

ZUM NACHDENKEN



Erste Sterne am Ende des dunklen Zeitalters

Die bekannte Emissionslinie des neutralen Wasserstoffs liegt im Radiobereich bei der Wellenlänge von 21 Zentimetern. Sie entsteht, wenn beim so genannten Hyperfeinstrukturübergang der Elektronenspin im Atom von parallel zu demjenigen des Protons auf antiparallel springt. Dabei wird eine Energie von $\Delta E = 5,87433 \mu\text{eV}$ frei, die das Radiophoton fortträgt.

Aufgabe 1: a) Die Energie der Photonen ist proportional zu seiner Frequenz: $\Delta E = h \nu$. Dabei ist die Proportionalitätskonstante h das Plancksche Wirkungsquantum: $h = 6,6261 \cdot 10^{-34} \text{ J s}$. Wie groß ist die Frequenz ν_{21} der 21-cm-Photonen? **b)** Wie lautet die genaue Wellenlänge λ_{21} der 21-cm-Strahlung?

Aufgabe 2: Die ersten Sterne läuteten das Ende des dunklen Zeitalters ein, indem sie mit ihrer energiereichen Lyman-Alpha-Strahlung die neutralen

Wasserstoffwolken durchsetzen. Dies änderte den Anregungszustand der Atome, wodurch das Wasserstoffgas Photonen der kosmischen Hintergrundstrahlung absorbieren konnte. Das resultierende Absorptionsmuster sollte sich dann bei einer hohen Rotverschiebung um $z = 20$ zeigen und nicht länger als rund 200 Millionen Jahre nach dem Urknall entstanden sein. Die Wissenschaftler identifizierten nun eine Absorption, die bei $\nu_{78} = 78 \text{ MHz}$ liegt. **a)** Welcher Rotverschiebung z_{78} entspricht sie, wenn sie vor Ort als 21-cm-Strahlung bei der Wellenlänge λ_{21} ausgesandt wurde? **b)** Die Breite des Absorptionstrogs wurde zu $\Delta\nu_{78} = 19 \text{ MHz}$ bestimmt. Bei der Flanke des Absorptionstrogs auf der niedrigfrequenten Seite setzte die Re-Ionisierung durch die Sterne ein, bei der anderen Flanke war das Wasserstoffgas für die Absorption mittlerweile zu heiß. Man bestimme die zugehörigen Rotverschiebungen z_{Start} und z_{Ende} .

ZUM NACHDENKEN: Unser Sonnensystem



Das Buch enthält 119 Aufgaben und Lösungen der Rubrik »Zum Nachdenken« zum Sonnensystem, alle überarbeitet und mit zusätzlichen Informationen versehen.

368 Seiten. Preis: 25 €. Bestell-Link: <https://amzn.to/2sYh6L>

Rotverschiebung und Alter

z	$T [\text{Ma}]$	z	$T [\text{Ma}]$	z	$T [\text{Ma}]$
15	269	17	226	19	192
15,5	257	17,5	216	19,5	185
16	246	18	208	20	179
16,5	235	18,5	200	20,5	173

Aufgabe 3: Der Tabelle entnehme man die zu z_{Start} , z_{78} und z_{Ende} korrespondierenden Weltalter T_{Start} , T_{78} und T_{Ende} . Die Werte stammen von www.astro.ucla.edu/~wright/CosmoCalc.html mit den Parametern $H_0 = 67,8 \text{ km s}^{-1} \text{ Mpc}^{-1}$, $\Omega_M = 0,307$, $\Omega_{\text{vac}} = 0,692$ und flachem Universum. AXEL M. QUETZ

Ihre Lösungen senden Sie bitte bis zum **3. August 2018** an: Redaktion SuW – Zum Nachdenken, Haus der Astronomie, MPIA-Campus, Königstuhl 17, D-69117 Heidelberg. Fax: 06221 528377. PDF: zum-nachdenken@sterne-und-weltraum.de. Einmal im Jahr werden unter den erfolgreichen Lösern Preise verlost: siehe S. 93

re Masse nicht allzu viel größer ist als die eines Protons. Das wäre außergewöhnlich, denn im heutigen Kosmos scheint sich die Dunkle Materie allein durch ihre Gravitationswirkung bemerkbar zu machen. Ist die Beobachtung der Absorptionsstruktur bei 78 Megahertz also sogar ein Beweis für die Existenz der Dunklen Materie im frühen Kosmos?

So weit ist es noch nicht. Bislang wurde das Signal nur von einem einzigen Experiment gesehen. Zwar haben sich die Forscher um Bowman alle erdenkliche Mühe gegeben, um instrumentelle Artefakte auszuschließen, ohne eine unabhängige Bestätigung verbleiben jedoch Zweifel an der kosmologischen Natur der Delle bei 78 Megahertz. Derzeit sind mehrere mit EDGES vergleichbare Experimente in Planung. Ein wichtiger Schritt wäre, nach Fluktuationen im Frequenzbereich um 78 Megahertz zu suchen. Solche Fluktuationen zwischen verschiedenen Himmelsrichtungen sollten auftreten, weil sich die ersten Sterne nicht überall gleichmäßig gebildet haben. Das wäre vergleichbar mit der Erforschung des kosmischen Mikrowellenhintergrunds, dessen globales Signal zuerst von einer recht einfachen Hornantenne entdeckt worden ist, und dessen Fluktuationen später mit Satelliten genau vermessen wurden. Wenn sich das EDGES-Signal als echt herausstellt, könnten die Konsequenzen bahnbrechend sein: Neben der Mikrowellen-Hintergrundstrahlung böte die (rotverschobene) 21-Zentimeter-Strahlung dann eine weitere Möglichkeit, die Entwicklung des sehr jungen Universums zu erforschen.

JAN HATTENBACH ist Physiker und Amateur-astronom. In seinem Blog »Himmelslichter«, zu finden unter www.himmelslichter.net, schreibt er über alles, was am Himmel passiert.

Literaturhinweise

Bowman, J., et al.: An Absorption Profile Centred at 78 Megahertz in the Sky-Averaged Spectrum. In: Nature 555, S. 67–70, 2018

Barkana, R., et al.: Possible Interaction Between Baryons and Dark-Matter Particles Revealed by the First Stars. In: Nature 555, S. 71–74, 2018

W I S Didaktische Materialien: www.wissenschaft-schulen.de/artikel/1051524