

BLACK HOLES

חורים שחורים

הרנסאנס (התחיה)

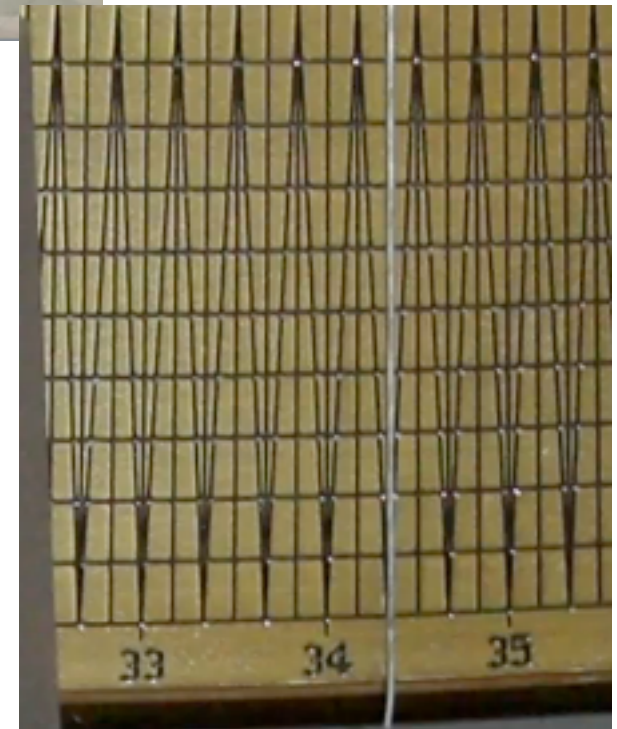
טיכו ברהה וקפלר



טיכו ברהה 1546-1601 Tycho Brahe מפרג קיבל ממלך דנמרק
מצפה כוכבים על אי הוון, ובמשך 20 שנה תיעד את מיקומם של
כוכבי הלכת



הסקסטנט של
טיכו עם
סקלות
מדוייקות
למדידת זוויות





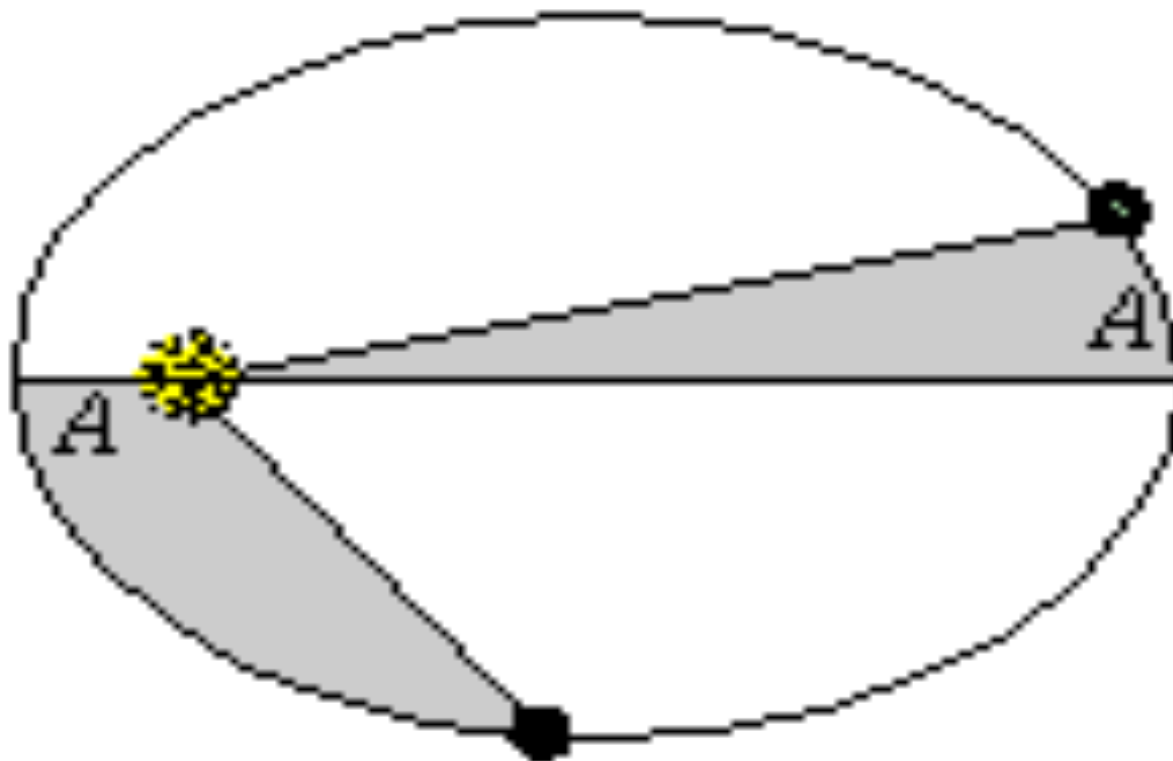
יוהנס קפלר

יוהנס קפלר 1571-1630 התקבל לעבוד עם האסטרונום טיכו ברהה בפרג, ובמשך הזמן עיבד את הנתונים של טיכו וניסח את שלשת החוקים הנקראים על שמו:

1. מסלולי כוכבי הלכת סביב השמש אליפטיים
2. תנועת כוכב לכת סביב השמש מכסה שטחים שווים בזמנים שווים - נעים מהר יותר כשהם קרובים לשמש
3. זמן מחזור הכוכב, T והציר הארוך של האליפסה של מסלולו, R , מקיימים $T^3 \sim R^2$

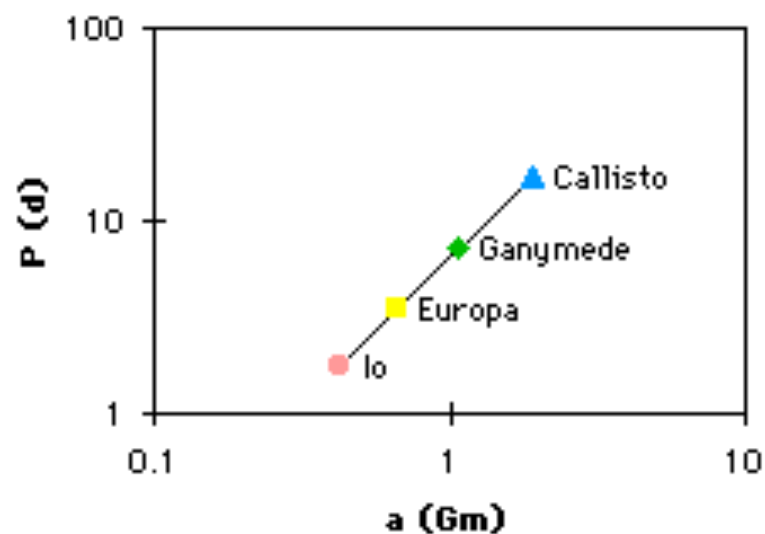
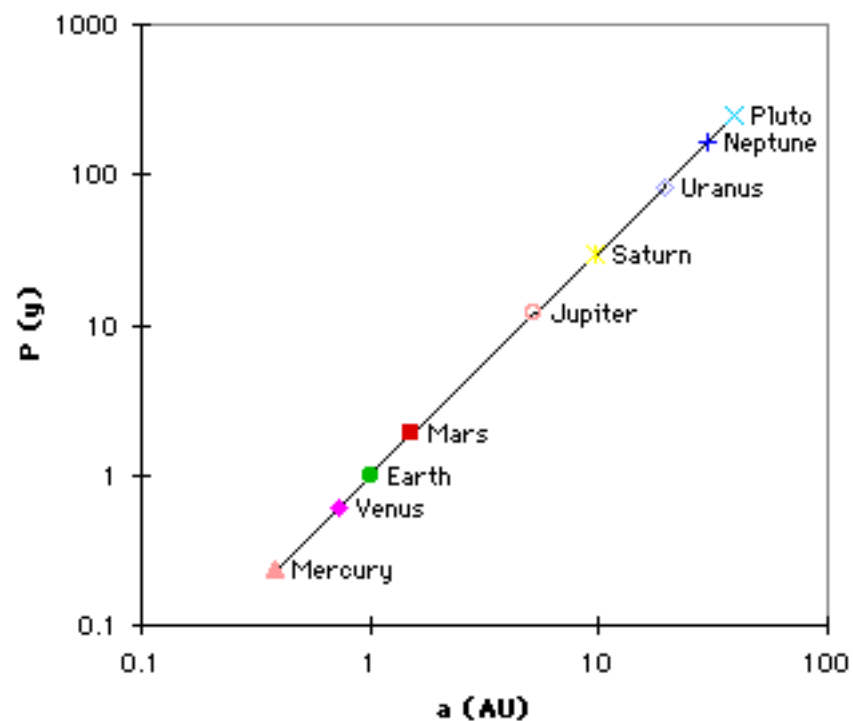


החוק השני של קפלר $r\phi=\text{const}$



החוק השלישי של קפלר $R^3=T^2$
 נכון לכוכבי הלכת סביב השמש, ולירחי הצדק

אורך מחזור הסיבוב שביב השמש T

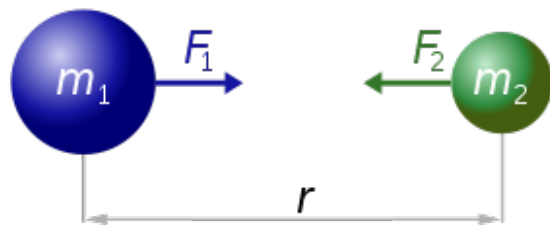


הציר הארוך של המסלול האליפטי R

ניוטון

חוקי ניוטון - חוקי הכוחות והתנועה לגופים ולגרמי שמים

1. ללא כוחות גוף מתמיד במצבו: נע במהירות קבועה בקו ישר (או בתנוחה)
 $\sum \vec{F} = 0$
2. הפעלת כוח גורמת לגוף להאיץ
 $\sum \vec{F} = m\vec{a}$
3. לכל כוח שגוף א' מפעיל על גוף ב' יש תגובה שווה והפוכה שמפעיל ב' על א'
 $\vec{F}_{1,2} = -\vec{F}_{2,1}$



$$F = \frac{Gm_1m_2}{R^2}$$

כח הכבידה (גראויטציה)

$$G = 6.67428 \times 10^{-11} \frac{m^3}{s^2 kg}$$

קבוע הכבידה

הסביר את שלשת חוקי קפלר - תנועת כוכבי הלכת במסלולים אליפטיים סביב השמש

מדופלר

עד מייקלסון-מורלי

הסחת דופלר:
כריסטיאן אנדראס דופלר 1842

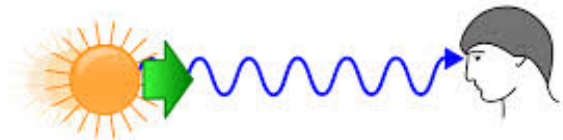


אם צופר המכונית מצפצף בתדירות f_0 מהירות הקול הוא $v_{s,r}$ והמכונית מתרחקת במהירות v התדירות שאנו נשמע היא:

$$f = f_0 \frac{v}{v - v_{s,r}}$$



אורך הגל של הקול קשור לתדירות ולמהירות שלו:
ולכן $v_{s,r} / f = \lambda$



$$\lambda / \lambda_0 = 1 + v / v_{s,r}$$

יחסיות פרטית: עבור אור בצבע שאורך הגל שלו λ הנפלט מפנס המתרחק מאי תנו במהירות v ומהירות האור c

$$\frac{\lambda_{obs}}{\lambda_{emit}} = \frac{1 + v/c}{\sqrt{1 - v^2/c^2}} \approx 1 + \frac{v}{c}$$

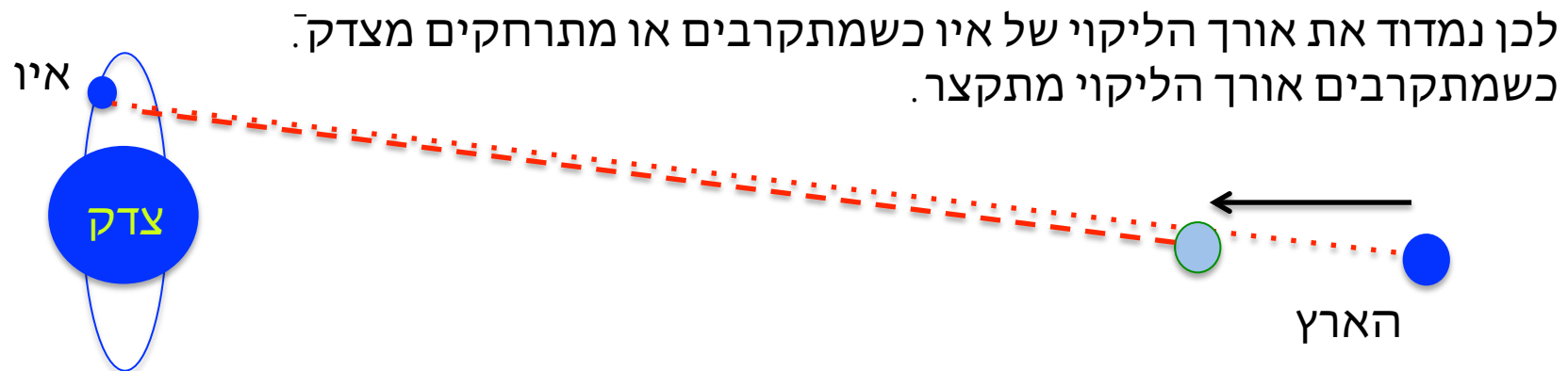
כמו שגל הקול "נישא" על גבי האויר האמינו שגל האור נישא על גבי האתר וכמו שמהירות גל הקול מתייחסת למהירות האויר בו הוא נשמע האמינו שמהירות האור נקבעת באתר

אבל איך לבדוק את מהירות האור בתוך אתר בתנועה?
צריך מהירויות גדולות המתקרבות למהירות האור כדי לקבל אפקט של שינוי בפקטור:

$$1 + v/c$$

איך מדדו את מהירות האור?
עד המאה ה-17 חשבו שהמהירות אינסופית.

מדידה אפשרית במהירויות אסטרונומיות:
סיבוב כדור הארץ בסיבובו סביב עצמו ותנועתו סביב השמש.
מהירות משיקית של כ-0.5 ק"מ לשנייה וסביב השמש במהירות של כ-29 ק"מ לשנייה
מהירות האור 300,000 ק"מ לשניה - פי 10,000



7-1671 **אולה רמר וזאן פיקאר** צפו בדנמרק ב-140 ליקויים באיו, ירחו של כוכב צדק.
-1666-1668 **קאסיני** בפריז צפה בירחיו של צדק

1672 **רמר** הגיע לפריז והמשיך לצפות בירחיו של צדק כעוזרו של קאסיני.
הזמנים בין הליקויים של איו נעשו קצרים יותר ככל שכדור הארץ התקרב לצדק, וארוכים יותר ככל שכדור הארץ התרחק.

1675 **קאסיני** פרסם מאמר קצר באוגוסט שבו הצהיר:
"הסטייה נגרמה מפני שלאור ארך זמן מה כדי להגיע אלינו; נראה כי לאור נדרשים בין עשר לאחת-עשרה דקות כדי לחצות מרחק המשתווה למחצית הקוטר של מסלול כדור-הארץ".
1677 **רמר** הציג את תוצאותיו בפני האקדמיה הצרפתית למדעים: 40 הקפות של איו, הנצפות על כדור-הארץ כל 42.5 שעות כל אחת (סה"כ כ-70 יום), כאשר כדור-הארץ מתקרב לצדק, קצרות ב-22 דקות מאשר 40 הקפות של איו הנצפות כאשר כדור-הארץ מתרחק מצדק. הודות לכך, רמר הסיק שהאור יעבור מרחק, שאותו עובר כדור-הארץ במהלך 80 הקפות של איו, ב-22 דקות: היחס בין מהירות האור לבין המהירות שבה כדור-הארץ מקיף את השמש הוא $22 / 80 * 42.5 \sim 9,300$

כריסטיאן הויגנס לאחר הצלבה עם נתוניו של רמר הסיק שהאור עובר בשנייה מרחק פי 16 ו-2/3 מקוטרו של כדור-הארץ. הוא פירש לא נכונה את הערך של 22 הדקות בתור הזמן שאורך לאור לעבור את קוטר מסלולו של כדור הארץ.

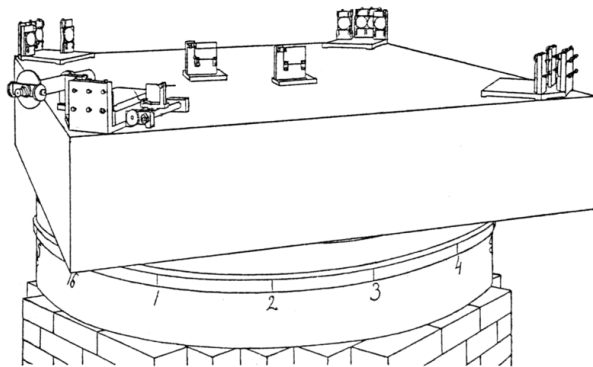
1727 **גיימס ברדלי**. באמצעות מדידת אברציה כוכבית ברדלי גילה כי מיקומם הנראה של הכוכבים בשמיים משתנה לפי כיוון תנועתו של כדור-הארץ, ההסבר לתופעה זו נובע מחיבור וקטורי של מהירות האור מהכוכבים למהירות המשיקית בה נע הצופה.

1809 **זאן-בטיסט גוזף דלמבר**, שוב תצפיות על איו, הזמן שאורך לאור לנוע מהשמש לכדור-הארץ עומד על 8 דקות ו-12 שניות. אם המדידות של היחידה האסטרונומית (המרחק בין הארץ לשמש) היו מדויקות, הדבר אומר שמהירות האור עומדת על מעט יותר מ-300,000 קילומטר לשנייה.

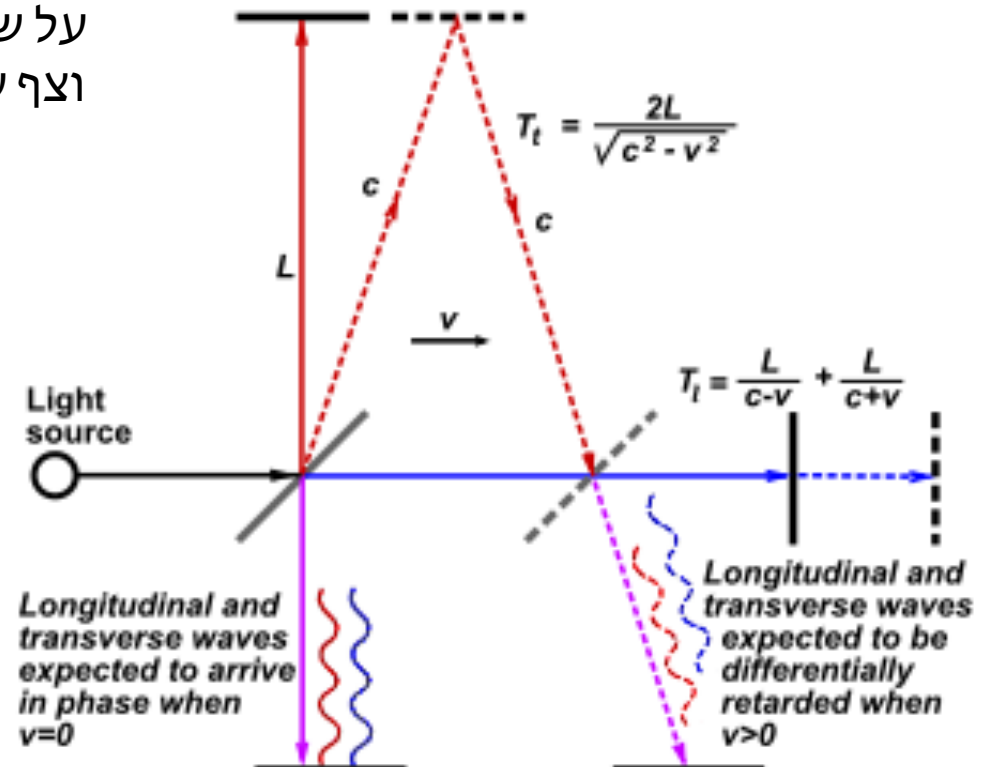
התאבכות של אור איפשרה למדוד הפרשי מרחקים בדיוק רב

נסיון מייקלסון מורלי 1887 Michelson–Morley experiment

השוו את מהירות האור אנכית ובמקביל לתנועת כדור הארץ ומצאו שהמהירות זהה
מהירות האור – קבועה ואינה תלויה במהירות המערכת
בניגוד למהירות תנועה שלנו בקרובת התלויה במהירות שלנו ושל הרכבת יחסית לצופה
העומד בתחנה



האינטרפרומטר
על שולחן שיש
וצף על כספית



תורת היחסיות

יחסיות פרטית אינשטיין 1905

עקרון היחסיות חוקי הפיזיקה זהים לכל מי שנעים אחד יחסית לשני במהירות קבועה. מהירות האור זהה (בריק) ואינה תלויה בתנועה יחסית של הצופה או של מקור האור.

מכך בסדרה של "נסיונות מחשבתיים" הסיק אינשטיין כי:
יחסיות הבו זמניות (סימולטאניות) שני אירועים הנראים בו זמניים לצופה א' יכולים להראות בזמנים שונים לצופה ב' הנע כלפי צופה א'
הרחבת הזמן שעון נע נראה איטי יותר לצופה משעון נח
התכווצות גופים נראים קצרים יותר בכוון תנועתם ע"י צופה נח
המסה של גופים נעים עולה (שואפת לאינסופית במהירות השואפת למהירות האור)
לכן מהירות גופים פחותה ממהירות האור
אקויוולנטיות של מסה ואנרגיה $E = mc^2$
טרנספורמיה מרחבית גלילאית $\rightarrow$ טרנספורמצית מרחב-זמן של לורנס

http://www.pitt.edu/~jdnorton/teaching/HPS_0410/chapters/Reciprocity/

הנסיון המחשבתי של משלוח איתות אור:

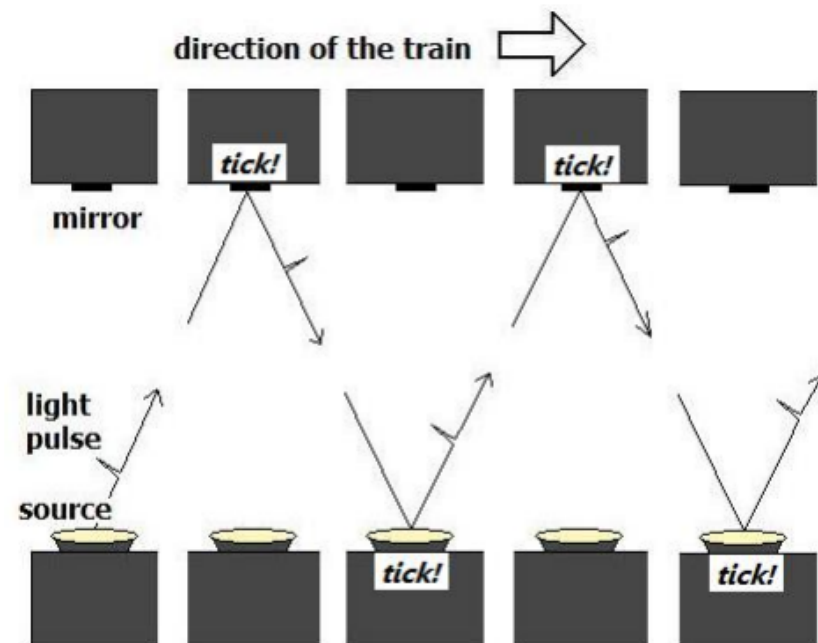
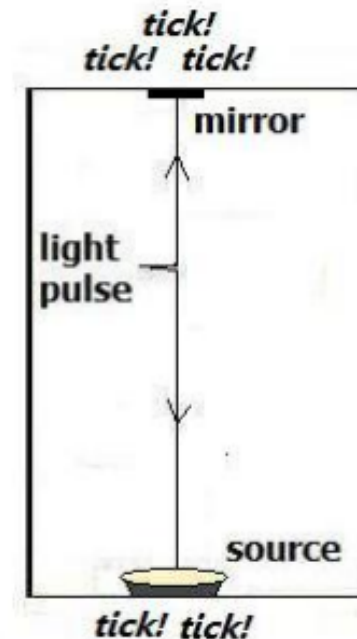
נשלח פולס של קרן אור בין שתי מראות על הרצפה
והתקרה של קרון רכבת שירוץ הנה וחזרה
במשלול אנכי.

כשהרכבת עומדת פולס האור הולך וחוזר כל t
שניות

כשהרכבת נוסעת האור נראה ע"י צופה בתחנה
כנע באלכסון, ומאחר ומהירות האור קבועה לכל
הצופים, הן ברכבת והן בתחנה, הפולס נראה
לצופה בתחנה הולך וחוזר בזמן איטי יותר מ- t

אך גם ההפך: לנוסע ברכבת נראה שפולס אור
הולך וחוזר בין שתי מראות נחות בתחנה יותר
איטי!!!

כך נובע שאם אחד משני תאומים יסע לחלל הוא
יחזור צעיר מאחיו שישאר על כדור הארץ.
זה הוכח ע"י שעון אטומי שנשלח לחלל.



הנסיון המחשבתי של מדידת אורך:

כשהקרון עומד נמדד האורך ע"י חפיפה לסרגל

הפרשי הזמן ברגע ששני קצוות הקרון עוברים את הצופה העומד בתחנה יתנו את אורך הקרון

$$L = T_0 \cdot v$$

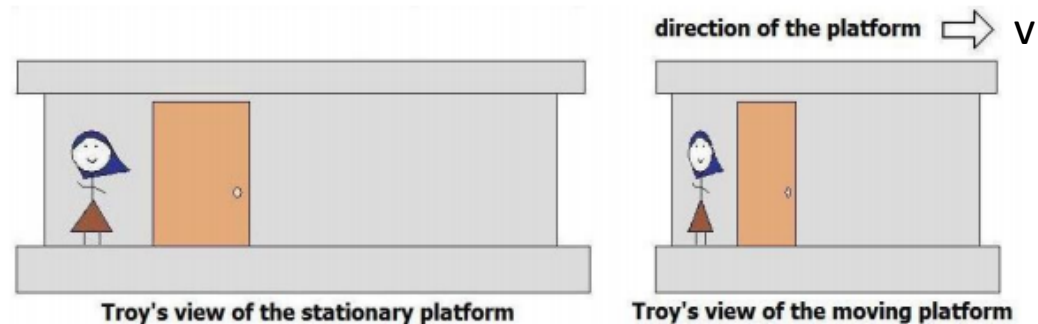
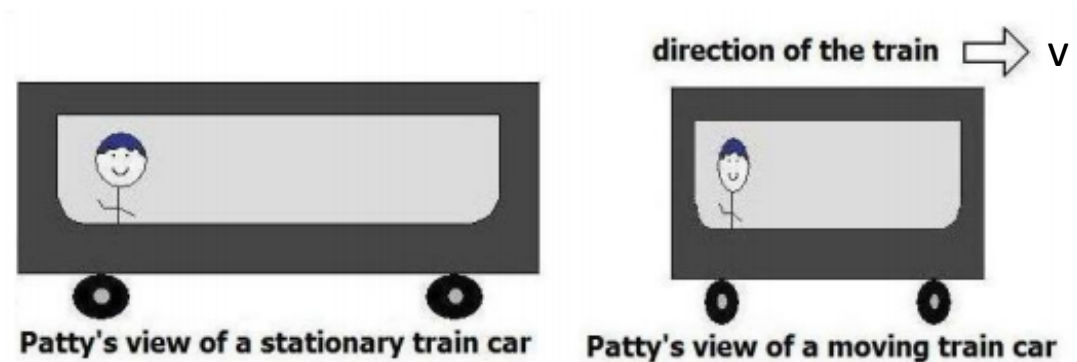
אבל אם הנוסע ימדוד את הפרשי הזמנים ששני קצוות הקרון עברו את הצופה העומד בתחנה הוא יקבל

$$L_0 = T \cdot v$$

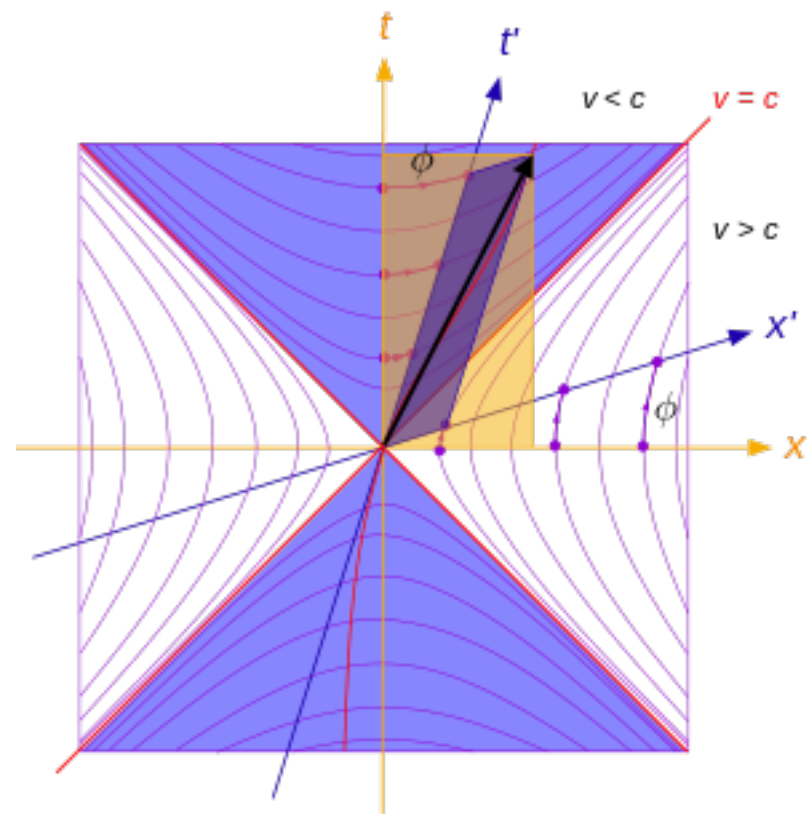
וכמו שאמרנו $T_0 < T$ לכן $L_0 > L$

ולכן הצופה העומד בתחנה יראה את הקרון מתקצר אבל גם הנוסע ברכבת יראה את בנין התחנה מתקצר

אפשר גם למדוד אורך של גוף נע ע"י השוואה בו-זמנית של קצותיו לסרגל נח. כפי שאינשטיין קבע, סימולטאניות זמן בשני מקומות אינה נשמרת בין מערכות הנעות אחת כלפי השנייה.



המושג של מרחב-זמן מגדיר חרוט בו העבר הידוע
 בגלל שאין מהירות גדולה ממהירות האור:
 אם אנו בקדקודו, כל פנים החרוט (בכחול) בעבר
 ובהווה הוא התחום שאנו יכולים לקבל ממנו
 איתותים, למדוד בו - ולדעת עליו.
 התחום מחוץ לחרוט הוא עולם שאיננו יכולים
 לראות או למדוד.



a

$$t' = (t - vx/c^2)/\sqrt{1 - v^2/c^2}$$

$$x' = (x - vt)/\sqrt{1 - v^2/c^2}$$

$$p = \frac{m_0 v}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$$

$$E = \frac{m_0 c^2}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$$

$$m = \frac{m_0}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$$

$$E^2 = p^2 c^2 + m^2 c^4$$

$$\begin{bmatrix} t' \\ x' \end{bmatrix} = \frac{1}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} \begin{bmatrix} 1 & \frac{-v}{c^2} \\ -v & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} t \\ x \end{bmatrix},$$

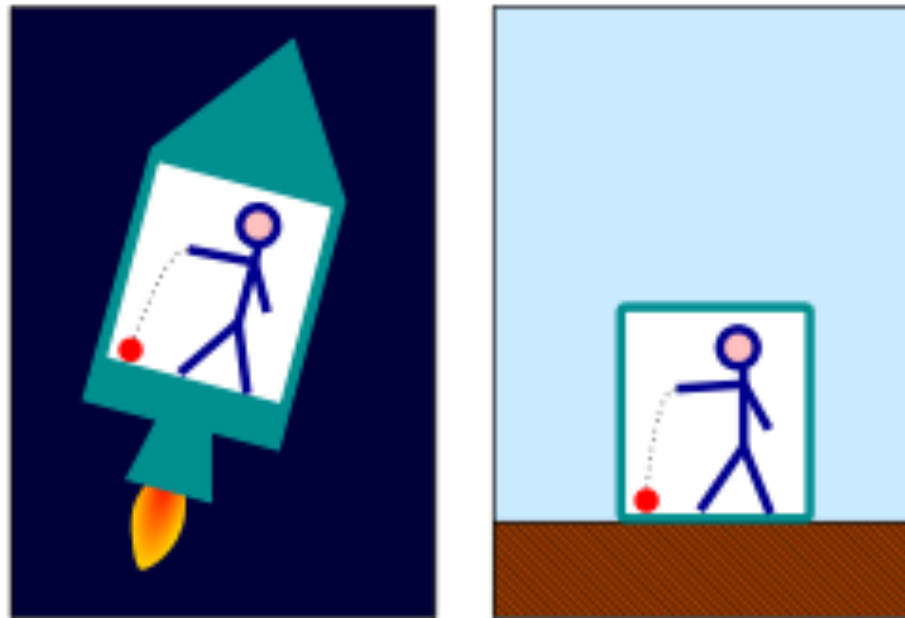
$$\begin{bmatrix} ct' \\ x' \\ y' \\ z' \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \gamma & -\beta\gamma & 0 & 0 \\ -\beta\gamma & \gamma & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} ct \\ x \\ y \\ z \end{bmatrix},$$

$$\beta = \frac{v}{c} \qquad \gamma = \frac{1}{\sqrt{1 - \beta^2}}$$

$$\begin{bmatrix} ct' \\ x' \\ y' \\ z' \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \gamma & -\gamma\beta_x & -\gamma\beta_y & -\gamma\beta_z \\ -\gamma\beta_x & 1 + (\gamma - 1)\frac{\beta_x^2}{\beta^2} & (\gamma - 1)\frac{\beta_x\beta_y}{\beta^2} & (\gamma - 1)\frac{\beta_x\beta_z}{\beta^2} \\ -\gamma\beta_y & (\gamma - 1)\frac{\beta_y\beta_x}{\beta^2} & 1 + (\gamma - 1)\frac{\beta_y^2}{\beta^2} & (\gamma - 1)\frac{\beta_y\beta_z}{\beta^2} \\ -\gamma\beta_z & (\gamma - 1)\frac{\beta_z\beta_x}{\beta^2} & (\gamma - 1)\frac{\beta_z\beta_y}{\beta^2} & 1 + (\gamma - 1)\frac{\beta_z^2}{\beta^2} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} ct \\ x \\ y \\ z \end{bmatrix}.$$

היחסיות הכללית-איינשטיין 1907-1915

הרחבה ממערכות במהירות קבועה לתאוצה:
צופה במעלית סגורה אינו יכול להבחין בין שני מצבים:
הכדור נופל לריצפה בגלל כוח המשיכה של הארץ
הכדור נופל בגלל שהמעלית נמצאת בחלל רחוק מכל כוכב, ומוצאת במהירות 9.81m/s^2



בשעור הקודם עברנו ביעף על 500 שנים

מדידות תנועת כוכבי הלכת של ברהה שלשת חוקי קפלר

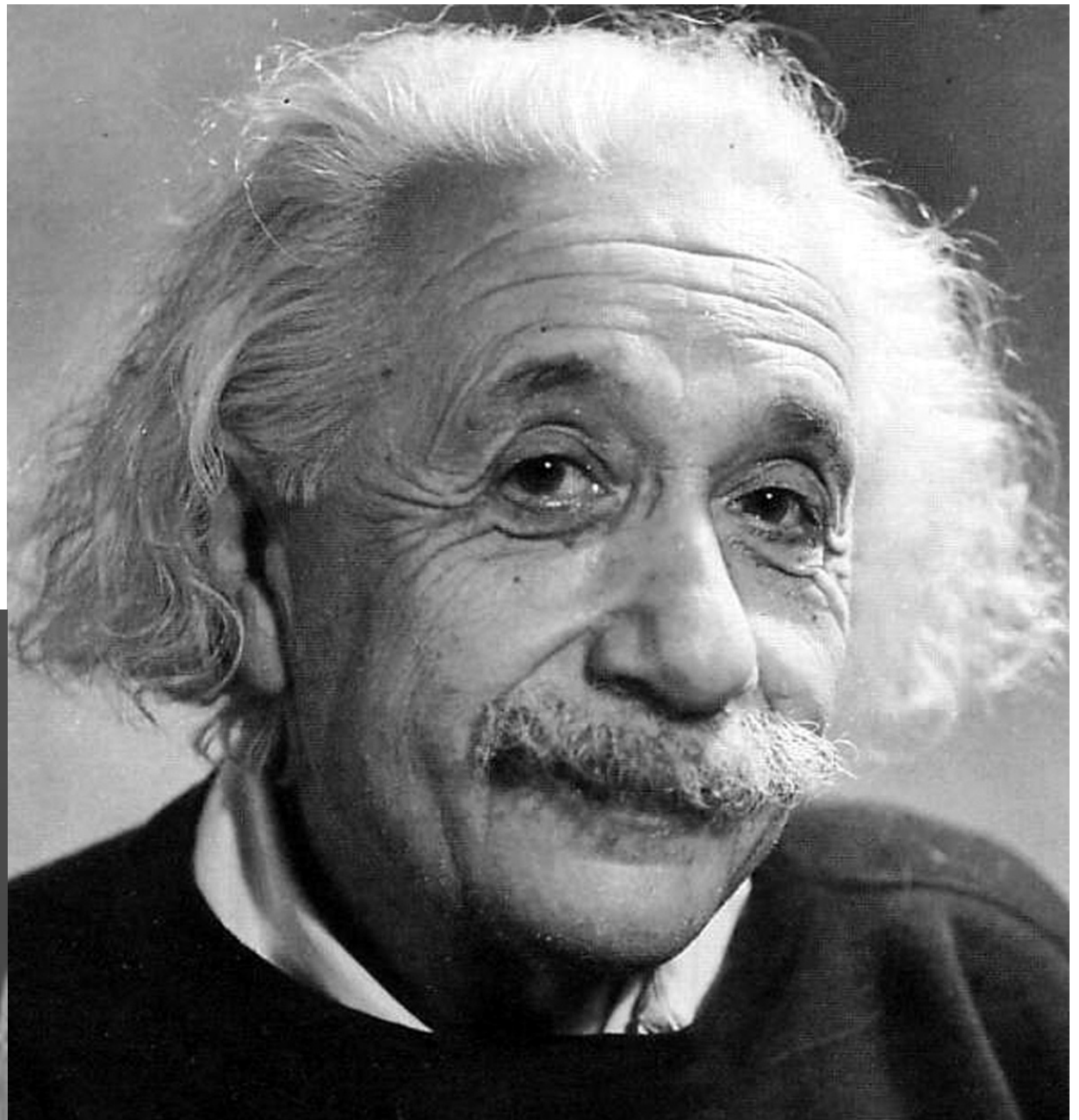
ניוטון – חוקי התנועה וכח הגרביטציה המסבירים את חוקי קפלר

אפקט דופלר

מדידת מהירות האור ממחזור הירח איו של צדק

נסיון מייקלסון ומורלי
תורת היחסיות הפרטית
תורת היחסיות הכללית

אלברט איינשטיין



מסקנות מתורת היחסיות הכללית:

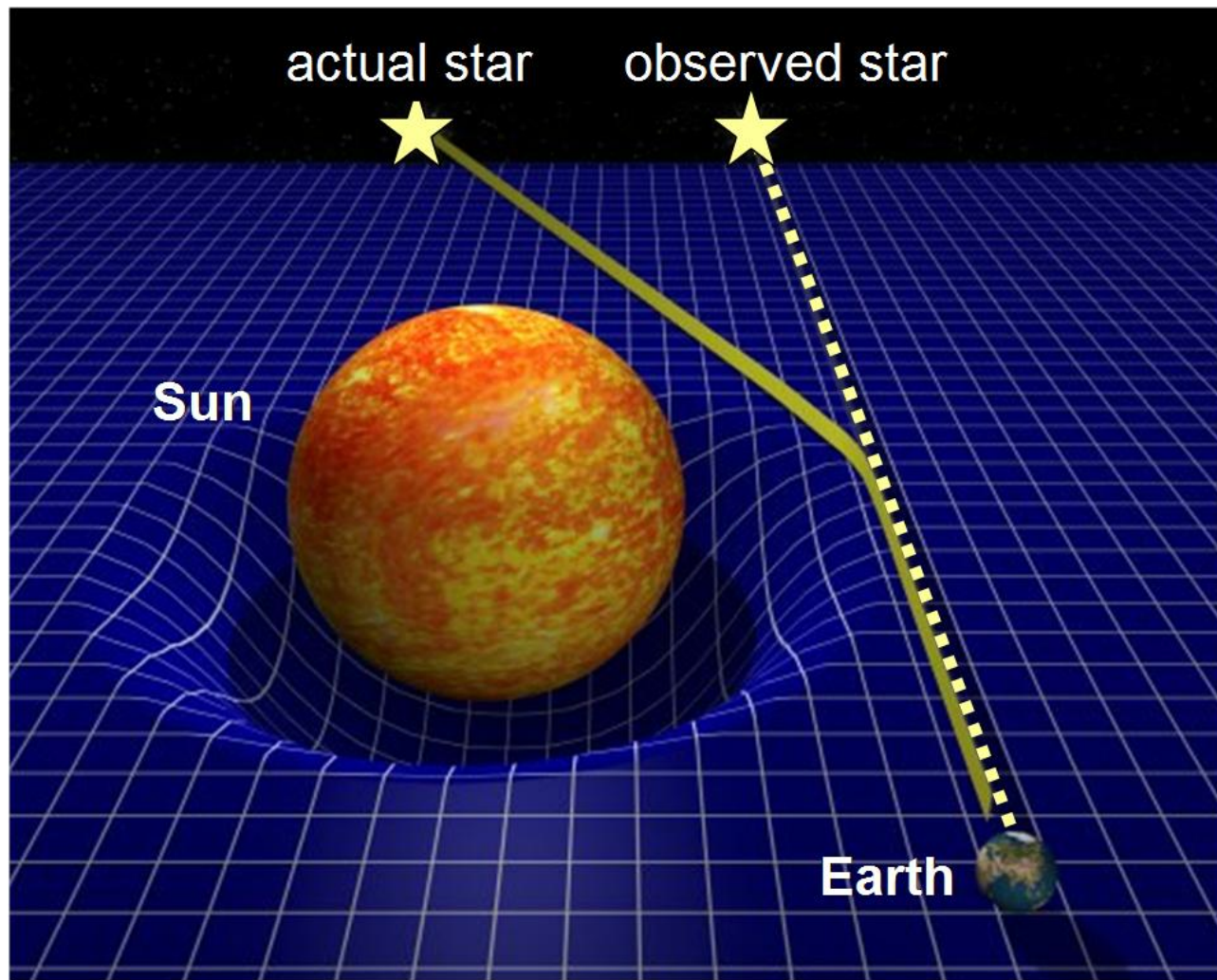
שדה הכבידה משפיעה על מסלול האור.

המרחב מתעוות בגלל שמשות, וקרני האור סוטות מקו ישר (נמדד עבור מרקורי).

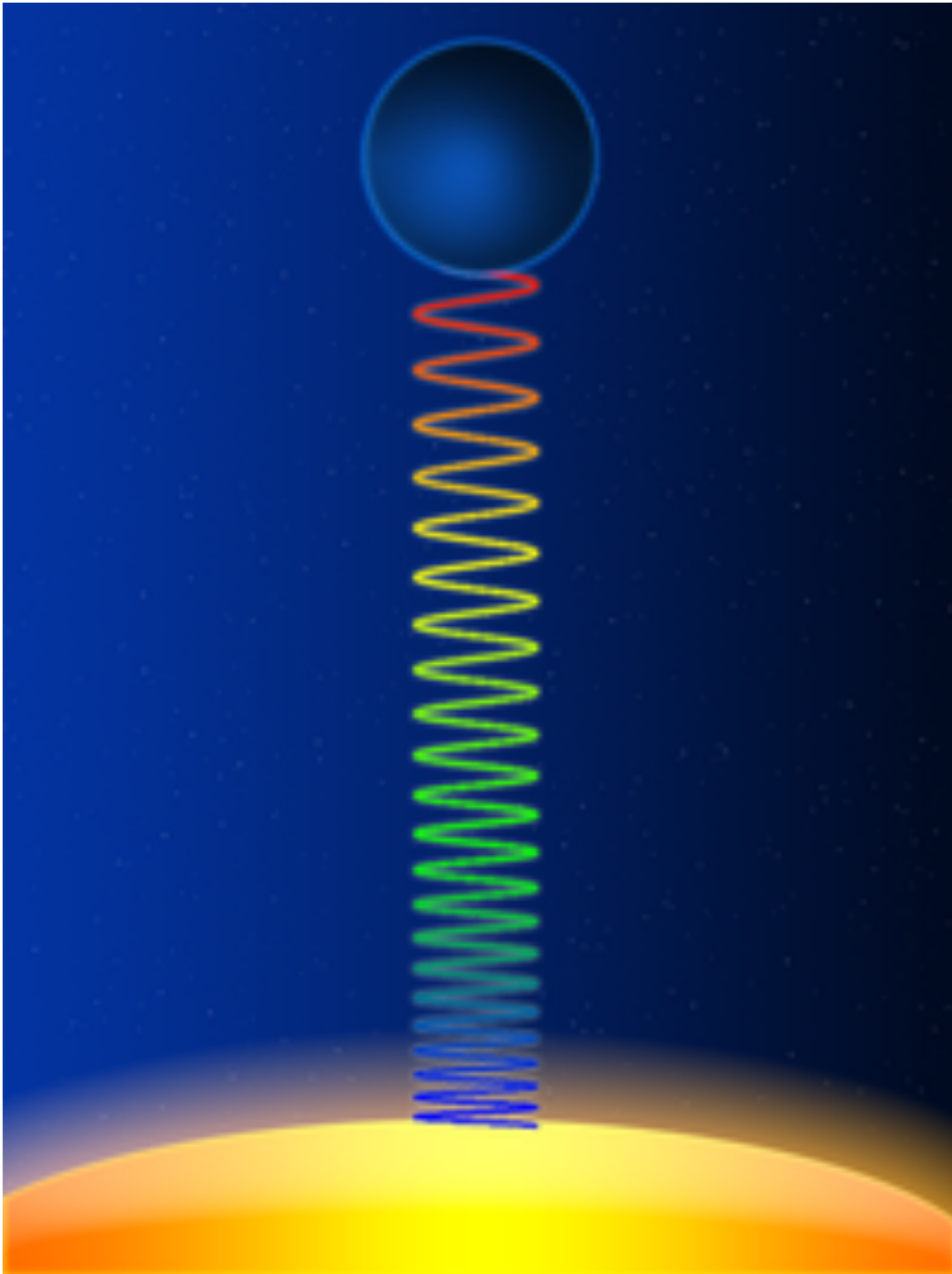
שעונים מאיטים בשדה כבידה חזק יותר. (נמדד לפולסארים)

שמשות מסתובבות סוחפות את מרחב-הזמן מסביבם.

היקום מתפשט וככל שהגופים רחוקים הם נעים מהר יותר. הסבה להתפשטות - אנרגיה אפלה



שדה הכבידה של כוכב גורם
להזזת צבע האור הנפלט ממנו
לכוון אדום



חור שחור

לפי הפיזיקה הנויטונית יכולתו של גוף חסר כוח הנעה עצמית להשתחרר משדה הכבידה של אחר מותנית בכך שמהירותו תהיה גבוהה ממהירות המילוט. מהירות המילוט היא פונקציה של המסה והרדיוס של הגוף ממנו מנסים להימלט ואינה תלויה במסתו של הגוף הנמלט:

$$v_e = \sqrt{\frac{2GM}{R}}$$

כאשר v_e היא מהירות המילוט R הוא מרחק הגוף הנמלט ממרכז הגרם השמימי M היא מסת הגרם השמימי; ו G הוא קבוע הכבידה העולמי.

לפי הנחתו של **גון מישל 1783** חור שחור הוא גוף שאינו מאפשר הימלטות של אור, כלומר מהירות המילוט ממנו גבוהה ממהירות האור $= 10^8$ מטר לשנייה, ולכן

$$R_s = \frac{2GM}{c^2}$$

כאשר R_s הוא **רדיוס שווארצשילד** – הרדיוס המקסימלי לחור שחור: גוף יהפוך לחור שחור רק אם מסתו תהא גדולה מספיק ורדיוסו קטן מספיק. זה גם נובע מפתרון משוואות היחסיות הכללית ע"י שווארצשילד 1916 שנה אחרי הפירסום של איינשטיין, אך שווארצשילד ואיינשטיין לא ייחסו לסינגולאריות בפתרון משמעות פיסיקאלית – אסטרונומית

1936 רוברט **אופנהיימר** ותלמידו ה. **שניידר** הצביעו על הקשר לקריסת כוכב שכילה את האנרגיה הגרעינית שלו. בשנות ה-60 הגדירו "**אופק אירועים**" קרום חד סיתרי למסה ולאור. **1967** **ז'והן ארצ'יבלד ויילר** טבע את המושג "**חור שחור**" והוכיח שניתן למדוד עבורו מסה, מטען ומומנט סיבוב, אך אף תכונה פיסיקאלית אחרת.

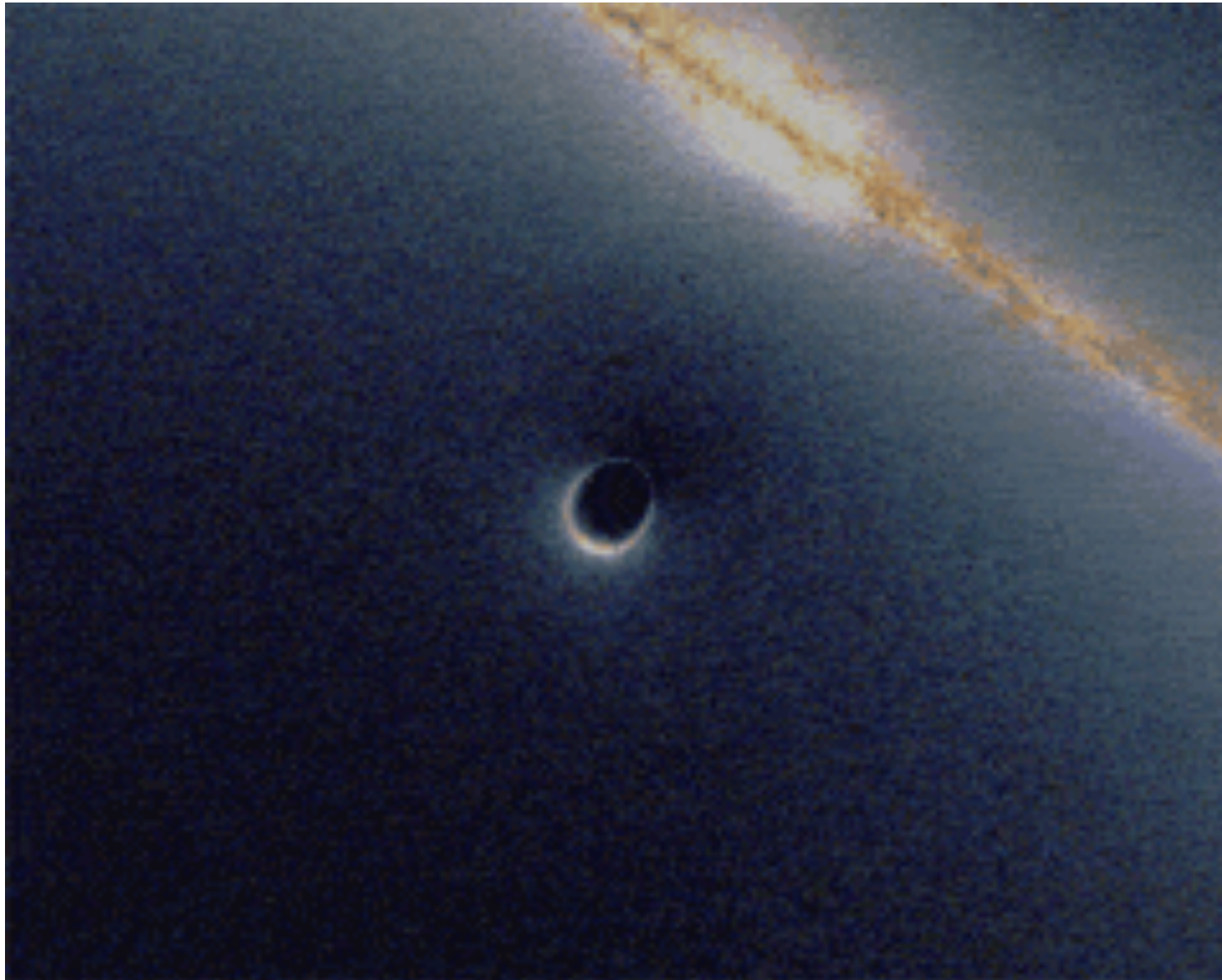
לאחרונה טען **סטיוון הוקינג** שבגלל תורת הקוואנטים חורים שחורים כן מקרינים אנרגיה

עבור עצם עם מסה הדומה לזו של כדור הארץ $(5.9742 \times 10^{24} \text{ ק"ג})$, רדיוס שווארצשילד יהיה בערך 9 מ"מ. עבור עצם עם מסה כמו של השמש $(1.988435 \times 10^{30} \text{ ק"ג})$, רדיוס שווארצשילד יהיה בערך 3 ק"מ (הרדיוס הנוכחי של השמש הוא בערך 700,000 ק"מ).

סטיוון הוקינג



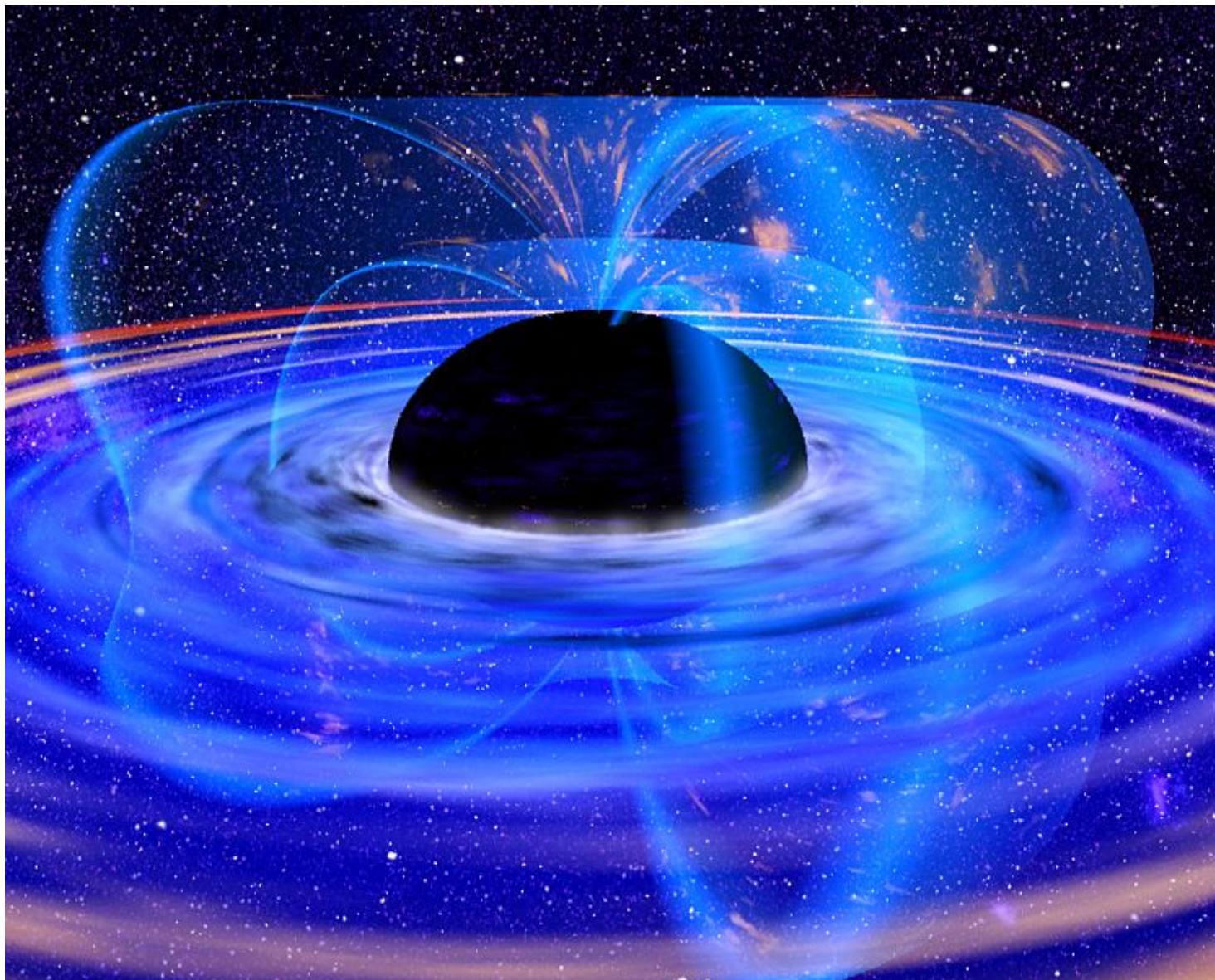
אפשר לדעת על קיום חורים שחורים מאפקט העדשה ומכוכבים בגלקסיות המסתובבים סביב
אזור ללא כוכבים, או מדיסק ספיחה לחור השחור הפולטת קרינת קרני x (קרינת הוקינג)
חושבים שיש חורים שחורים במרכזי רוב הגלקסיות



סימולציה של
אפקט העדשה
של חור שחור

במציאות
מעבר גלקסיה
על חור שחור
נמשכת
מיליוני שנים

איור של חור שחור וסביבו דיסקות ספיחה של חומר הנמשך לחור
מתארים מסע חללית לתוך החור השחור עם אפקטים של האטת זמן לפי היחסיות כללית



איור של חור שחור וסביבו דיסקות ספיחה של חומר הנמשך לחור



חור שחור תועד ע"י הטלסקופ שבהר האליקאלה בהוואי בולע כוכב ענק
הרגע בו החור השחור קורע את הכוכב לגזרים



"שטח הפנים" של חור שחור נקרא "אופק אירועים". זהו משטח דמיוני המקיף את המסה של החור השחור. כל מה שנמצא בתוך אופק האירועים, ובכלל זה גם פוטונים, אינו יכול להגיע לאופק האירועים. חלקיקים הנמצאים מחוץ לאזור זה יכולים ליפול פנימה ולחצות את אופק האירועים, אך הם לעולם לא יוכלו לחזור החוצה.

על פי תורת היחסות הכללית, אופק האירועים הוא אזור שבו המרחב-זמן נמתח לאינסוף, כלומר ביחס לצופה מן החוץ תנועה באזור הזה היא איטית עד אינסוף, ולכן לא ניתן לעבור אותו לעולם (גם פנימה וגם החוצה).

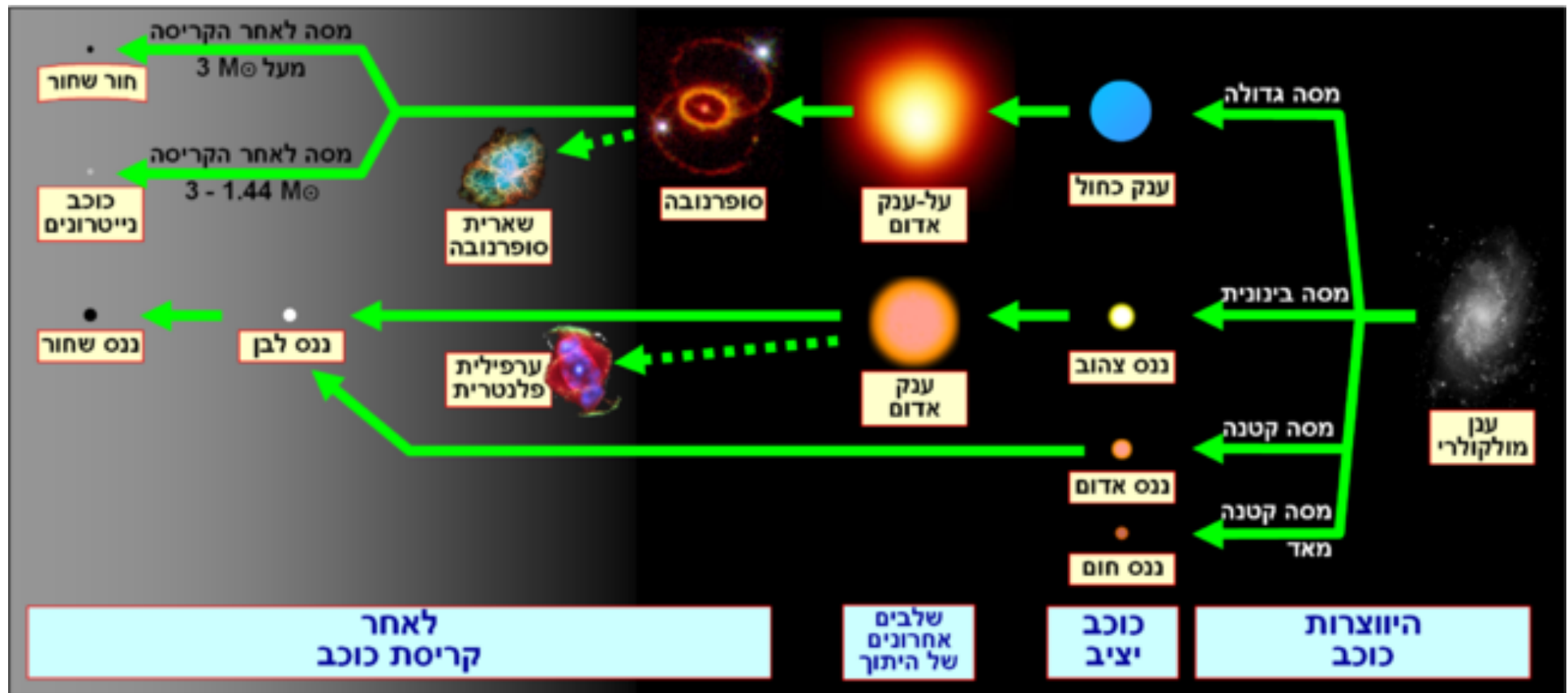
בניסוח מתמטי, ביחס לקואורדינטות מרחב-זמן של צופה מן החוץ, המטריקה של המרחב נמתחת לאינסוף, וכל עצם (בפרט פוטון) סביב אופק האירועים נראה איטי ומוסח לאדום עד אינסוף.

מכיוון שאין חלקיקים היכולים לצאת מתוך חור שחור, אין דרך בה צופה מן החוץ יוכל לקבל מידע מחלקו הפנימי של החור השחור. לחורים שחורים אין מאפיינים חיצוניים שבהם ניתן להשתמש כדי להעריך את תוכנם. **משפט האין-שיעור** קובע כי על פי תורת היחסות הכללית, מחוץ לאופק האירועים ניתן למדוד רק שלושה פרמטרים של חורים שחורים: מסה, תנע זוויתי ומטען חשמלי.

עצמים בשדה כבידה יחשו התארכות זמן. תופעה זו נבדקה בניסויים בלוויינים ועל-פני כדור הארץ. קרוב לחור שחור, התארכות הזמן היא משמעותית מאוד. מנקודת ראותו של צופה ניח מן החוץ, נראה שנדרש לגוף זמן אינסופי כדי להגיע אל אופק האירועים, שממנו ואילך האור מוסח לאדום בצורה אינסופית. לצופה מרחוק נדמה שהעצם, הנופל יותר ויותר לאט, מתקרב, אך לעולם לא מגיע לאופק האירועים (כלומר, לוקח לו זמן אינסופי כדי להגיע אליו). מנקודת ראותו של הגוף הנופל עצמו, הזמן הנדרש כדי לחצות את אופק האירועים ולהגיע לסינגולריות במרכז יהיה סופי.

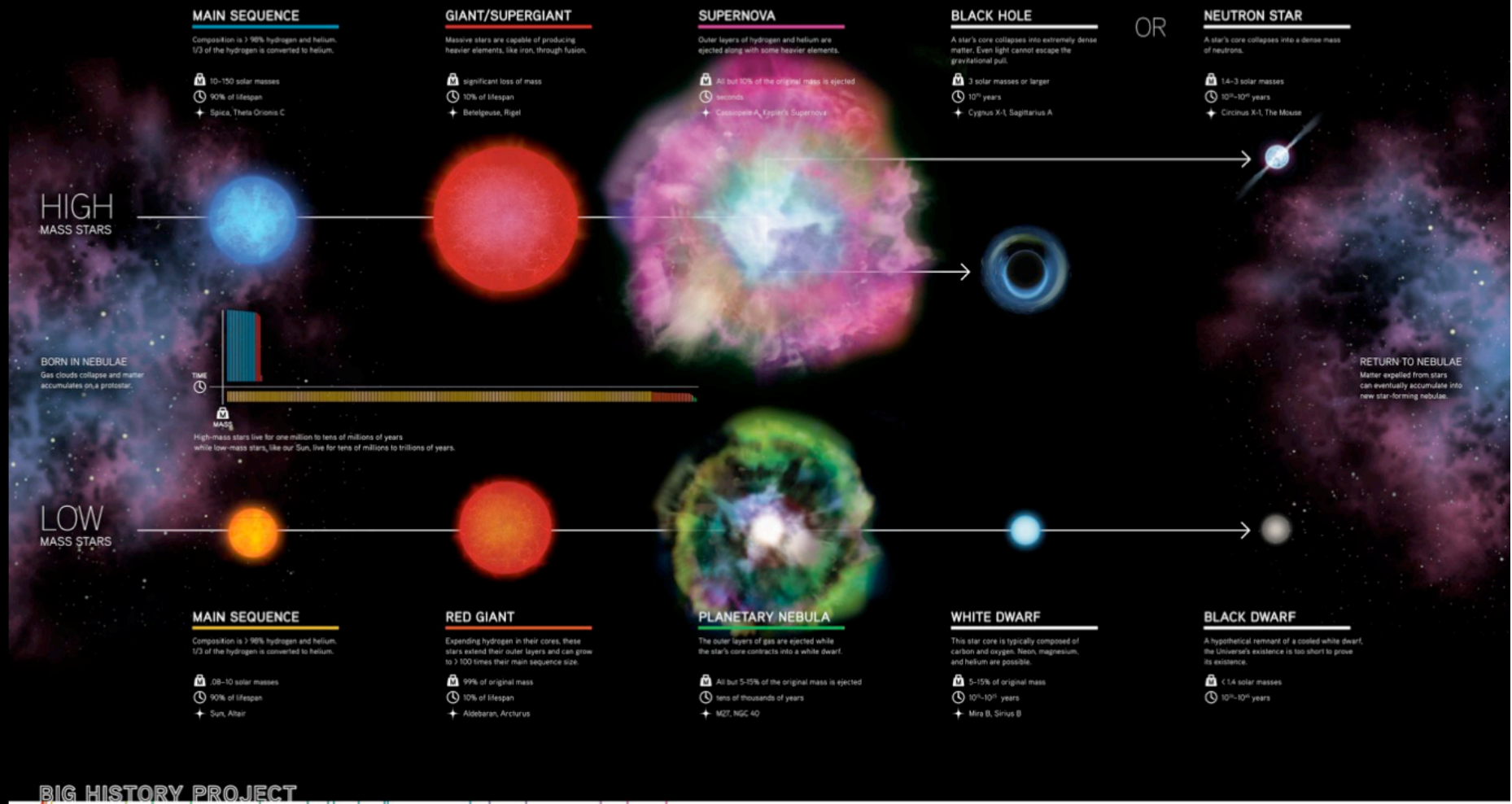
האבולוציה של כוכבים

כוכב ניוטרונים – סופם של כוכבים שהתקררו ומסתם אינה מספיק גדולה ליצור חור שחור
פולסר – כוכב ניוטרונים המסתובב מהר ופולט פולסים של קרינת רדיו בתדירות הסיבוב
קואזר – מרכז זוהר של גלקסיות צעירות במרחק גדול מאיתנו, פולט קרינה בכל אורכי הגל
סופרנובה – התפוצצות בעקבות התחדשות ביקוע גרעיני או התמוטטות מסות כוכבים. קורות בשביל החלב בערך פעם ב-50 שנה ודווחו ע"י אסטרונומים בכל מהלך ההיסטוריה.
שמש – כוכב שמפיק אנרגיה גרעינית וסביבו נעים כוכבי לכת "קרים"
גלקסיה – צבר כוכבים המסתובב לרוב סביב חור שחור. הגלקסיה שלנו – שביל החלב



+ - ⬆ ×

THE LIFE CYCLES OF STARS



עידו אפרתי

ענן גז עצום ממדים, שהמסה שלו היא פי 3 מזו של כדור הארץ צפוי להגיע במהלך החודשים הקרובים לחור שחור במרכז גלקסיית שביל החלב, הגלקסיה בה נמצא גם כדור הארץ, ולהתרסק עליו. התוצאה של מפגש נדיר זה, עשויה להיות התפרצות אור אדירה, שבה אפשר יהיה אף לחזות באמצעות טלסקופים מכדור הארץ. לתחזית זו, שפורסמה באחרונה בכתב העת Astronomy magazine הגיעו אסטרונומים מאוניברסיטת מישיגן.

ממצאי המחקר שערכו המדענים יוצגו השבוע במלואם על ידי פרופ' אהוד בכר ממכון אשר בטכניון, במסגרת כינוס החלל הבינלאומי ע"ש אילן רמון של סוכנות החלל הישראלית במשרד המדע ומכון פישר.

באמצעות טלסקופ חדש של נאס"א – Nustar XMM – Newton ולווין אירופי מדרו האסטרונומים את קצב הסיבוב של החור השחור המדוכה, ובעזרת ני-

תוח עיוותי המרחב והזמן הצליחו החוקרים למדוד בצורה מדויקת מבעבר את האור שיוצא ממעמקי החור. צילומים שערכו על בסיס זה חשפו בפניהם גם את ענן הגז המסתורי, שנע בצורה ספיראלית לכיוון מרכז החור השחור, במרחק קרוב ביותר של 25 אלף שנות אור. לחורים שחורים תפקיד מפתח בגלקסיות השונות היות שהם שואבים לתוכם חומרים שנמצאים בסביבתם

ובכך משפעים על האופן שבו נוצרים או מתים כוכבים וכן על התפשטות היקום.

את ענן הגז, שזכה לשם G2, גילה אסטרונום גרמני כבר במהלך 2011 וההערכה היתה כי זה יפגע בחור השחור שבמרכז הגלקסיה לקראת סוף 2013 אך האירוע לא התרחש. כעת סבורים האסטרונומים כי אירוע זה הוא עניין של חודשים ספורים. "כל אחד רוצה לצפות באירוע הזה כי

הוא נדיר", אמרה החוקרת נטלי דגנא, שמאז 2006 צופה יחד עם צוותה בחור השחור באמצעות טלסקופ הרנטגן "סוויפט", כדי לזהות את חתימת האור של החור השחור בגלקסיה. "מאוד קשה ללמוד את החורים השחורים כיוון שאנחנו לא יכולים לראות אותם וזו הדרך היחידה ללמוד את התנהלותם ביקום". טלסקופ הרנטגן אמור לתת אינדיקציה ראשו-

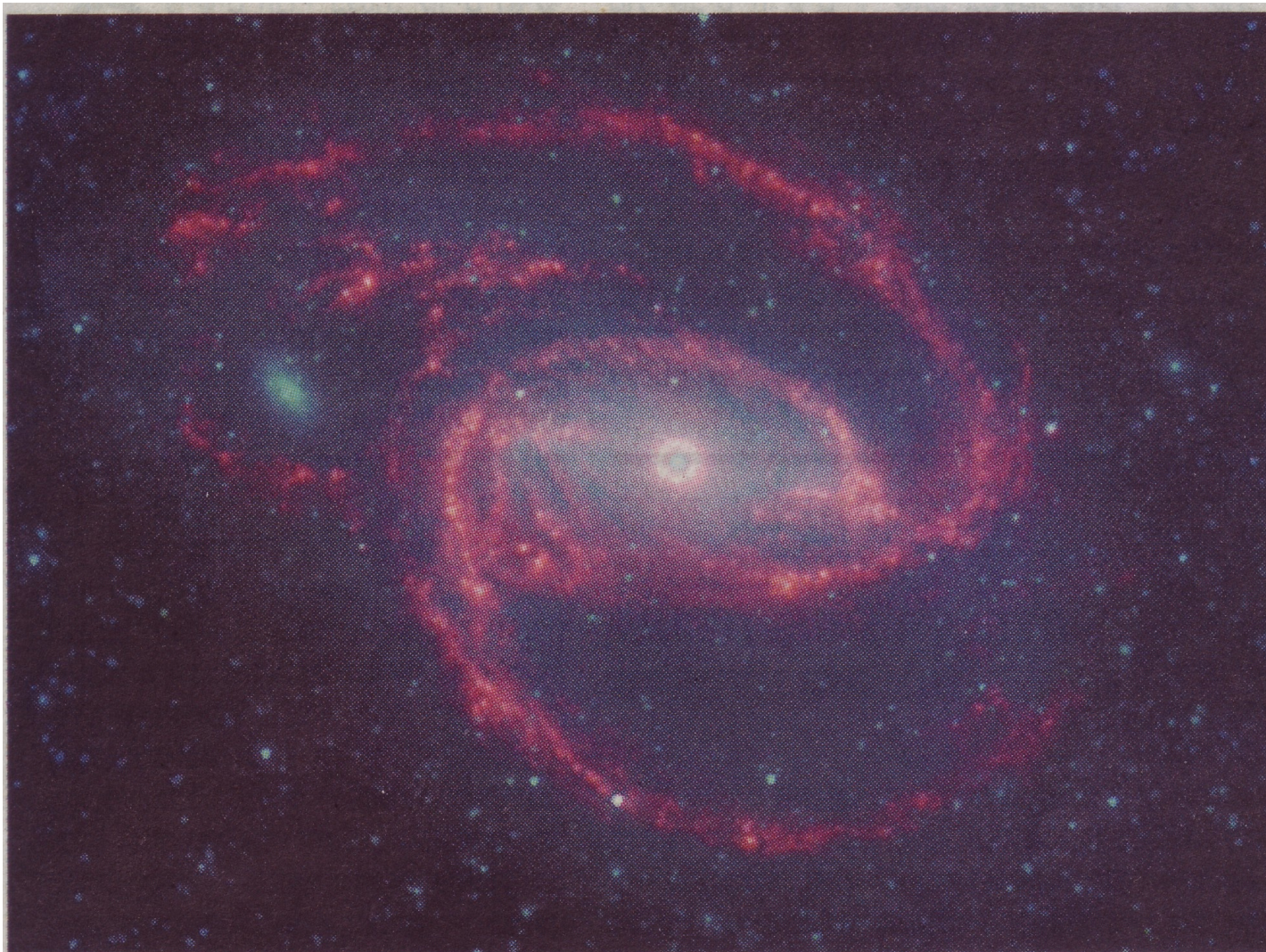
לדברי סטיבן הוקינג, "חורים שחורים אינם קיימים, לפחות לא באופן שהגדרנו אותם"

נה להתנגשות בין ענן הגז לחור השחור. עם זאת, לעת עתה לא יכולים המדענים לחזות מה תהיה עוצמת הברק שתיווצר כתוצאה מההתנגשות, כיוון שאינם יודעים בדיוק מה הרכבו של הגז.

בעוד האסטרונומים וחובבי החלל מצפים להתנגשות הנדירה, התפרסם בסוף השבוע מאמר של הפיזיקאי סטיבן הוקינג, בו הוא טוען כי "חורים שחורים אינם קיימים, לפחות לא באופן שהגדרנו אותם".

החור השחור מוגדר ככוכב שכוח המשיכה שלו עוצמתי כל כך, עד כדי כך שהוא בולע אפילו את קרינת האור ולא מאפשר להם להאיר (ועל כן גם לא ניתן לצפות בו). ואולם, לטענת הוקינג הטענה לפיה האור אינו יכול לחדור את "אופק האירועים" (על פי תורת היחסות, מעטפת דמיונית שמקיפה את החור השחור) - היא שגויה.

במאמרו הוא מציע תיאוריה שמאחדת בין תיאוריית הכבידה ומכניקת הקוואנטים וטוען כי האנרגיה שנבלעת בתוך החור השחור נאצרת בורק באופן זמני. "על פי התיאוריה הקלאסית אין בריחה מהחור השחור", אמר הוקינג בריאיון לכתב העת nature, "אבל תורת הקוואנטים לעומת זאת, מאפשרת לאנרגיה ומידע לברוח מהחור השחור". לדבריו, הסבר מלא של התהליך יחייב תיאוריה שתצליח לשלב בין כוח המשיכה וכוחות קיצוניים אחרים בטבע. אלא שאת המטרה הזו לא הצליחו פיסיקאים לממש קרוב למאה שנה.



המסה של ענן הגז היא
פי 3 מזו של כדור הארץ

עוצמת הפגיעה לא ידועה
מאחר שלא ברור מאיזה
חומרים מורכב הענן

הענן מרוחק כעת רק
25 אלף שנות אור
מהחור השחור

על פי התחזיות
המפגש בין הענן לחור
השחור יהיה בתוך
חודשים ספורים

הענן התגלה לראשונה
ב-2011 ותחילה נחזה
שהמפגש יתרחש עד
לסוף השנה שעברה

חור שחור ענק בלבה של גלקסיה צילום : רויטרס

דווח בשבוע האחרון
על תמונה משוחזרת מטלסקופ
החלל האבל של נאסא
גלקסיה ספיראלית M83
שקטרה כ-70% מקטר שביל
החלב
המרכז מזוהה כחור שחור
המפציץ את סביבתו בסילונים
אנרגטיים



מסע אל תוכי חור שחור



[http://www.youtube.com/watch?
v=UHIdUXXyaTE](http://www.youtube.com/watch?v=UHIdUXXyaTE)



המפץ הגדול והתפשטות היקום

ג'ורג' גאמוב – המפץ הגדול לפני 13.7 מיליארד שנים וקרינת הרקע ממנו הנמדדת כיום

טלסקופ גלי המיקרו והמעבדה בקוטב הדרומי



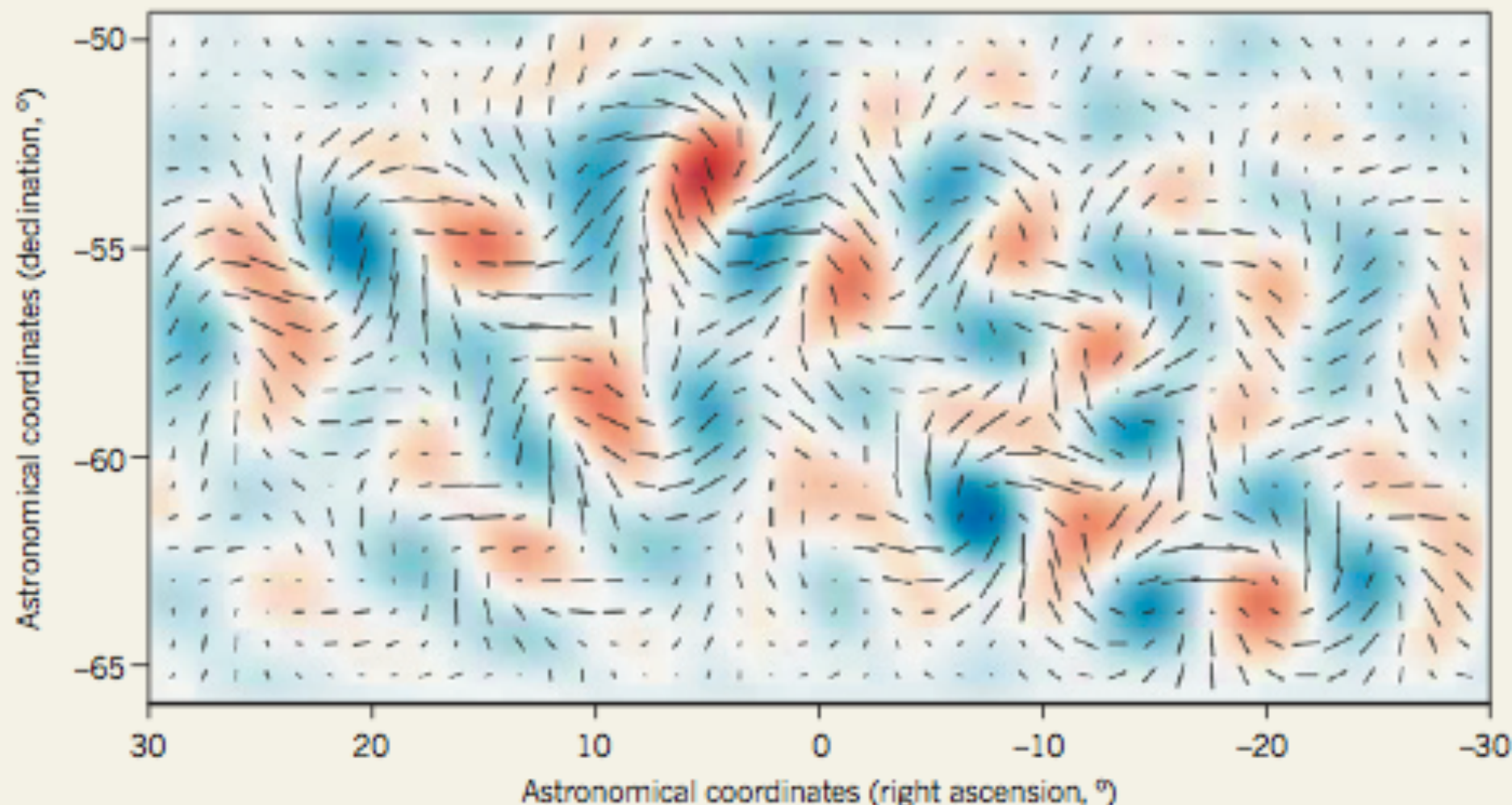
COSMIC CURL

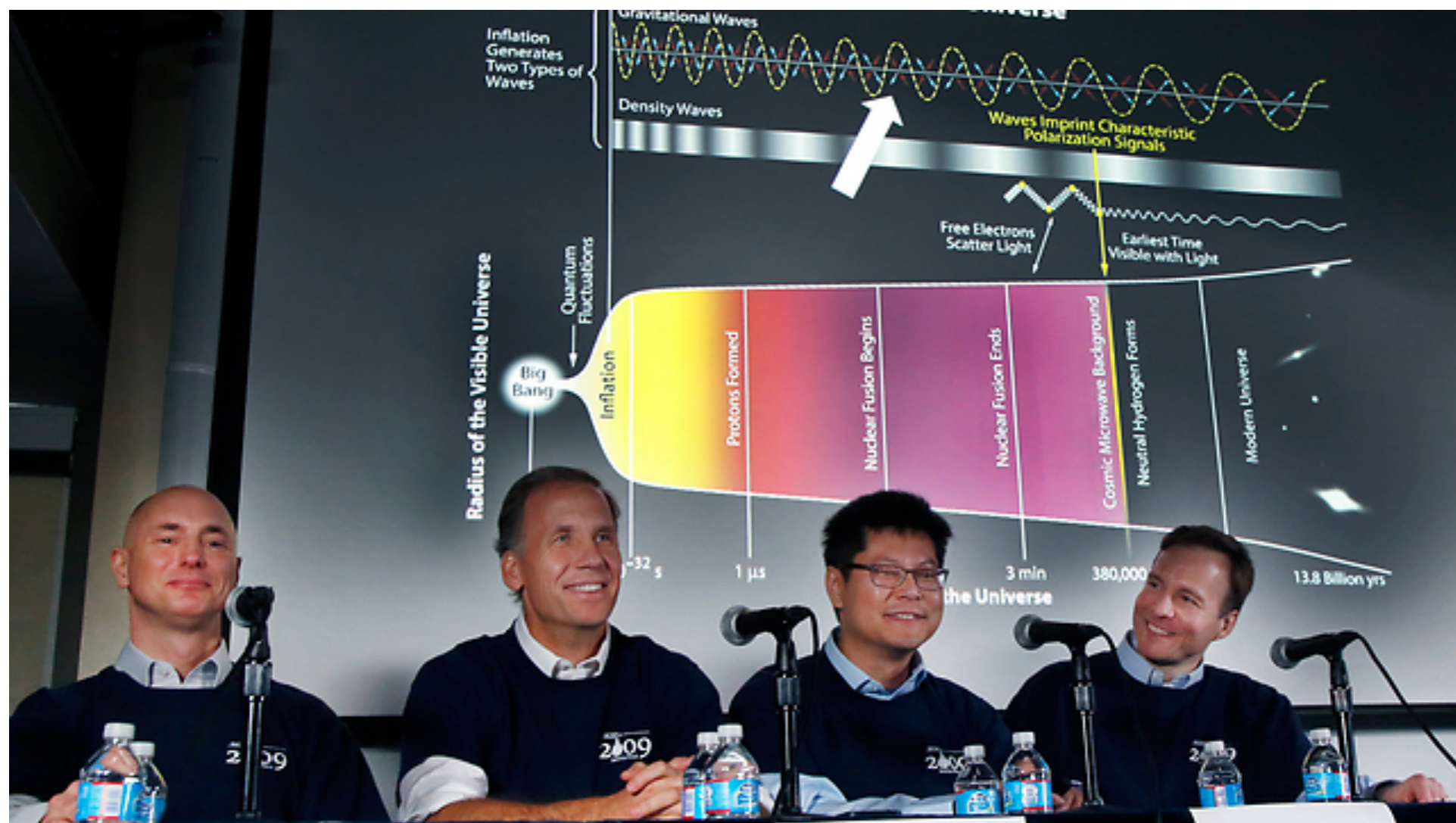
The BICEP2 instrument observed a faint but distinctive twisting pattern, or spin, known as a curl or B-mode, in the polarization of the cosmic microwave background. This is the first evidence for gravitational waves generated by rapid inflation of the Universe some 13.8 billion years ago.

Spin intensity

■ Clockwise ■ Anti-clockwise

— Polarization strength and
/ orientation at different
spots on the sky.

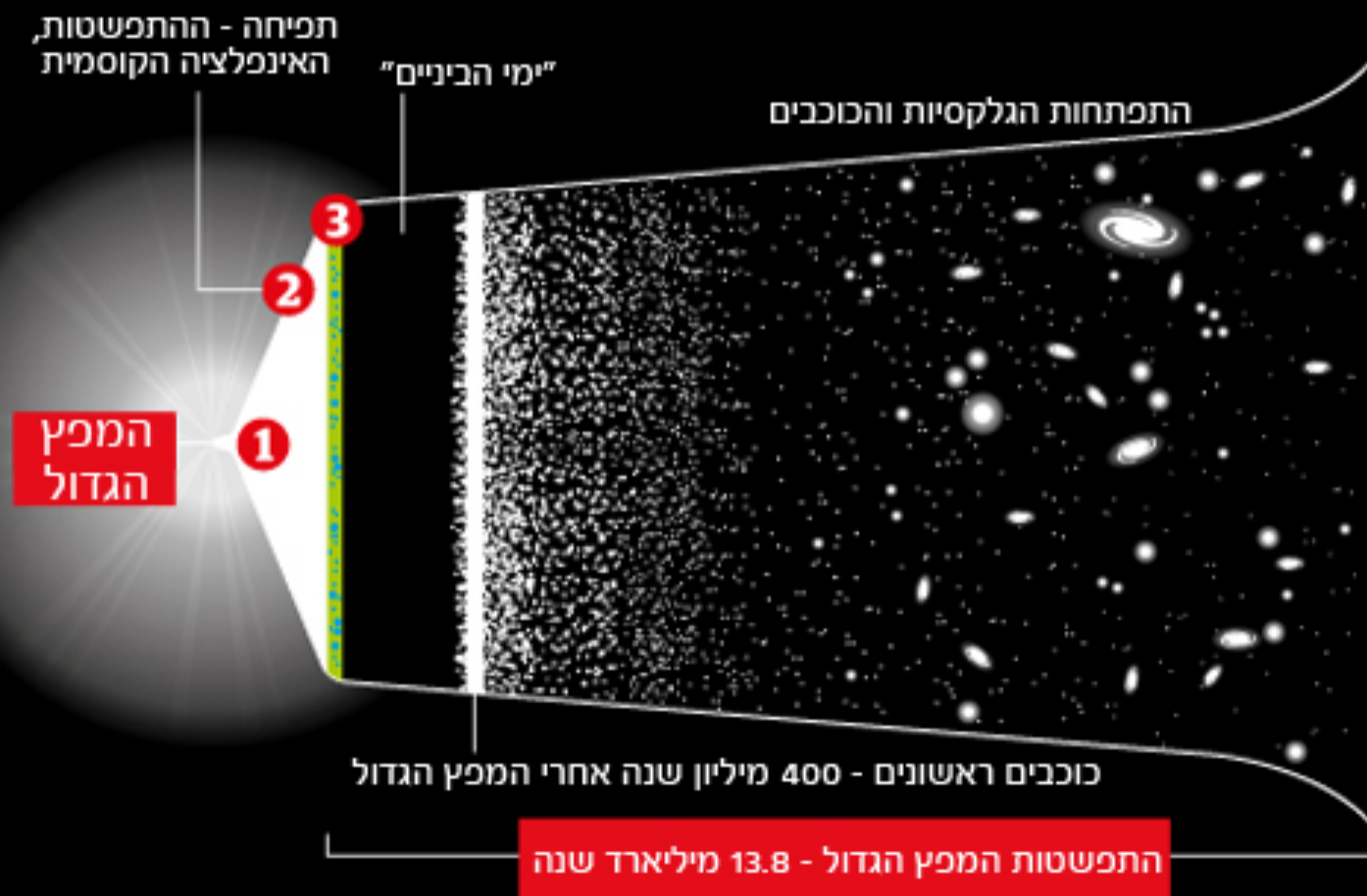




1 גלי גרביטציה קדמונים
נוצרים בתנודות קוונטיות,
מיד אחרי המפץ הגדול

2 הגלים מתגברים לאותות
שניתנים לזיהוי על ידי
התפיחה - האינפלציה הקוסמית

3 הגלים מוטבעים לדפוס
של "קרינת הרקע הקוסמית"



1912 Vesto Slipher measured the first Doppler shift of a "spiral nebula" (spiral nebula is the obsolete term for spiral galaxies), and soon discovered that almost all such nebulae were receding from Earth.

1922 Alexander Friedmann derived the Friedmann equations from Albert Einstein's equations of general relativity, showing that the universe might be expanding in contrast to the static universe model advocated by Einstein at that time.

1931 Monsignor Georges Lemaître suggested that expansion of the universe, if projected back in time, meant that the further in the past the smaller the universe was, until at some finite time in the past all the mass of the universe was concentrated into a single point, a "primeval atom"

1924, Hubble developed a series of distance indicators, the forerunner of the cosmic distance ladder, using the 100-inch (2,500 mm) Hooker telescope at Mount Wilson Observatory. This allowed him to estimate distances to galaxies whose redshifts had already been measured, mostly by Slipher. In 1929 Hubble discovered a correlation between distance and recession velocity—now known as **Hubble's law**. $velocity = H_0 \text{Distance}$ $H=70 \text{ Km/s/Mpc}$

Mpc=mega parsec 1 parsec = 3.262 light-years

Lemaître had already shown that this was expected, given the Cosmological Principle

1930'th Milne model,[54] the oscillatory universe

Fritz Zwicky's tired light hypothesis.

1945'th Fred Hoyle's steady state model,

George Gamow, who introduced big bang nucleosynthesis 13.7 billion years ago

Ralph Alpher and Robert Herman, predicted cosmic microwave background radiation

1949 in BBC radio program Hoyle coined "Big Bang" term applied to Lemaître's theory

1964 cosmic microwave background radiation measured by American radio astronomers **Arno Penzias and Robert Wilson** in Bell labs was the culmination of work initiated in the 1940s, and earned the discoverers the 1978 Nobel Prize.

Predicted microwave background noise temperature $T_r = 2.725(1 + z)$ z =redshift factor

Other experimental supports to the Big Bang:

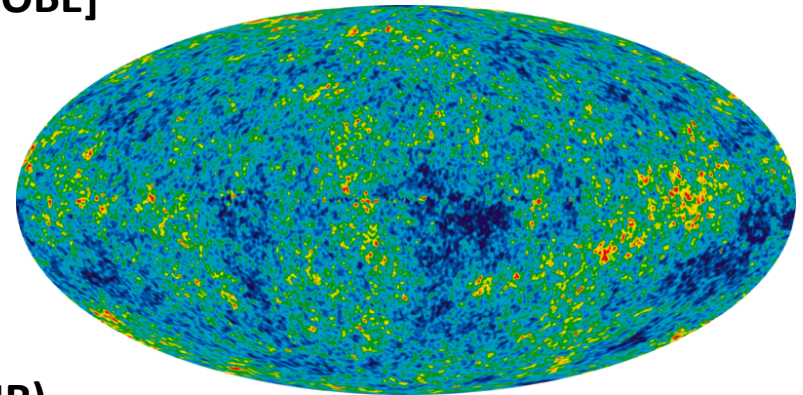
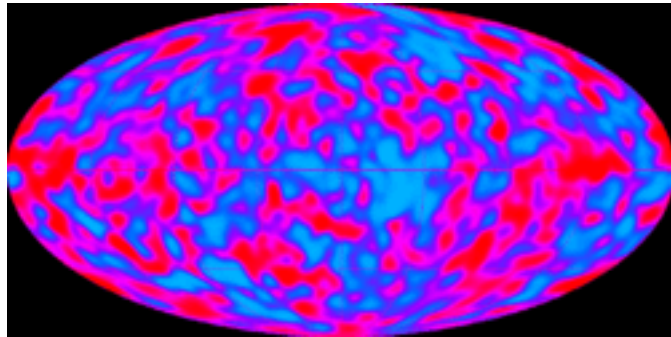
Big Bang nucleosynthesis predicts abundance of helium-4, helium-3, deuterium, and lithium-7

Detailed observations of the morphology and distribution of galaxies and quasars

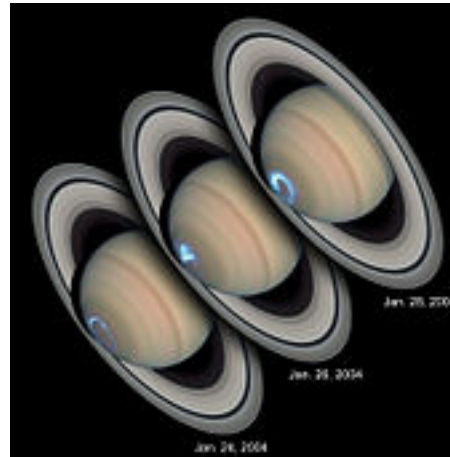
Clouds of primordial gas, by analyzing absorption lines in the spectra of distant quasars, contain Only hydrogen and deuterium.



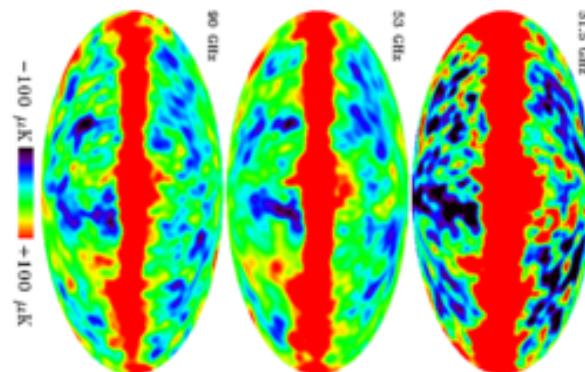
Satellite telescopes: **Cosmic Background Explorer 66 [COBE]**



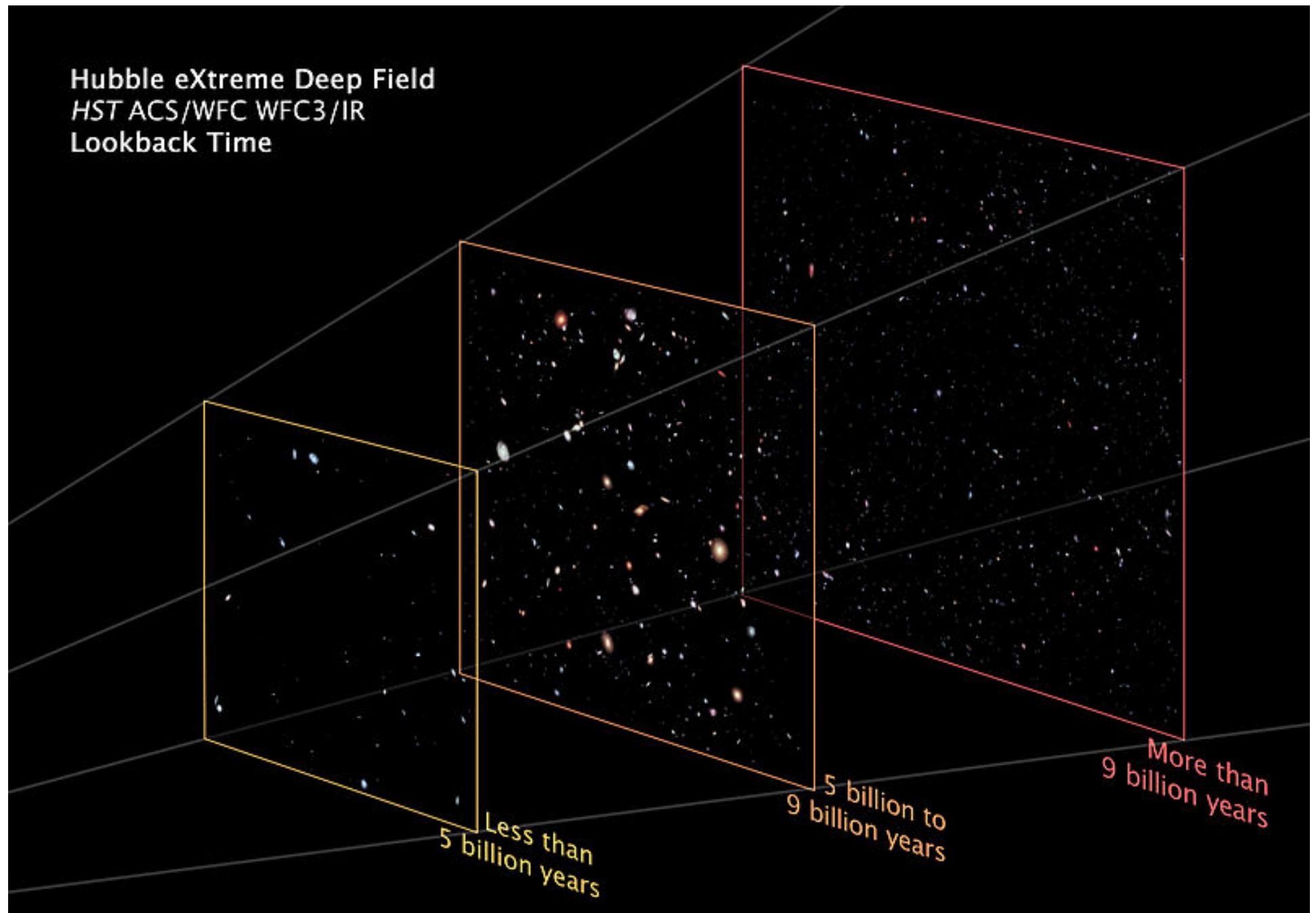
Hubble Space Telescope (visible & IR)



Wilkinson Microwave Anisotropy Probe (WMAP)



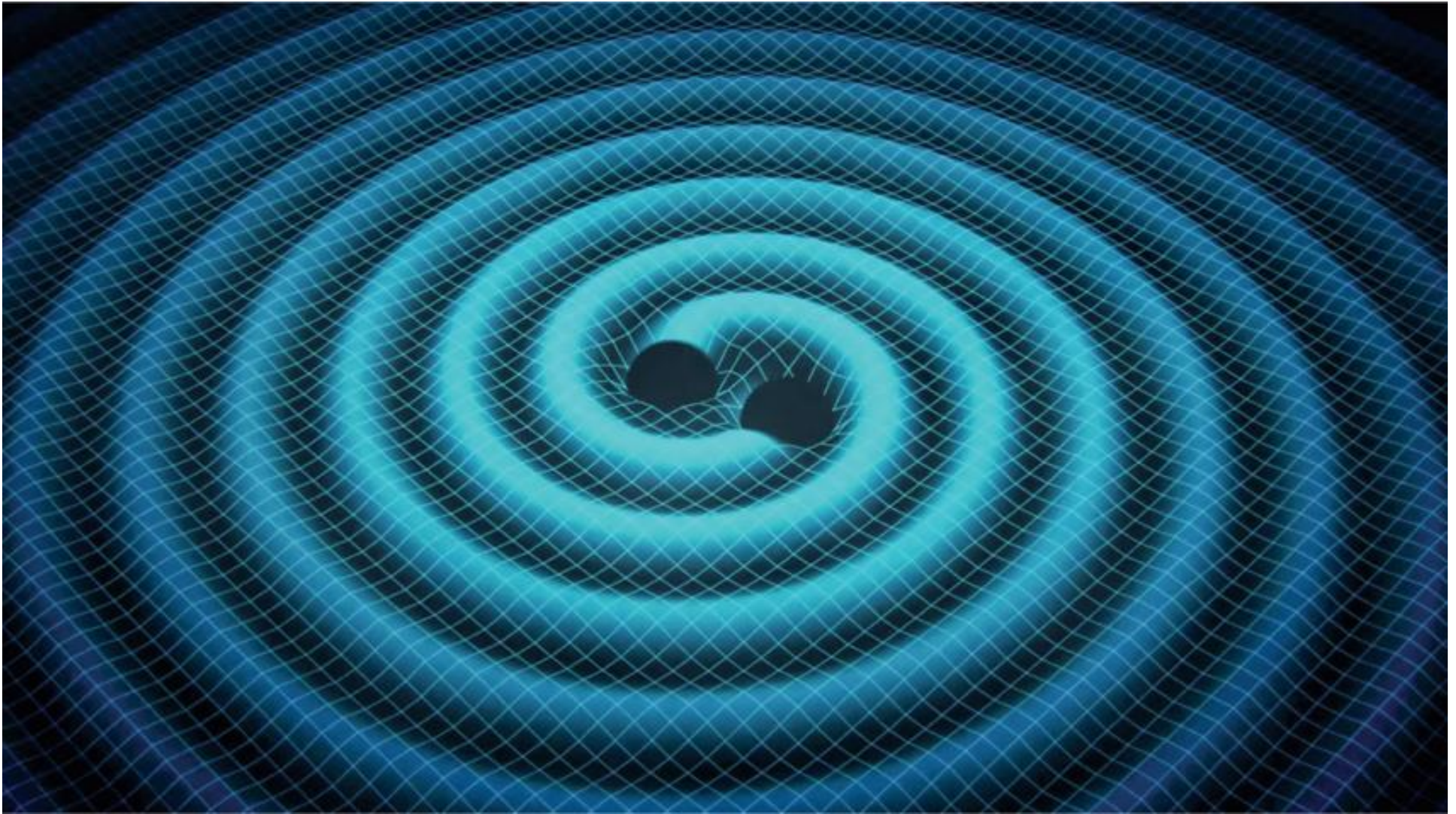
Hubble eXtreme Deep Field
HST ACS/WFC WFC3/IR
Lookback Time



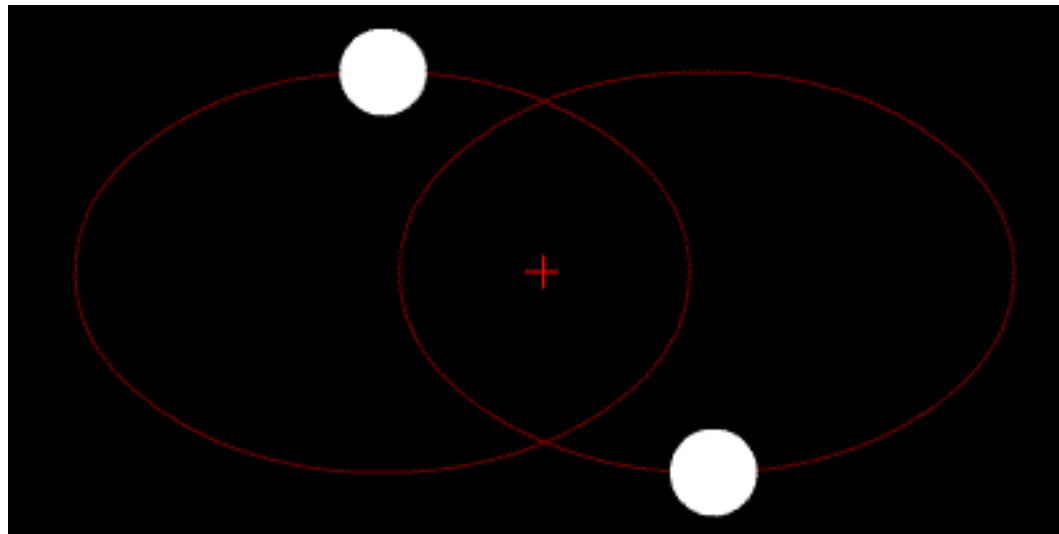
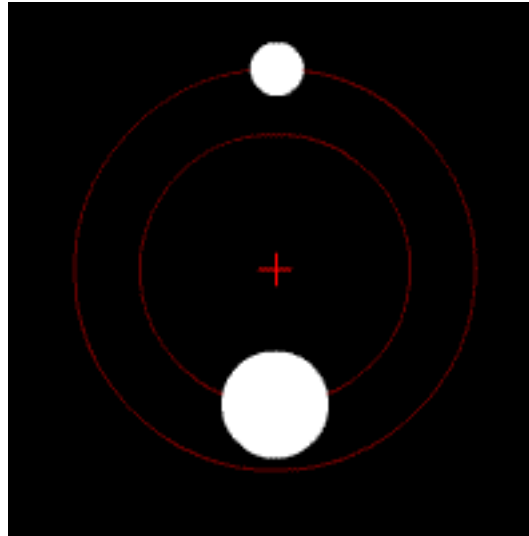
Dark energy

Dark matter

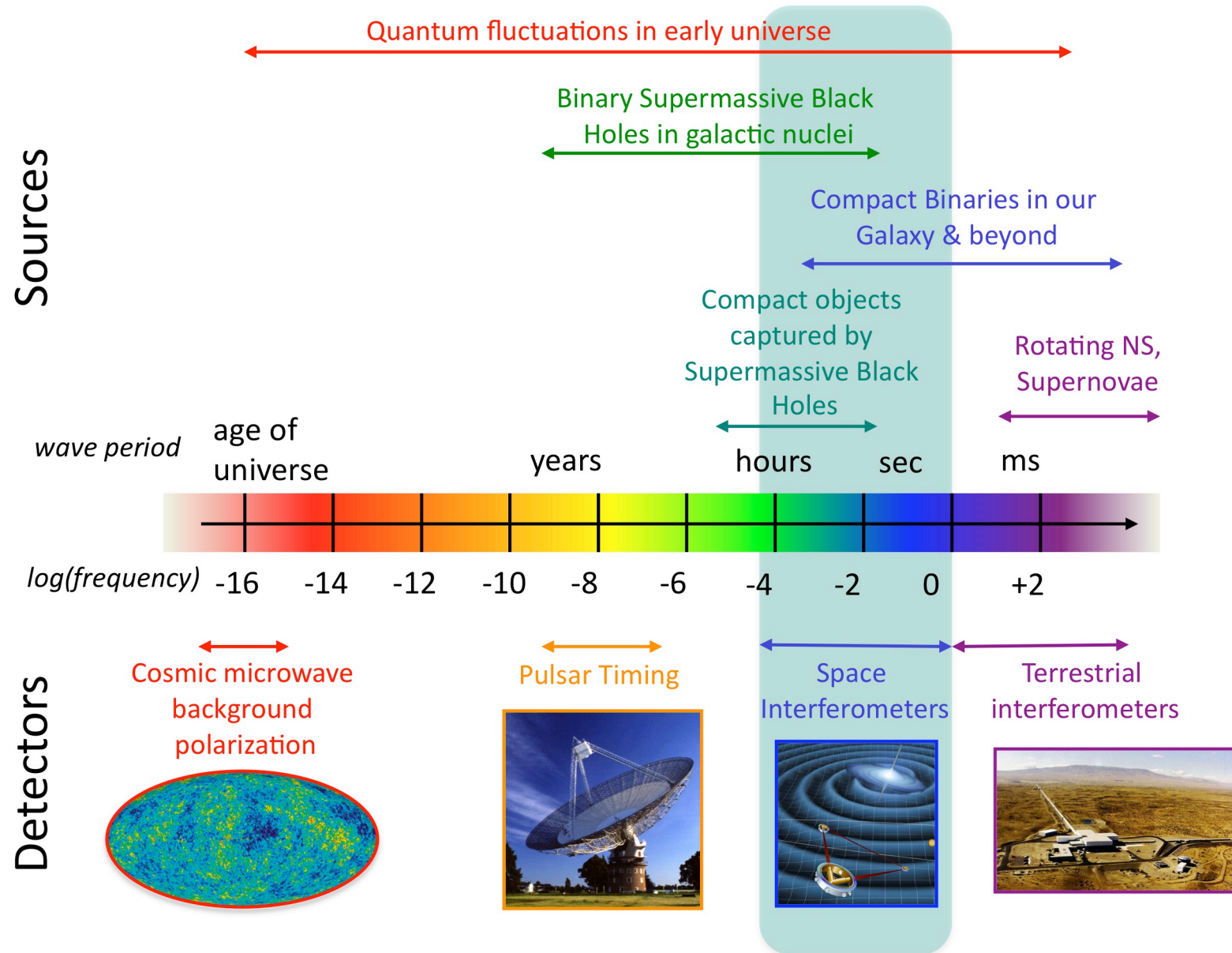
Grvitation waves from two black holes rotating around each other – 2015
lose energy by the irradiated gravitational waves



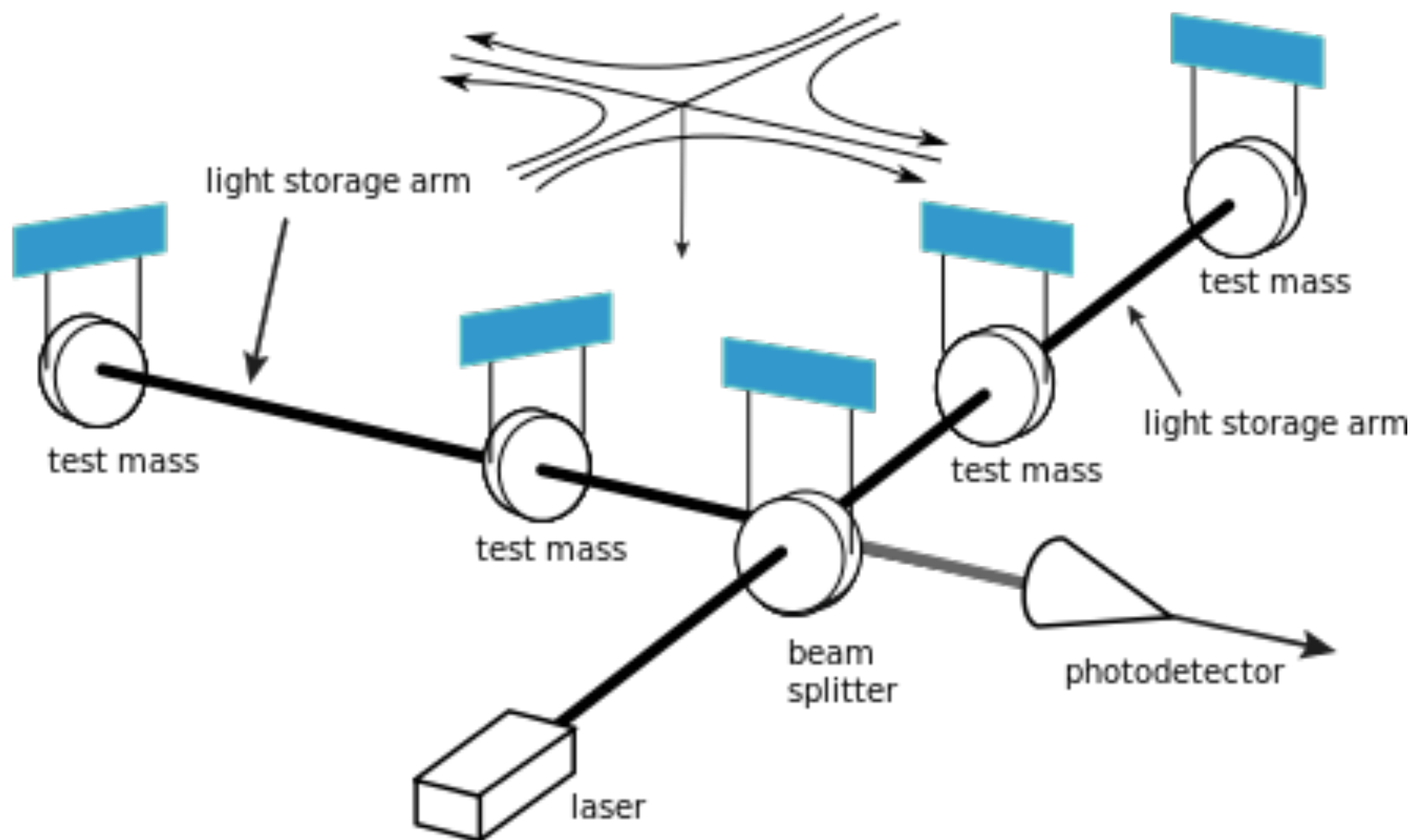
Grvitation waves from two black holes rotating around each other – 2015
lose energy by the irradiated gravitational waves



The Gravitational Wave Spectrum



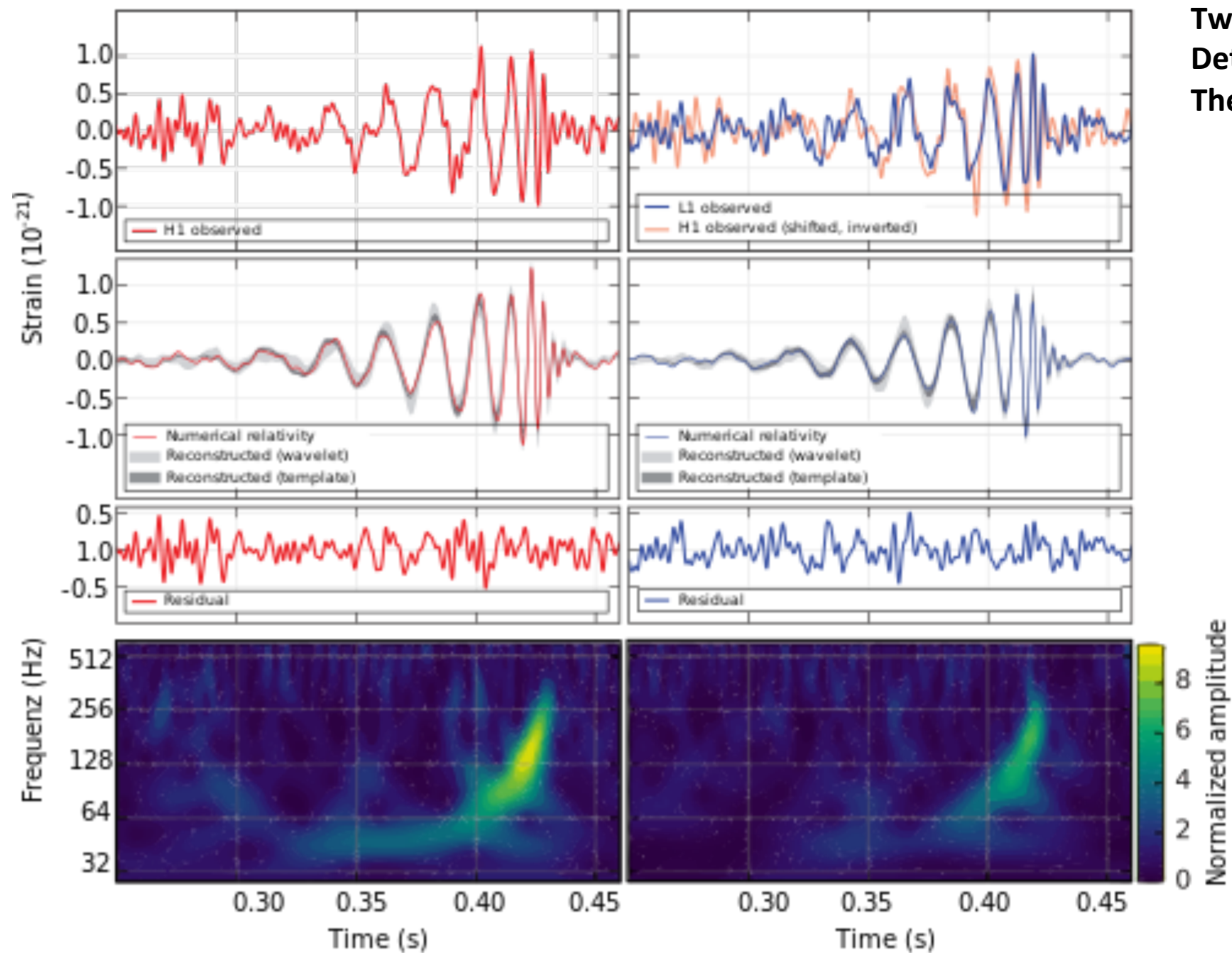
Laser interferometer



Hanford, Washington (H1)

Livingston, Louisiana (L1)

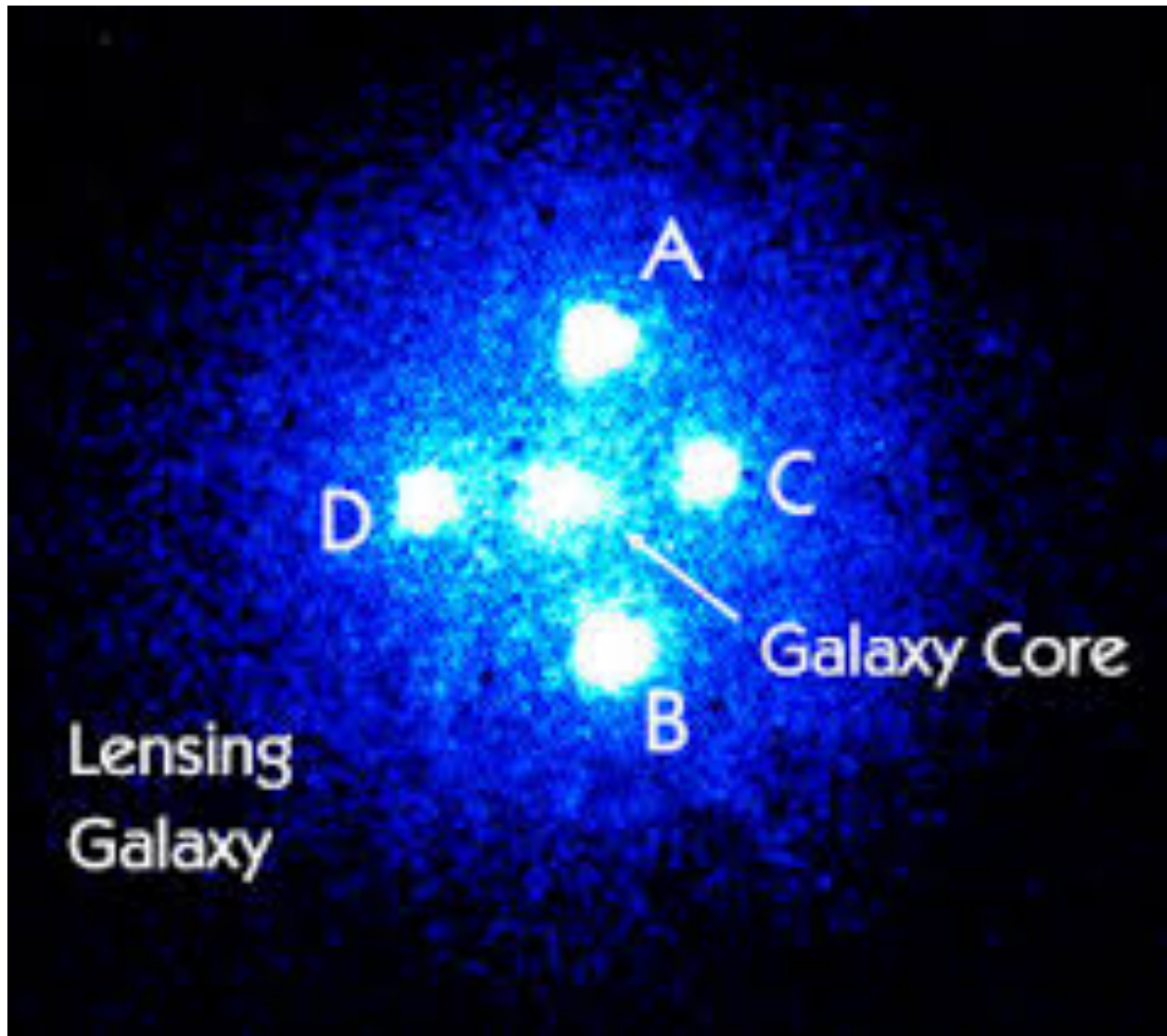
Two labs
Detect
The waves



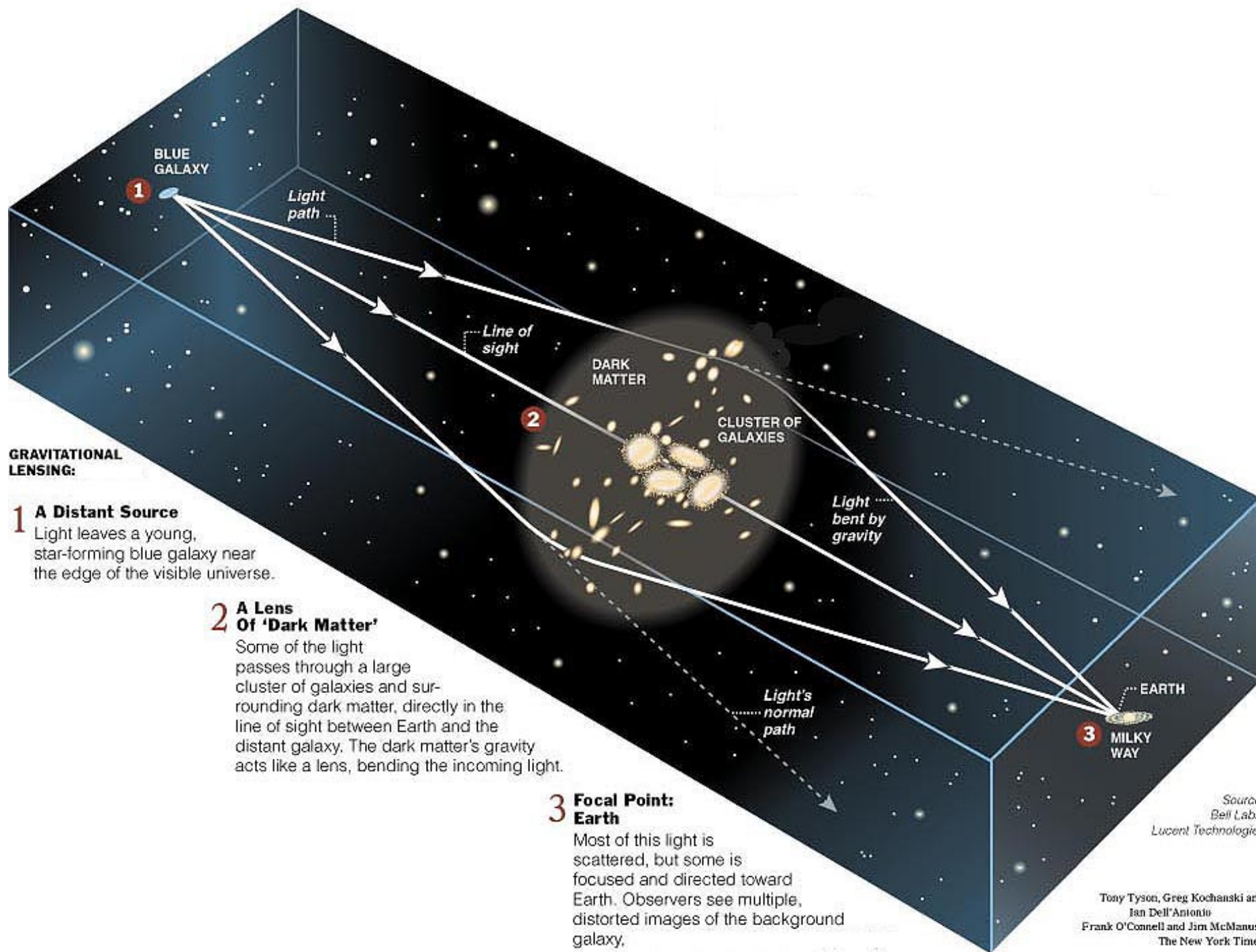
סקלות גודל

העולם המוכר לאסטרונומים 10^{27} מטר
מרחק לגלקסית אנדרומדה 2×10^{22} מטר (2 מליון שנות אור)
מרחק לחללית וויאג'ר שנשלחה לפני 34 שנים 2×10^{13} מטר
מרחק הארץ לשמש 1.5×10^{11} מטר
מרחק הארץ לירח 3.8×10^8 מטר
קוטר כדור הארץ 1.27×10^7 מטר
גודל מדינות 10^6 מטר
גודל חיות עד 10 מטר (פיל) עד מיקרון (בקטריות ושמרים)
אורך גל אור נראה עד 10^{-6} מטר או 1 מיקרון
וירוס 10^{-7} מטר או 100 ננומטרים
פרוטאינים 10^{-8} מטר או 100 אנגסטרומ
מולקולות 10^{-9} מטר או 10 אנגסטרומ
אטומים 10^{-10} מטר או 1 אנגסטרומ
גרעיני אטומים 10^{-15} עד 10^{-12} מטר או 3-12 פמטומטרים
קווארק 10^{-22} מטר

Einstein Cross



Kip Thorne (CALTECH)
Numerical Relativity



GRAVITATIONAL LENSING:

1 A Distant Source

Light leaves a young, star-forming blue galaxy near the edge of the visible universe.

2 A Lens Of 'Dark Matter'

Some of the light passes through a large cluster of galaxies and surrounding dark matter, directly in the line of sight between Earth and the distant galaxy. The dark matter's gravity acts like a lens, bending the incoming light.

3 Focal Point: Earth

Most of this light is scattered, but some is focused and directed toward Earth. Observers see multiple, distorted images of the background galaxy.

Source:
Bell Labs,
Lucent Technologies

Tony Tyson, Greg Kochanski and
Jan Dell'Antonio
Frank O'Connell and Jim McManus/
The New York Times