

# בריאאת העוללם (על פל המדע)

רמי ברלשטיין

המחלקה לפסיקה



אוניברסיטת בן-גוריון

הרצאה בקורס סוגיות נבחרות במדע

5.7.2007

# איך נוצר היקום וכל אשר בו ?

- תמונת מצב של היקום המאוחר
- היקום הקדמון
  - שימוש בחוקי הטבע המוכרים לבניית תמונת היקום הקדמון
  - מודל המפץ הגדול החם והעדידות לנכונותו
  - מודל התפיחה הקוסמית (אינפלציה) והעדידות לנכונותו
- המפץ הגדול
  - מודלים של ראשית היקום
  - ומה היה לפני המפץ הגדול?
  - האם באמת נדע אי פעם?

# בריאאת העולם (על פי התורה)

בראשית ברא אלהים את השמים ואת  
הארץ: והארץ הייתה ריקה ופועם  
פועם תהום וריק אלהים מרזפת על פועם  
המים: ויאמר אלהים יהי אור ...

# תכנית ההרצאה

המפץ הגדול	היקום הקדמון	היקום המאוחר
<ol style="list-style-type: none"><li>1. תפיחה קוסמית ויצירת החומר ביקום</li><li>2. היחודיות (סינגולריות) וראשית הזמן</li><li>3. היקום הקוונטי</li><li>4. לפני המפץ הגדול ?</li></ol>	<ol style="list-style-type: none"><li>1. היקום מתפשט</li><li>2. היקום היה חם וצפוף</li><li>3. יצירת היסודות</li><li>4. היסטורית היקום</li></ol>	<ol style="list-style-type: none"><li>1. תכולת היקום</li><li>2. גודל היקום</li></ol>



# היקום

”...כוכבי השמיים וכחול  
אשר על שפת היים...”



# תכונות היקום

**אז -** חומר נראה: 5% כוכבים וגז (בעיקר מימן)

במערכות קשורות באמצעות כבידה - חלבלוביות  
(גלאקסיות) המאורגנות בצבירים

- כוכב הוא גוף כדורי המורכב ברובו מגז מימן
- הכוכבים מאירים בגלל כור גרעיני "על אש קטנה" הנוצר במרכזם

# תכונות היקום

א- חומר נראה: 5% כוכבים וגז

- מאה מיליארד כוכבים בגלקסיה (מסת כל גלקסיה כאלף מיליארד מסות שמש)
- מאה מיליארד גלקסיות ביקום הנראה
- סה"כ ~  $10^{22}$  כוכבים (יותר מחול על שפת היס \*...)
- צפיפות ממוצעת 1 פרוטון למטר מעוקב

\* כמה גרגרי חול יש על שפת היס?

- גודל ממוצע של גרגיר חול ~ 1 מ"מ ← מיליארד גרגרי חול במטר מעוקב
- בקילומטר של חוף יש כעשרת אלפים מטר מעוקבים ←  $10^{13}$  גרגרי חול בקילומטר חוף
- אלף ק"מ חוף בישראל ←  $10^{16}$  גרגרי חול



# חלבובית סלילית

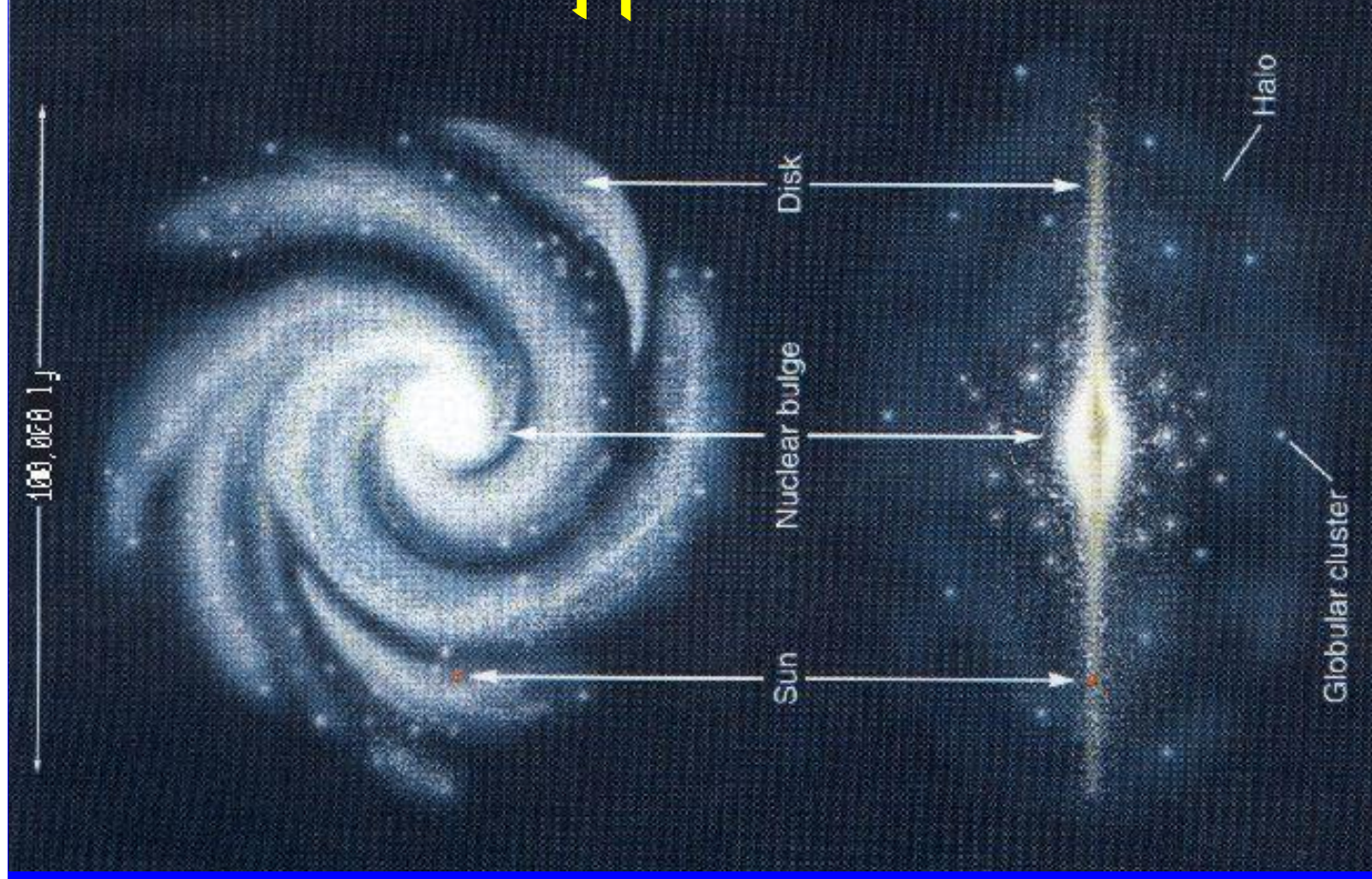




# חלבולבובית סלילית



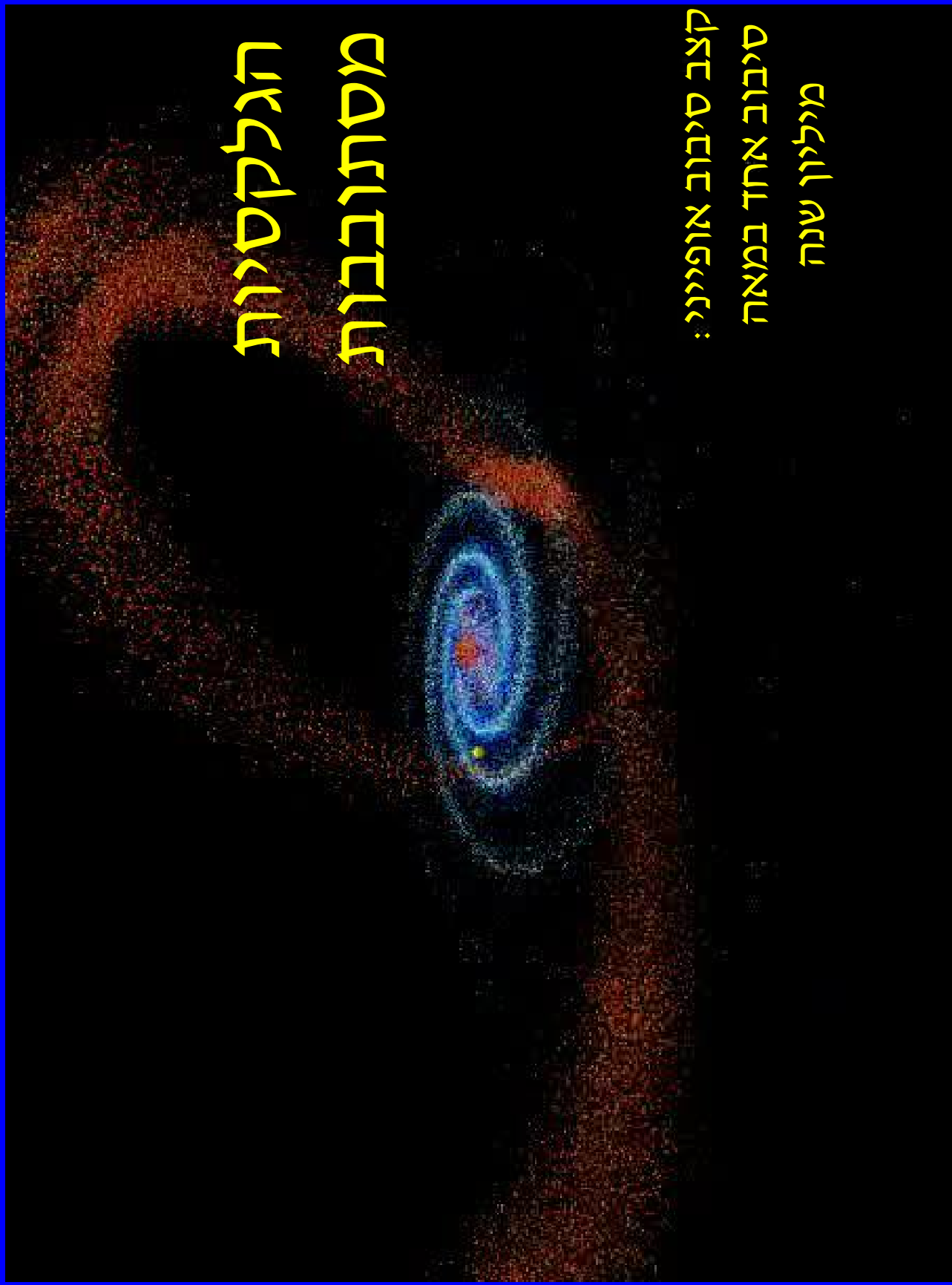
# חלבובית סלילית: שביל החלב





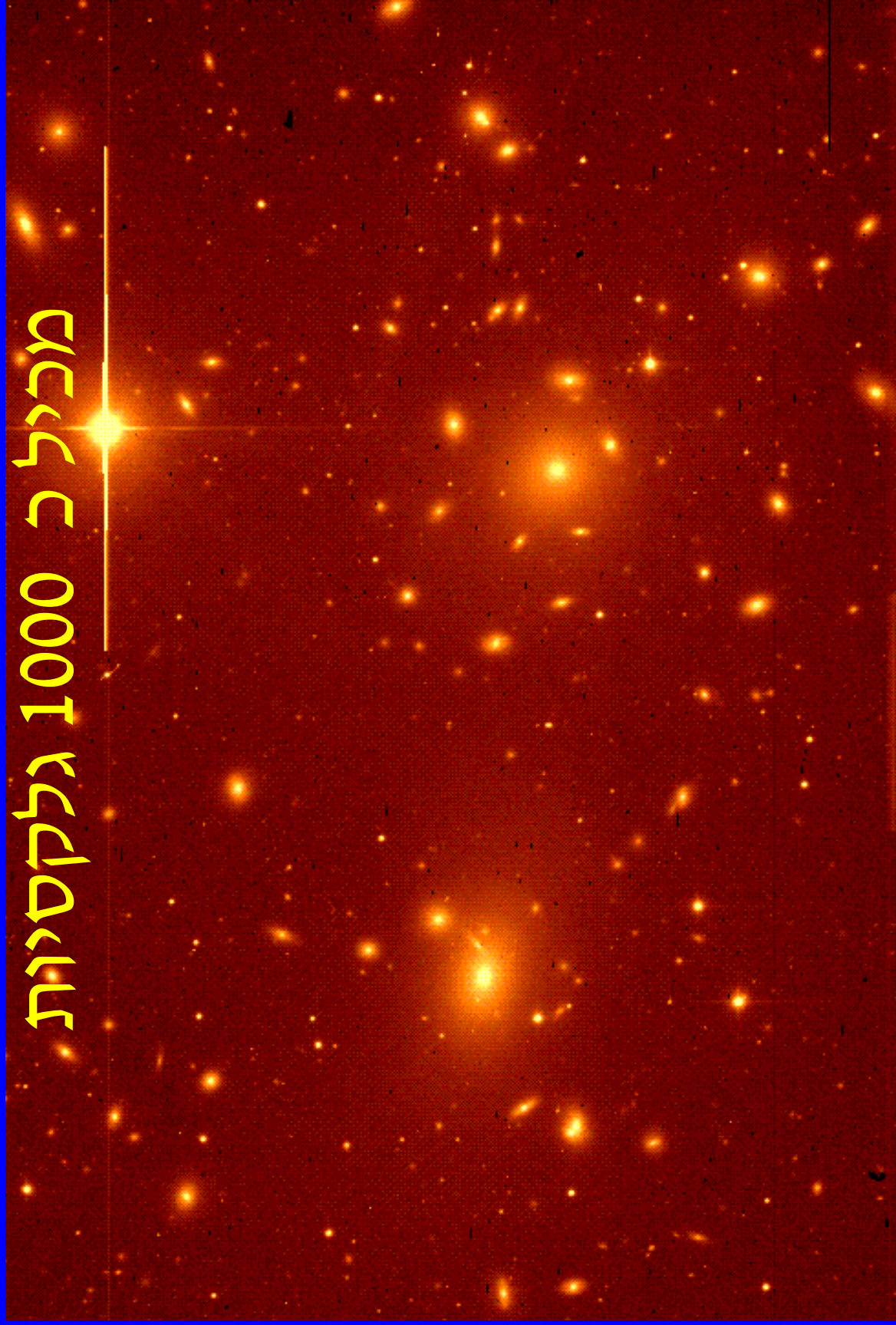
# הגלקסיות מסתובבות

קצב סיבוב אופייני :  
סיבוב אחד במאה  
מיליון שנה



צביר חלבובינות קומה

מכיל כ 1000 גלקסיות





# מגוון חלבולביות בקצה היקום



**Hubble Ultra Deep Field**  
**Hubble Space Telescope • Advanced Camera for Surveys**

NASA, ESA, S. Beckwith (STScI) and the HUDF Team

STScI-PRC04-07a



## גודל היקום

- יחידת מרחק parsec, 30,000 מיליארד ק"מ = 1 פארסק  
מרחק אופייני בין כוכבים = 3.26 שנות אור = 1 pc
- גודל אופייני של גלאקסיה 30,000 שנות אור ~ 10 קילופארסק  
מרחק בין גלאקסיות 1.5 מליון שנות אור ~ 500 קילו פארסק
- מרחק לצביר הקרוב 20 מגה פארסק (מליון פארסק)
- גודל היקום הנראה 30 מיליארד שנות אור ~ 10 גיגה פארסק  
 $10^{23}$  x 3.1 ק"מ ~ 10 גיגה פארסק (מיליארד פארסק)

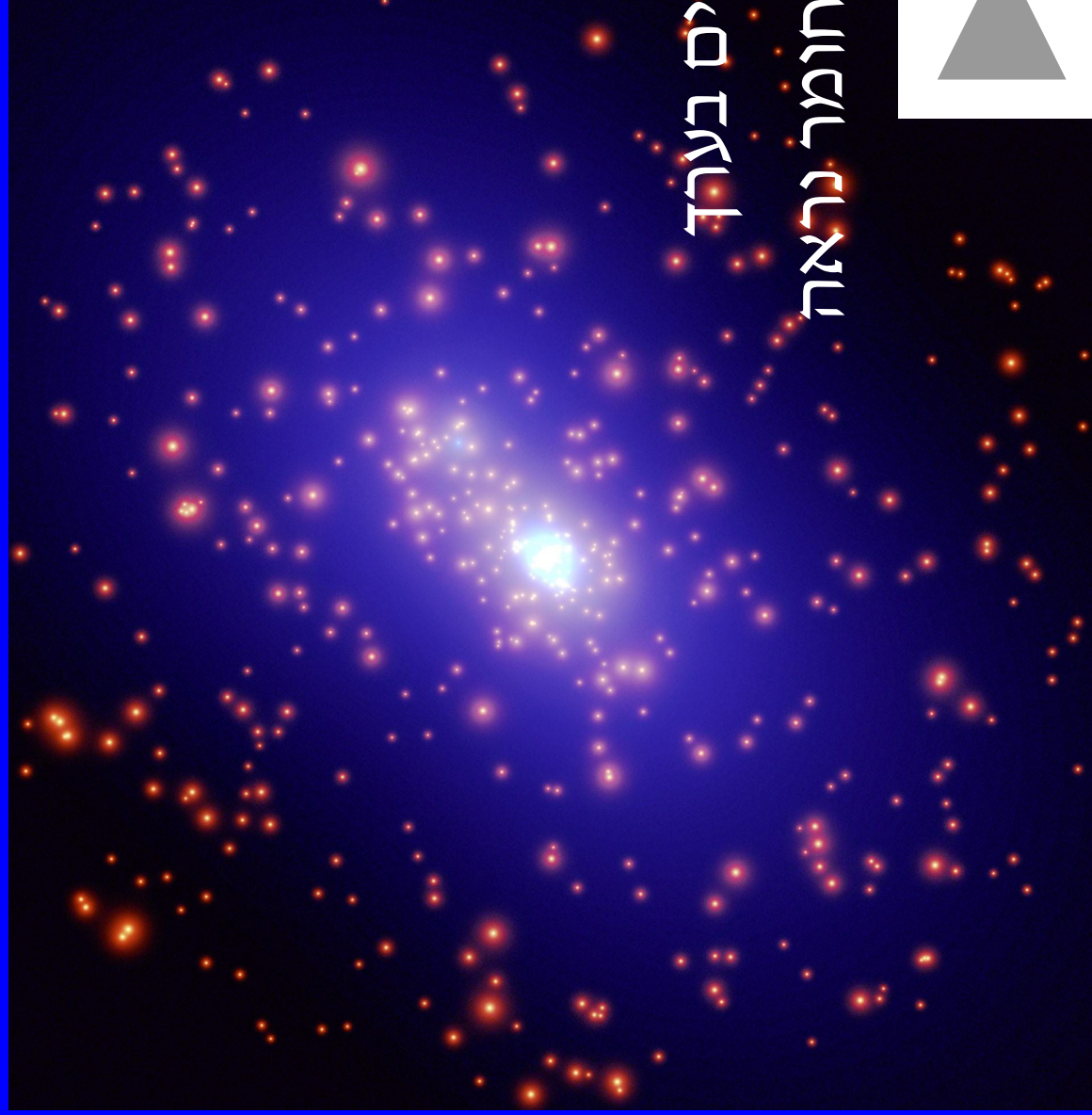
# תכונות היקום

כ- 1/4 "חומר אפל" בתוך הגלקסיות ומסביבן  
ובצבירים ומסביבם (פי שש מהחומר הנראה!)

איך "הואים" חומר אפל ?

- חומר אפל מפעיל כוח כבידה על חומר נראה!
1. מודדים מהירות סיבוב של כוכבים בגלקסיה ומסיקים על התפלגות החומר
  2. "מסתכלים" על צבירים

• מפה של "חומר אפל" בצביר פרסאוס



אמצעי מיפוי

▪ מהירות שכיחות

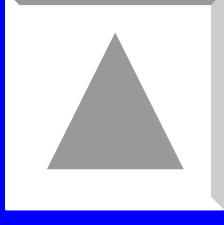
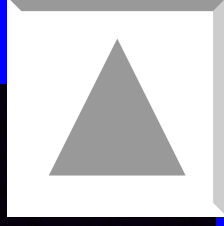
▪ טמפרטורה

▪ עידוש

▪ שחזור התנגשות

• מסקנה: גם בצבירים בערך

פי 5 "חומר אפל" מחומר נראה



# תכונות היקום

ג- 2/3 "אנרגיה אפלה" מרוחה בצורה אחידה

על פני היקום כולו

איך יודעים ?

סיפור ארוך, מעניין, ועדיין לא גמור לחלוטין

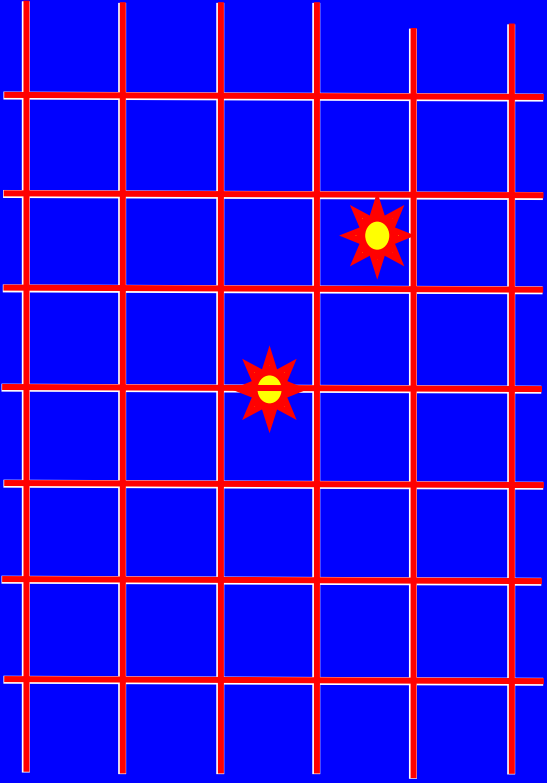
השאלה המעניינת באמת: מה הסיבה?

נושא ההרצאה של שנה קודמת

# תכנית ההרצאה

המפץ הגדול	היקום הקדמון	היקום המאוחר
1. תפיחה קוסמית ויצירת החומר ביקום	1. היקום מתפשט	✓ תכולת היקום
2. הייחודיות (סינגולריות) וראשית הזמן	2. היקום היה חם וצפוף	✓ גודל היקום
3. היקום הקוונטי	3. יצירת היסודות	
4. מה היה לפני המפץ הגדול ?	4. היסטורית היקום	



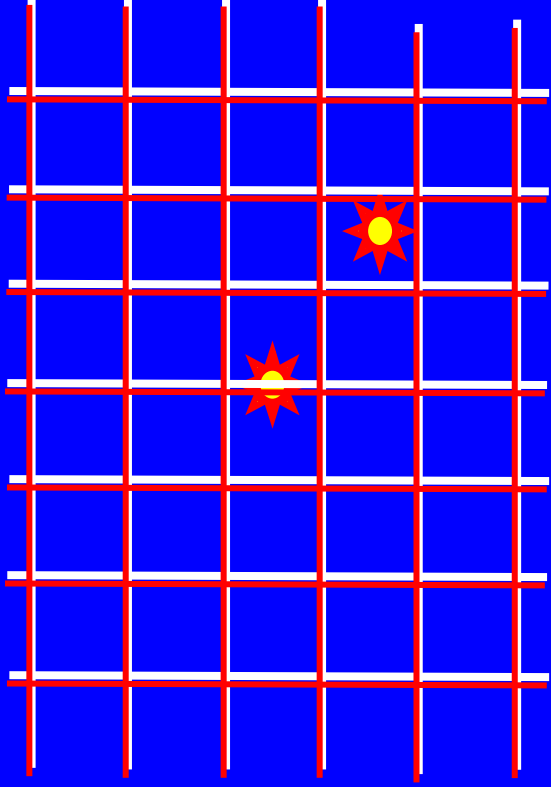


# • הקורס מסתמט

לתוך מה מתמט הקורס;

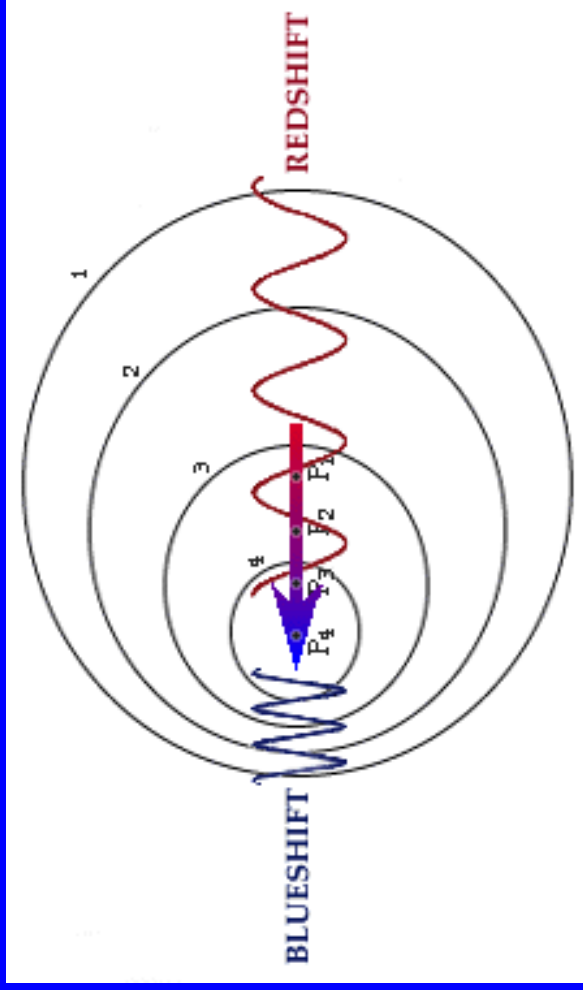
לתוך כלום;

התמטוט = כלול מרקוקים



# • היקום מתפשט

- הסחה לאדום  $z$ 
  - גלקסיות פולטות אור בצבעים שונים
  - ככל שהאור אדום יותר אורך הגל של האור ארוך יותר והתדר נמוך יותר
  - ככל שהאור כחול יותר אורך הגל של האור קצר יותר והתדר גבוה יותר
- קווי פליטה של גז בגלקסיות רחוקות מוסחים לאדום



$$z = \frac{\Delta L}{L}$$

## • היקום מתפשט

- חוק האבל: הכמות היחסית של ההסחה לאדום גדולה יותר ככל שהעצם הפולט מרוחק יותר

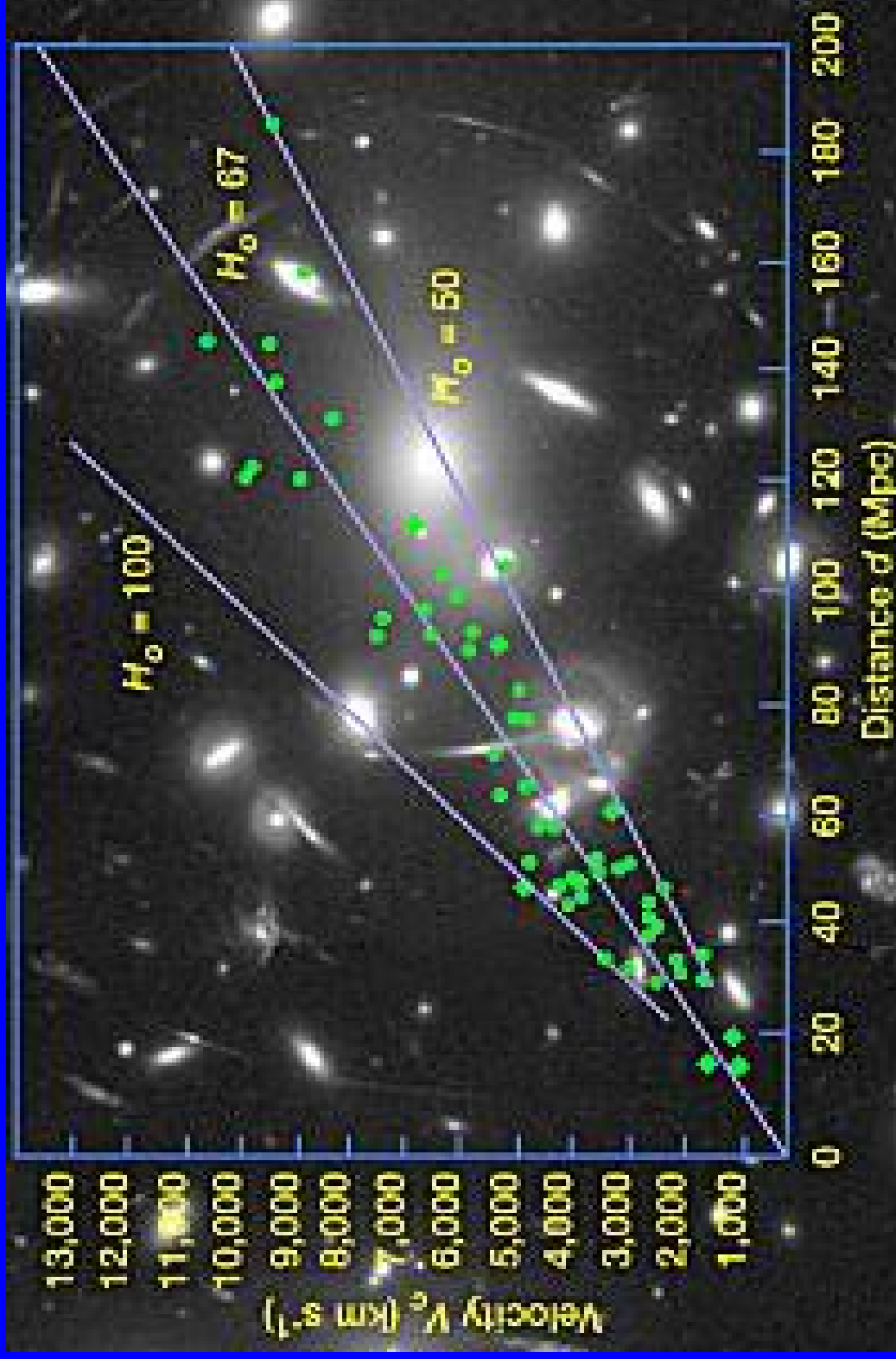
$$\frac{\Delta L}{L} = \frac{H_0}{c} d$$

- תרשים האבל (Hubble diagram)

תרשים של

$$cz = H_0 d$$

$$v = \Lambda$$



$D_L$

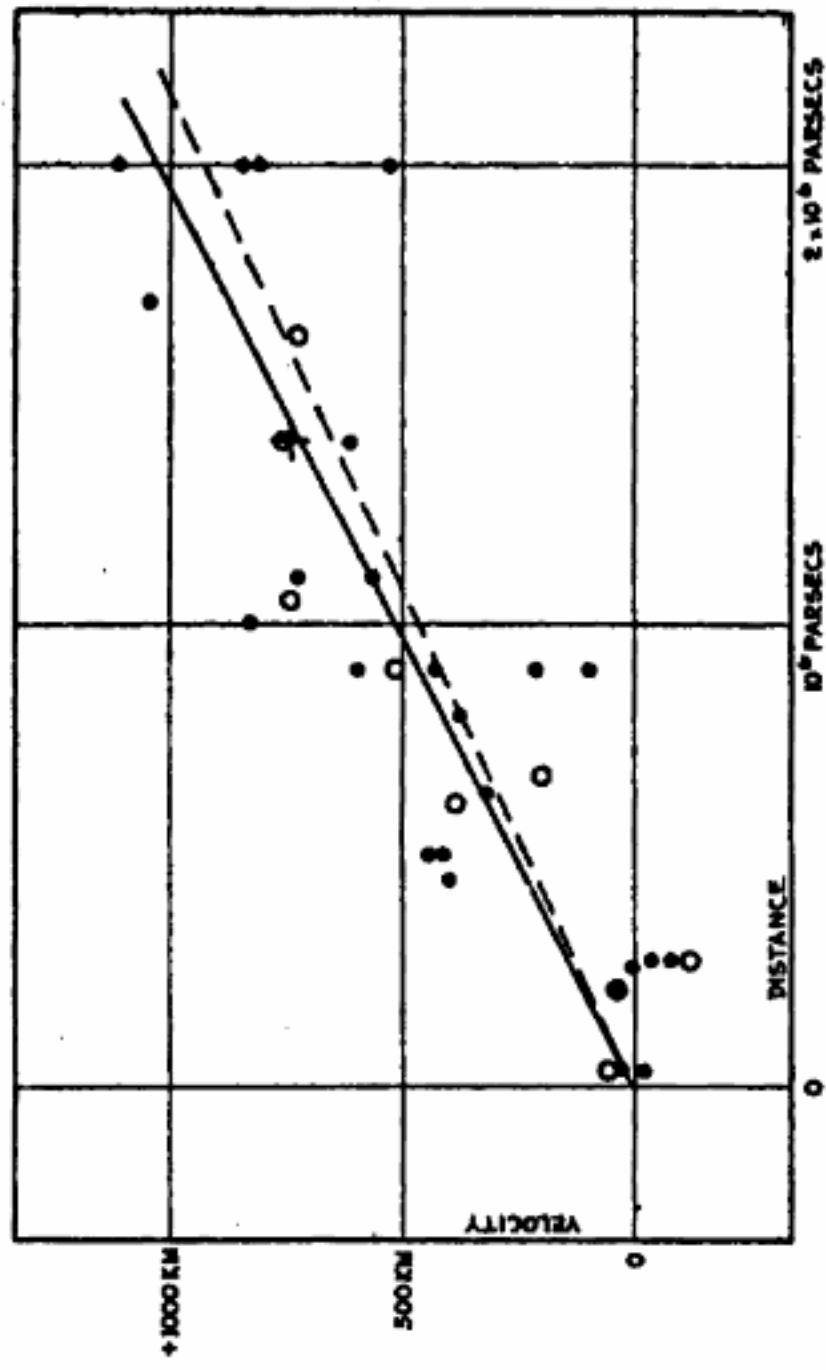
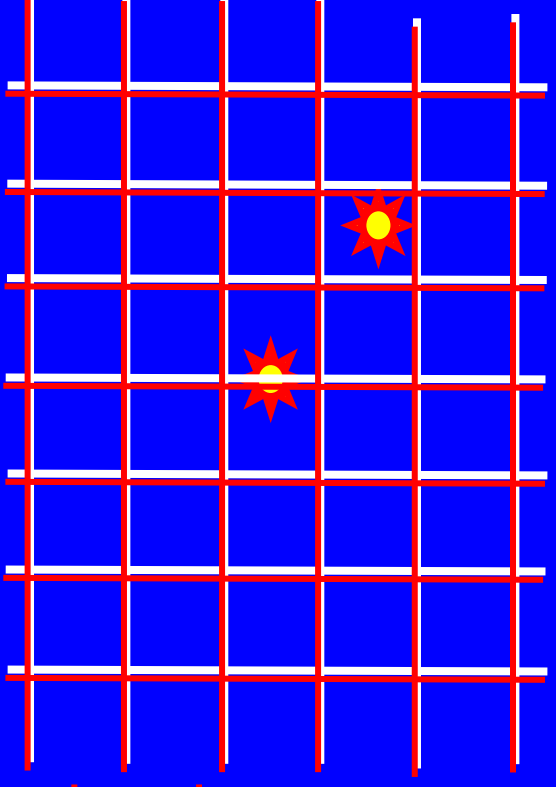
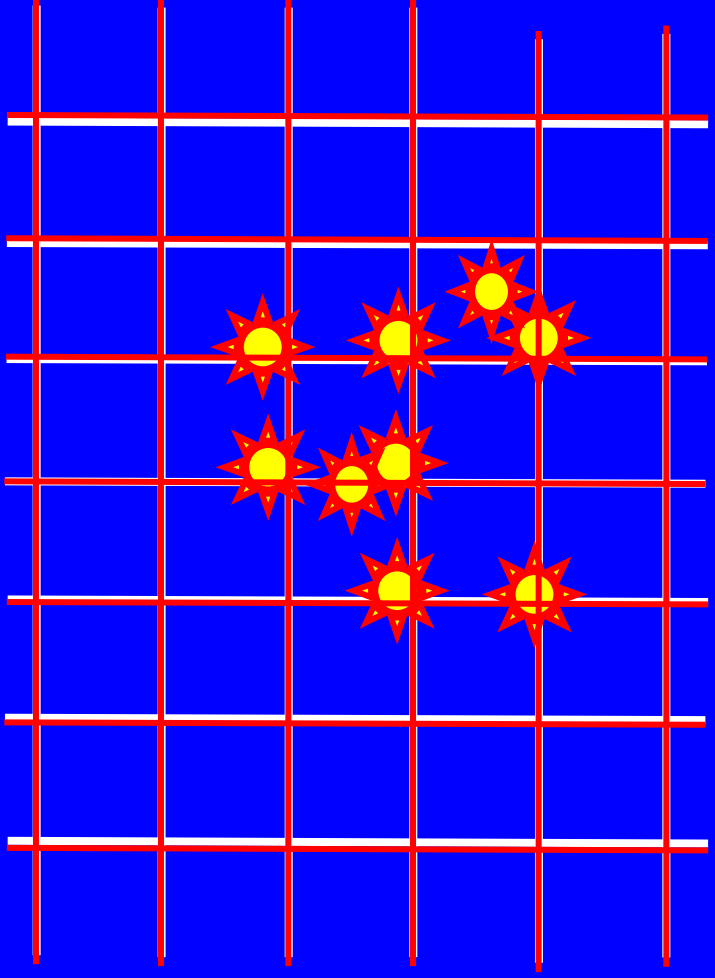


FIG. 2—Reproduced from Hubble (1929). The first "Hubble diagram" including galaxies with redshifts up to 1100 km s<sup>-1</sup> and implying a Hubble constant near 500 km s<sup>-1</sup> Mpc.



# היקום מתפשט ← אפופות החומר קטנה



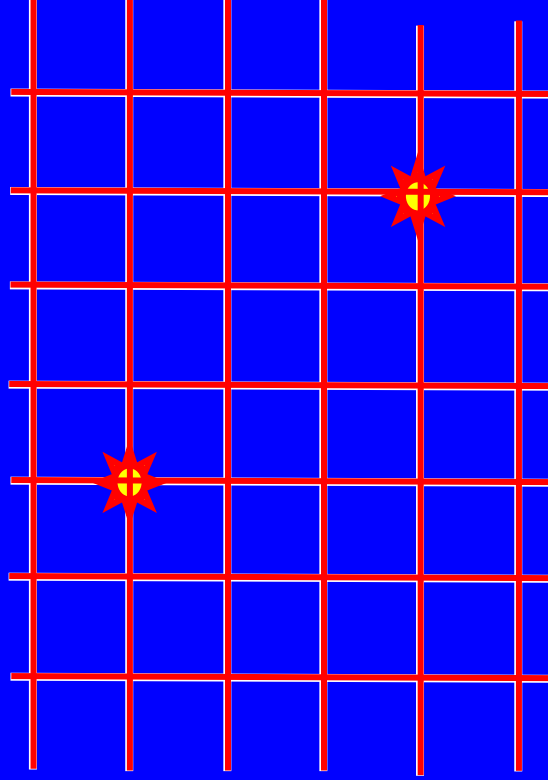
# טמפרטורה ומהירות

<http://jersey.uoregon.edu/vlab/Thermodynamics/>

טמפרטורה גבוהה → מהירות גבוהה ←

טמפרטורה נמוכה → מהירות נמוכה ←

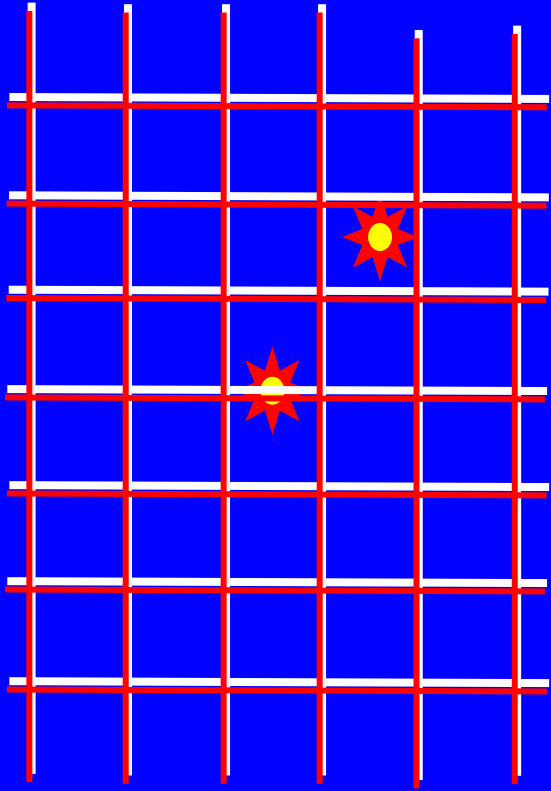
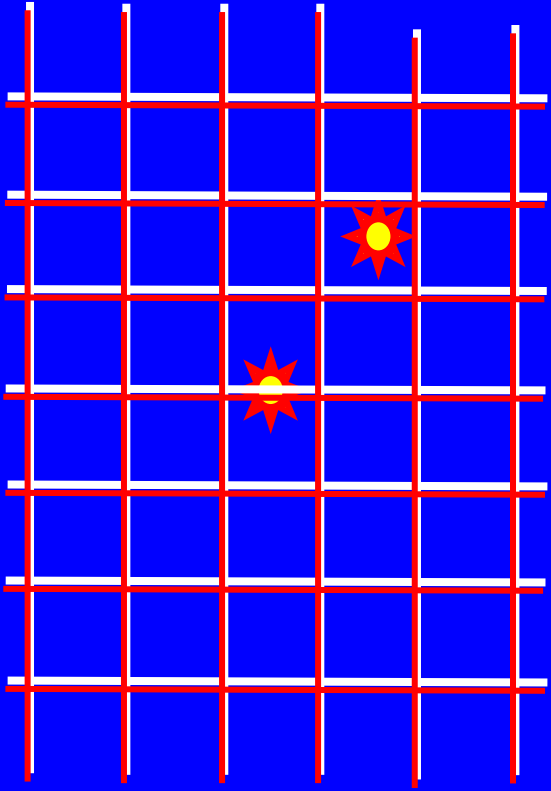
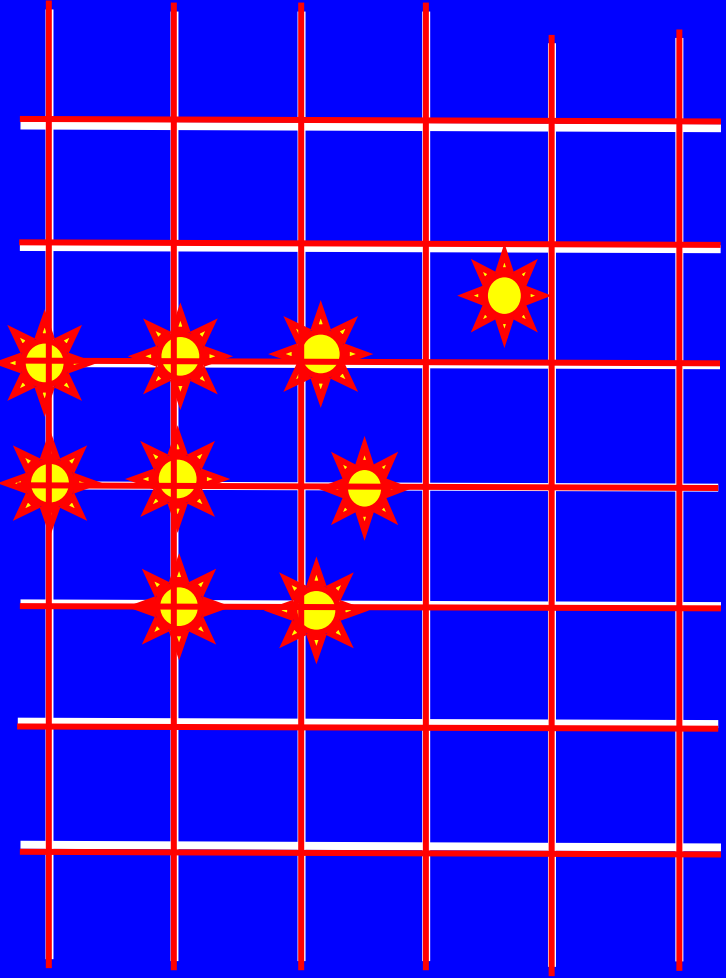
# היקום מתפשט ← הטמפרטורה קטנה



# מודל המפץ הגדול החם (Hot Big Bang) הילקום היה חם וצפוף

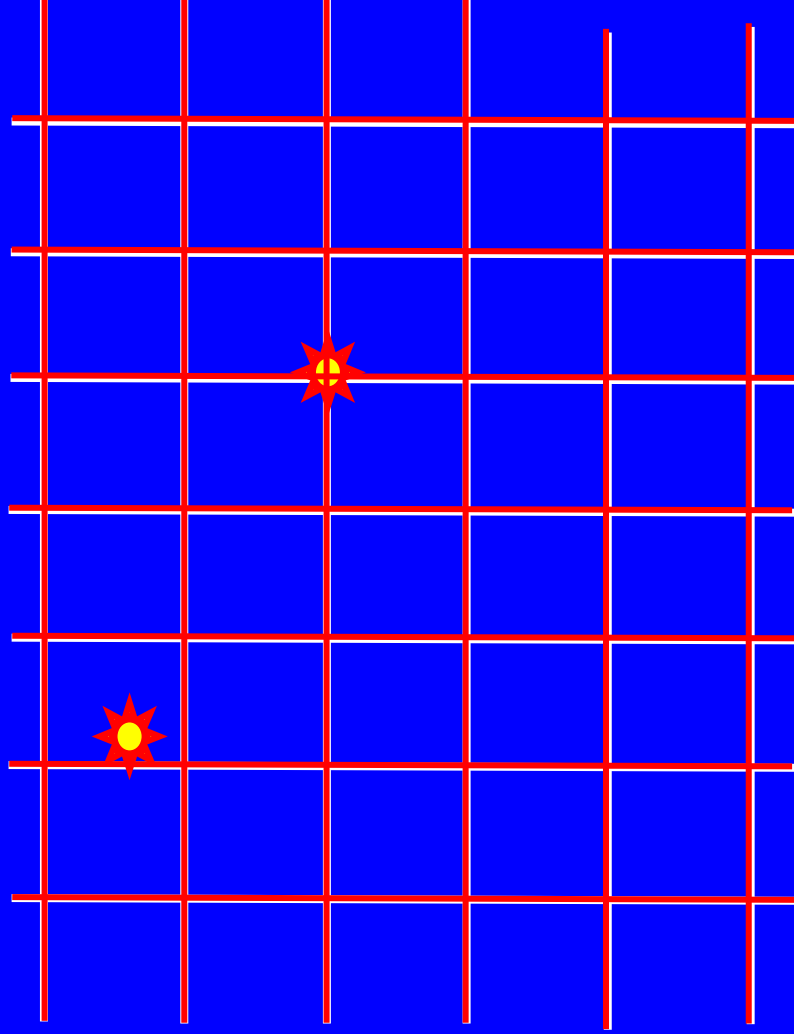
- כאשר מסתכלים אחורה בזמן:  
התפשטות היא התכווצות  
מכיוון שלא נוצר או נעלם חומר הצפיפות בעבר היתה גבוהה יותר
- כאשר מסתכלים אחורה בזמן:  
האטת מהירויות היא הגברת מהירויות  
כלומר היקום היה חם יותר

# היקום היה צפוף





# היקום היה חם



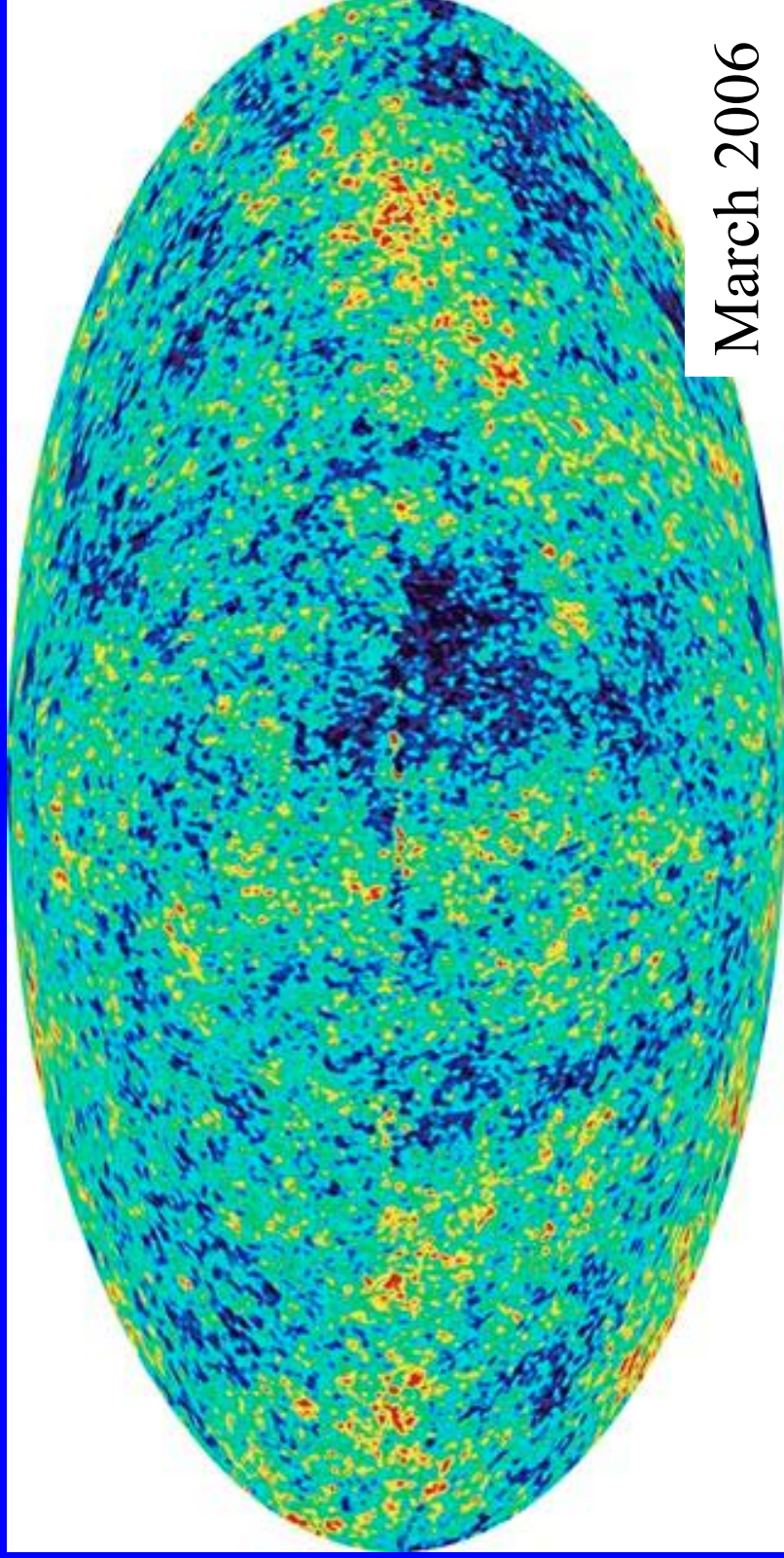
# הוכחות לנכונות מודל המפץ הגדול החם

✓ התפשטות היקום

• קרינת הרקע הקוסמי (פרס נובל 1978, 2006)

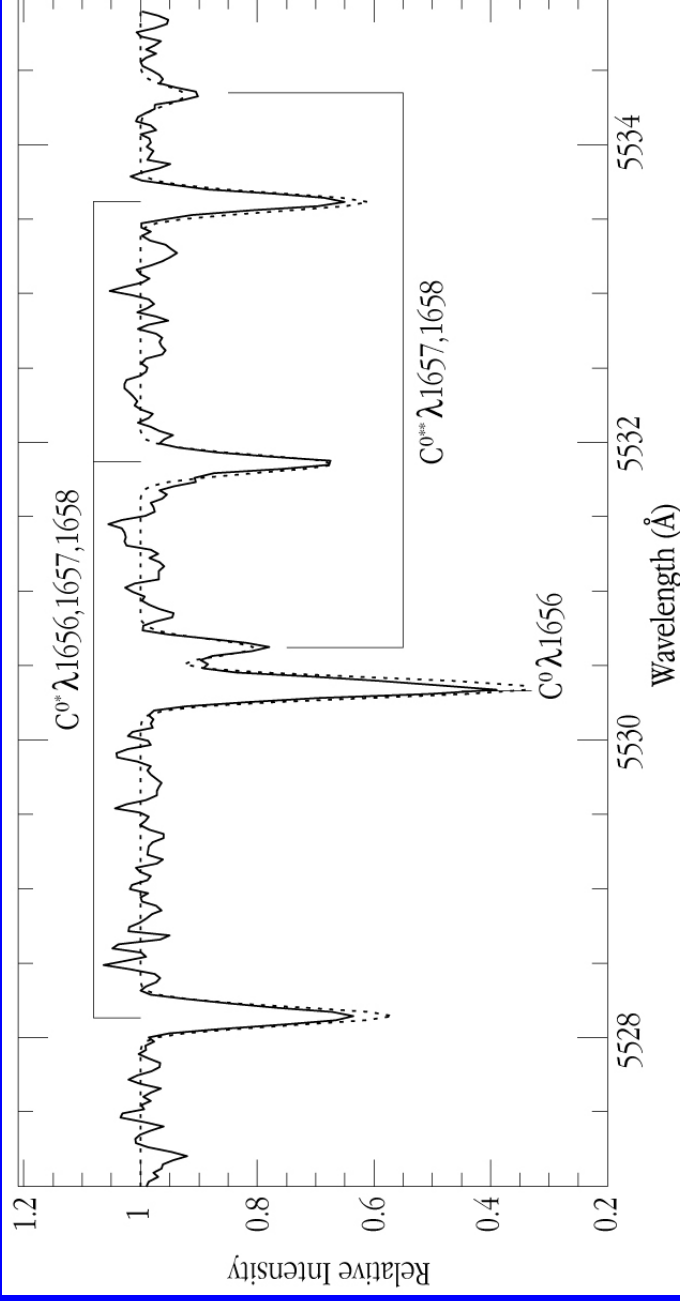
• יצירת היסודות

- קרינת הרקע הקוסמי
- מיפוי קרינת הרקע הקוסמי כפי שנמדדה ע"י הלונר WMAP



שינויים בטמפרטורה בעוצמה יחסית של 1/100,000

# טמפרטורת קרינת הרקע הייתה גבוהה יותר בעבר!



Spectrum of Quasar PKS 1232+0815 with Neutral Carbon Lines at  $z=2.34$   
(VLT KUEYEN + UVES)

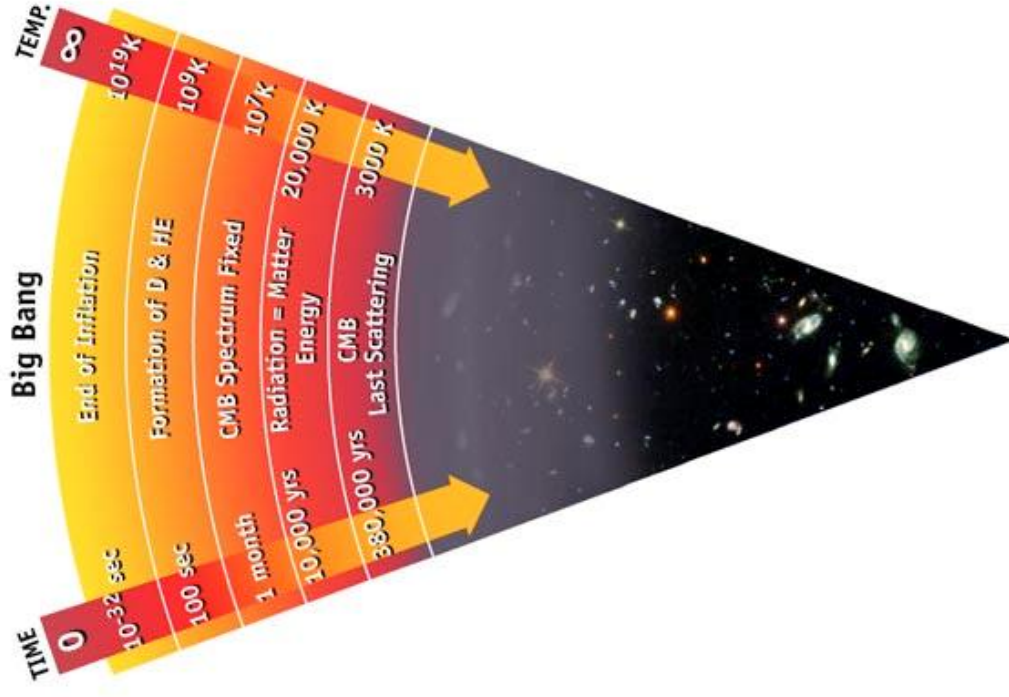


ESO PR Photo 35/00 (20 December 2000)

© European Southern Observatory

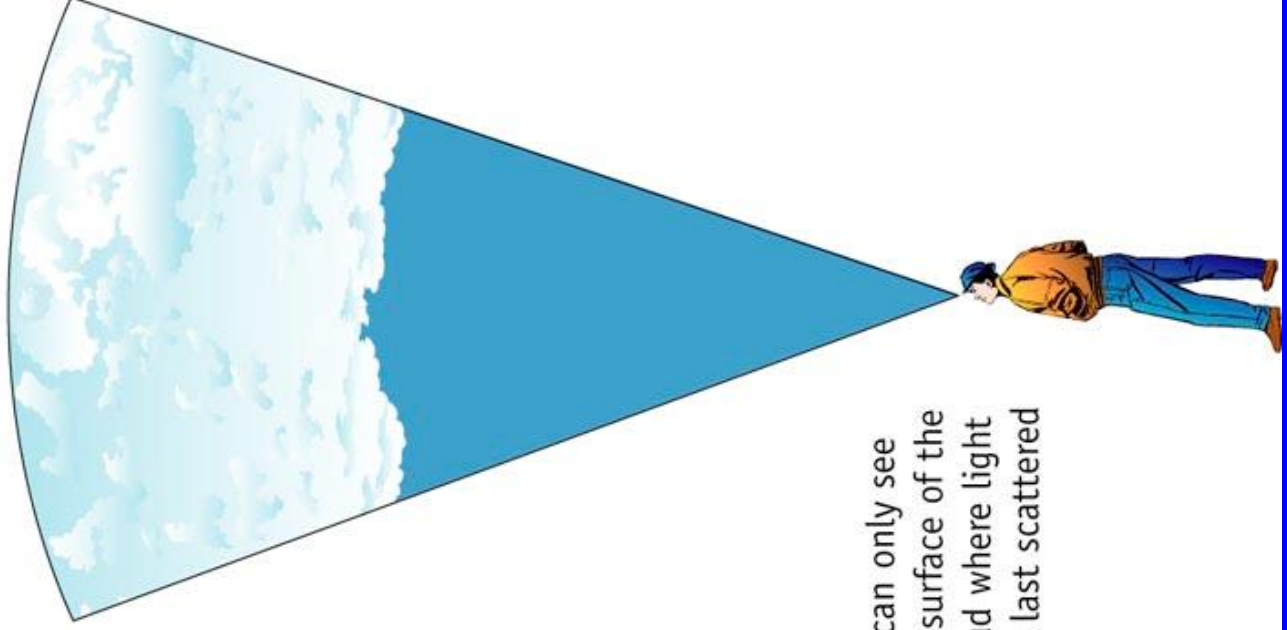
אור ממקור חזק  
רחוק ועתיק  
נבלע ע"י קרינת  
הרקע  
הבליעה תלוייה  
בטמפרטורה

A small part of the spectrum of the distant quasar **PKS 1232+0815**, as obtained with the UVES spectrograph at the 8.2-m VLT KUEYEN telescope at Paranal. Some carbon absorption lines from an intervening cloud are identified, that are sensitive to the Cosmic Microwave Background Radiation



PRESENT  
13.7 Billion Years  
after the Big Bang

The cosmic microwave background Radiation's "surface of last scatter" is analogous to the light coming through the clouds to our eye on a cloudy day.



We can only see  
the surface of the  
cloud where light  
was last scattered



# יצירת היסודות (נוקלאוסינתזה)

כל היסודות היותר כבדים ממימן המכילים מספר רב של פרוטונים וניטרונים נוצרו מהיתוך גרעיני של יסודות קלים יותר

Los Alamos National Laboratory Chemistry Division

Periodic Table of the Elements

1A	2A											3A	4A	5A	6A	7A	8A																																																														
1 H Hydrogen (1.008)	4 Be Beryllium (9.012)	10 Ne Neon (20.18)	11 Na Sodium (22.99)	12 Mg Magnesium (24.31)	19 K Potassium (39.10)	20 Ca Calcium (40.08)	37 Rb Rubidium (85.47)	38 Sr Strontium (87.62)	55 Cs Cesium (132.9)	56 Ba Barium (137.3)	87 Fr Francium (223)	88 Ra Radium (226)	89 Ac~ Actinides (227)	90 Th Thorium (232)	91 Pa Protactinium (231)	92 U Uranium (238)	93 Np Neptunium (237)	94 Pu Plutonium (244)	95 Am Americium (243)	96 Cm Curium (247)	97 Bk Berkelium (247)	98 Cf Californium (251)	99 Es Einsteinium (252)	100 Fm Fermium (257)	101 Md Mendelevium (258)	102 No Nobelium (259)	103 Lr Lawrencium (260)	104 Rf Rutherfordium (261)	105 Db Dubnium (262)	106 Sg Seaborgium (266)	107 Bh Bohrium (264)	108 Hs Hassium (277)	109 Mt Meitnerium (268)	110 Ds Darmstadtium (271)	111 Rg Roentgenium (272)	112 Uub Ununbium (285)	113 Nh Nihonium (284)	114 Fl Flerovium (289)	115 Mc Moscovium (288)	116 Lv Livermorium (293)	117 Ts Tennessine (294)	118 Og Oganesson (294)																																					
		3B		4B	5B	6B	7B	8B	9B	10B	11B	12B																																																																			
		21 Sc Scandium (44.96)	22 Ti Titanium (47.88)	23 V Vanadium (50.94)	24 Cr Chromium (52.00)	25 Mn Manganese (54.94)	26 Fe Iron (55.85)	27 Co Cobalt (58.93)	28 Ni Nickel (58.69)	29 Cu Copper (63.55)	30 Zn Zinc (65.38)	31 Ga Gallium (69.72)	32 Ge Germanium (72.64)	33 As Arsenic (74.92)	34 Se Selenium (78.96)	35 Br Bromine (79.90)	36 Kr Krypton (83.80)	41 Nb Niobium (92.91)	42 Mo Molybdenum (95.94)	43 Tc Technetium (98)	44 Ru Ruthenium (101.1)	45 Rh Rhodium (102.9)	46 Pd Palladium (106.4)	47 Ag Silver (107.9)	48 Cd Cadmium (112.4)	49 In Indium (114.8)	50 Sn Tin (118.7)	51 Sb Antimony (121.8)	52 Te Tellurium (127.6)	53 I Iodine (126.9)	54 Xe Xenon (131.3)	60 Nd Neodymium (144.2)	61 Pm Promethium (145)	62 Sm Samarium (150.4)	63 Eu Europium (152.0)	64 Gd Gadolinium (157.3)	65 Tb Terbium (158.9)	66 Dy Dysprosium (162.5)	67 Ho Holmium (164.9)	68 Er Erbium (167.3)	69 Tm Thulium (168.9)	70 Yb Ytterbium (173.0)	71 Lu Lutetium (175.0)	72 Hf Hafnium (178.5)	73 Ta Tantalum (180.9)	74 W Tungsten (183.8)	75 Re Rhenium (186.2)	76 Os Osmium (190.2)	77 Ir Iridium (192.2)	78 Pt Platinum (195.1)	79 Au Gold (197.0)	80 Hg Mercury (200.6)	81 Tl Thallium (204.4)	82 Pb Lead (207.2)	83 Bi Bismuth (208.98)	84 Po Polonium (209)	85 At Astatine (210)	86 Rn Radon (222)	98 Cf Californium (251)	99 Es Einsteinium (252)	100 Fm Fermium (257)	101 Md Mendelevium (258)	102 No Nobelium (259)	103 Lr Lawrencium (260)	104 Rf Rutherfordium (261)	105 Db Dubnium (262)	106 Sg Seaborgium (266)	107 Bh Bohrium (264)	108 Hs Hassium (277)	109 Mt Meitnerium (268)	110 Ds Darmstadtium (271)	111 Rg Roentgenium (272)	112 Uub Ununbium (285)	113 Nh Nihonium (284)	114 Fl Flerovium (289)	115 Mc Moscovium (288)	116 Lv Livermorium (293)	117 Ts Tennessine (294)	118 Og Oganesson (294)
Lanthanide Series+																Lanthanide Series+																																																															
Actinide Series-																Actinide Series-																																																															

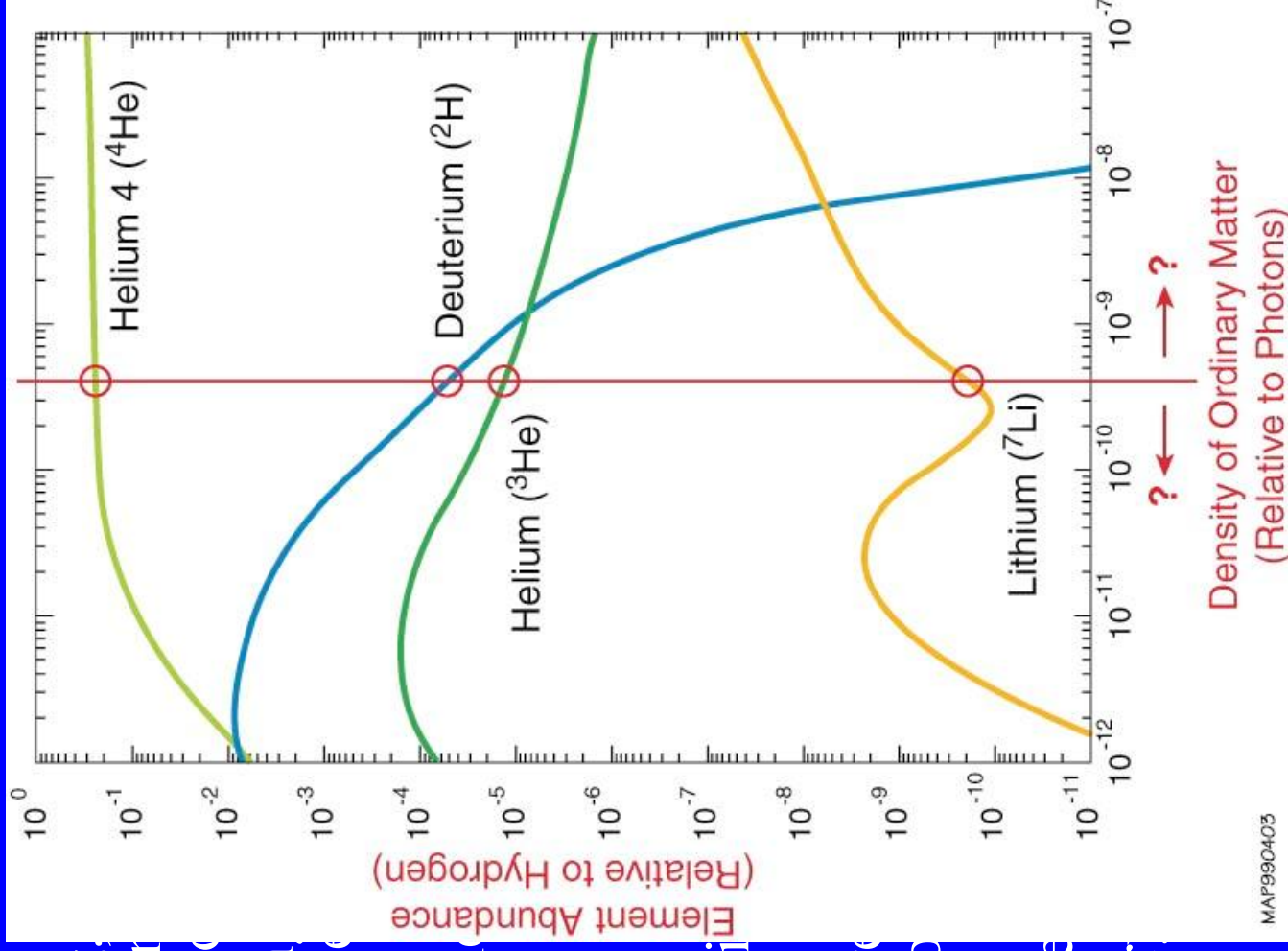
element names in blue are liquids at room temperature  
 element names in red are gases at room temperature  
 element names in black are solids at room temperature

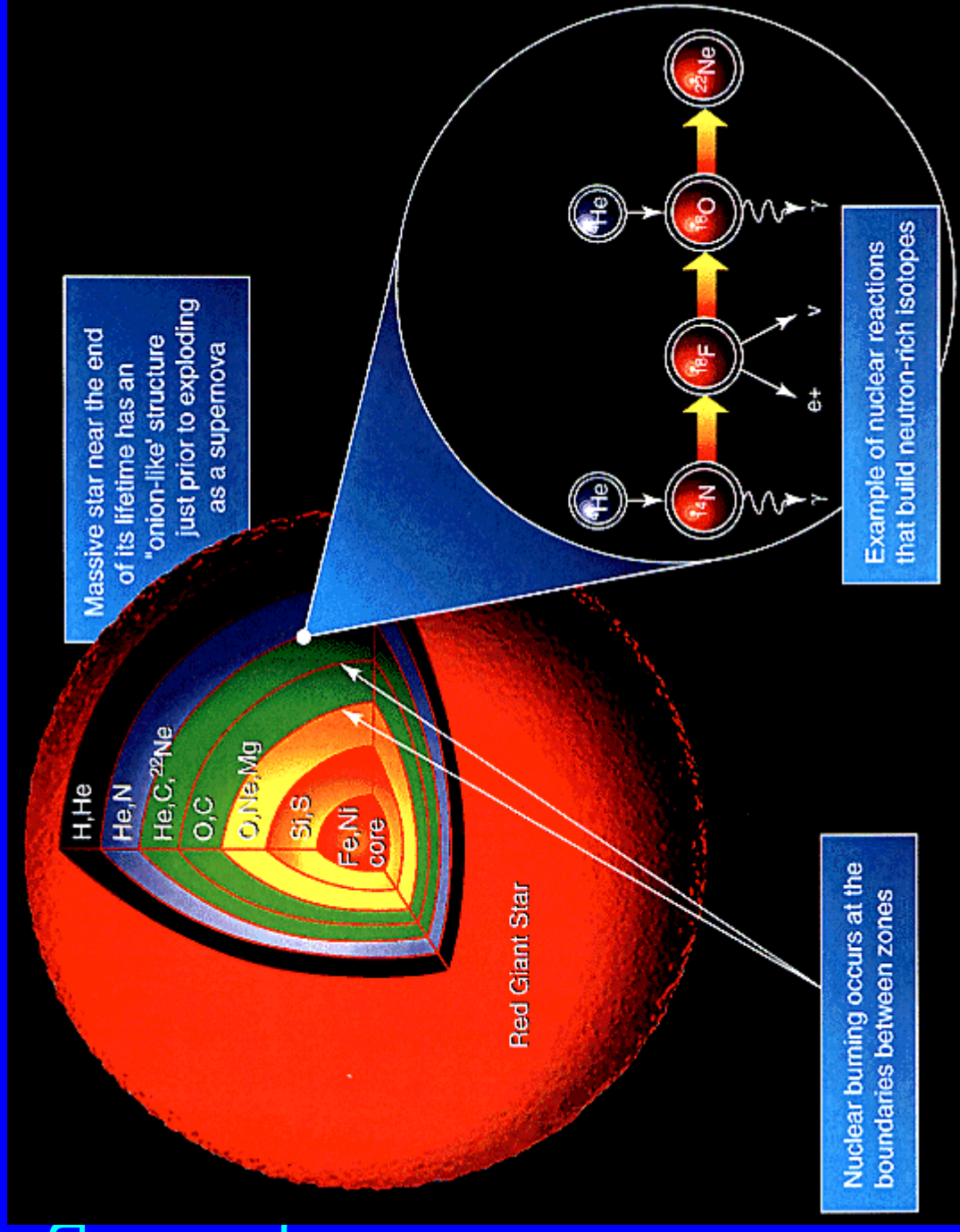
# יצירת היסודות (נוקלאוסינתזה)

- כאשר הטמפרטורה של היקום היתה 10 מיליארד מעלות היה בו מרק חם של נויטרונים, פרוטונים, אלקטרונים ופוזיטרונים, אור (פוטונים) וחלקיקי נויטרונים.
- לאחר שהתקרר במשך "שלוש הדקות הראשונות" החל להיווצר מימן, "מימן כבד" (דאוטריום) ולאחר מכן גם הליום ומעט מאוד ליתיום.
- תהליך זה נקרא "Big Bang Nucleosynthesis"



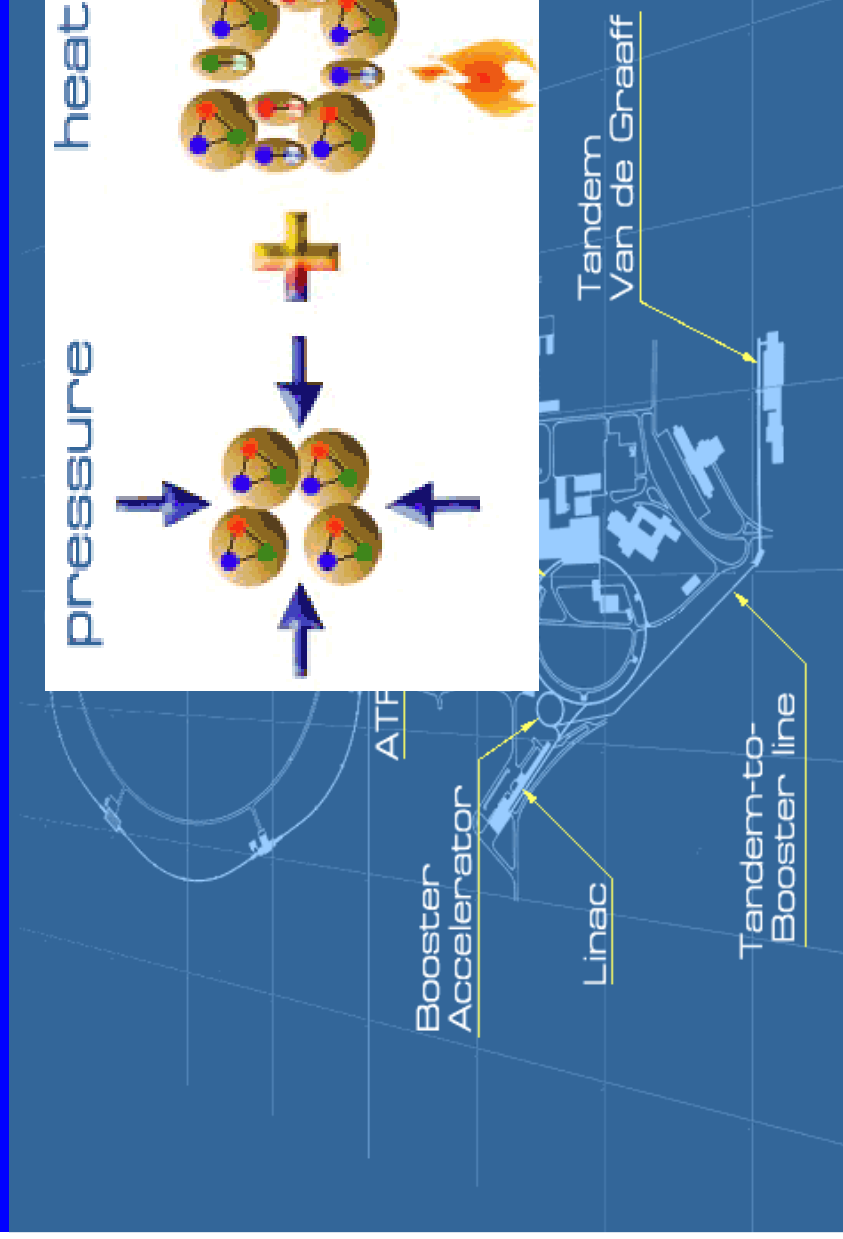
- One second after the big bang, about 10 billion degrees (Kelvin). The universe is filled with photons.
- Two minutes after the big bang, about one billion degrees, cool enough for neutrons and protons to survive.
- High density  $\rightarrow$  protons and neutrons fuse into deuterium.
- High density and temperature allow helium nuclei (ppnn).
- By this time, the temperature is too low to fuse into heavier elements.
- The remaining free protons and neutrons fuse into helium/hydrogen just depends on the density of the universe a few minutes after the big bang.
- Putting in the known properties of the universe, the prediction of the big bang theory is that the universe should be about 75% hydrogen and 25% helium.



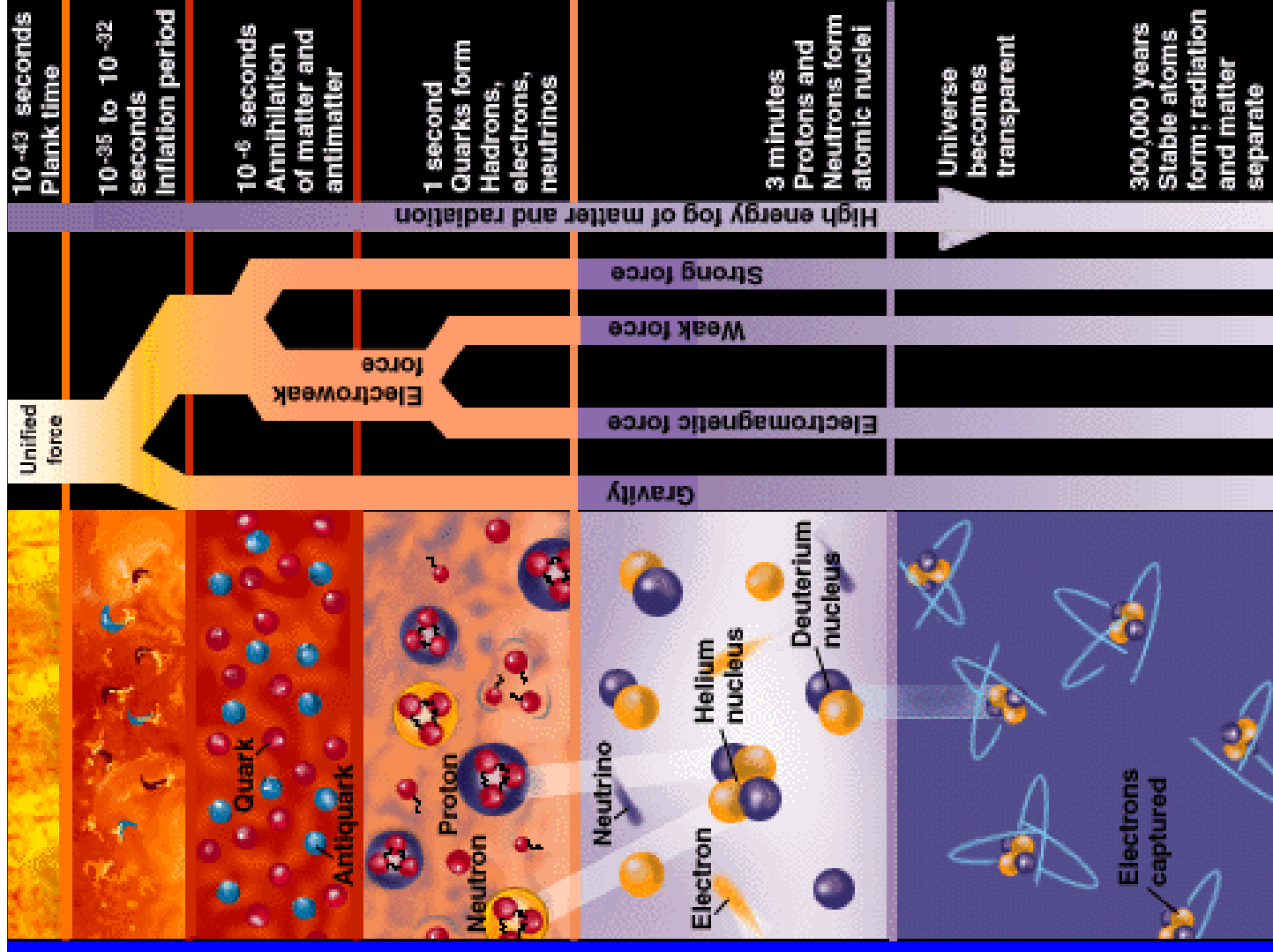


כל המרכיבים של כדור הארץ ובעלי החיים הם אבק כוכבים!

# שחזור היקום הקדמון במאיציים



# ההיסטוריה של היקום

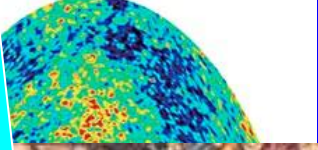


# תכנית ההרצאה

המפץ הגדול	היקום הקדמון	היקום המאוחר
1. תפיחה קוסמית ויצירת החומר ביקום 2. היחודיות (סינגולריות) וראשית הזמן 3. היקום הקוונטי 4. לפני המפץ הגדול ?	✓ היקום מתפשט ✓ היקום היה חם וצפוף ✓ יצירת היסודות ✓ היסטורית היקום	✓ תכולת היקום ✓ גודל היקום

# תפיחה קוסמית (אינפלציה)

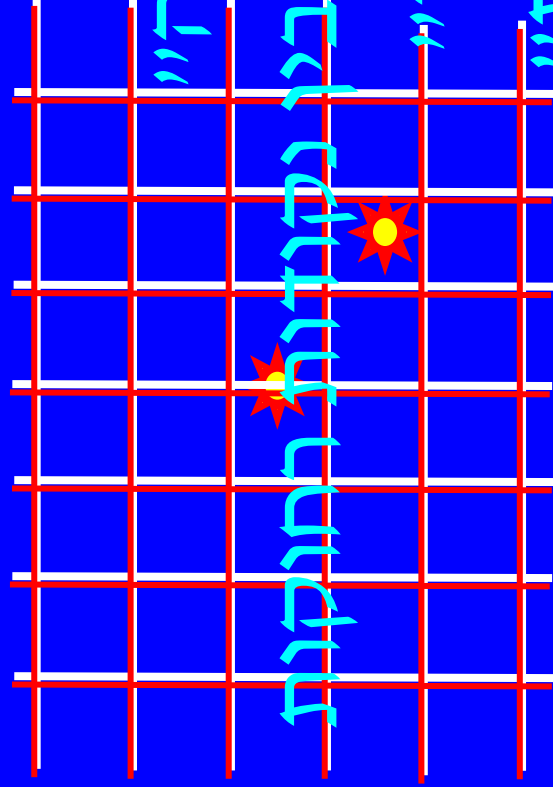
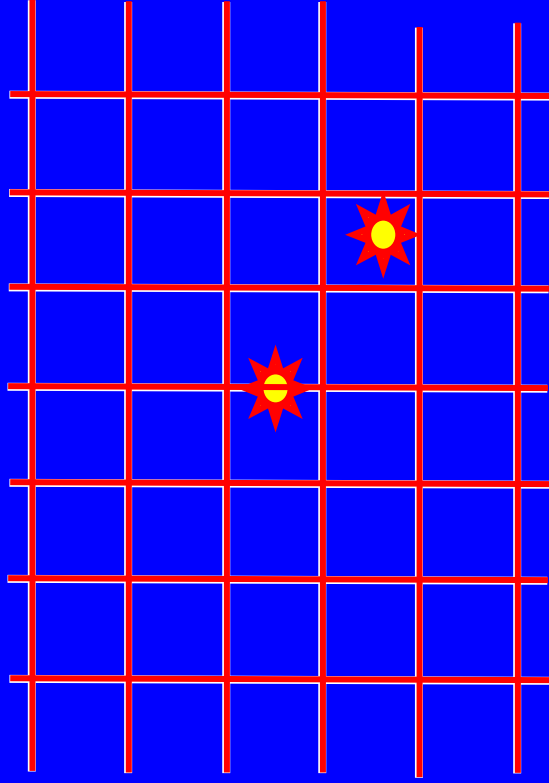
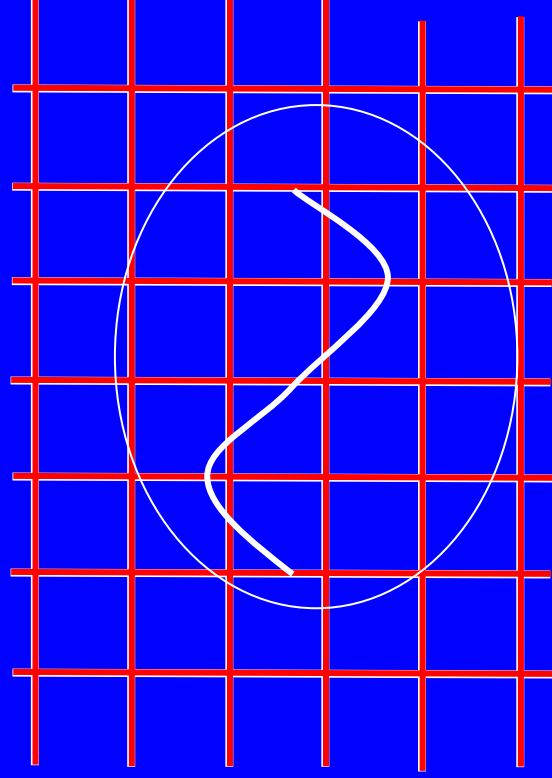
מדוע היקום חלק כל כך?  
מדוע היקום זקן כל כך?  
מדוע היקום חם כל כך?



שינויים בטמפרטורה בעוצמה

מינוט

# • התפשטות מואצת



"מחלקה"

מקשרת בין נקודות החוקות

"מזקינה"

"מחמת"



# • התפשטות מואצת

■ "מחליקה"

■ הגדל היחסי של הפרעות קטן מאוד

■ מקשרת בין נקודות רחוקות

■ נקודות שאין ביניהם קשר סיבתי היו קשורות בעבר

■ "מזקינה"

■ מאפשרת ליקום לחיות זמן רב בהרבה מהזמן המוקצב

■ "מחממת"

■ לאחר תום עידן התפיחה אנרגית ההתפשטות הופכת

לחומר חם. כך נוצר כל החומר ביקום ונוצר המבנה בו



# המפץ הגדול



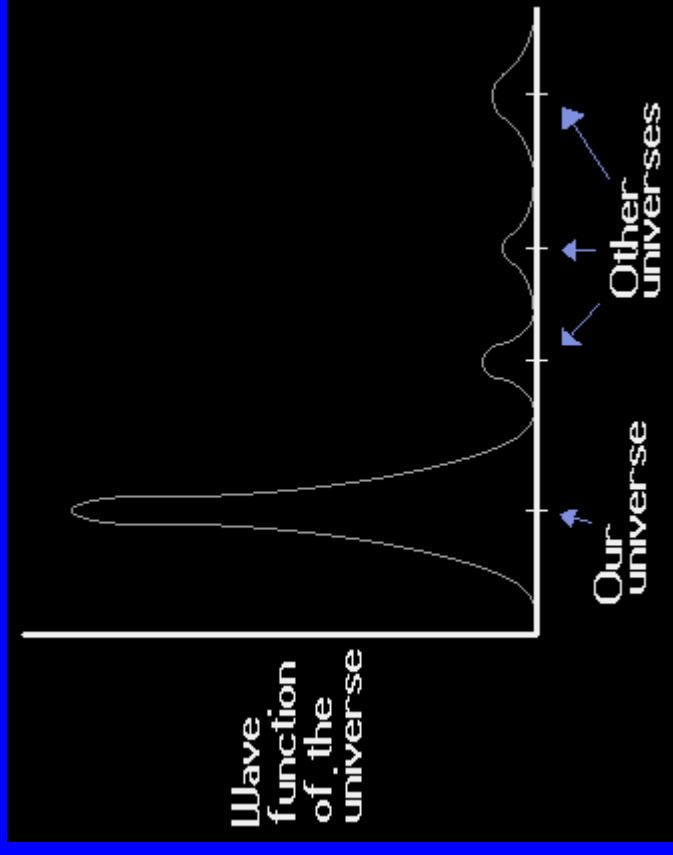
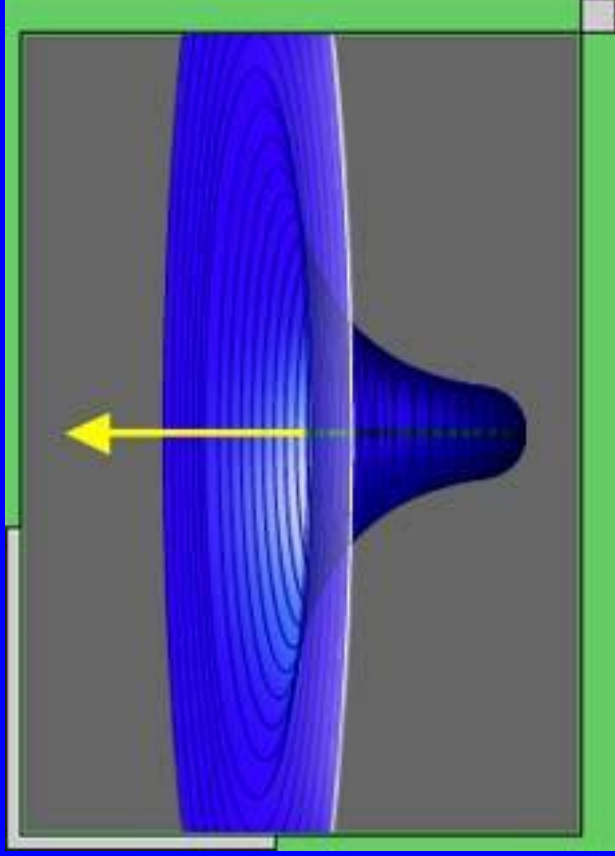
הפתיחות של תורת היחסות הכללית של איינשטיין מראים שה"התכווצות" נמשכת עד לרגע בו המשוואות אינן תקפות. מה קורה אז?

היחודיות הראשונית (initial singularity) מה עושים??

# מה עושים?? כמה רעיונות

- היקום הקוונטי
- פרה-היסטוריה לפני המפץ הגדול "Pre-big-bang"
- היקום האקפיריטי

# היזום הקוונטי

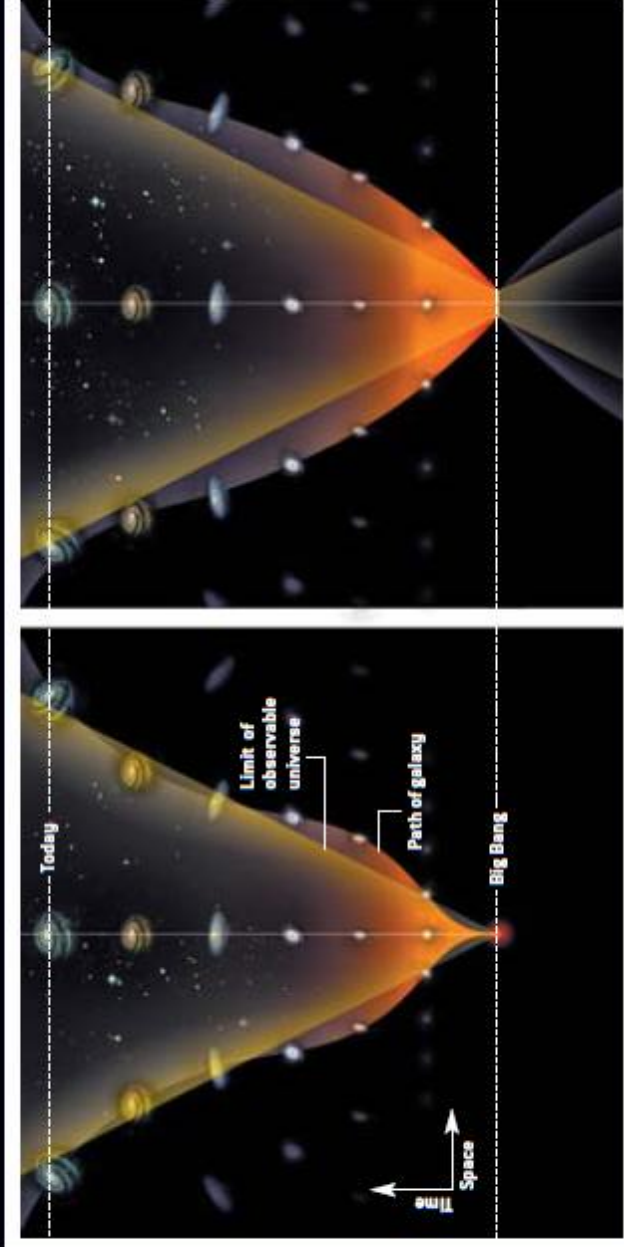


# פארה-היסטוריה לפני המפץ הגדול "Pre-big-bang"



## Two Views of the Beginning

In our expanding universe, galaxies rush away from one another like a dispersing mob. Any two galaxies recede at a speed proportional to the distance between them: a pair 500 million light-years apart separates twice as fast as one 250 million light-years apart. Therefore, all the galaxies we see must have started from the same place at the same time—the big bang. The conclusion holds even though cosmic expansion has gone through periods of acceleration and deceleration; in spacetime diagrams (below), galaxies follow sinuous paths that take them in and out of the observable region of space (yellow wedge). The situation became uncertain, however, at the precise moment when the galaxies (or their ancestors) began their outward motion.

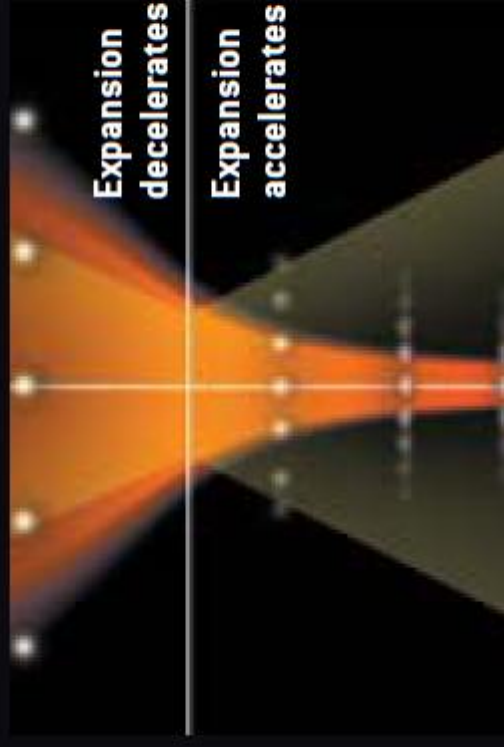


In standard big bang cosmology, which is based on Einstein's general theory of relativity, the distance between any two galaxies was zero a finite time ago. Before that moment, time loses meaning.

In more sophisticated models, which include quantum effects, any pair of galaxies must have started off a certain minimum distance apart. These models open up the possibility of a pre-bang universe.

# PRE-BIG BANG SCENARIO

A pioneering effort to apply string theory to cosmology was the so-called pre-big bang scenario, according to which the bang is not the ultimate origin of the universe but a transition. Beforehand, expansion accelerated; afterward, it decelerated (at least initially). The path of a galaxy through spacetime (*right*) is



The universe has existed forever. In the distant past, it was nearly empty. Forces such as gravitation were inherently weak.

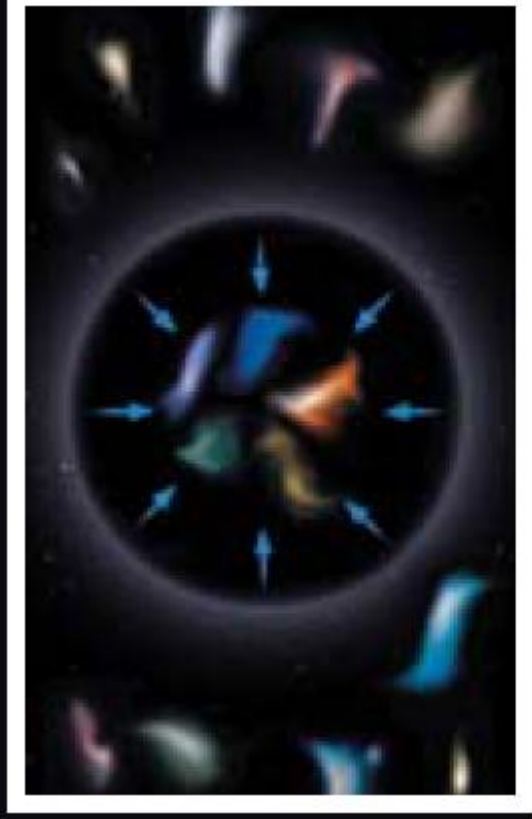


The forces gradually strengthened, so matter began to clump. In some regions, it grew so dense that a black hole formed.

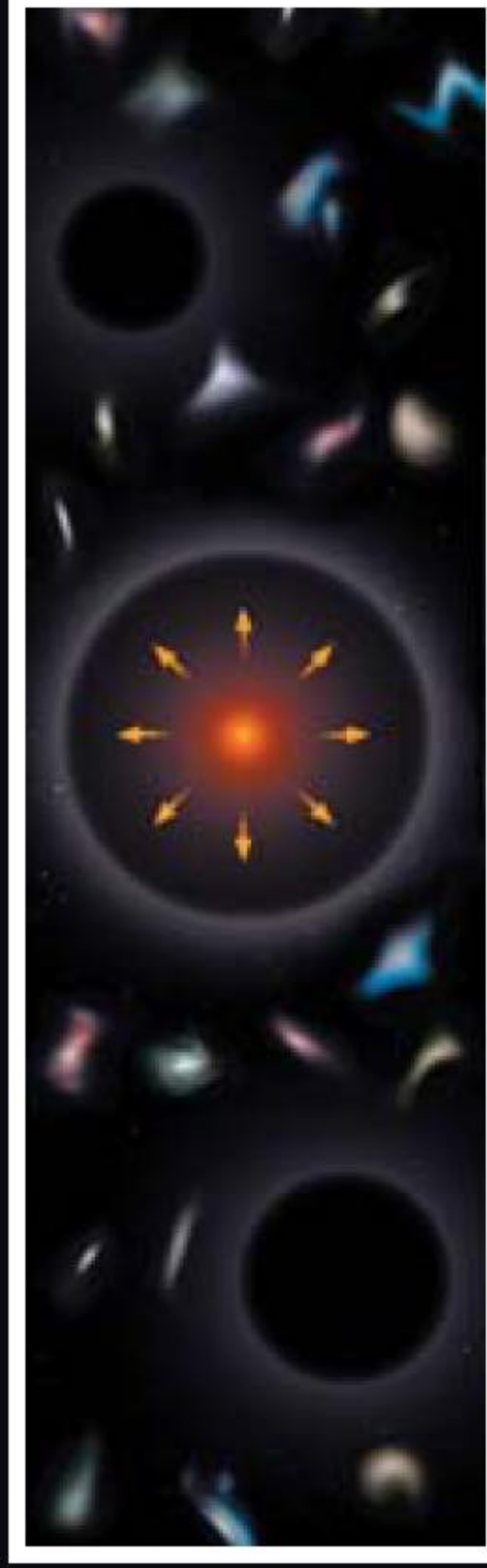




Space inside the hole expanded at an accelerating rate. Matter inside was cut off from matter outside.

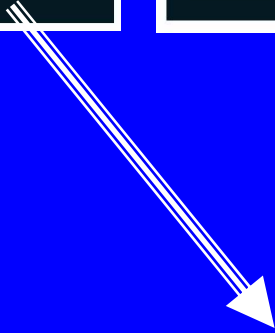
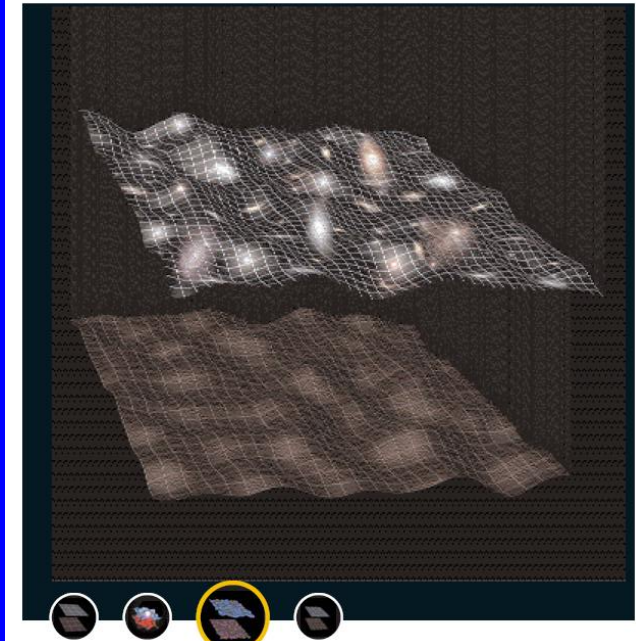
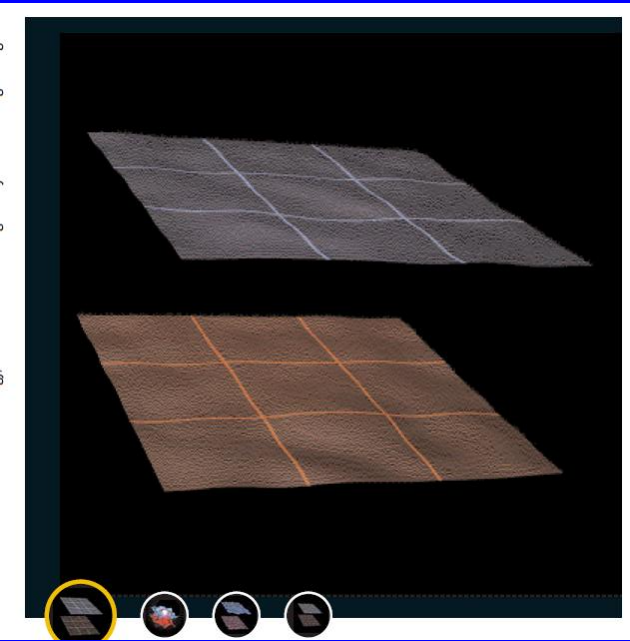
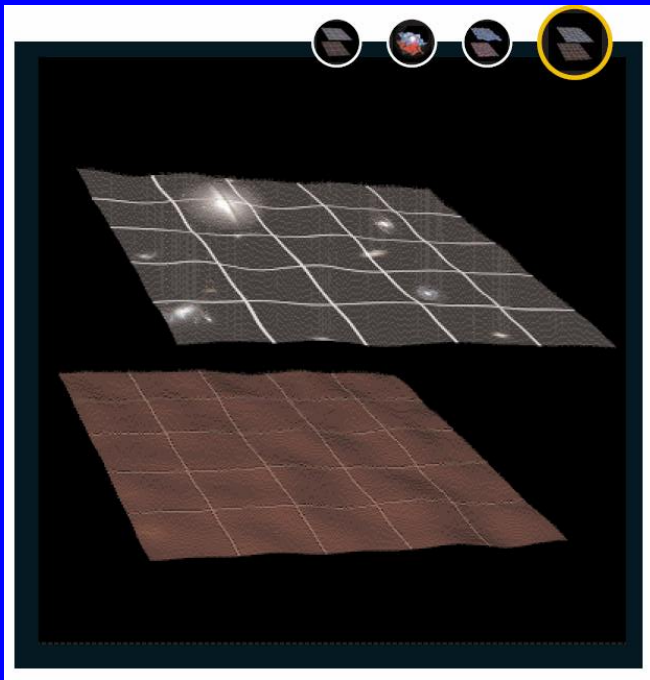
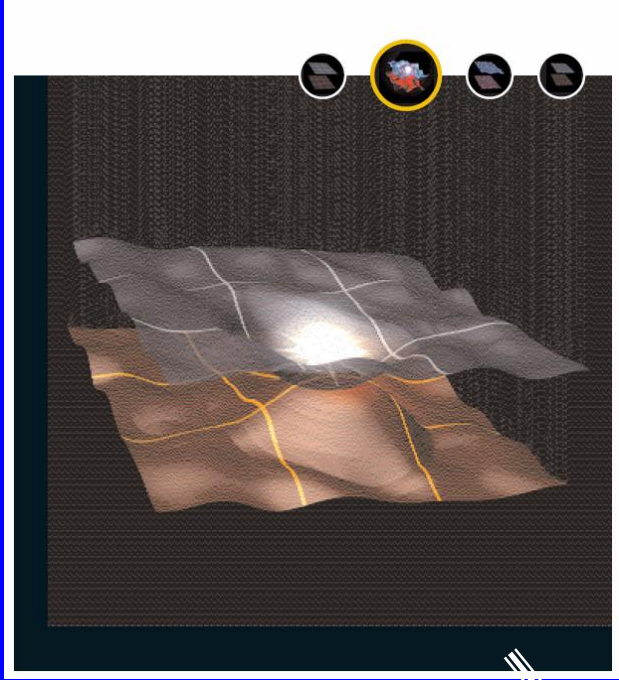


Inside the hole, matter fell toward the middle and increased in density until reaching the limit imposed by string theory.



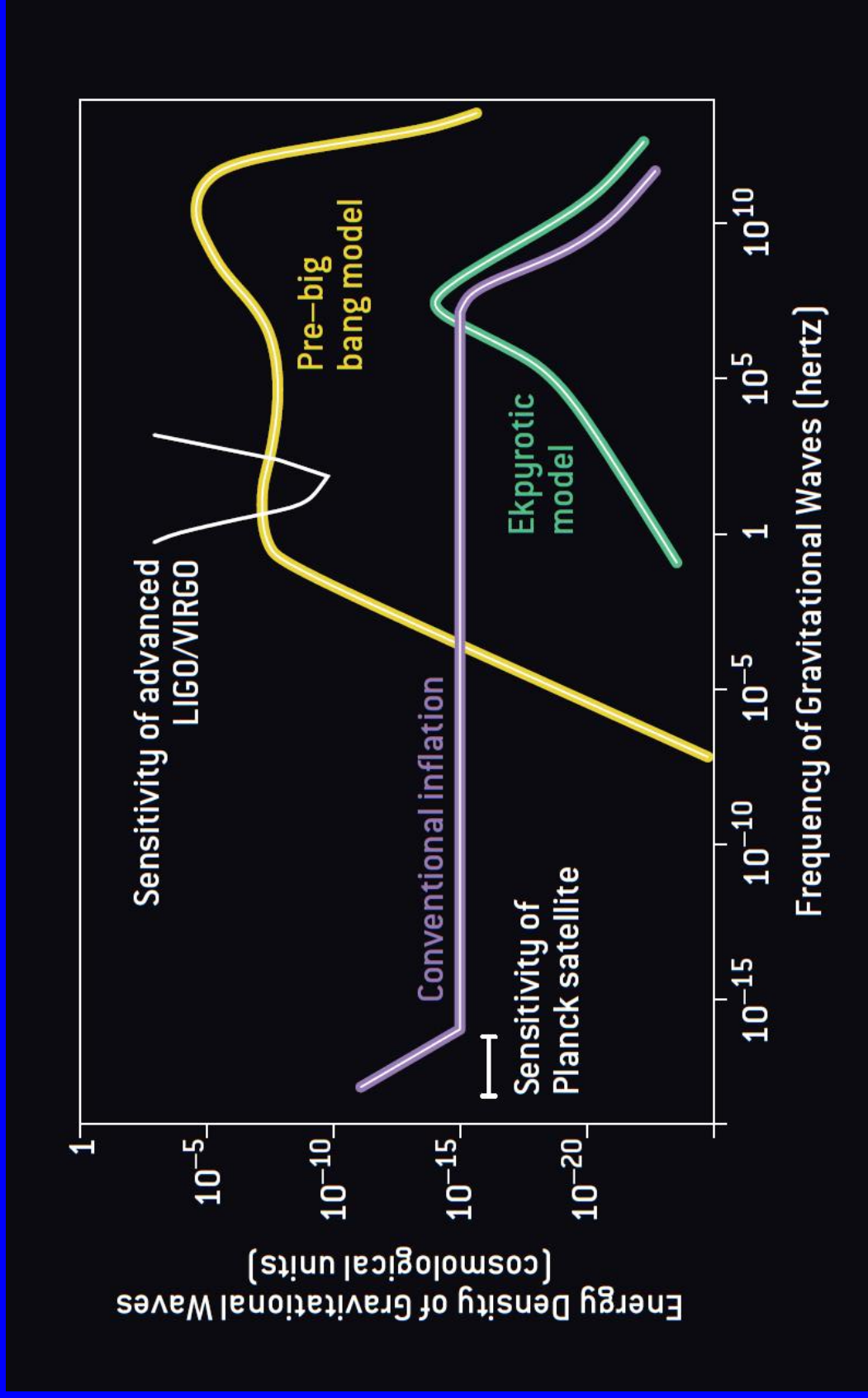
When matter reached the maximum allowed density, quantum effects caused it to rebound in a big bang. Outside, other holes began to form—each, in effect, a distinct universe.

# היקום האקסטרמי





# אפשר למדוד!



# הסברים לא מדעיים לבריאת העולם

א- אין הסבר

ב- היקום הוא כפי שהוא כדי שיתאים  
לחיים של בני אדם

ג- ועוד ועוד ...

# א - יש דברים נסתרים

אל נבקש הכול לדעת  
אל נסתקרן לגבי המחר  
יש לפעמים שסיבה לא נודעת  
יש לפעמים שנסתר הדבר

יש דברים נסתרים  
לא נבין לא נדע  
נעשה גם דברים  
שנראים בלי סיבה  
לא צריך כל דבר  
לחקור ולשאול  
לפעמים גם מותר  
לא לדעת הכול

אל נבקש סיבה לכל צעד  
אל נבקש לדעת כל סוד  
יש לפעמים שסיבה לא נודעת  
אל נתיאש, אל נפסיק לצעוד

**מילים: תמי לוי, לחן משה נגר**



# The Anthropic Principle - 2

R. Dicke (1961): “ carbon-based life can only arise when the Dirac large numbers hypothesis is true because this is when burning stars exist”

B. Carter (Early 1970's): “what we can expect to observe must be restricted by the conditions necessary for our presence as observers” (Leslie ed. 1990). The word "anthropic" was intended as applying to intelligent beings.

A possible argument for preferring the God hypothesis: think in terms of many possible fundamental theories, God selecting a theory which permitted life's requirements to be fulfilled without contradictions.

## סיכום ההרצאה

- לא עסקנו : גם לתחומים אחרים (דת, פילוסופיה, מיסטיקה) יש רעיונות על בריאת העולם
- ניתן לחקור את בריאת העולם בשיטות וכלים מדעיים
- ניתן לבדוק השערות ורעיונות על בריאת העולם בניסוי
- המדע התקרב לתשובה אך עדיין אין רעיון ממש האם ניתן להגיע לתשובה מוחלטת