskop (Bildmitte) befindet sich auf dem Gipfel des *Mauna Kea* [1] auf Hawaii.

© NAOJ

Die **ältesten Quasare** entstanden wahrscheinlich etwa eine Milliarde Jahre nach dem Urknall. Demnach dauert es ziemlich lange, bis gewöhnliche Schwarze Löcher ausreichend viel Materie gesammelt haben, um zu supermassereichen Schwarzen Löchern zu werden.

Jedoch scheint das merkwürdig, denn ein anderes Team von Wissenschaftlern beobachtete kürzlich eine helle Galaxie, in der neue Sterne entstehen, die ein Alter von lediglich 600 Millionen Jahren besitzt [5]. Das *Spektrum* [1] der Galaxie beinhaltet offensichtlich ionisierten *Stickstoff* [1]. Das verwirrt die Forscher, denn es ist schwer gewöhnlichen Wasserstoff zu ionisieren, jedoch wesentlich schwerer Stickstoff zu ionisieren. Dafür ist wesentlich mehr hochenergetische UV-Strahlung notwendig, vor allem mehr UV-Strahlung als die von gewöhnlichen Sternen.

Bedeutet das, daß eine **andere starke Quelle** mit ionisierender Strahlung existiert, möglicherweise ein supermassereiches Schwarzes Loch?

Ein derartiges supermassereiches Schwarzes Loch im Zentrum einer jungen Galaxie mit einer aktiven Sternentstehung könnte eine Ausnahme sein. Das bedeutet nicht, daß es ausreichend viele Quasare gibt, die das Universum hätten reionisieren können.

Deshalb untersuchten die Forscher weitere Galaxien: nun scheint es **Hinweise** zu geben, daß sich supermassereiche Schwarze Löcher auch in den Zentren anderer massereicher Galaxien mit Sternentstehung des frühen Universums befinden.

Die weitere Untersuchung derartiger Objekte könnte bei der Klärung der Frage helfen, welche Art von Objekten das frühe Universum reionisiert haben könnten, und wie sich zu dieser Zeit supermassereiche Schwarze Löcher überhaupt haben bilden können.



Abb. 7 Blick auf das fast fertiggestellte *James Webb-Weltraumteleskop*.
Die Aufnahme zeigt das *James Webb-Weltraumteleskop* (JWST) [1], den Nachfolger des Weltraumteleskops Hubble in einem *Reinraum* [1] am *Goddard Space Flight Center* [1] der US-amerikanischen Raumfahrtbehörde *NASA* [1]. Das JWST soll unter anderem das Licht der ersten Galaxien des Universums einfangen.

© NASA

Es scheint als konvergiere die Erklärung, welche Himmelsobjekte die Reionisierung des Universums verursacht haben. Mithilfe zahlreicher neuer Beobachtungen könnte die erste Generation (Population) aus jungen, heißen Sternen diesen Prozeß gestartet haben, der anschließend einige Hundert Millionen Jahre dauerte. In dieser Zeit beendeten diese Sterne ihre Entwicklung, sie starben sozusagen. Die Sterne, die den ersten Sternen nachfolgten, waren jedoch nicht mehr so hell und heiß.

Jedoch waren zu diesem Zeitpunkt der kosmischen Entwicklung supermassereiche Schwarze Löcher ausreichend gewachsen, daß sie die Rolle der hellen ersten Sterne übernehmen konnten.

Die Wissenschaftler sind derzeit dabei, die Details dieser Entwicklungsphase des frühen Universums aufzuspüren, d.h. wie viele Sterne und Schwarze Löcher trugen zu unterschiedlichen Zeiten zu diesem Prozeß bei?

Zu der Antwort auf diese Frage wird sicherlich ab dem nächsten Jahr der **Start des JWST** (Abb. 7) beitragen, dem Nachfolger des Weltraumteleskops Hubble. Das JWST soll hauptsächlich diese ersten Objekte des frühen Universums aufspüren. Wir sind sicher, die Beobachtungen des neuen Weltraumteleskops werden dabei zahlreiche neue Fragen aufwerfen.

Falls Sie Fragen und Anregungen zu diesem Thema haben, schreiben Sie uns unter **kontakt@ig-hutzi-spechtler.eu**

Ihre

IG Hutzi Spechtler – Yasmin A. Walter

Quellenangaben:

[1] Mehr Information über astronomische Begriffe
www.wikipedia.de

[2] Livermore, R. C., et al., *ApJ* **835**, 2 (2017)

[3]
Bouwens, R. J., et al. (2017) – to be published
Acebron A., et al., *MNRAS* (Apr 2017)

[4]
Priewe, J., et al., *MNRAS* **465** (1), 1030-1045 (2017)
Zheng, W., et al., *Nature* **489**, 406-408 (2012)
Bouwens, R. J., *Nature* **469**, 504-507 (2011)

[5] Matsuoka, Y., et al., *PASJ* (HSC special issue) (Apr 2017)