

Ο πειραματικός έλεγχος της Γενικής Σχετικότητας και η έκλειψη του 1919

Γιώργος Παππάς
29 Μαΐου 2019



ΑΡΙΣΤΟΤΕΛΕΙΟ
ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ
ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ

Τι είναι η Σχετικότητα;

Τι είναι η Σχετικότητα;

Νευτώνεια Φυσική

Ειδική Σχετικότητα

Γενική Σχετικότητα

Τι είναι η Σχετικότητα;

Νευτώνεια Φυσική	Ειδική Σχετικότητα	Γενική Σχετικότητα
• Αρχή της Σχετικότητας του Γαλιλαίου: Οι νόμοι της φύσης είναι ίδιοι για όλους τους αδρανειακούς παρατηρητές. • Χώρος και ο Χρόνος είναι απόλυτα μεγέθη. • Η βαρύτητα είναι μια δύναμη που δρα ακαριαία.		

Τι είναι η Σχετικότητα;

Νευτώνεια Φυσική	Ειδική Σχετικότητα	Γενική Σχετικότητα
• Αρχή της Σχετικότητας του Γαλιλαίου: Οι νόμοι της φύσης είναι ίδιοι για όλους τους αδρανειακούς παρατηρητές. • Χώρος και ο Χρόνος είναι απόλυτα μεγέθη. • Η βαρύτητα είναι μια δύναμη που δρα ακαριαία.	• Αρχή της Σχετικότητας: Οι νόμοι της φύσης είναι ίδιοι για όλους τους αδρανειακούς παρατηρητές. • Η ταχύτητα του φωτός στο κενό είναι σταθερή και η ίδια για όλους τους αδρανειακούς παρατηρητές. • Δεν έχουμε βαρύτητα	

Τι είναι η Σχετικότητα;

Νευτώνεια Φυσική	Ειδική Σχετικότητα	Γενική Σχετικότητα
• Αρχή της Σχετικότητας του Γαλιλαίου: Οι νόμοι της φύσης είναι ίδιοι για όλους τους αδρανειακούς παρατηρητές. • Χώρος και ο Χρόνος είναι απόλυτα μεγέθη. • Η βαρύτητα είναι μια δύναμη που δρα ακαριαία.	• Αρχή της Σχετικότητας • Η ταχύτητα του φωτός στο κενό είναι σταθερή Συνέπειες: 1. Η ταχύτητα του φωτός είναι η μέγιστη δυνατή ταχύτητα. 2. Χώρος και Χρόνος δεν είναι πια απόλυτοι.	

Τι είναι η Σχετικότητα;

Νευτώνεια Φυσική	Ειδική Σχετικότητα	Γενική Σχετικότητα
• Αρχή της Σχετικότητας του Γαλιλαίου: Οι νόμοι της φύσης είναι ίδιοι για όλους τους αδρανειακούς παρατηρητές. • Χώρος και ο Χρόνος είναι απόλυτα μεγέθη. • Η βαρύτητα είναι μια δύναμη που δρα ακαριαία.	• Αρχή της Σχετικότητας • Η ταχύτητα του φωτός στο κενό είναι σταθερή Συνέπειες: 1. Η ταχύτητα του φωτός είναι η μέγιστη δυνατή ταχύτητα. 2. Χώρος και Χρόνος δεν είναι πια απόλυτοι.	

Τι είναι η Σχετικότητα;

Νευτώνεια Φυσική	Ειδική Σχετικότητα	Γενική Σχετικότητα
• Αρχή της Σχετικότητας του Γαλιλαίου: Οι νόμοι της φύσης είναι ίδιοι για όλους τους αδρανειακούς παρατηρητές. • Χώρος και ο Χρόνος είναι απόλυτα μεγέθη. • Η βαρύτητα είναι μια δύναμη που δρα ακαριαία.	• Αρχή της Σχετικότητας • Η ταχύτητα του φωτός στο κενό είναι σταθερή • Η αναλλοίωτη ταχύτητα του φωτός συνδέει το χώρο και το χρόνο στον χωροχρόνο.	

Τι είναι η Σχετικότητα;

Νευτώνεια Φυσική	Ειδική Σχετικότητα	Γενική Σχετικότητα
• Αρχή της Σχετικότητας του Γαλιλαίου: Οι νόμοι της φύσης είναι ίδιοι για όλους τους αδρανειακούς παρατηρητές. • Χώρος και ο Χρόνος είναι απόλυτα μεγέθη. • Η βαρύτητα είναι μια δύναμη που δρα ακαριαία.	• Αρχή της Σχετικότητας • Η ταχύτητα του φωτός στο κενό είναι σταθερή • Χωροχρόνος Ο χωροχρόνος είναι επίπεδος και 4D	

Τι είναι η Σχετικότητα;

Νευτώνεια Φυσική	Ειδική Σχετικότητα	Γενική Σχετικότητα
• Αρχή της Σχετικότητας του Γαλιλαίου: Οι νόμοι της φύσης είναι ίδιοι για όλους τους αδρανειακούς παρατηρητές. • Χώρος και ο Χρόνος είναι απόλυτα μεγέθη. • Η βαρύτητα είναι μια δύναμη που δρα ακαριαία.	• Αρχή της Σχετικότητας • Η ταχύτητα του φωτός στο κενό είναι σταθερή • Χωροχρόνος Ο χωροχρόνος είναι επίπεδος και 4D	• Χωροχρόνος • Συμβατή με την Ειδική Σχετικότητα (η ταχύτητα του φωτός είναι η μέγιστη ταχύτητα στη φύση)

Τι είναι η Σχετικότητα;

Νευτώνεια Φυσική	Ειδική Σχετικότητα	Γενική Σχετικότητα
• Αρχή της Σχετικότητας του Γαλιλαίου: Οι νόμοι της φύσης είναι ίδιοι για όλους τους αδρανειακούς παρατηρητές. • Χώρος και ο Χρόνος είναι απόλυτα μεγέθη. • Η βαρύτητα είναι μια δύναμη που δρα ακαριαία.	• Αρχή της Σχετικότητας • Η ταχύτητα του φωτός στο κενό είναι σταθερή • Χωροχρόνος Ο χωροχρόνος είναι επίπεδος και 4D	• Χωροχρόνος • Συμβατή με την Ειδική Σχετικότητα (η ταχύτητα του φωτός είναι η μέγιστη ταχύτητα στη φύση)

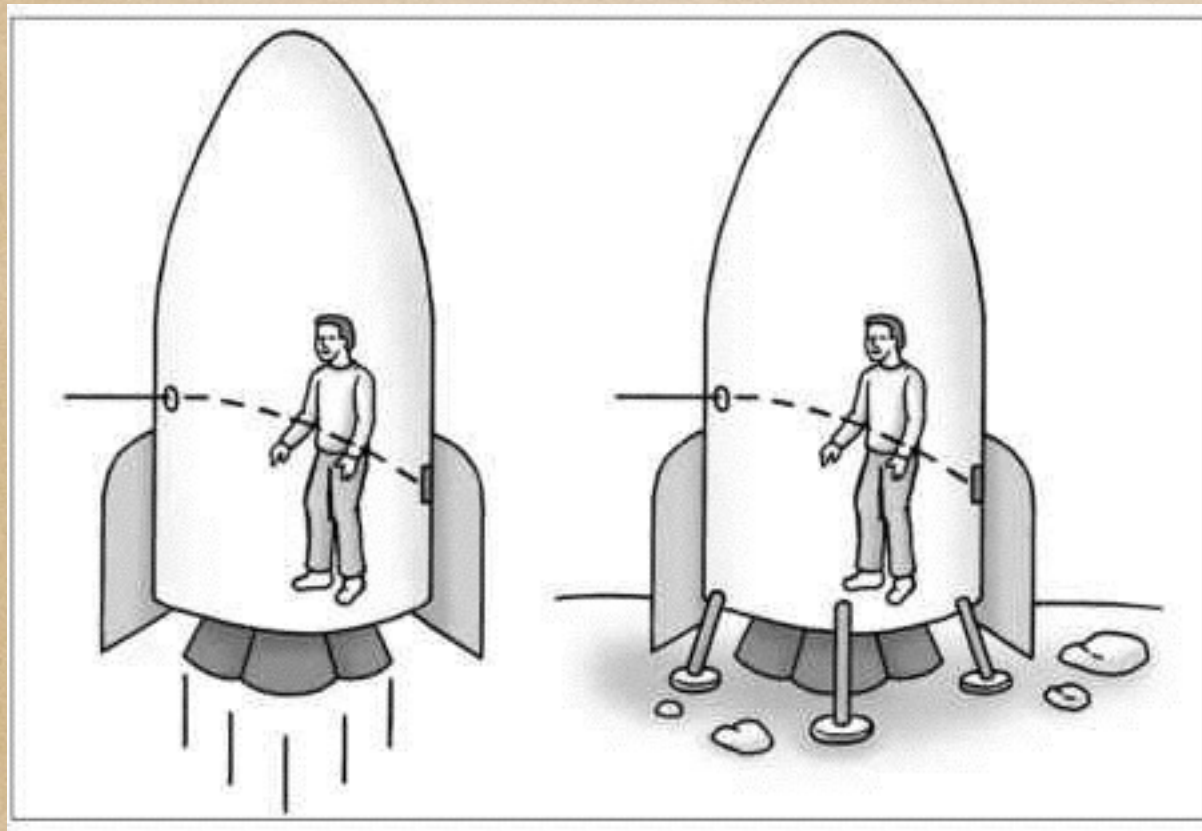
Τι είναι η Σχετικότητα;

Νευτώνεια Φυσική	Ειδική Σχετικότητα	Γενική Σχετικότητα
• Αρχή της Σχετικότητας του Γαλιλαίου: Οι νόμοι της φύσης είναι ίδιοι για όλους τους αδρανειακούς παρατηρητές. • Χώρος και ο Χρόνος είναι απόλυτα μεγέθη. • Η βαρύτητα είναι μια δύναμη που δρα ακαριαία.	• Αρχή της Σχετικότητας • Η ταχύτητα του φωτός στο κενό είναι σταθερή • Χωροχρόνος Ο χωροχρόνος είναι επίπεδος και 4D	• Χωροχρόνος • Συμβατή με την Ειδική Σχετικότητα (η ταχύτητα του φωτός είναι η μέγιστη ταχύτητα στη φύση) *Δυσκολία στην ενσωμάτωση της βαρύτητας σε μια σχετικιστική θεωρία

Τι είναι η Σχετικότητα;

Νευτώνεια Φυσική	Ειδική Σχετικότητα	Γενική Σχετικότητα
• Αρχή της Σχετικότητας του Γαλιλαίου: Οι νόμοι της φύσης είναι ίδιοι για όλους τους αδρανειακούς παρατηρητές. • Χώρος και ο Χρόνος είναι απόλυτα μεγέθη. • Η βαρύτητα είναι μια δύναμη που δρα ακαριαία.	• Αρχή της Σχετικότητας • Η ταχύτητα του φωτός στο κενό είναι σταθερή • Χωροχρόνος Ο χωροχρόνος είναι επίπεδος και 4D	• Χωροχρόνος • Συμβατή με την Ειδική Σχετικότητα • <u>Ιδέα του Einstein</u>: Η ισοδυναμία βαρυτικής και αδρανειακής μάζας υπονοεί βαθύτερη σχέση ανάμεσα σε βαρύτητα και επιταχυνόμενα συστήματα. Η βαρύτητα είναι ισοδύναμη με επιτάχυνση

Αρχή της ισοδυναμίας του Einstein



Ένα βαρυτικό πεδίο είναι ισοδύναμο με ένα πεδίο επιταχύνσεων. Παρατηρητές σε ελεύθερη πτώση δεν νιώθουν βαρύτητα.

Αρχή της ισοδυναμίας του Einstein



Αρχή της ισοδυναμίας του Einstein



Αρχή της ισοδυναμίας του Einstein



Τι είναι η Σχετικότητα;

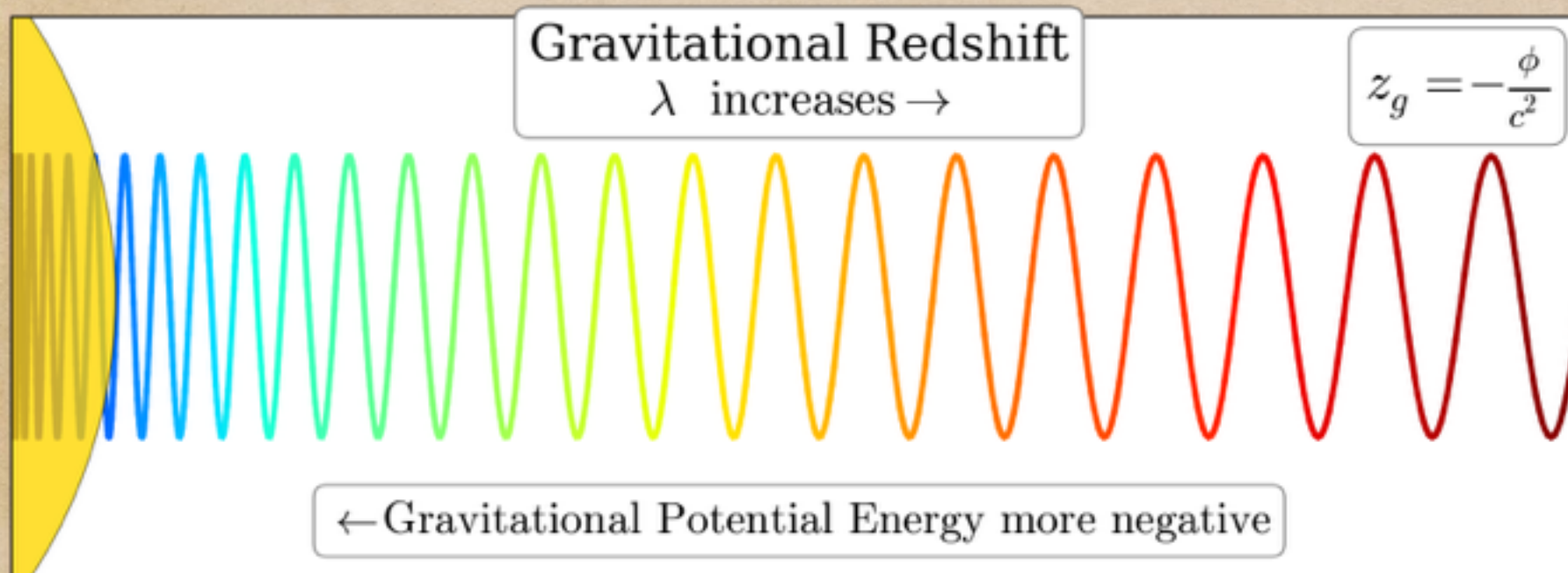
Νευτώνεια Φυσική	Ειδική Σχετικότητα	Γενική Σχετικότητα
• Αρχή της Σχετικότητας του Γαλιλαίου: Οι νόμοι της φύσης είναι ίδιοι για όλους τους αδρανειακούς παρατηρητές. • Χώρος και ο Χρόνος είναι απόλυτα μεγέθη. • Η βαρύτητα είναι μια δύναμη που δρα ακαριαία.	• Αρχή της Σχετικότητας • Η ταχύτητα του φωτός στο κενό είναι σταθερή • Χωροχρόνος Ο χωροχρόνος είναι επίπεδος και 4D	• Χωροχρόνος • Συμβατή με την Ειδική Σχετικότητα • <u>Αρχή της ισοδυναμίας του Einstein</u> • Η καμπυλότητα του χωροχρόνου είναι η βαρύτητα • Η ύλη καμπυλώνει τον χωροχρόνο και ο χωροχρόνος οδηγεί την κίνηση της ύλης

Γενική Σχετικότητα

Η νέα θεωρία βαρύτητας

Οι 3 αρχικές προβλέψεις της θεωρίας:

1. Βαρυτική ερυθρομετάθεση του φωτός



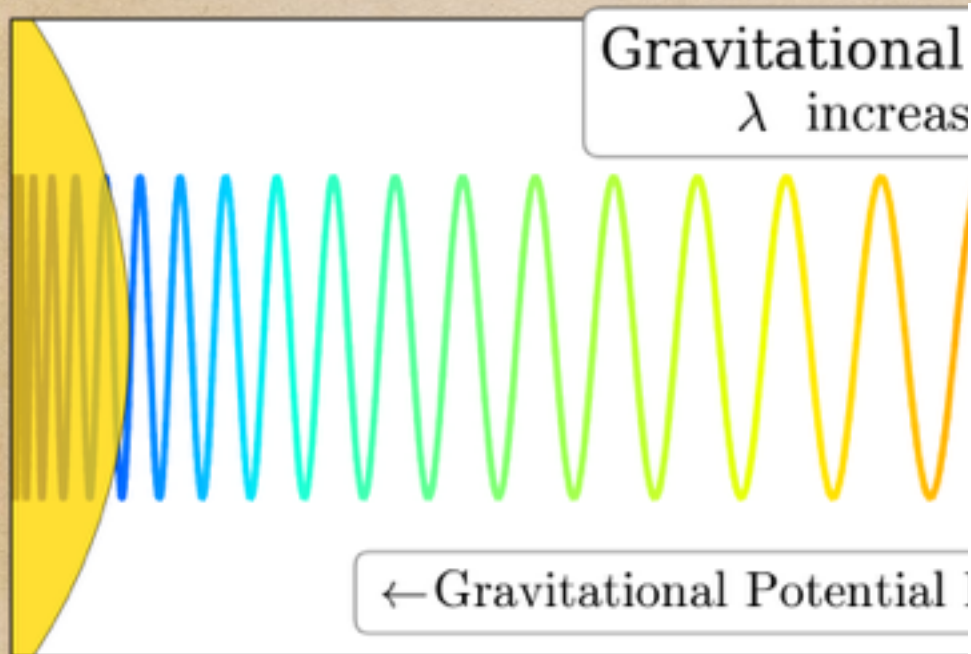
Το φως που
δραπετεύει από
ένα άστρο ή
κάποιο άλλο
σώμα με
ισχυρό
βαρυτικό πεδίο
χάνει ενέργεια.

Γενική Σχετικότητα

Η νέα θεωρία βαρύτητας

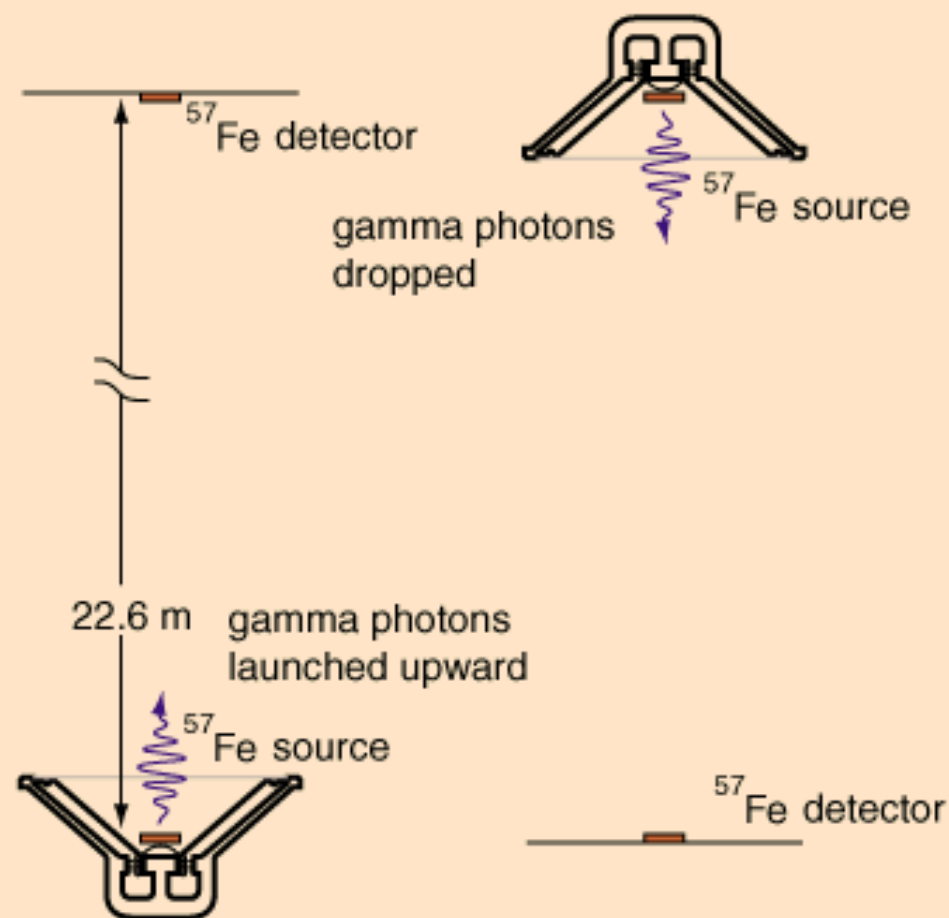
Οι 3 αρχικές προβλέψεις της θεωρίας:

1. Βαρυτική ερυθρομετάθεση του φωτός



Τελικά μετρήθηκε με φωτόνια γάμα στο εργαστήριο στο πεδίο της Γη (Pound&Rebka).

Harvard Tower Experiment



In just 22.6 meters, the fractional gravitational red shift given by

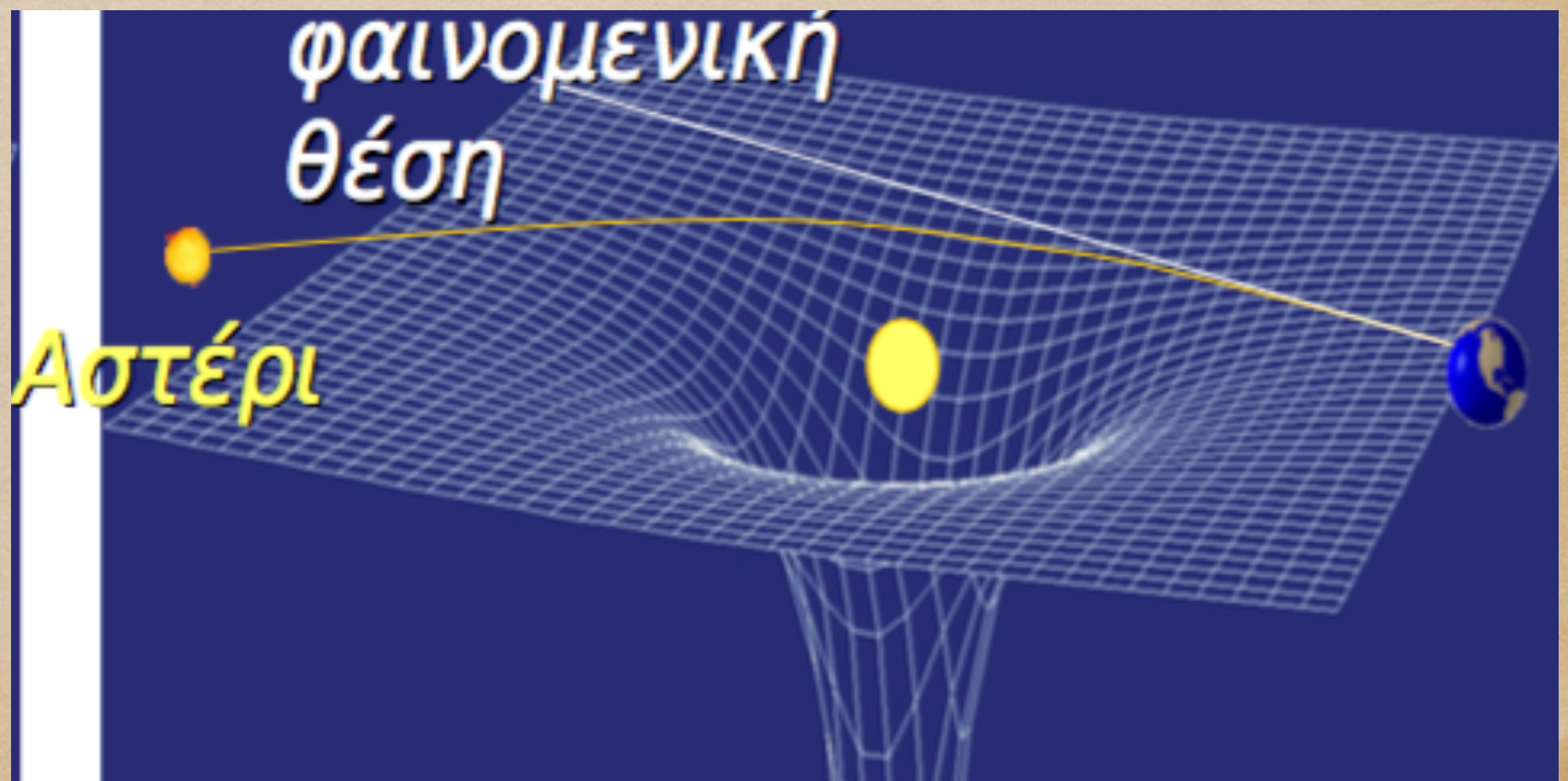
$$\nu = \nu_0 \left[1 + \frac{gh}{c^2} \right]$$

is just 4.92×10^{-15} , but the Mössbauer effect with the 14.4 keV gamma ray from iron-57 has a high enough resolution to detect that difference. In the early 60's physicists Pound, Rebka, and Snyder at the Jefferson Physical Laboratory at Harvard measured the shift to within 1% of the predicted shift.

Γενική Σχετικότητα

Η νέα θεωρία βαρύτητας

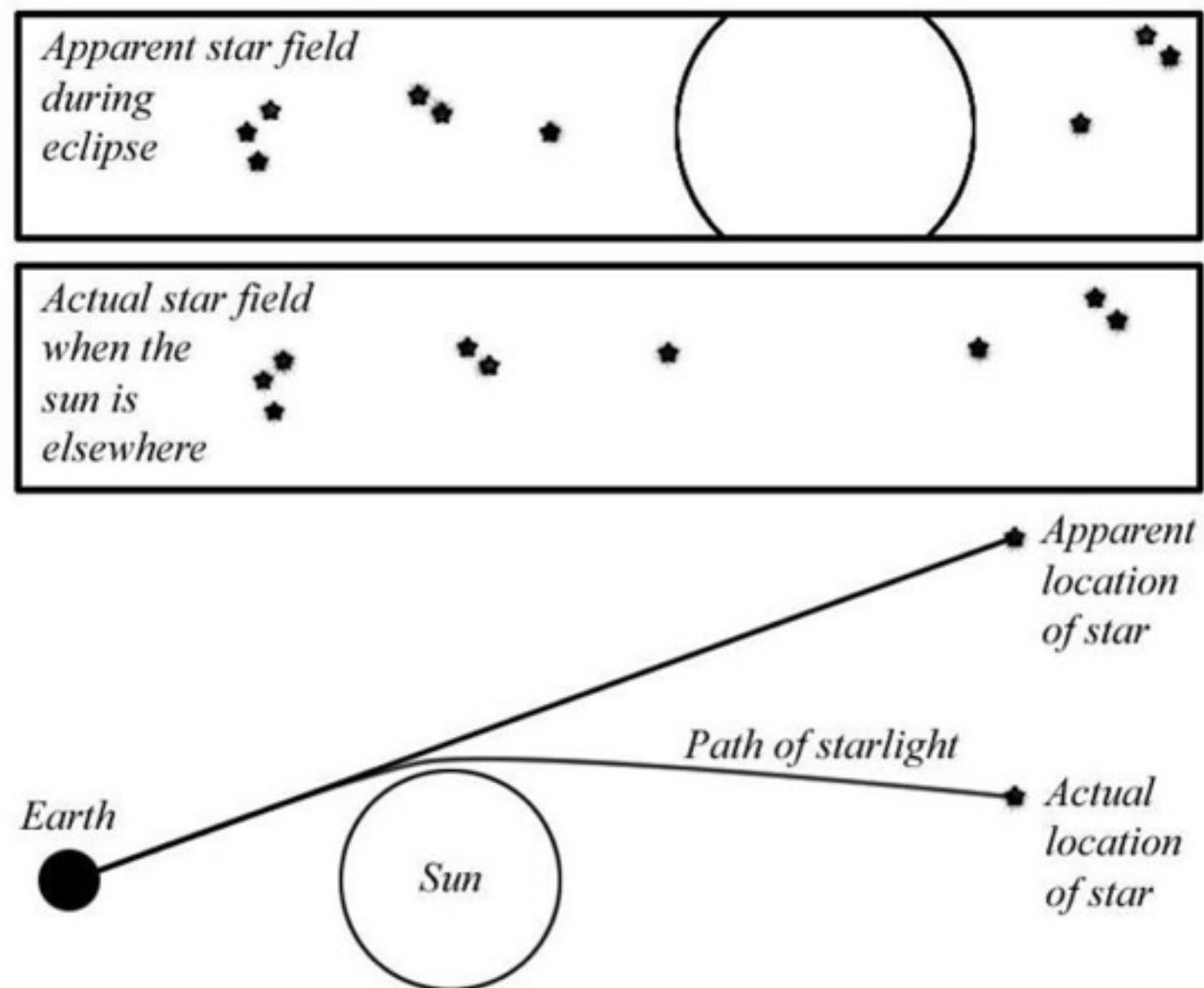
Οι 3 αρχικές προβλέψεις της θεωρίας:
2. Καμπύλωση της τροχιάς του φωτός



Γενική Σχετικότητα

Η νέα θεωρία βαρύτητας

Οι 3 αρχικές προβλέψεις της θεωρίας:
2. Καμπύλωση της τροχιάς του φωτός



Γενική Σχετικότητα

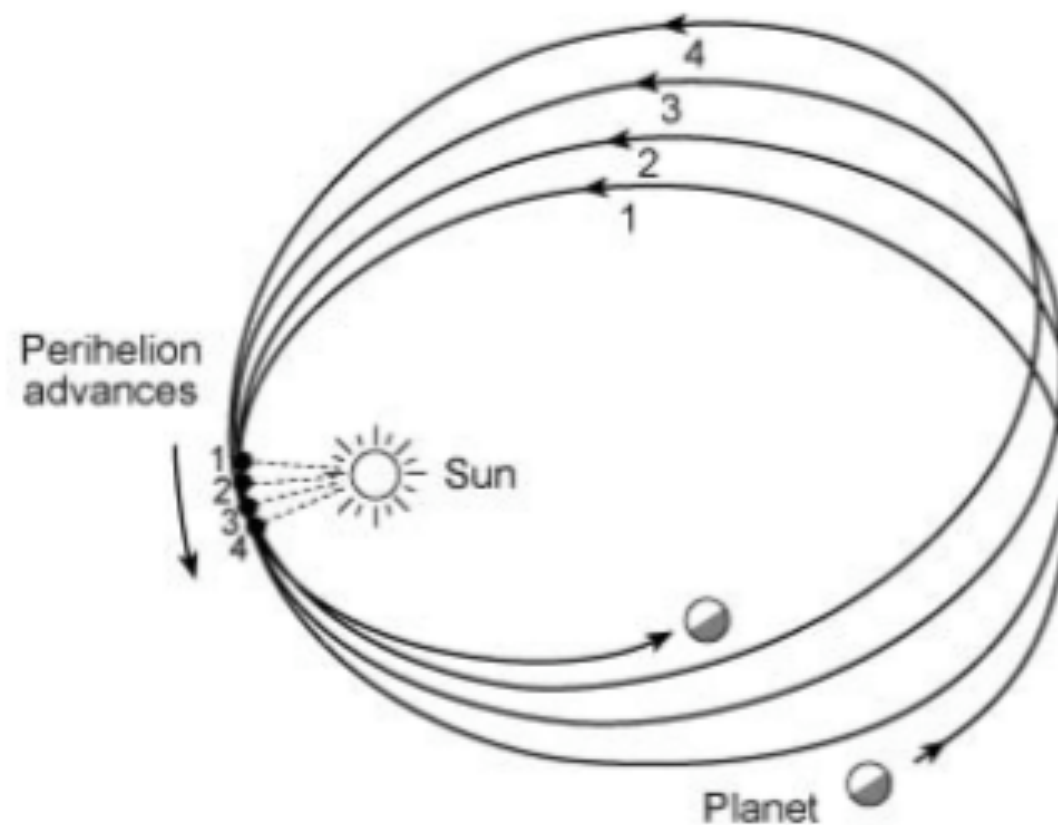
Η νέα θεωρία βαρύτητας

Οι 3 αρχικές προβλέψεις της θεωρίας:

3. Μετάπτωση του περιηλίου του Ερμή

Παρατήρηση: $43.0''/\text{αιώνα}$
ΓΘΣ: $42.9''/\text{αιώνα}$

Η Νευτώνεια θεωρία προβλέπει μετάπτωση του περιηλίου εξαιτίας των παρέλξεων από τους υπόλοιπους πλανήτες ($\sim 574.1''/\text{αιώνα}$). Οι παρατηρήσεις όμως του Le Verrier ξεπερνούσαν το αναμενόμενο κατά $43''/\text{αιώνα}$



Γενική Σχετικότητα
Η νέα θεωρία βαρύτητας

Οι 3 αρχικές προβλέψεις της θεωρίας:

Γενική Σχετικότητα

Η νέα θεωρία βαρύτητας

Οι 3 αρχικές προβλέψεις της θεωρίας:

* Οι πρώτες προσπάθειες ανάπτυξης της Γενικής Σχετικότητας ξεκινάνε από το 1907.

Γενική Σχετικότητα Η νέα θεωρία βαρύτητας

Οι 3 αρχικές προβλέψεις της θεωρίας:

- * Οι πρώτες προσπάθειες ανάπτυξης της Γενικής Σχετικότητας ξεκινάνε από το 1907.
- * Από την αρχή της ισοδυναμίας του Einstein, προκύπτει η ιδέα της **βαρυτικής ερυθρομετάθεσης** (1907). Οι αστρονόμοι είναι διστακτικοί να μετρήσουν το φαινόμενο στα Ηλιακά φάσματα, αν και το παρατηρούν. Τελικά, ο **Charles Everard St. John** μετρά την ερυθρομετάθεση στον Ήλιο το 1921.

Γενική Σχετικότητα Η νέα θεωρία βαρύτητας

Οι 3 αρχικές προβλέψεις της θεωρίας:

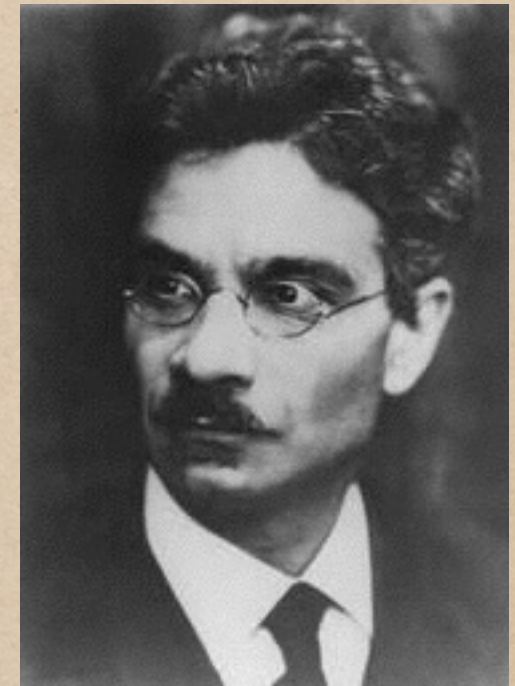
- * Οι πρώτες προσπάθειες ανάπτυξης της Γενικής Σχετικότητας ξεκινάνε από το 1907.
- * Από την αρχή της ισοδυναμίας του Einstein, προκύπτει η ιδέα της **βαρυτικής ερυθρομετάθεσης** (1907). Οι αστρονόμοι είναι διστακτικοί να μετρήσουν το φαινόμενο στα Ηλιακά φάσματα, αν και το παρατηρούν. Τελικά, ο **Charles Everard St. John** μετρά την ερυθρομετάθεση στον Ήλιο το 1921.
- * Πάλι από την αρχή της ισοδυναμίας και πριν να έχει μια ολοκληρωμένη θεωρία, ο Einstein προτείνει την ιδέα της **εκτροπή του φωτός** (1911), αλλά υπολογίζει το φαινόμενο στο μισό της πραγματικής του τιμής ($\sim 0.87''$), όσο προβλέπει και η Νευτώνεια θεωρία (Cavendish 1784, Soldner 1804).

Γενική Σχετικότητα Η νέα θεωρία βαρύτητας

Εκτροπή του φωτός και εκλείψεις

Από το 1911 προτείνονται οι εκλείψεις ως πείραμα για την μέτρηση της εκτροπής.

Ο **Erwin Finlay-Freundlich** είναι ο πρώτος που ενδιαφέρεται για τη μέτρηση.



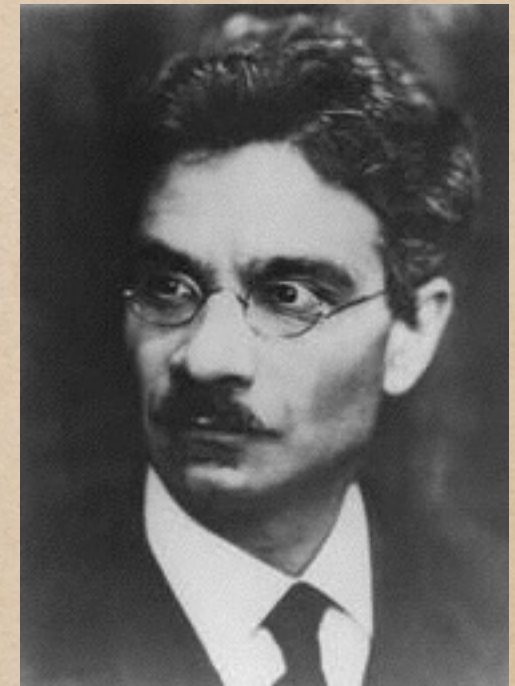
Γενική Σχετικότητα

Η νέα θεωρία βαρύτητας

Εκτροπή του φωτός και εκλείψεις

Από το 1911 προτείνονται οι εκλείψεις ως πείραμα για την μέτρηση της εκτροπής.

Ο **Erwin Finlay-Freundlich** είναι ο πρώτος που ενδιαφέρεται για τη μέτρηση.



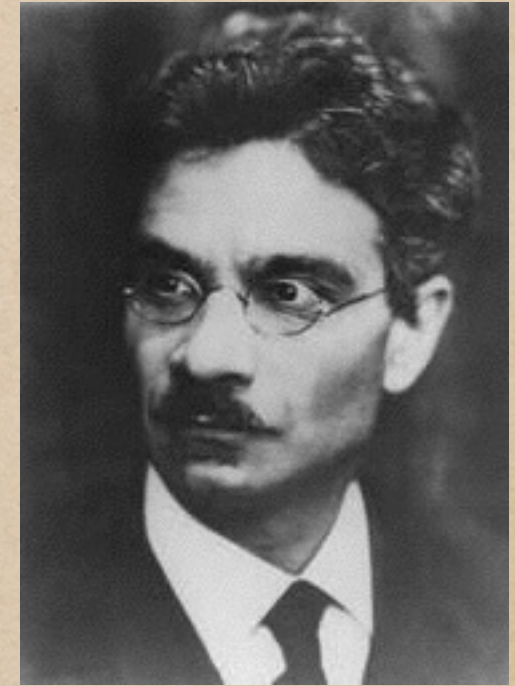
Θα προσπαθήσει να παρατηρήσει την έκλειψη του 1914 στην Κριμαία, αλλά θα ξεσπάσει ο 1ος ΠΠ και θα βρεθεί κρατούμενος των Ρώσων.

Γενική Σχετικότητα Η νέα θεωρία βαρύτητας

Εκτροπή του φωτός και εκλείψεις

Από το 1911 προτείνονται οι εκλείψεις ως πείραμα για την μέτρηση της εκτροπής.

Ο **Erwin Finlay-Freundlich** είναι ο πρώτος που ενδιαφέρεται για τη μέτρηση.



Θα προσπαθήσει να παρατηρήσει την έκλειψη του 1914 στην Κριμαία, αλλά θα ξεσπάσει ο 1ος ΠΠ και θα βρεθεί κρατούμενος των Ρώσων.

Το 1915 ο Einstein ολοκληρώνει τη Γενική Σχετικότητα και υπολογίζει τη σωστή τιμή για την εκτροπή ($\sim 1.75''$).

Παράλληλα υπολογίζει και την σωστή μετάπτωση του Ερμή.

Γενική Σχετικότητα
Η νέα θεωρία βαρύτητας

Εκτροπή του φωτός και εκλείψεις

Το ενδιαφέρον του **Freundlich**
ενεργοποιεί και άλλους αστρονόμους.
Ένας από αυτούς είναι και ο Αμερικάνος
William Wallace Campbell.



Γενική Σχετικότητα
Η νέα θεωρία βαρύτητας

Εκτροπή του φωτός και εκλείψεις

Το ενδιαφέρον του **Freundlich**
ενεργοποιεί και άλλους αστρονόμους.
Ένας από αυτούς είναι και ο Αμερικάνος
William Wallace Campbell.

Ο Campbell ήταν με τον Freundlich το
1914 στην Κριμαία, ενώ θα προσπαθήσει
ξανά να μετρήσει την εκτροπή του φωτός
κατά την έκλειψη του 1918 που ήταν ορατή στις ΗΠΑ.



Γενική Σχετικότητα
Η νέα θεωρία βαρύτητας

Εκτροπή του φωτός και εκλείψεις

Το ενδιαφέρον του **Freundlich** ενεργοποιεί και άλλους αστρονόμους. Ένας από αυτούς είναι και ο Αμερικάνος **William Wallace Campbell**.

Ο Campbell ήταν με τον Freundlich το 1914 στην Κριμαία, ενώ θα προσπαθήσει ξανά να μετρήσει την εκτροπή του φωτός κατά την έκλειψη του 1918 που ήταν ορατή στις ΗΠΑ.

Ο Campbell είχε προσπαθήσει να παρατηρήσει σε διάφορες εκλείψεις και τον πλανήτη Vulcan.



Γενική Σχετικότητα Η νέα θεωρία βαρύτητας

Εκτροπή του φωτός και εκλείψεις

PUBLICATIONS
OF THE
Astronomical Society of the Pacific.
Vol. XXX. San Francisco, California, August, 1918 No. 176

THE CROCKER ECLIPSE EXPEDITION FROM THE LICK
OBSERVATORY, UNIVERSITY OF CALIFORNIA
JUNE 8, 1918

BY W. W. CAMPBELL

The Lick Observatory had been hoping and fully expecting to observe the total eclipse of June 8, 1918, but plans as to instruments and observing program were held in abeyance until late in March, 1917, owing to uncertainty as to available instruments. As the readers of these *Publications* know, the extensive eclipse equipment of the Lick Observatory had to be left in Russia following the total eclipse of August 21, 1914. Thru the courtesy of the late Professor Backlund, Director of the National Russian Observatory at Pulkowa, and the kindly interest of General Nicolskoy, a high official of the Russian Government stationed in Kiev, our eclipse instruments and supplies were transported from Kiev via Moscow to Pulkowa, and stored there pending the termination of the war.



ος.
κάνος

ι το
ιθήσει
φωτός

ιν ορατή στις ΗΠΑ.

αρατηρήσει σε διάφορες

Γενική Σχετικότητα Η νέα θεωρία βαρύτητας

Εκτροπή του φωτός και εκλείψεις

PUBLICATIONS OF THE Astronomical Society of the Pacific.

Vol. XXX. San Francisco, California, August, 1918 No. 176

THE CROCKER ECLIPSE EXPEDITION FROM THE LICK OBSERVATORY, UNIV

JUNI
BY W. V

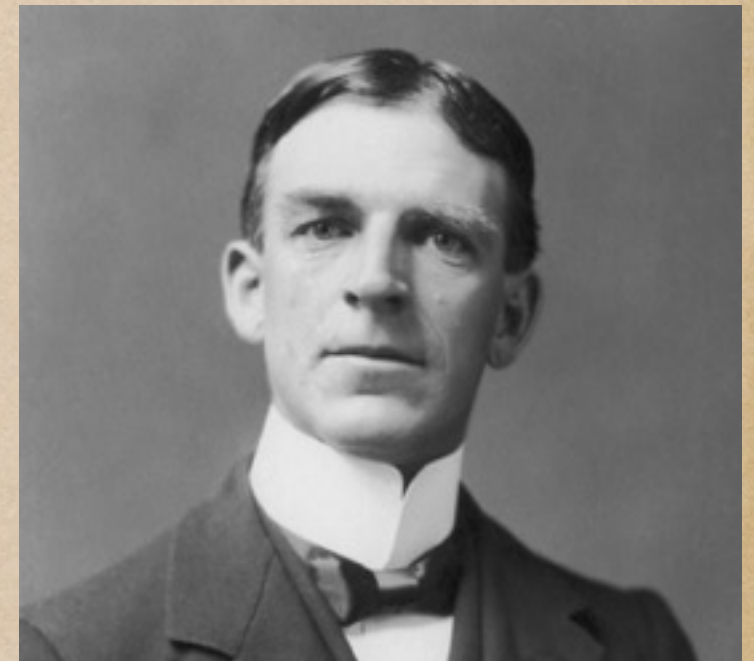
The Lick Observatory had been organized to observe the total eclipse of June 1917, and observing program were held in 1917, owing to uncertainty as to the time of the eclipse. The members of the Lick Observatory expedition to observe the total eclipse of August 21, 1918, were Professor Backlund, Director of the Observatory at Pulkowa, and the kindly assistance of the Russian Government in providing instruments and supplies were secured at Pulkowa, and stored there.

VULCAN AND EINSTEIN-EFFECT CAMERAS

H. D. Curtis, Observer; J. E. Hoover, Operating Exposing Shutters

The two Chabot photographic lenses, aperture 4 inches and focal length 15 feet, were attached to a polar axis of the well-known box form, shown, at the right, in Figure 3. The tubes for these were constructed of wood at the eclipse station by Mr. Hoover. They were mounted with their axes parallel to each other and pointing to the center of the Sun. The $4\frac{1}{4}$ inch aperture, 15 feet focus photographic lens, belonging to the Observatory, and one of the so-called Vulcan lenses, aperture 3 inches, focal length 11 feet 4 inches, were provided with suitable tubes and mounted on the same polar axis.

ος.
κάνος



Γενική Σχετικότητα Η νέα θεωρία βαρύτητας

Εκτροπή του φωτός και εκλείψεις

PUBLICATIONS
OF THE
Astronomical Society of the Pacific.

Vol. XXX. San Francisco, California, August, 1918 No. 176

THE CROCKER ECLIPSE EXPEDITION FROM THE LICK
OBSERVATORY, UNIV

JUNI
By W. V

The Lick Observatory had been selected to observe the total eclipse of June 1917, and observing program were held in 1917, owing to uncertainty as to the time of the eclipse. The members of the Lick Observatory expedition to observe the total eclipse of August 21, 1917, were Professor Backlund, Director of the observatory at Pulkowa, and the kindly in charge of the Russian Government. The instruments and supplies were sent to Pulkowa, and stored there in

VULCAN AND I
H. D. Curtis, Observer; J. D.

The two Chabot photographs, of length 15 feet, were attached to the camera in the form, shown, at the right, in a wooden frame constructed of wood at the eclipse site. The camera was mounted with their axes parallel to the center of the Sun. The $4\frac{1}{4}$ inch lens, belonging to the Observatory, aperture 3 inches, was provided with suitable tubes



alamy stock photo

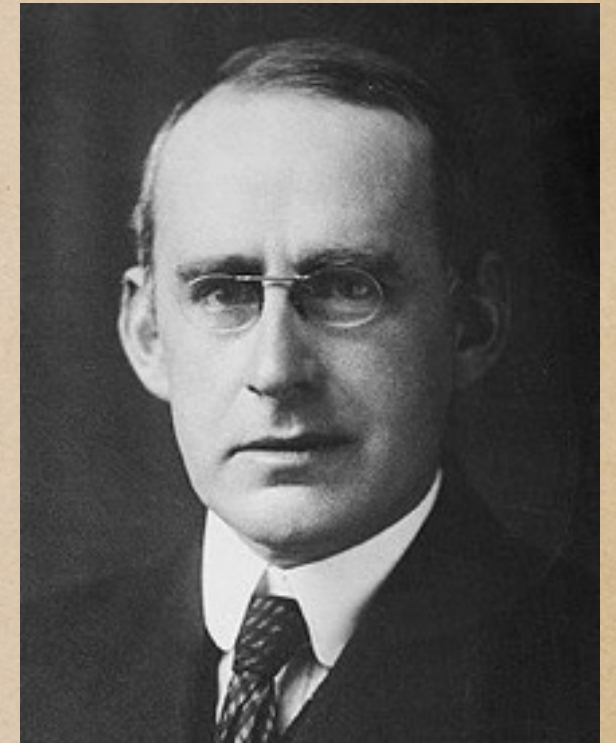
PM4JAW
www.alamy.com

Γενική Σχετικότητα
Η νέα θεωρία βαρύτητας

Εκτροπή του φωτός και εκλείψεις

Για την έκλειψη και την επαλήθευση της
Γενικής Σχετικότητας ενδιαφέρεται και ο
Arthur Stanley Eddington.

(Παρατηρητήριο του Cambridge)



Γενική Σχετικότητα
Η νέα θεωρία βαρύτητας

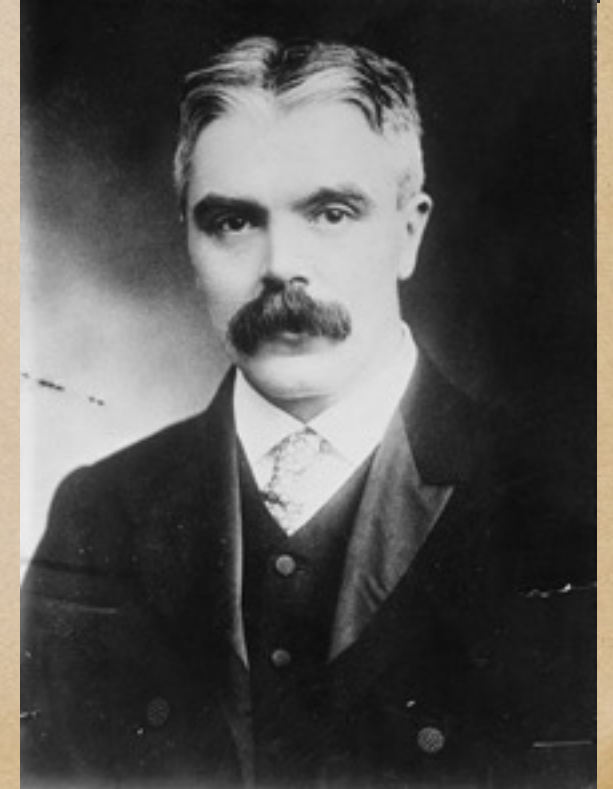
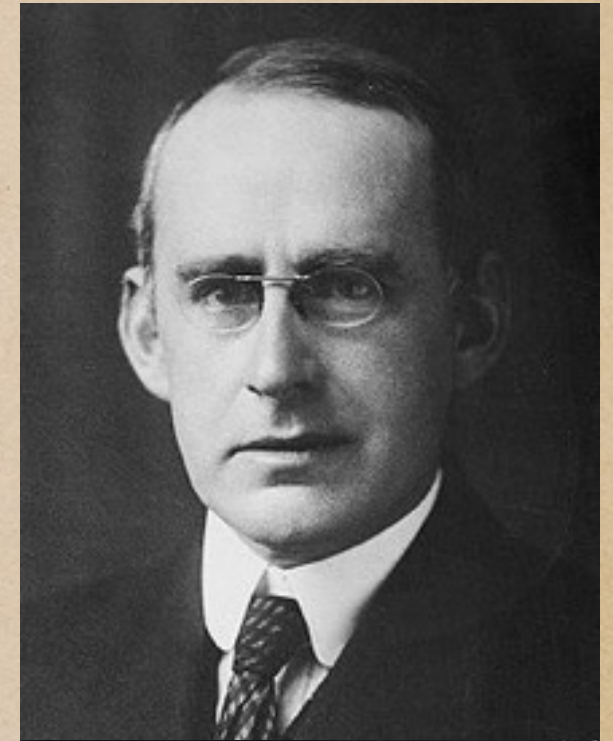
Εκτροπή του φωτός και εκλείψεις

Για την έκλειψη και την επαλήθευση της
Γενικής Σχετικότητας ενδιαφέρεται και ο
Arthur Stanley Eddington.

(Παρατηρητήριο του Cambridge)

Ο Eddington πείθει τον **Frank Watson
Dyson** που ήταν πρόεδρος της Βρετανικής
Μόνιμης Επιτροπής Εκλείψεων.

(και Astronomer Royal και διευθυντής του
Royal Greenwich Observatory)



Γενική Σχετικότητα
Η νέα θεωρία βαρύτητας

Εκτροπή του φωτός και εκλείψεις

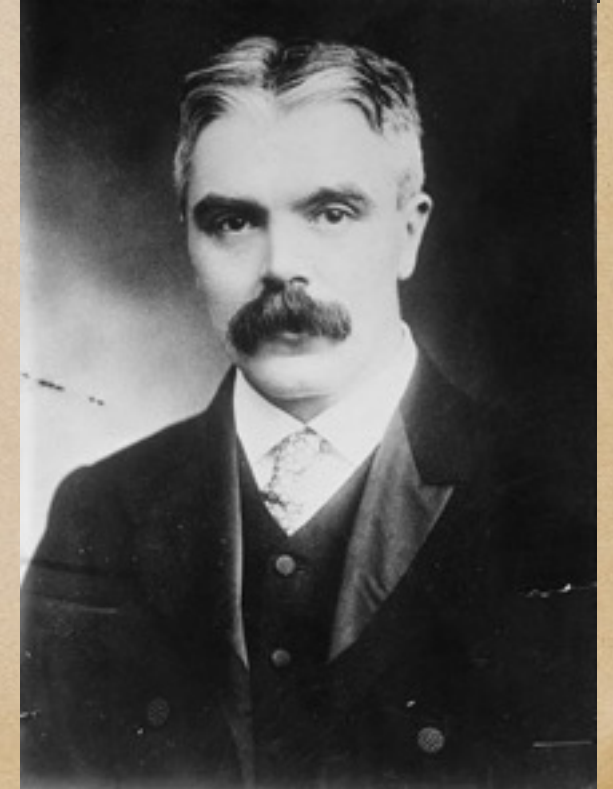
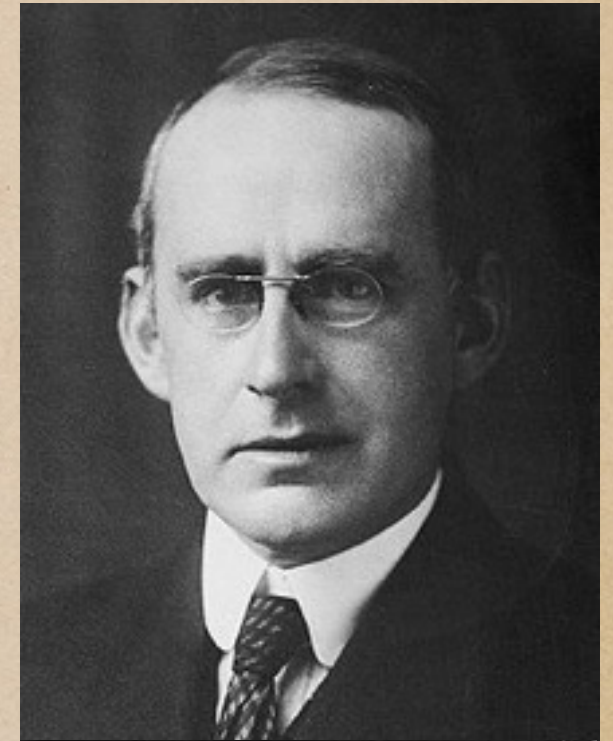
Για την έκλειψη και την επαλήθευση της
Γενικής Σχετικότητας ενδιαφέρεται και ο
Arthur Stanley Eddington.

(Παρατηρητήριο του Cambridge)

Ο Eddington πείθει τον **Frank Watson
Dyson** που ήταν πρόεδρος της Βρετανικής
Μόνιμης Επιτροπής Εκλείψεων.

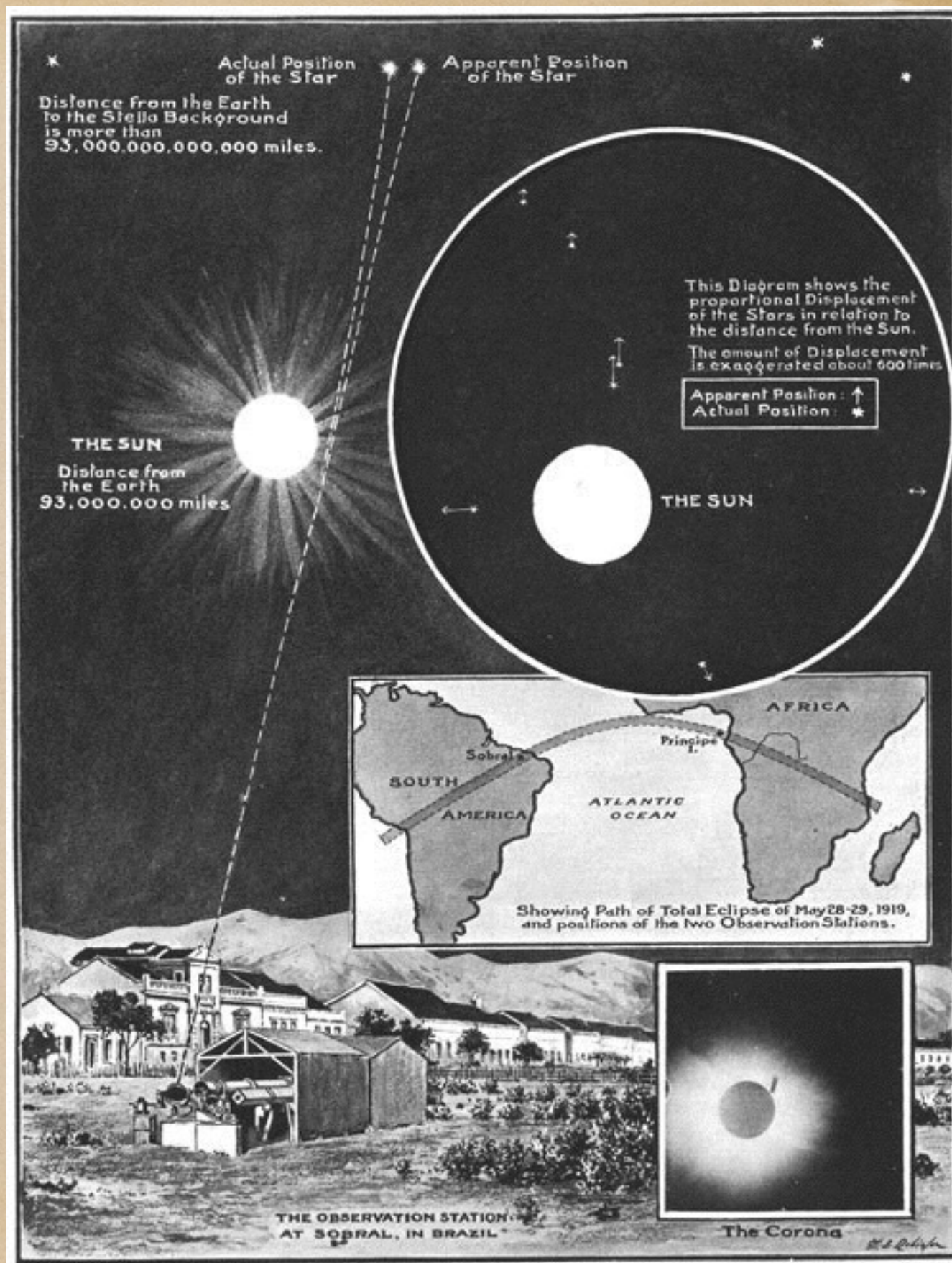
(και Astronomer Royal και διευθυντής του
Royal Greenwich Observatory)

Μαζί οργανώνουν την αποστολή του 1919.



Εκτροπή του φωτός

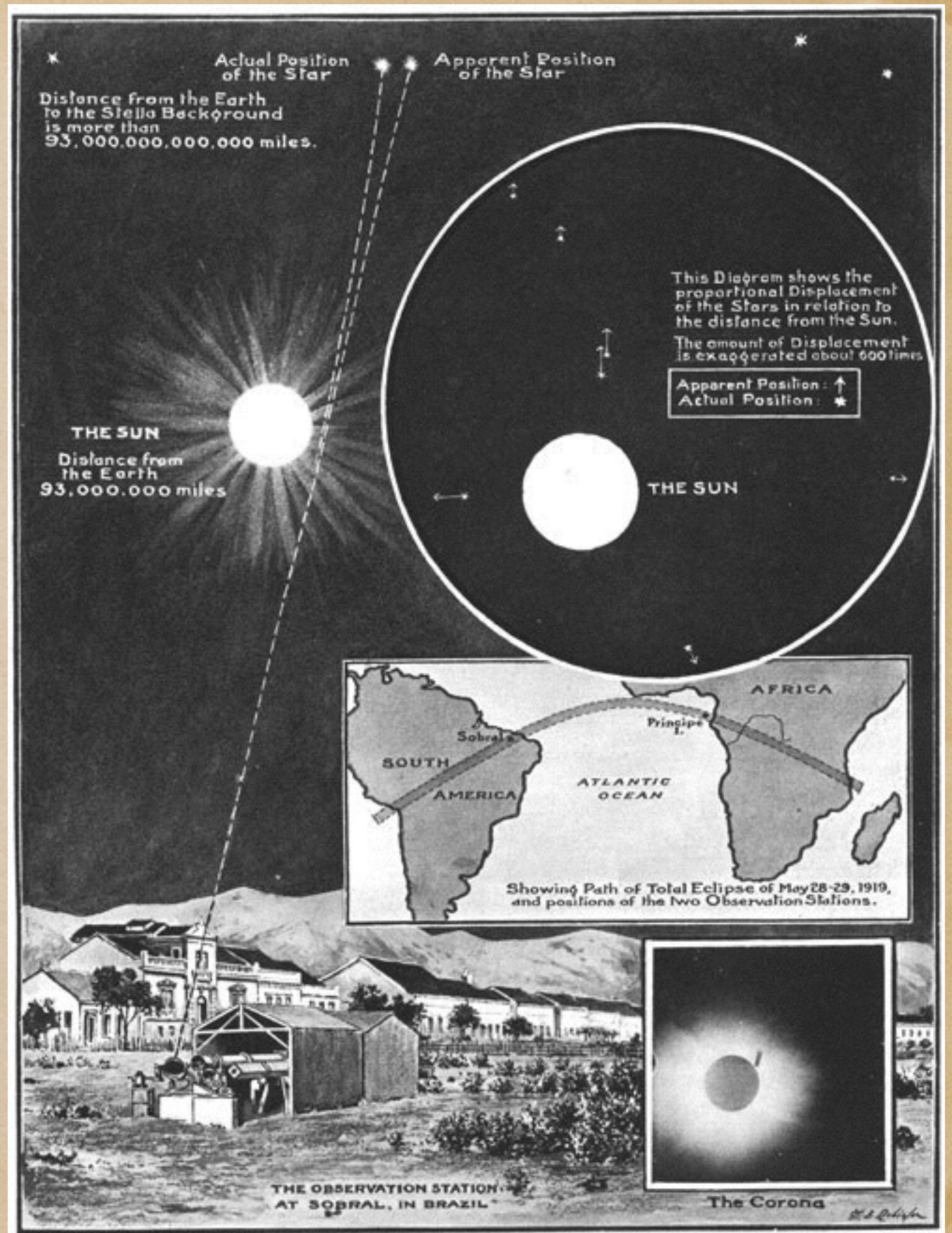
Οι αποστολές των
Eddington και **Dyson** και
η έκλειψη του 1919.



Εκτροπή του φωτός

Οι αποστολές των
Eddington και **Dyson** και
η έκλειψη του 1919.

Την αποστολή στο
Principe αναλαμβάνει το
Cambridge.

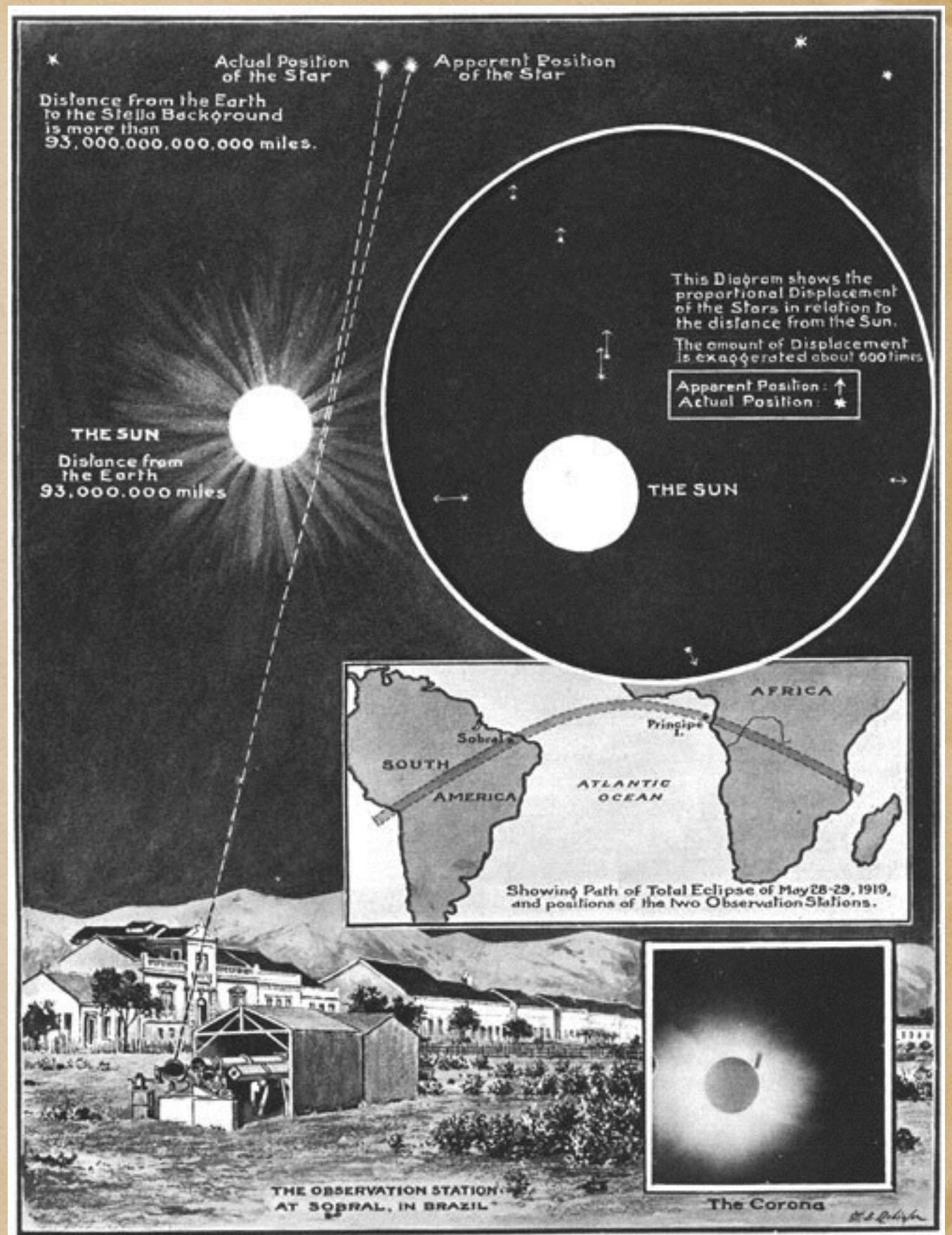


Εκτροπή του φωτός

Οι αποστολές των
Eddington και **Dyson** και
η έκλειψη του 1919.

Την αποστολή στο
Principe αναλαμβάνει το
Cambridge.

Την αποστολή στο **Sobral**
αναλαμβάνει το
Greenwich.



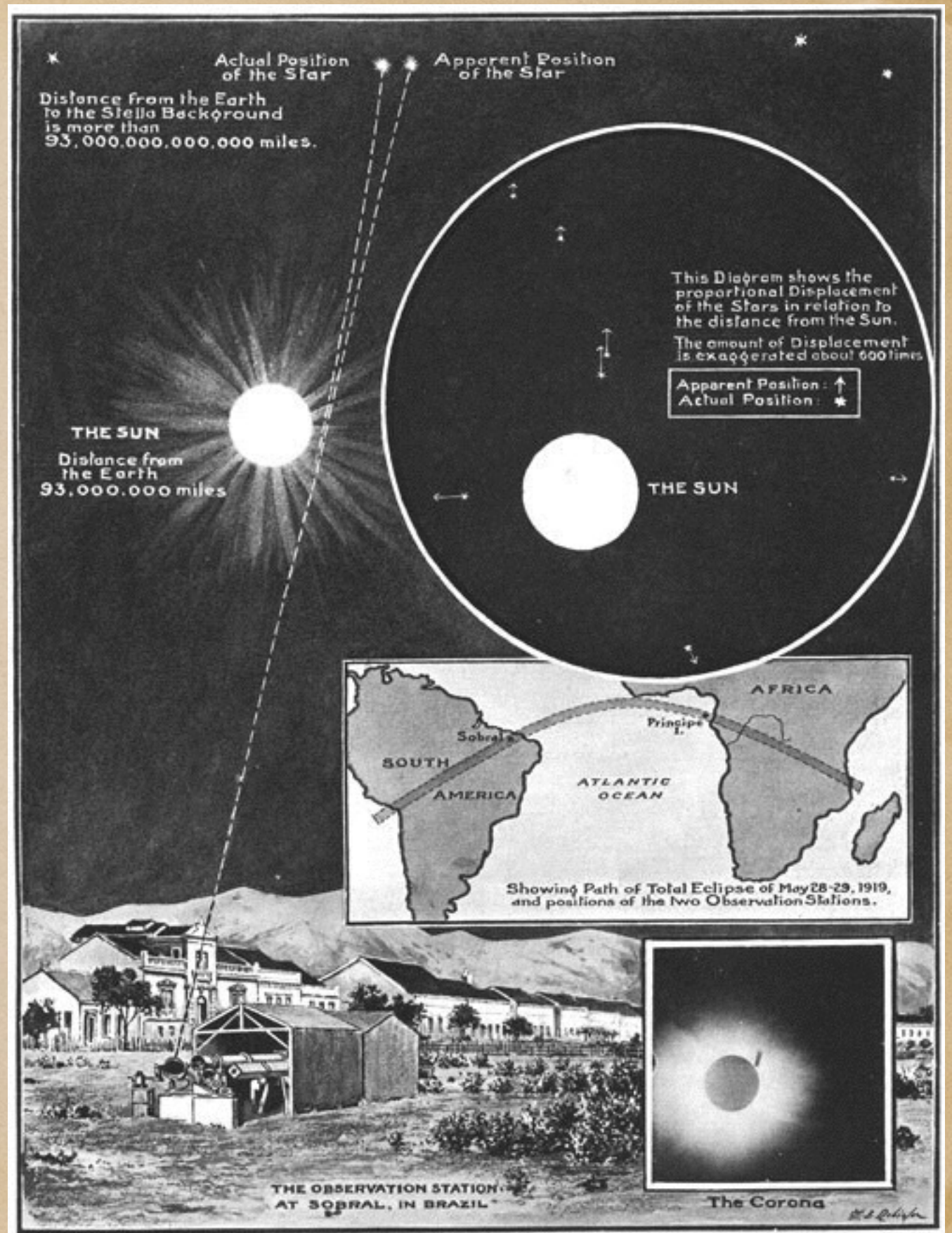
Εκτροπή του φωτός

Οι αποστολές των **Eddington** και **Dyson** και η έκλειψη του 1919.

Την αποστολή στο **Principe** αναλαμβάνει το **Cambridge**.

Την αποστολή στο **Sobral** αναλαμβάνει το **Greenwich**.

Στο **Sobral** είχαν προβλήματα με τον εξοπλισμό ενώ στο **Principe** με τον καιρό.



Εκτροπή του φωτός και εκλείψεις

The New York Times,
Νοέμβρης 1919

Μια από τις φωτογραφίες
του Eddington

LIGHTS ALL ASKEW IN THE HEAVENS

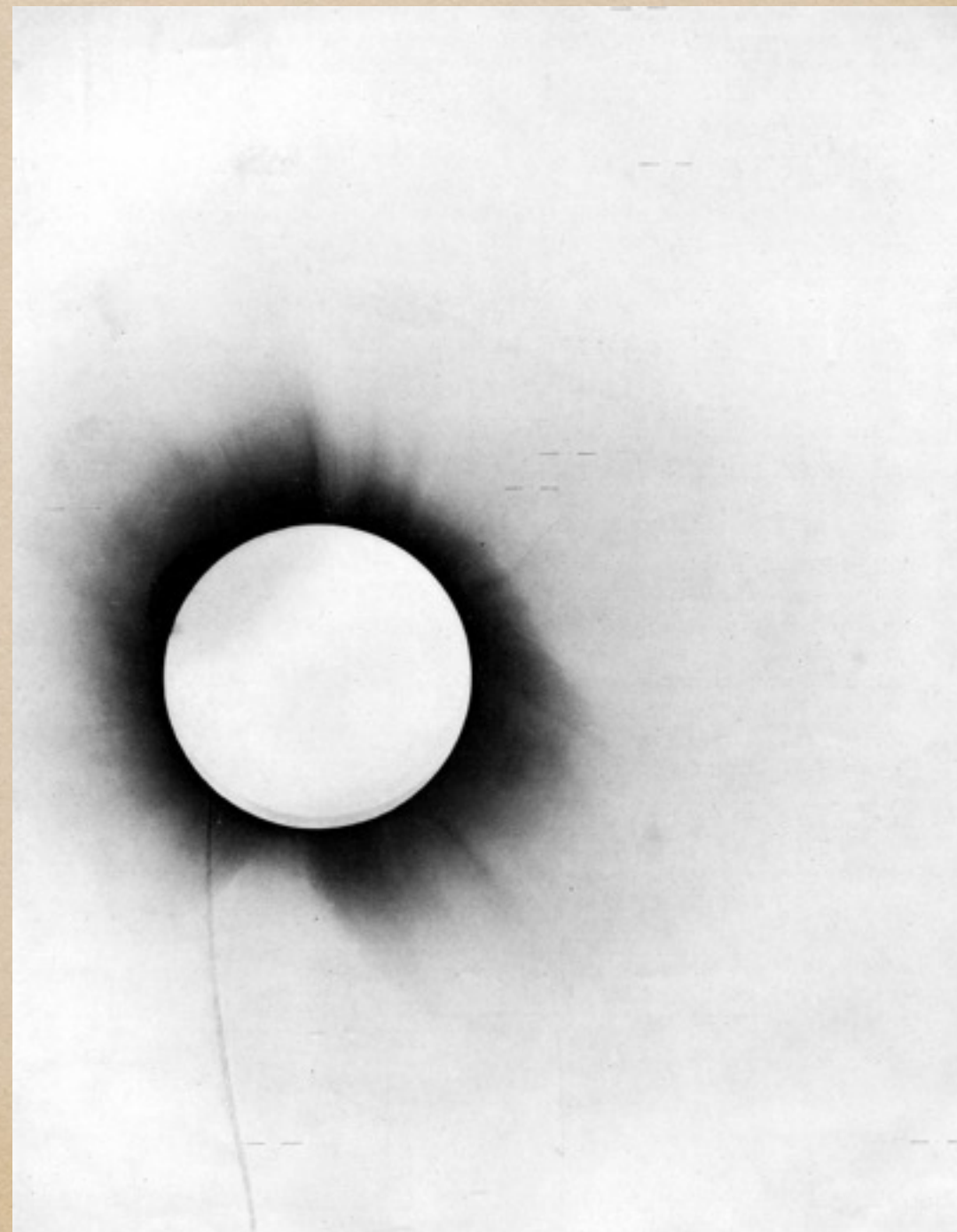
Men of Science More or Less
Agog Over Results of Eclipse
Observations.

EINSTEIN THEORY TRIUMPHS

Stars Not Where They Seemed
or Were Calculated to be,
but Nobody Need Worry.

A BOOK FOR 12 WISE MEN

No More in All the World Could
Comprehend It, Said Einstein When
His Daring Publishers Accepted It.



Εκτροπή του φωτός και εκλείψεις

Η μέτρηση της εκτροπής του φωτός επαναλαμβάνεται πολλές φορές μετά το 1919 σε επόμενες εκλείψεις.

Εκλειψη του 1922: Αυστραλοί και Αμερικάνοι (Campbell) επιβεβαιώνουν τα αποτελέσματα του 1919.

Εκλειψη του 1952: Αμερικανική αποστολή στο Σουδάν μετράει την εκτροπή να είναι $1.70''$ με σφάλμα $0.1''$

Εκλειψη του 1973: Αμερικάνικη αποστολή στη Μαυριτανία μετράει την εκτροπή να είναι 95% της θεωρητικής τιμής με σφάλμα 10%

Επανεξέταση των μετρήσεων του 1919 με σύγχρονες μεθόδους το 1979 βελτιώνει τα αρχικά αποτελέσματα του Eddington.

Εκτροπή του φωτός και εκλείψεις

Η μέτρηση της εκτροπής του φωτός επαναλαμβάνεται πολλές φορές μετά το 1919 σε επόμενες εκλείψεις.

Εκλειψη του 1922: Αυστραλοί και Αμερικάνοι (Campbell) επιβεβαιώνουν τα αποτελέσματα του 1919.

Εκλειψη του 1952: Αμερικανική αποστολή στο Σουδάν μετράει την εκτροπή να είναι $1.70'$ με σφάλμα $0.1'$

Εκλειψη του 1973: Αμερικάνικη αποστολή στη Μαυριτανία μετράει την εκτροπή να είναι 95% της θεωρητικής τιμής με σφάλμα 10%

Επανεξέταση των μεθόδους το 1979 Eddington.

A comparison of data

Instrument	1919 result	1979 result
4-inch lens	$1.98'' \pm 0.18''$	$1.90'' \pm 0.11''$
Astrographic lens	$0.93''$	$1.55'' \pm 0.34''$

Εκτροπή του φωτός

Με την ανάπτυξη της ραδιοαστρονομίας βρέθηκαν εναλλακτικοί τρόποι μέτρησης της εκτροπής του φωτός με ραδιοκύματα που δεν χρειάζονταν εκλείψεις.

Εκτροπή του φωτός

Με την ανάπτυξη της ραδιοαστρονομίας βρέθηκαν εναλλακτικοί τρόποι μέτρησης της εκτροπής του φωτός με ραδιοκύματα που δεν χρειάζονταν εκλείψεις.

VOLUME 75, NUMBER 8

PHYSICAL REVIEW LETTERS

21 AUGUST 1995

Measurement of the Solar Gravitational Deflection of Radio Waves Using Very-Long-Baseline Interferometry

D. E. Lebach,¹ B. E. Corey,² I. I. Shapiro,¹ M. I. Ratner,¹ J. C. Webber,^{2,*} A. E. E. Rogers,² J. L. Davis,¹
and T. A. Herring³

¹*Harvard-Smithsonian Center for Astrophysics, Cambridge, Massachusetts 02138*

²*Northeast Radio Observatory Corporation, Haystack Observatory, Westford, Massachusetts 01886*

³*Department of Earth, Atmospheric, and Planetary Sciences, Massachusetts Institute of Technology, Cambridge, Massachusetts 02139*

(Received 14 April 1995)

We made very-long-baseline-interferometry observations of the extragalactic radio sources 3C273B and 3C279 to measure the gravitational deflection of radio waves by the Sun. Cross-correlation of data recorded at antennas in California and Massachusetts at 2, 8, and 23 GHz during a ten-day period surrounding the October 1987 solar occultation of 3C279 yielded plasma-corrected group delays, from which we obtained $\gamma = 0.9996 \pm 0.0017$ (estimated standard error), corresponding to a gravitational deflection 0.9998 ± 0.0008 times that predicted by general relativity.

PACS numbers: 04.80.Cc, 95.85.Bh

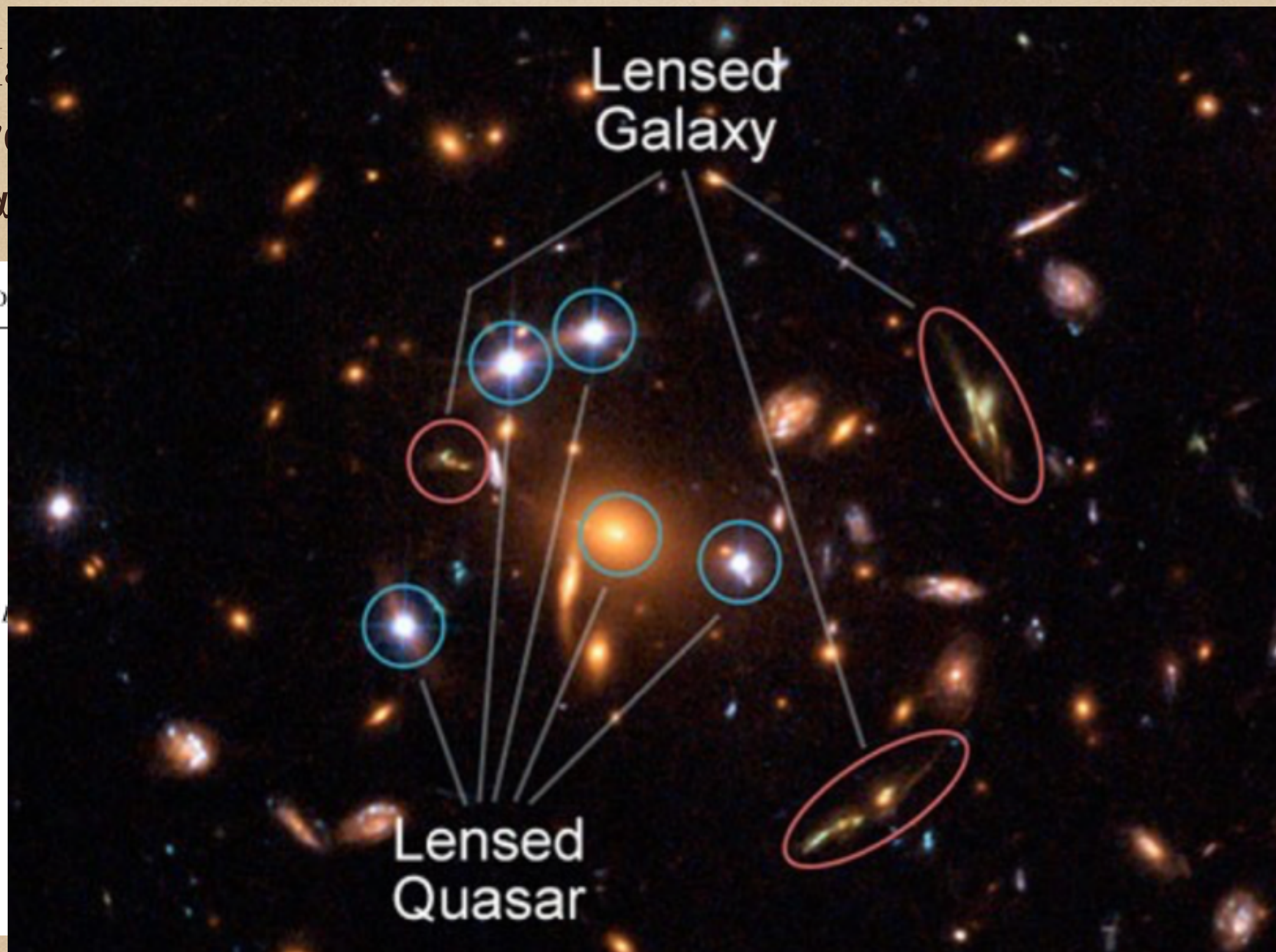
Εκτροπή του φωτός

Μα
εν
ρα

Vo

995

ttts



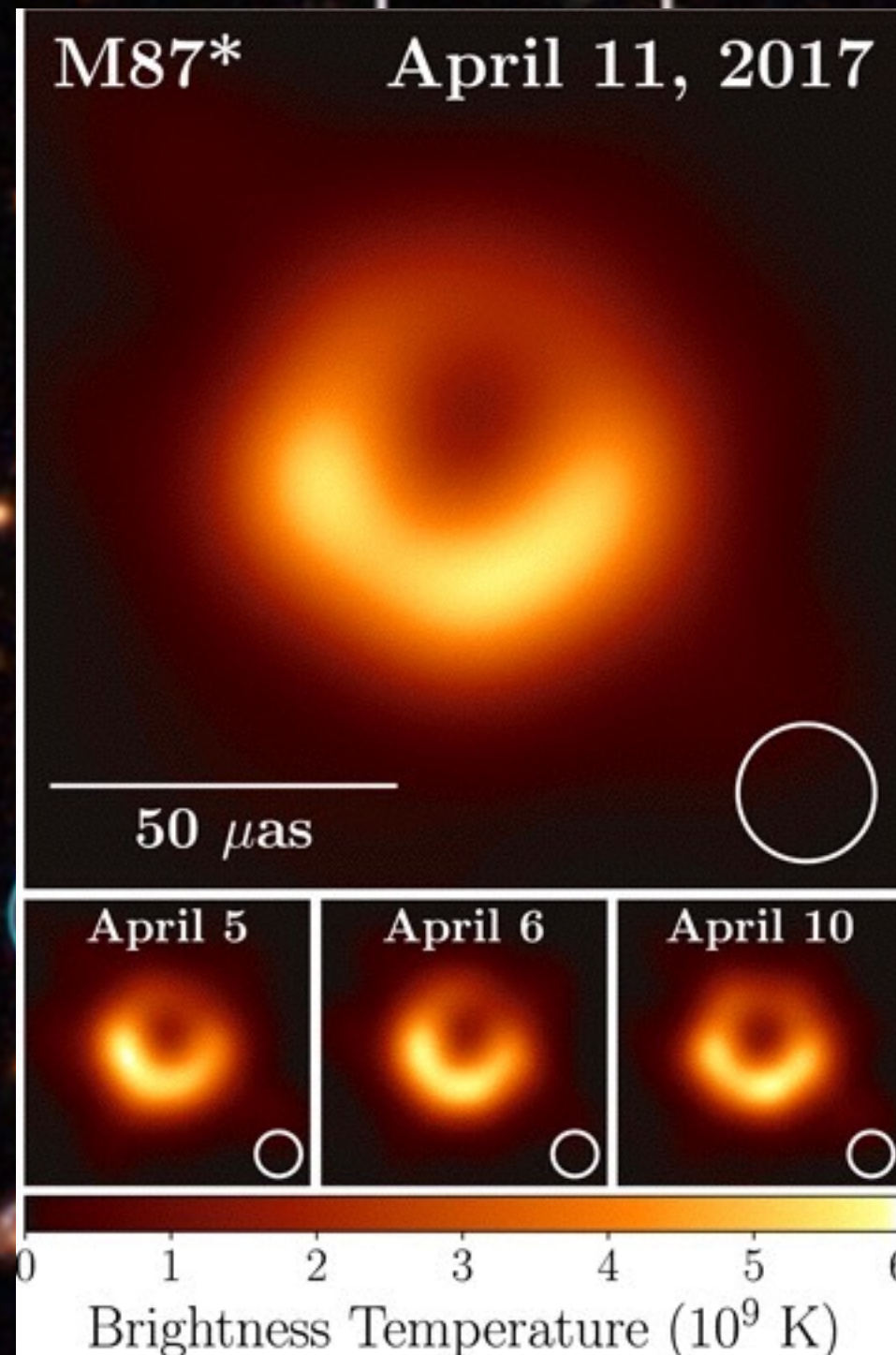
Εκτροπή του φωτός

Με
εν
ρα

Vo

995

ttts



Φαινόμενο Shapiro (το 4ο τεστ)

Και με τη βοήθεια των ραδιοκυμάτων υπάρχουν και άλλοι τρόποι να μετρήσουμε την επίδραση του πεδίου του Ήλιου στο φως. Ένας τέτοιος είναι η καθυστέρηση Shapiro.

Φαινόμενο Shapiro (το 4ο τεστ)

Και με τη βοήθεια των ραδιοκυμάτων υπάρχουν και άλλοι τρόποι να μετρήσουμε την επίδραση του πεδίου του Ήλιου στο φως. Ένας τέτοιος είναι η καθυστέρηση Shapiro.

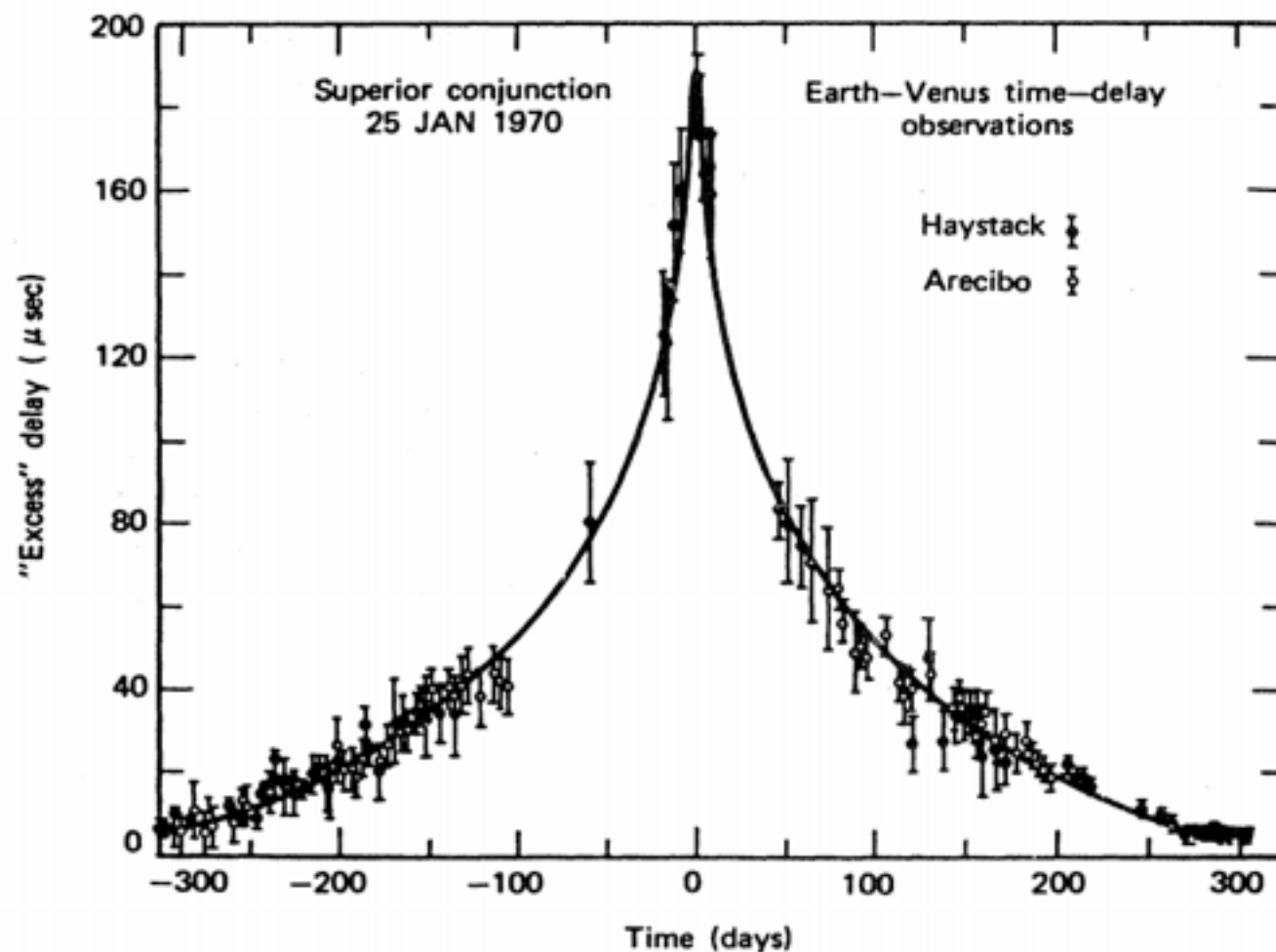
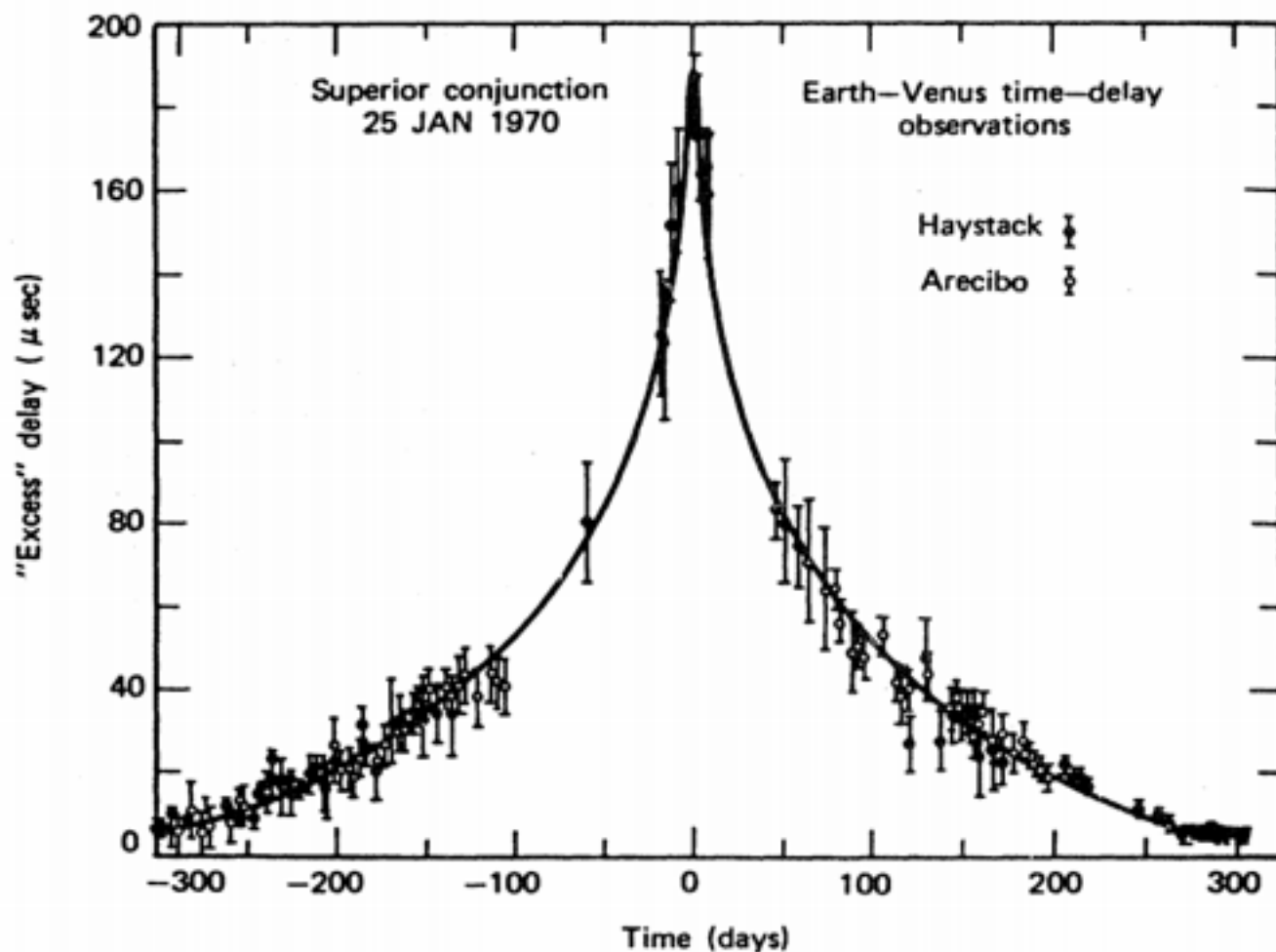


FIG. 8. Comparison of measured and predicted effects of general relativity on Earth-Venus time delays. After Shapiro, Ash, Ingalls, *et al.* (1971).

Φαινόμενο Shapiro (το 4ο τεστ)

Και με τη βοήθεια των ραδιοκυμάτων υπάρχουν και άλλοι τρόποι να μετρήσουμε την επίδραση του πεδίου του Ήλιου στο φως. Ένας τέτοιος είναι η καθυστέρηση Shapiro.

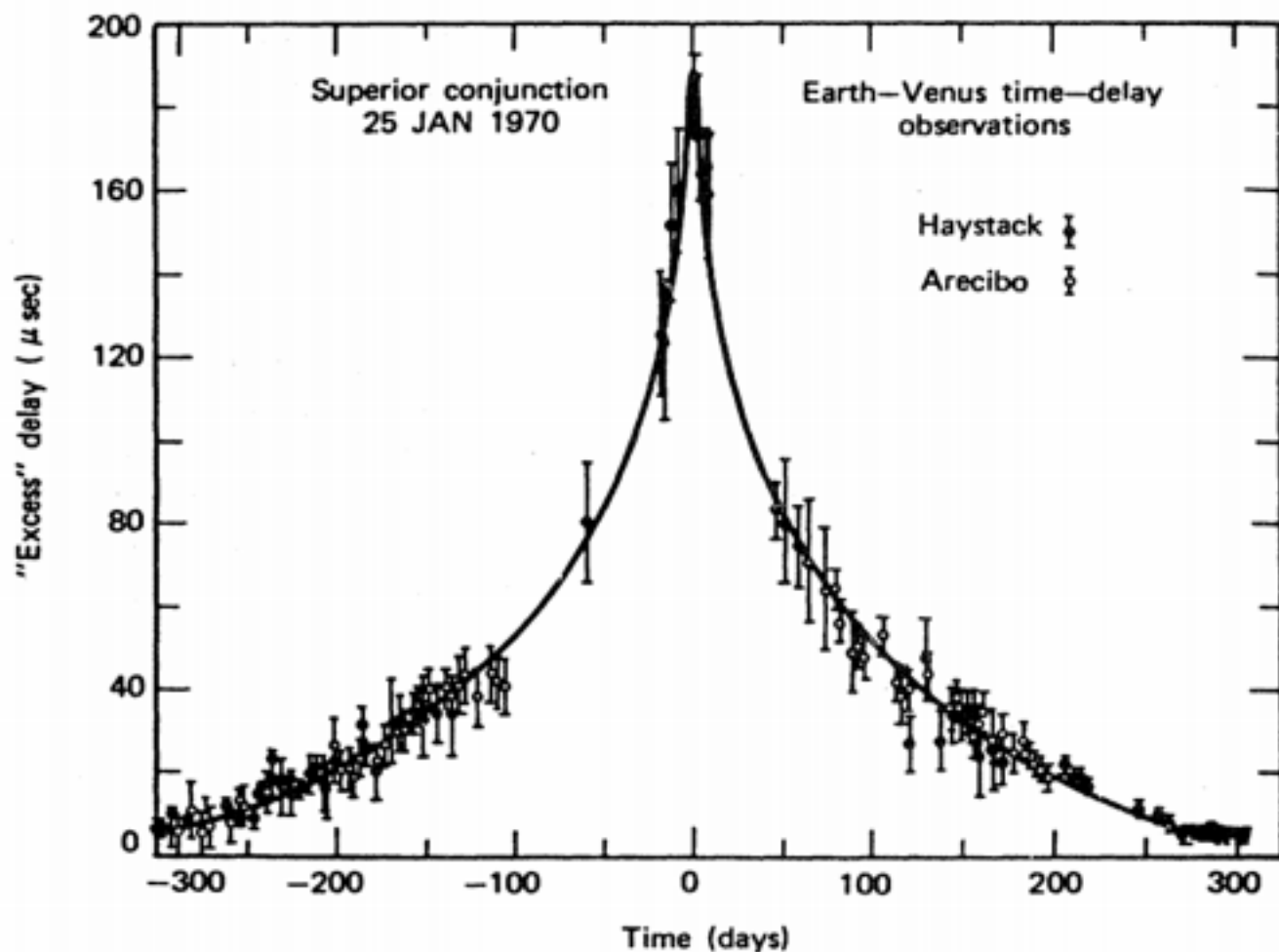


Οι μετρήσεις αυτές έχουν συγκριτικά πολύ καλή ακρίβεια.

FIG. 8. Comparison of measured and predicted effects of general relativity on Earth-Venus time delays. After Shapiro, Ash, Ingalls, *et al.* (1971).

Φαινόμενο Shapiro (το 4ο τεστ)

Και με τη βοήθεια των ραδιοκυμάτων υπάρχουν και άλλοι τρόποι να μετρήσουμε την επίδραση του πεδίου του Ήλιου στο φως. Ένας τέτοιος είναι η καθυστέρηση Shapiro.

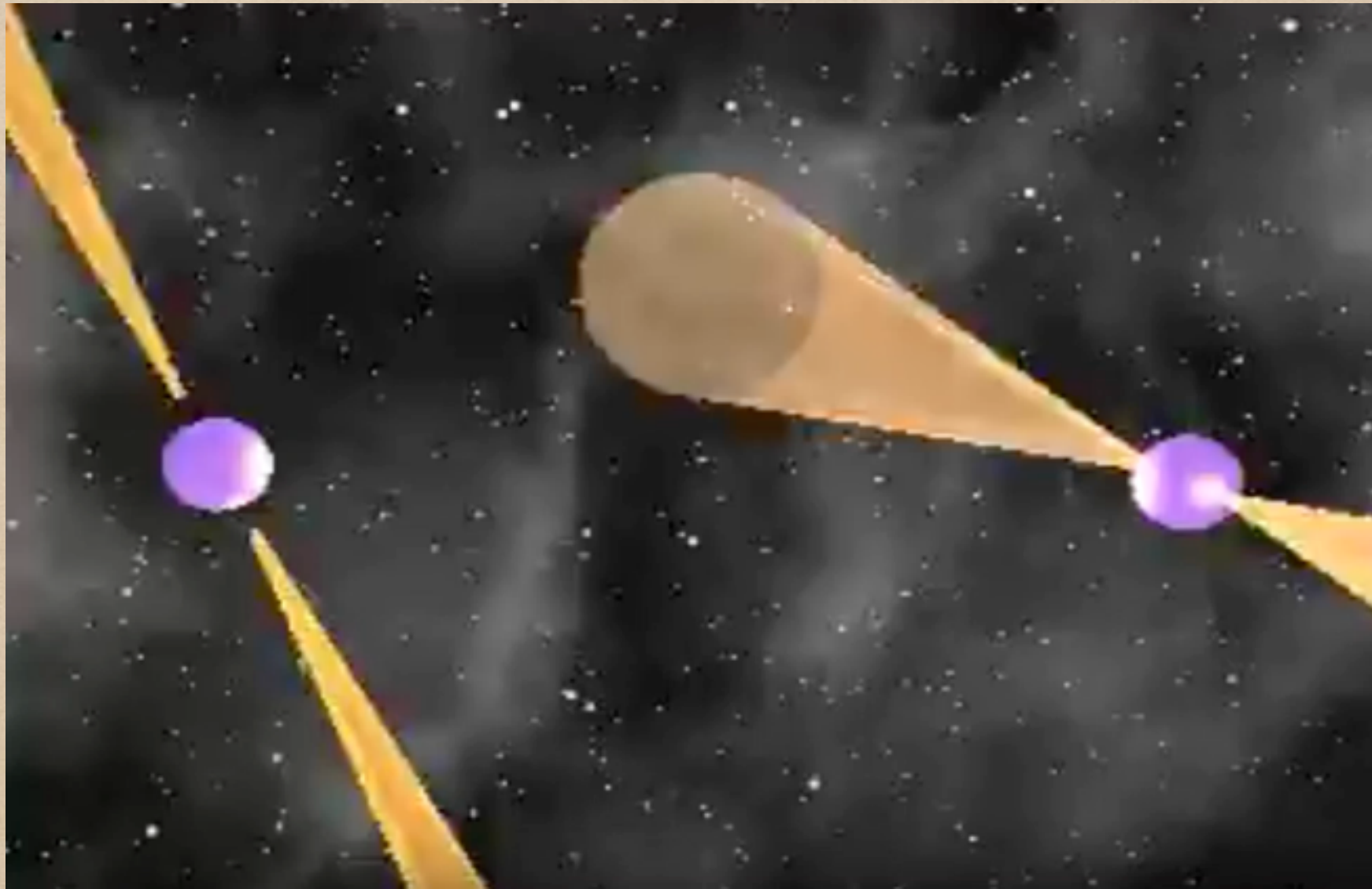


Οι μετρήσεις αυτές έχουν συγκριτικά πολύ καλή ακρίβεια.

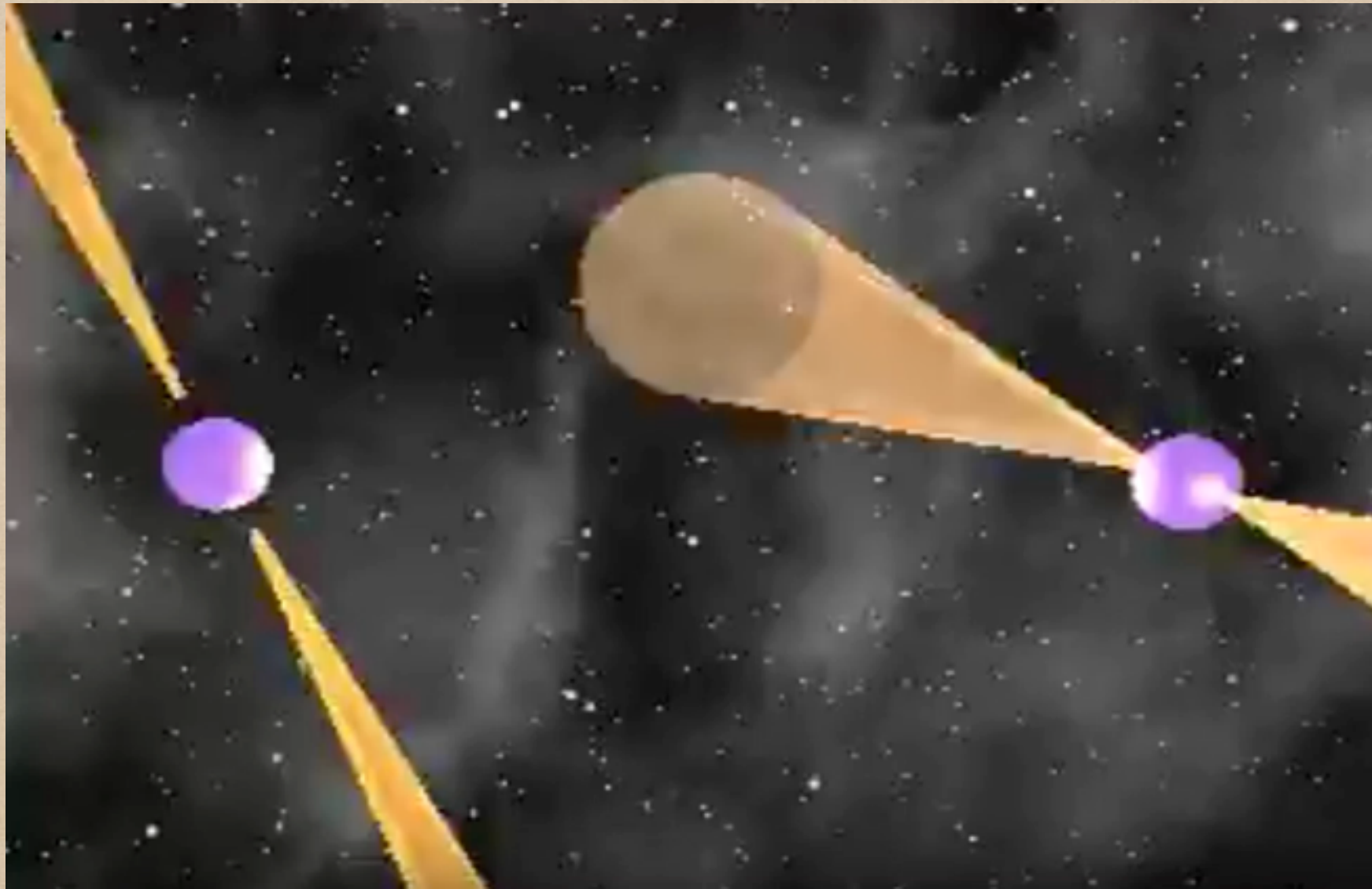
FIG. 8. Comparison of measured and predicted effects of general relativity on Earth-Venus time delays. After Shapiro, Ash, Ingalls, *et al.* (1971).

Τέτοιες μετρήσεις έχουν πραγματοποιηθεί τόσο με πλανήτες (Ερμής Αφροδίτη) όσο και με διαστημοσυσκευές.

Διπλοί πάλσαρς: η χαρά του πειραματικού

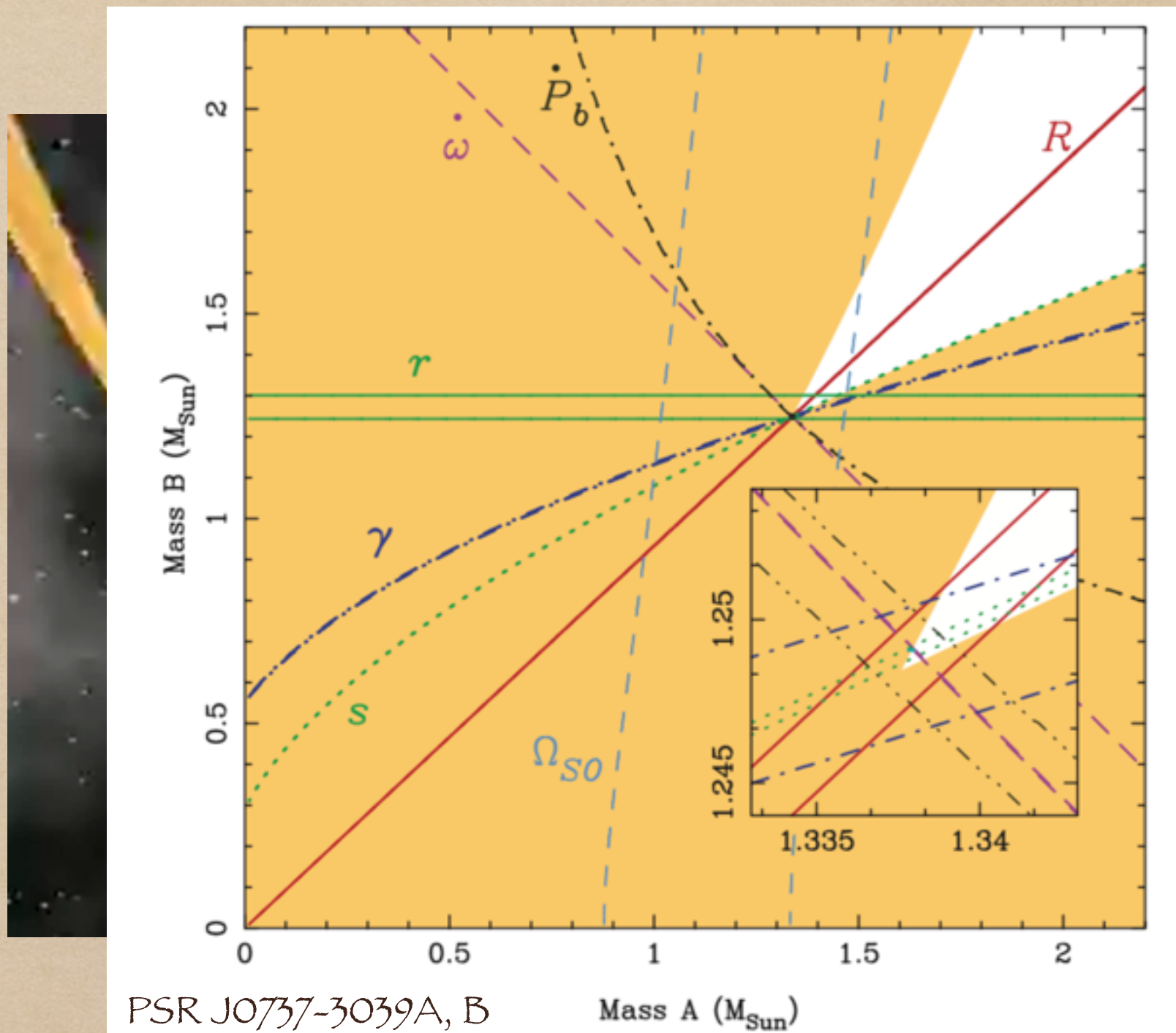


Διπλοί πάλσαρς: η χαρά του πειραματικού



$\dot{P}$: ρυθμός μεταβολής περιόδου, $\dot{\omega}$: μετάθεση του περιάστρου,
 r, s : παράμετροι του Shapiro delay, γ : redshift/time dilation.

Διπλοί πάλσαρς: η χαρά του πειραματικού



$\dot{P}$: ρυθμός μεταβολής περιόδου, $\dot{\omega}$: μετάθεση του περιάστρου,
 r, s : παράμετροι του Shapiro delay, γ : redshift/time dilation.

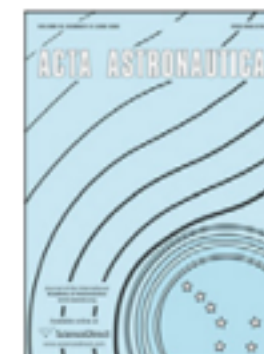


ELSEVIER

Contents lists available at ScienceDirect

Acta Astronautica

journal homepage: www.elsevier.com/locate/actaastro



Interstellar radio links enhanced by exploiting the Sun as a Gravitational Lens[☆]

Claudio Maccone^{a,b,*}

^a Technical Director of the International Academy of Astronautics (IAA).

^b Co-Chair, SETI Permanent Study Group of the IAA.

ARTICLE INFO

Article history:

Received 6 February 2010

Received in revised form

19 June 2010

Accepted 21 June 2010

Keywords:

Telecommunications with spacecrafts

Gravitational lens of the Sun

Bit error rate

Interstellar radio links

ABSTRACT

The gravitational lens of the Sun is an astrophysical phenomenon predicted by Einstein's general theory of relativity. It implies that if we can send a probe along any radial direction away from the Sun up to the minimal distance of 550 AU and beyond, the Sun's mass will act as a huge magnifying lens, letting us "see" detailed radio maps of whatever may lie on the other side of the Sun even at very large distances. The recent book by this author (Claudio Maccone, *Deep Space Flight and Communications*, 414 pages, Praxis-Springer, 2009) describes such future FOCAL space missions to 550 AU and beyond.

In this paper, however, we want to study another possibility yet: how to *enable* the future interstellar radio links between the solar system and any future interstellar probe by utilizing the gravitational lens of the Sun as a huge antenna. In particular, we compare the bit error rate (BER) across interstellar distances with and without using the gravitational lens effect of the Sun.

Ευχαριστώ