



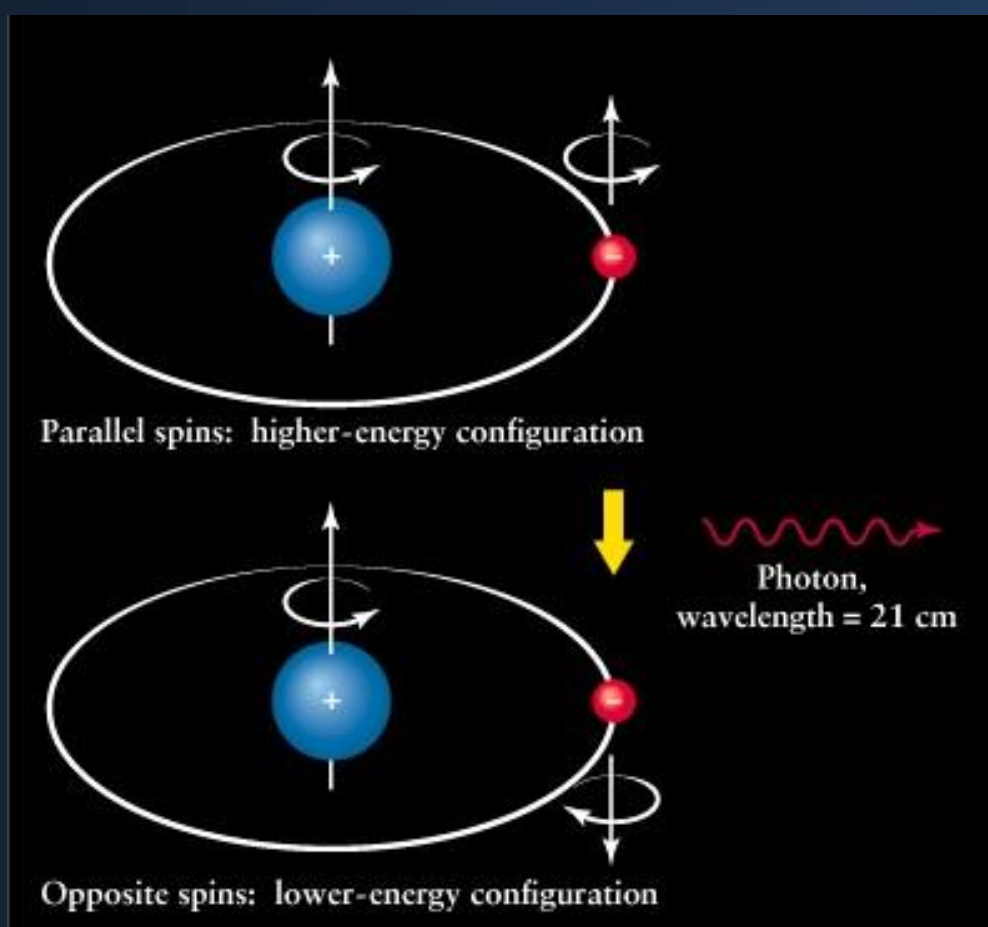
לצפות בכוכבים הראשונים ביקום

עם סיגנל ה-21 ס"מ

אביעד כהן, פרופ' רנן ברקנא, ד"ר אנטטיסה פיאלקוב

קו ה-21 ס"מ

היפוך הספין גורם לפיצול רמת היסוד האנרגטית של אטום המימן, ודעיכה מהמבצ העליון לתחתון מלווה בפליטת פוטון בעל אורך גל של 21 ס"מ.



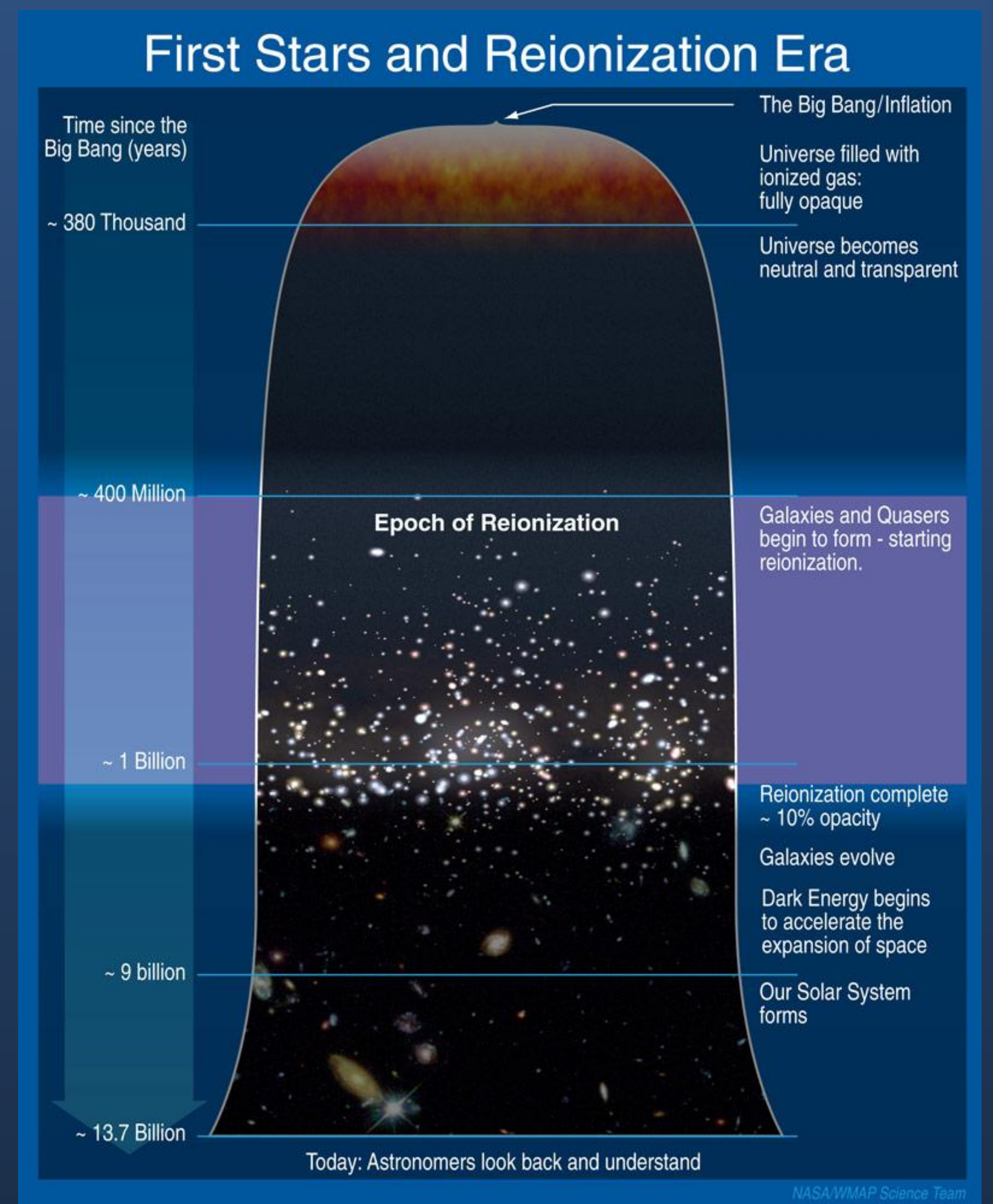
סיגנל זה, בעל אורך גל של 21 ס"מ, נפלט מאטום מימן כתוצאה משינוי במצבו הפנימי. אורכי גל אלו נמצאים בתחום של גלי רדיו. בעיקרון, יכול סיגנל זה לספק לנו תמונה תלת-מימדית של כל אטומי המימן ביקום.

תקציר

תחום האסטרונומיה עומד בפני פריצת דרך, במסגרתה יימדד סיגנל קוסמולוגי חדש, שיספק לנו בפעם הראשונה מבט על היקום המוקדם. סיגנל זה, המכונה סיגנל ה-21 ס"מ, נפלט על ידי אטום המימן והוא צפוי להכיל מידע רב. הבנה תיאורטית מעמיקה של הסיגנל נדרשת על מנת לחלץ מידע זה ולשפור אור על עידן הכוכבים הראשונים ביקום.

ההיסטוריה של היקום

לפני היווצרות הכוכבים הראשונים, היקום היה מלא באטומי מימן. כאשר נוצרו הכוכבים הראשונים (כ-100 מיליון שנים לאחר המפץ הגדול) הם החלו לפלוט קרינה וכך ליינן את המימן. כמיליארד שנים לאחר המפץ הגדול הסתיימה תקופה זו (Reionization era), כאשר אוכלוסיית הכוכבים הייתה גדולה מספיק על מנת ליינן את כל המימן בתווך הבין-גלקטי (IGM) ביקום.



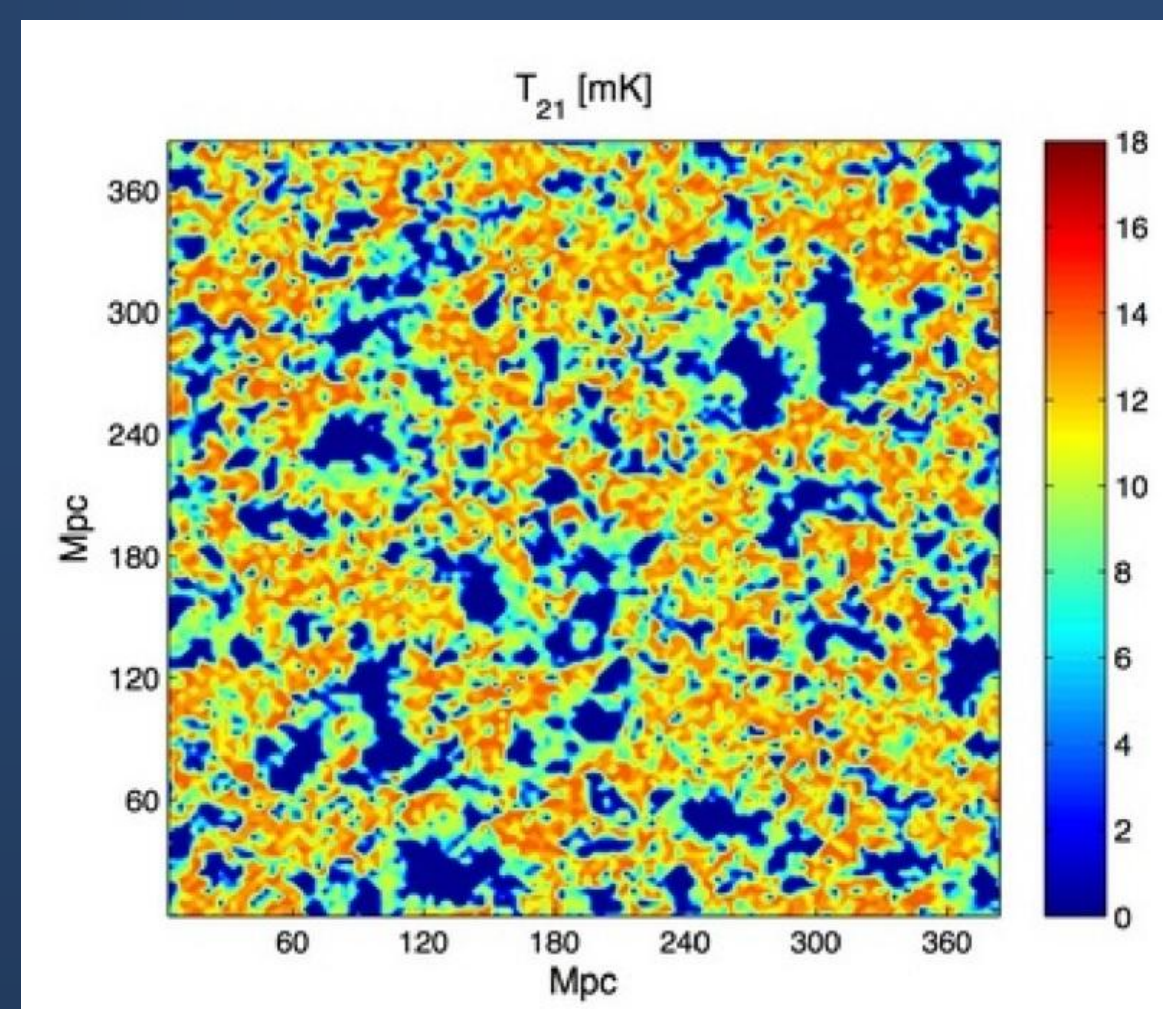
תקופת היווצרות הכוכבים הראשונים ביקום מכונה "השחר הקוסמי" (Cosmic dawn). תקופה זו הייתה דרמטית וחשובה מאוד, אולם כיום אין תצפיות על תקופה זו ולכן פרטים רבים על התהליכים הפיזיקליים שהתרחשו במהלכה חסרים. כדי לצפות בתקופות הקדומות של היקום ניתן לנצל את העובדה שהיקום היה מלא במימן שפולט את קו ה-21 ס"מ.

צפייה בסיגנל זה היא משימה קשה מאוד משום שקיימת קרינת רקע, שמקורה בעיקר ממרכז הגלקסיה שלנו, החזקה בארבעה סדרי גודל מהסיגנל בו אנו מתעניינים. למרות זאת, נעשית התקדמות מהירה בתחום זה, וזיהוי ראשון של הסיגנל צפוי תוך מספר שנים.



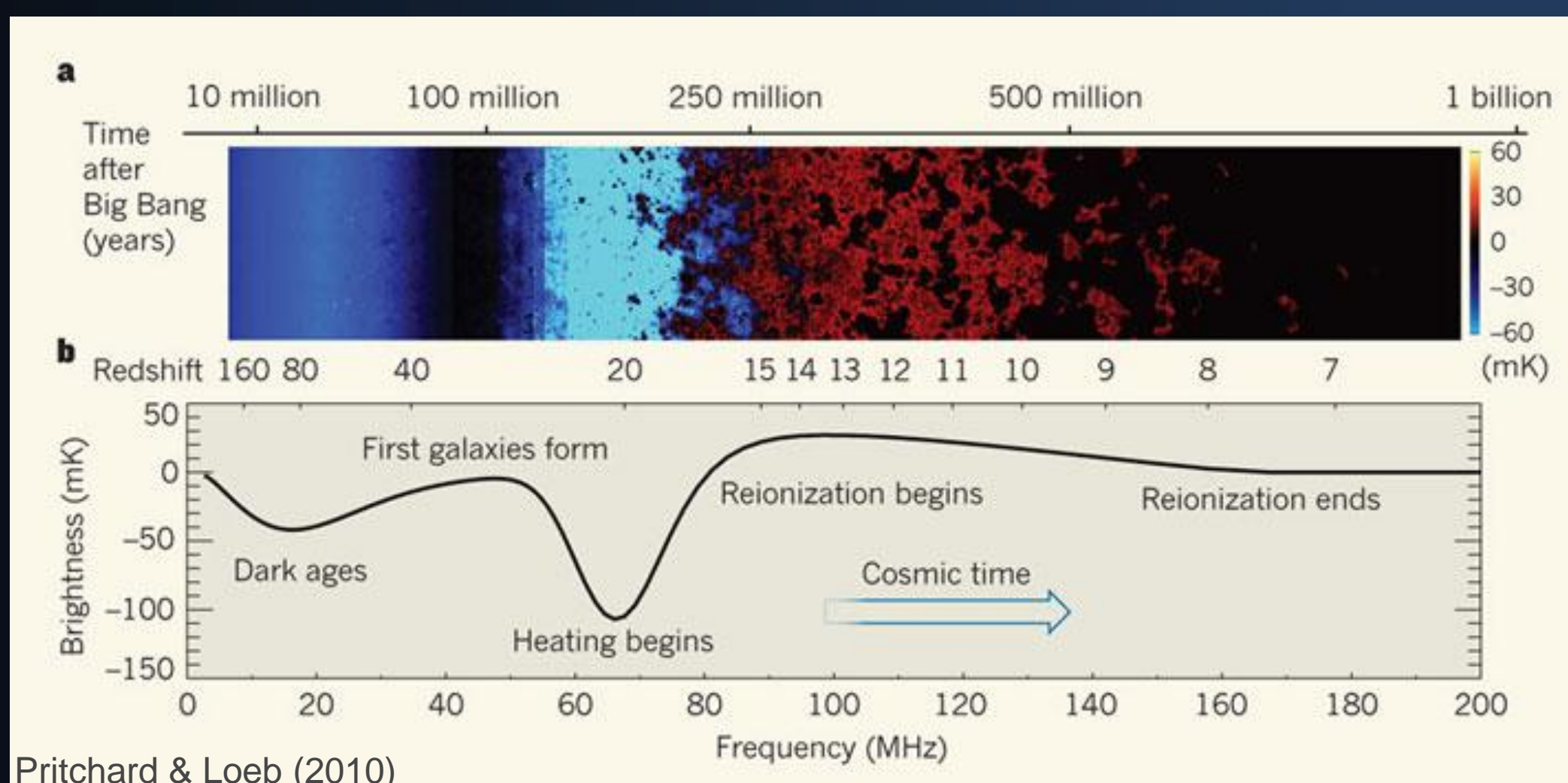
חלק מהטלסקופים הקיימים והעתידיים שמטרתם היא מדידת סיגנל ה-21 ס"מ.

ניסויים קיימים מנסים למדוד את הסיגנל מתקופה של כ-500 מיליון שנים לאחר המפץ הגדול, ואילו טלסקופים עתידיים צפויים לצפות אפילו בזמנים מוקדמים יותר. היכולת שלנו להסביר את המידע שיגיע מניסויים אלו, ואפילו העיצוב של הטלסקופים העתידיים, תלוי בהבנה התיאורטית שלנו את תכונות הסיגנל.



תהליכים פיזיקליים וקוסמולוגיים רבים מאוד משפיעים על הסיגנל ולכן על מנת ללמוד את מאפייניו אנו עושים שימוש בסימולציה נומרית. סימולציה זו לוקחת בחשבון את התהליכים המרכזיים, ומדמה את התפתחות היקום כדי לחזות את התכונות השונות של הסיגנל בכל זמן.

דוגמה למפת העוצמה של סיגנל ה-21 ס"מ כפי שהופקה על ידי הסימולציה. אזורים כחולים מצביעים על מקומות בהם הסיגנל אינו קיים, ואזורים אדומים מצביעים על עוצמה חזקה.

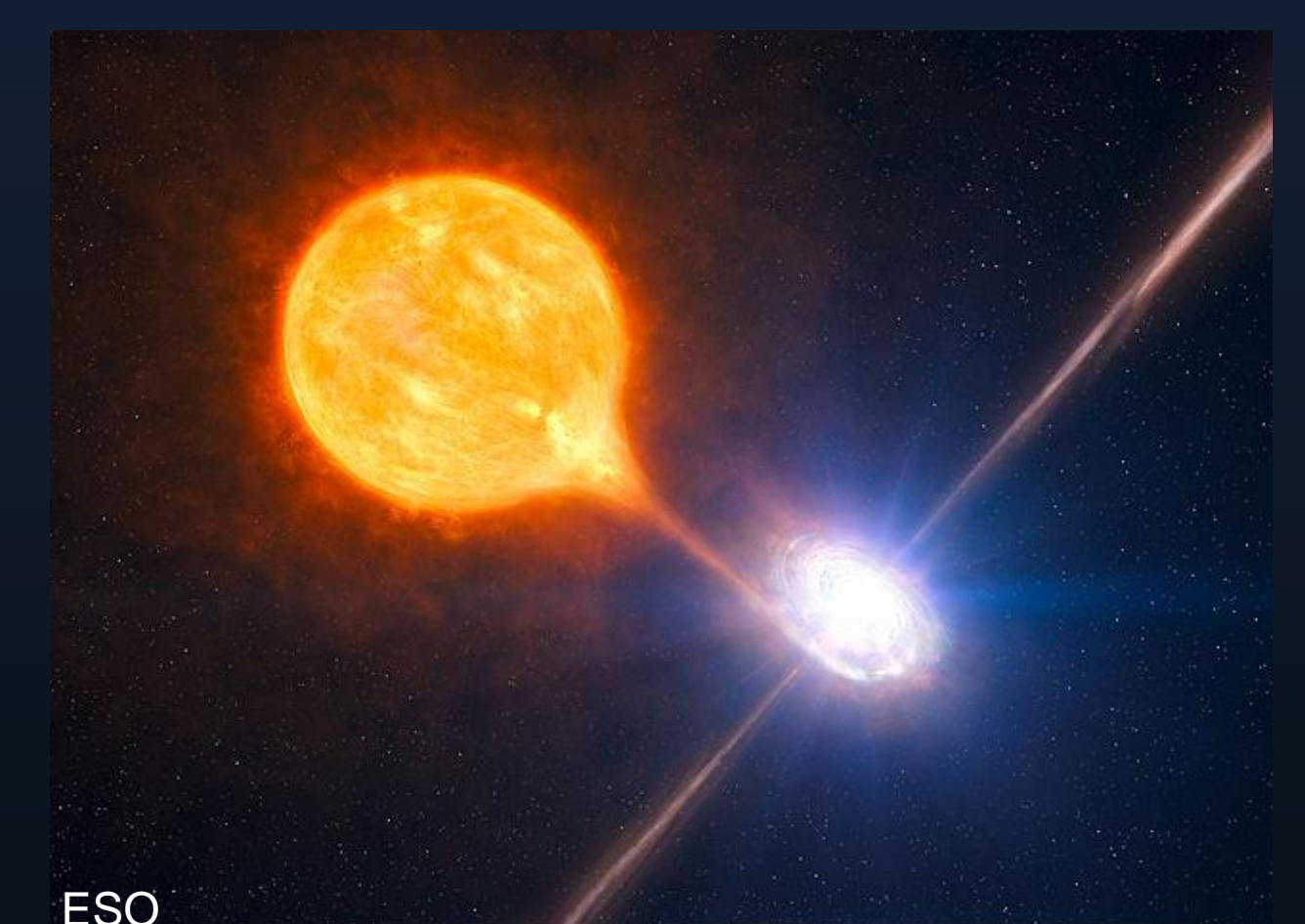


התפתחות הסיגנל לאורך ציר הזמן – החל מהמפץ הגדול (צד שמאל) עד לסוף תקופת היינון, כאשר גיל היקום היה כמיליארד שנים (צד ימין).

מקורות החימום הראשונים ביקום

הסיגנל טומן בחובו כמות עצומה של מידע על היקום הקדום. אחד מהנושאים החשובים עליהם ניתן ללמוד ממנו הוא מקורות החימום הראשונים ביקום.

העצמים האסטרונומיים הראשונים פלטו קרינה בעלת אנרגיה גבוהה, שגרמה לחימום מחדש של הגז ביקום, אחרי שהספיק להתקרר כתוצאה מהתפשטות היקום. המועדמים המובילים להיות המקור המרכזי לחימום הם חורים שחורים במערכות כפולות (X-ray binaries). מערכות אלה נוצרו מכוכבים בינאריים (כפולים) שבהם הכוכב המסיבי יותר סיים את חייו בפיצוץ סופרנובה שהשאיר במקומו חור שחור. בהמשך, גז מהכוכב השני במערכת נמשך אל החור השחור, נקרע תחת כוח משיכתו העצום ופולט קרינה באנרגיות גבוהות – קרינת X.



צילום של חור שחור במערכת כפולה, הסופח חומר מבן זוגו, ופולט קרינת X. ESO

קיימים מקורות חימום נוספים שיכולים להיות משמעותיים, כמו למשל חורים שחורים במרכזי הגלקסיות. ממחקר סיגנל ה-21 ס"מ עולה כי ממדידה שלו נוכל ללמוד מה הייתה האנרגיה המדויקת של קרינת ה-X שחיממה את היקום, ואף את הזמן בהיסטוריה הקוסמית בו התרחש החימום. כך ניתן יהיה לענות על אחת השאלות המרכזיות בקוסמולוגיה כיום ולהכריע מה היו המקורות המרכזיים לחימום היקום המוקדם ומה היו תכונותיהם.