



ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΔΗΜΟΚΡΑΤΙΑ
Εθνικόν και Καποδιστριακόν
Πανεπιστήμιον Αθηνών

Εισαγωγή στην Αστροφυσική

Ενότητα 1: Φυσική των Αστέρων

Ξενοφών Δ. Μουσάς
Σχολή Θετικών Επιστημών
Τμήμα Φυσικής



Εθνικό και Καποδιστριακό
Πανεπιστήμιο Αθηνών

Φαινόμενο Ντόπλερ Φιζώ Doppler Fizeau

Ξενοφών Δ. Μουσάς,
Καθηγ. Φυσικής Διαστήματος

Βιβλιογραφία:

- **Μάνου Δανέζη και Στράτου Θεοδοσίου, Το Σύμπαν που αγάπησα, Εκδ. Δίαυλος, Αθήνα, 2012, ISBN: 978-960-531-288-6**
- **Χαράλαμπου Βάρβογλη και Γιάννη Χ. Σειραδάκη, Εισαγωγή στη σύγχρονη αστρονομία, Εκδότης: Γαρταγάνης, Αριθμός Σελίδων: 352, 1994**
- **Σταύρου Ι. Αυγολούπη και Ιωάννη Χ. Σειραδάκη, Παρατηρησιακή Αστρονομία, Εκδότης Πλανητάριο Θεσσαλονίκης, 2004, Αριθμός Σελίδων 246, ISBN 960-86810-3-0**
- **B. W. Carroll and D. A. Ostlie *An Introduction to Modern Astrophysics*, εκδ. Addison-Wesley, 1996 και 2013, ISBN-13: 978-1292022932**



Βιβλιογραφία:

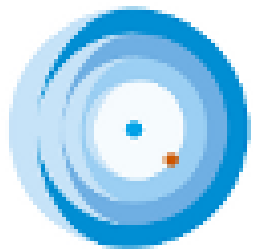
Επίσης:

- <http://www.astro.virginia.edu/class/majewski/ast551/lectures/LECTURE2/lec2b.html>
- <http://casswww.ucsd.edu/archive/public/tutorial/Stars.html>
- http://www.astro.washington.edu/users/anamunn/Astro101/Project1/stellar_spectroscopy_introduction.html
- <http://handprint.com/ASTRO/>
- <http://www.astronomy.ohio-state.edu/~pogge/Ast162/Unit1/sptypes.html>

Γενικώς μπορείτε να βρίσκετε επιστημονικά άρθρα σε οποιοδήποτε αντικείμενο, αστροφυσικής, φυσικής, μαθηματικών, φιλοσοφίας ή οτιδήποτε, στην ιστοσελίδα:

- scholar.google.gr/
- Τα **άρθρα παρουσιάζονται με αξιολόγηση** και πρώτα αναφέρονται τα πιο χρησιμοποιημένα, τα κατά τεκμήριο πιο σημαντικά.





Εύδοξος

Ηλεκτρονική Υπηρεσία Ολοκληρωμένης Διαχείρισης
Συγγραμμάτων και Λοιπών Βοηθημάτων

ΒΙΒΛΙΑ ΓΙΑ ΤΟ ΜΑΘΗΜΑ ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΣΤΗΝ ΑΣΤΡΟΦΥΣΙΚΗ

Το σύμπαν που αγάπησα

Κωδικός Βιβλίου στον Εύδοξο: 22684958

Έκδοση: Πανεπιστημιακή Έκδοση/2012

Συγγραφείς: Δανέζης Μάνος, Θεοδοσίου Στράτος

ISBN: 978-960-531-288-6

Τύπος: Σύγγραμμα

Διαθέτης (Εκδότης): ΔΙΑΥΛΟΣ Α.Ε. ΕΚΔΟΣΕΙΣ ΒΙΒΛΙΩΝ

Το σύμπαν που αγάπησα

Κωδικός Βιβλίου στον Εύδοξο: 12212

Αριθμός τόμου: Τόμος 1

Έκδοση: 3η έκδ./1999

Συγγραφείς: Δανέζης Μάνος, Θεοδοσίου Στράτος

ISBN: 978-960-531-062-2

Τύπος: Σύγγραμμα

Διαθέτης (Εκδότης): ΔΙΑΥΛΟΣ Α.Ε. ΕΚΔΟΣΕΙΣ ΒΙΒΛΙΩΝ

Το σύμπαν που αγάπησα

Κωδικός Βιβλίου στον Εύδοξο: 12213

Αριθμός τόμου: Τόμος 2

Έκδοση: 3η έκδ./1999

Συγγραφείς: Δανέζης Μάνος, Θεοδοσίου Στράτος

ISBN: 978-960-531-063-9

Τύπος: Σύγγραμμα

Διαθέτης (Εκδότης): ΔΙΑΥΛΟΣ Α.Ε. ΕΚΔΟΣΕΙΣ ΒΙΒΛΙΩΝ

1. Φυσική των Αστέρων

Εισαγωγή στην αστροφυσική

Κωδικός Βιβλίου στον Εύδοξο: 42022440

Έκδοση: 1η/2014

Συγγραφείς: Αλυσσανδράκης Κ.

ISBN: 978-960-02-3058-1

Τύπος: Σύγγραμμα

Διαθέτης (Εκδότης): ΕΚΔΟΣΕΙΣ ΠΑΠΑΖΗΣΗ ΑΕΒΕ

ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΣΤΗΝ ΑΣΤΡΟΝΟΜΙΑ ΚΑΙ ΑΣΤΡΟΦΥΣΙΚΗ

Κωδικός Βιβλίου στον Εύδοξο: 22846310

Έκδοση: Α' ΕΚΔΟΣΗ/2012

Συγγραφείς: ΖΑΦΕΙΡΟΠΟΥΛΟΣ ΒΑΣΙΛΕΙΟΣ, ΖΑΦΕΙΡΟΠΟΥΛΟΥ

ΚΑΡΑΤΖΟΓΛΟΥ ΦΙΛΑΡΕΤΗ

ISBN: 978-960-530-148-4

Τύπος: Σύγγραμμα

Διαθέτης (Εκδότης): Εταιρεία Αξιοποίησης και Διαχείρισης Περιουσίας

Πανεπιστημίου Πατρών

Διαθέτης (Εκδότης): ΔΙΑΥΛΟΣ Α.Ε. ΕΚΔΟΣΕΙΣ ΒΙΒΛΙΩΝ

ΑΣΤΡΟΦΥΣΙΚΗ ΤΟΜΟΣ Ι

Κωδικός Βιβλίου στον Εύδοξο: 280

Αριθμός τόμου: Ι

Έκδοση: 1η/2009

Συγγραφείς: SHU FRANK

ISBN: 978-960-7309-16-7

Τύπος: Σύγγραμμα

Διαθέτης (Εκδότης): ΙΔΡΥΜΑ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ & ΕΡΕΥΝΑΣ-

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΑΚΕΣ ΕΚΔΟΣΕΙΣ ΚΡΗΤΗΣ

ΑΣΤΡΟΦΥΣΙΚΗ ΤΟΜΟΣ ΙΙ

Κωδικός Βιβλίου στον Εύδοξο: 282

Αριθμός τόμου: ΙΙ

Έκδοση: 1η/2009

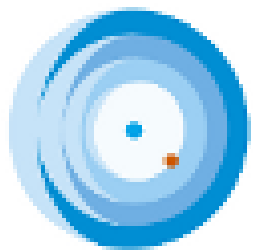
Συγγραφείς: SHU FRANK

ISBN: 978-960-7309-17-4

Τύπος: Σύγγραμμα

Διαθέτης (Εκδότης): ΙΔΡΥΜΑ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ & ΕΡΕΥΝΑΣ-

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΑΚΕΣ ΕΚΔΟΣΕΙΣ ΚΡΗΤΗΣ



Εύδοξος

Ηλεκτρονική Υπηρεσία Ολοκληρωμένης Διαχείρισης
Συγγραμμάτων και Λοιπών Βοηθημάτων

ΒΙΒΛΙΑ ΣΧΕΤΙΚΑ ΜΕ ΤΗΝ ΑΣΤΡΟΦΥΣΙΚΗ

Αστροφυσική Πλάσματος

Κωδικός Βιβλίου στον Εύδοξο: 50661503

Έκδοση: 2η Έκδοση/2015

Συγγραφείς: Κανάρης Τσίγκανος

ISBN: 978-960-91748-2-4

Τύπος: Σύγγραμμα

Διαθέτης (Εκδότης): ΚΑΝΑΡΗΣ ΤΣΙΓΚΑΝΟΣ

Αστροφυσική Πλάσματος

Κωδικός Βιβλίου στον Εύδοξο: 42116553

Έκδοση: 1η Έκδοση/2015

Συγγραφείς: Κανάρης Τσίγκανος

ISBN: 978-960-91748-2-4

Τύπος: Σύγγραμμα

Διαθέτης (Εκδότης): ΚΑΝΑΡΗΣ ΤΣΙΓΚΑΝΟΣ

Κοσμική Ακτινοβολία

Κωδικός Βιβλίου στον Εύδοξο: 45309

Έκδοση: 1η έκδ./2009

Συγγραφείς: Μαυρομιχαλάκη - Χριστοπούλου Ελένη

ISBN: 978-960-266-251-9

Τύπος: Σύγγραμμα

Διαθέτης (Εκδότης): Σ.ΑΘΑΝΑΣΟΠΟΥΛΟΣ & ΣΙΑ Ο.Ε.

Γενική Σχετικότητα

Κωδικός Βιβλίου στον Εύδοξο: 6236

Έκδοση: 3/2007

Συγγραφείς: Bernard F. Schutz

ISBN: 960-7122-21-6

Τύπος: Σύγγραμμα

Διαθέτης (Εκδότης): ΤΡΑΥΛΟΣ & ΣΙΑ ΟΕ

Ευχαριστίες

Ιδιαίτερες Ευχαριστίες οφείλονται στη NASA, ESA, ESO, NOAO/NSO/Kitt Peak FTS/AURA/NSF, SDO, SOHO

στους Ερευνητές και λοιπούς συντελεστές των επιγείων τηλεσκοπίων και διαστημικών πειραμάτων, στους κυρίους **Πάνο Παπασπύρου** Στράτο Κουφό, Νίκο Πασχάλη, για τις εικόνες που χρησιμοποιούνται σε αυτό το μάθημα, σε αυτούς που μας έδωσαν μετρήσεις ή συμβουλές, στην Wikipedia για πολλές πολύτιμες εικόνες που προσφέρονται χωρίς δικαιώματα χρήσης και συνεπώς είναι πολύτιμες σε κάθε δάσκαλο.



Εθνικό και Καποδιστριακό
Πανεπιστήμιο Αθηνών

Φαινόμενο Ντόπλερ Φιζώ

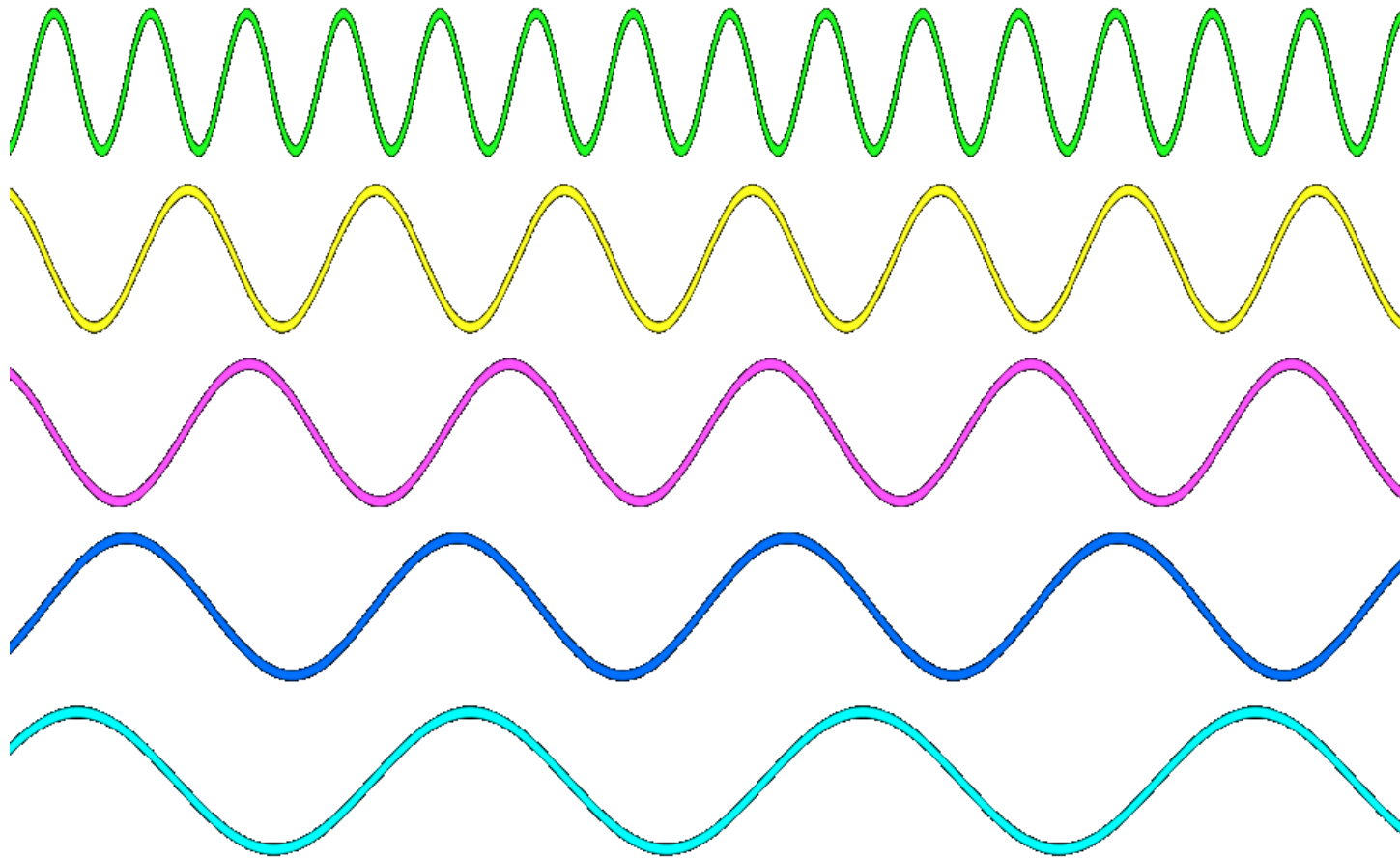
Ξενοφών Δ. Μουσάς,

Καθηγ. Φυσικής Διαστήματος

Ευχαριστίες οφείλονται στην NASA, ESA, ESO

Μάιος 2014

κύματα



κύματα



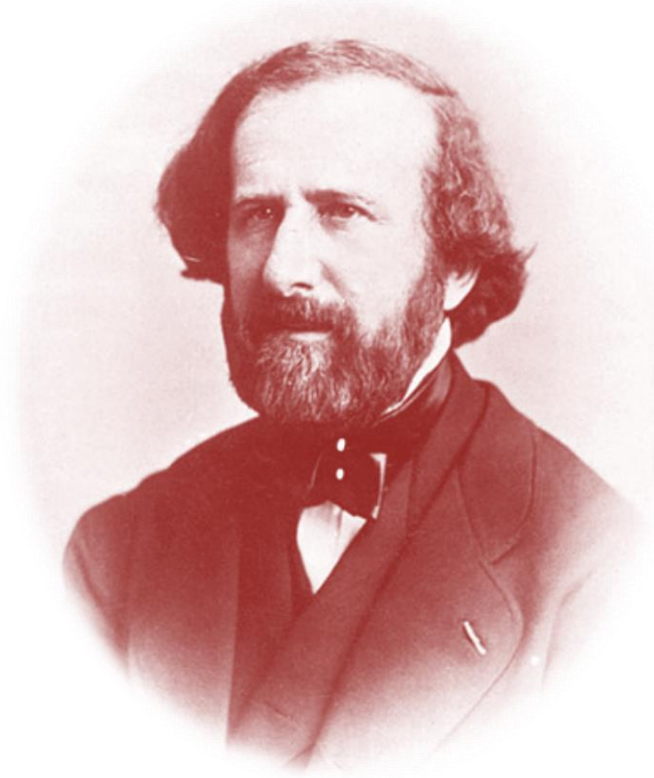


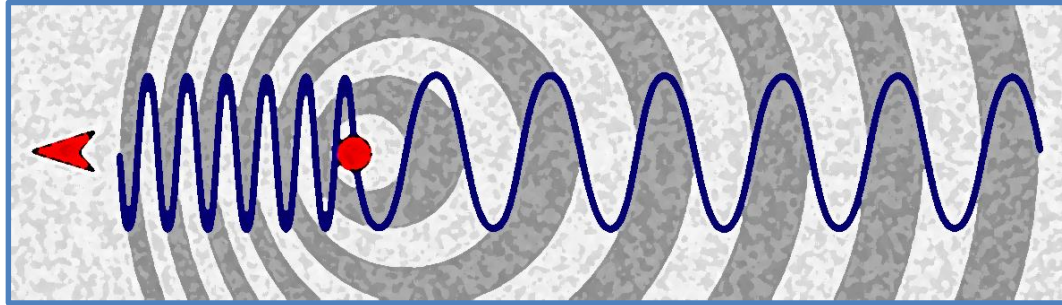


Christian Doppler



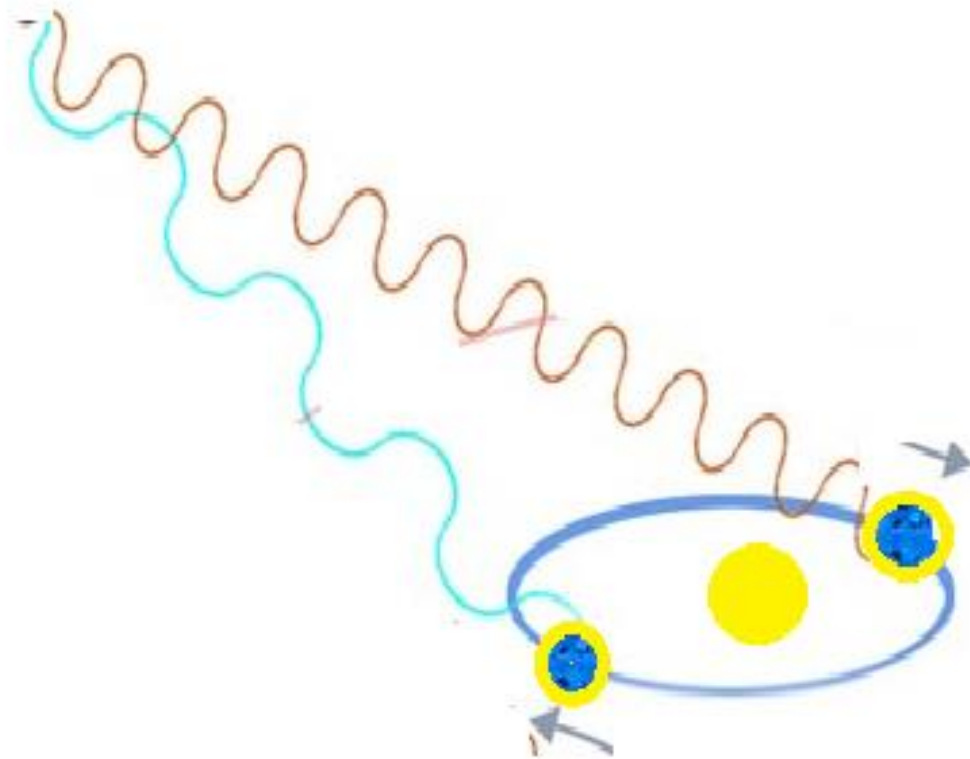
Hippolyte_Fizeau

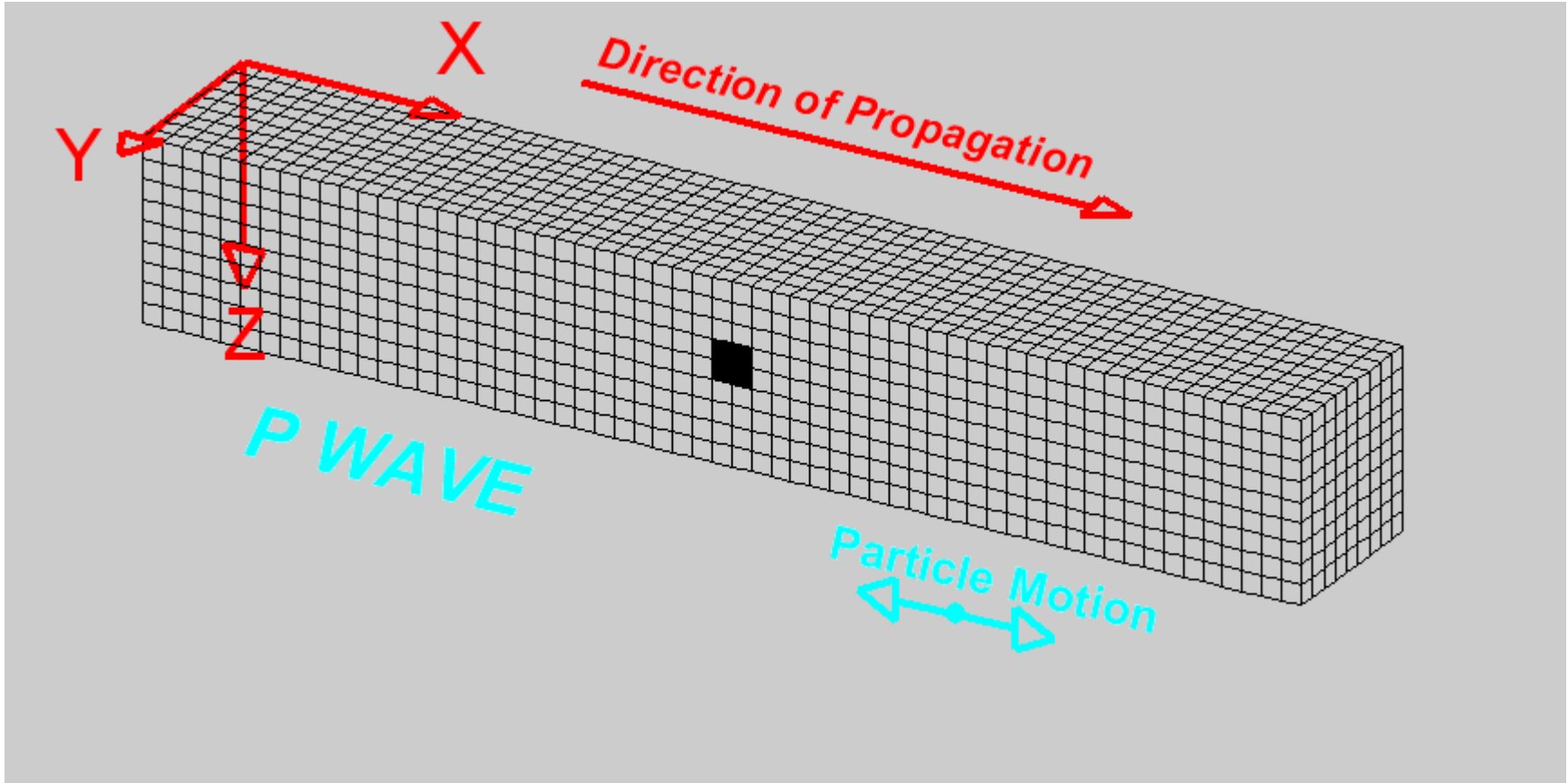


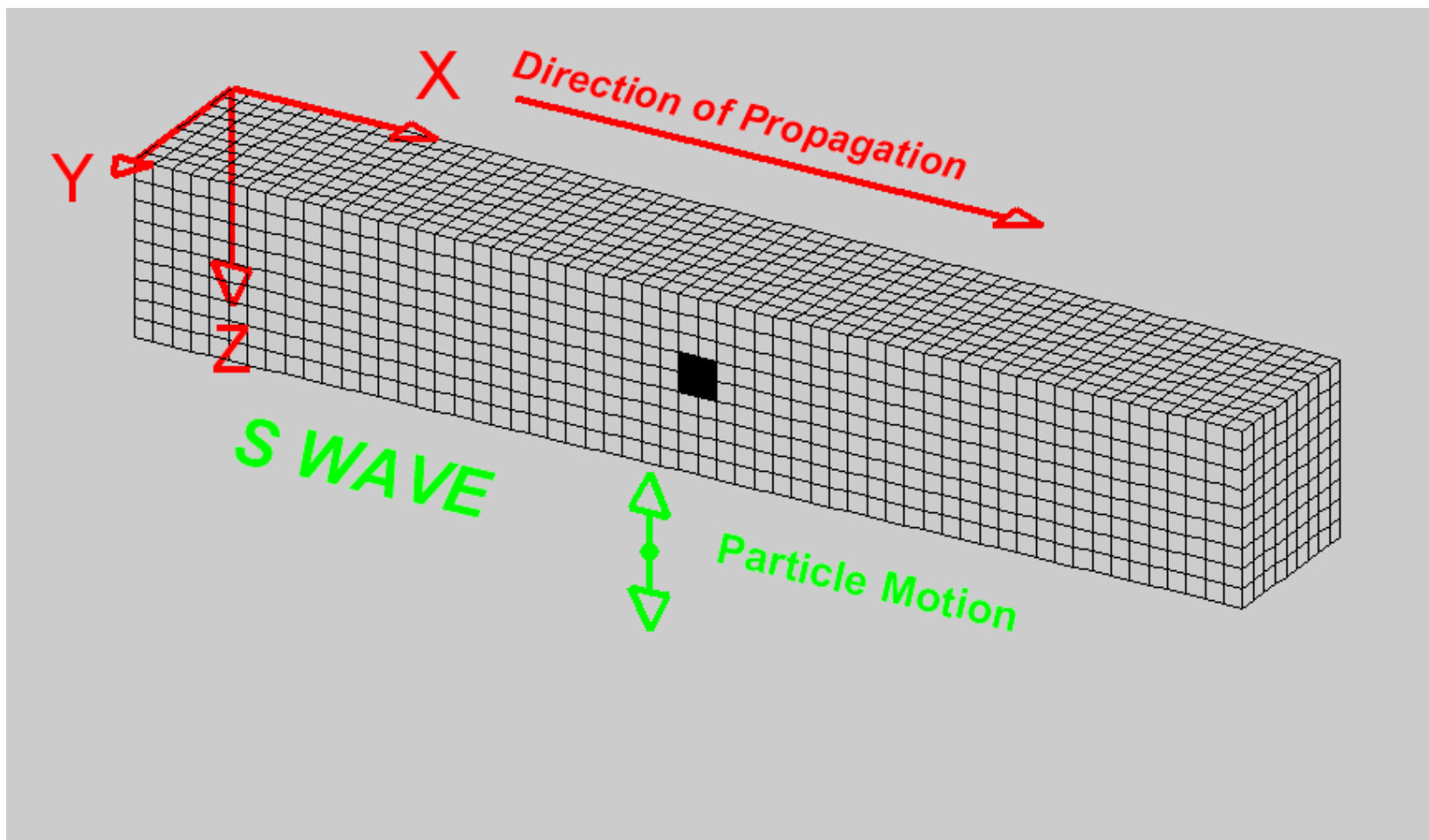


- "Doppler effect diagrammatic". Licensed under Public Domain via Wikimedia Commons - http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Doppler_effect_diagrammatic.png#mediaviewer/File:Doppler_effect_diagrammatic.png
- Δοκιμάστε επίσης το αρχείο:
- http://en.wikipedia.org/wiki/Continuous-wave_radar#mediaviewer/File:Amfm3-en-de.gif

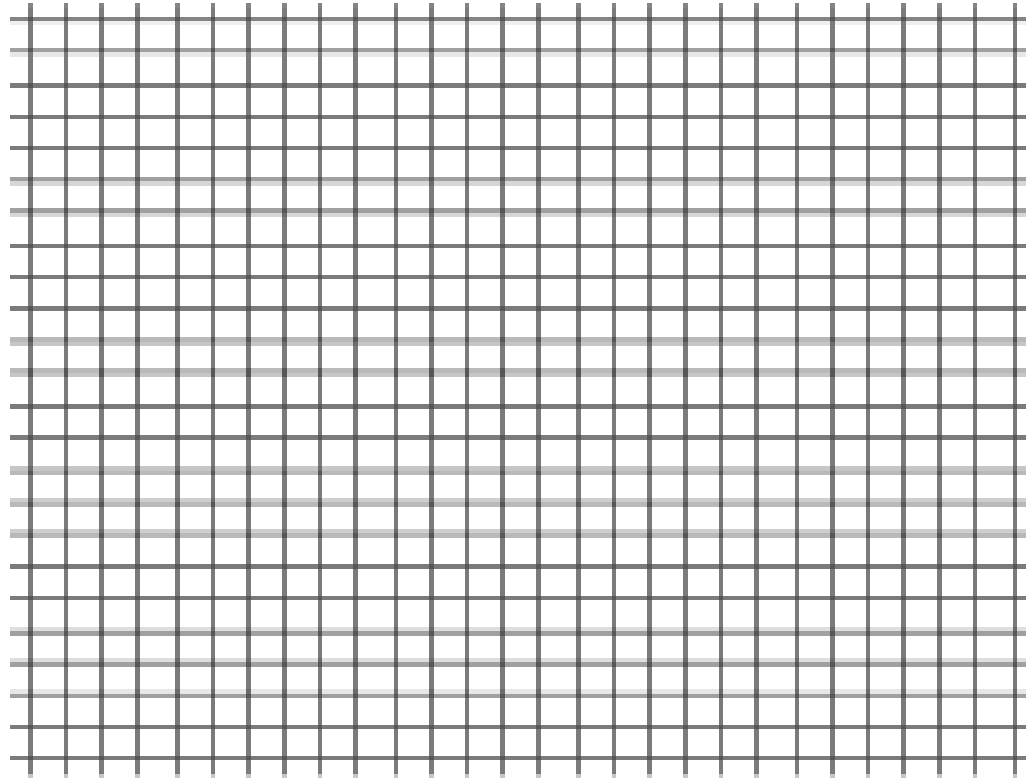






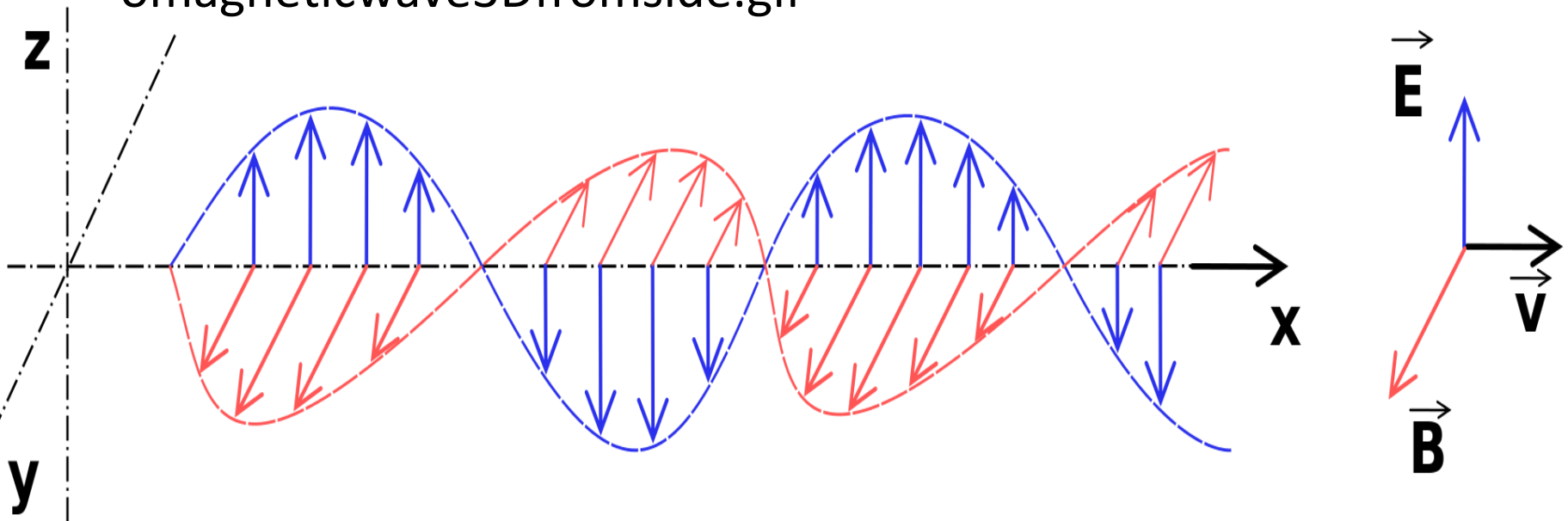


Διάδοση κύματος



Εικόνα με λεζάντα

- ΛΗΜ κύματα
- Βλέπε:
- <http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/a/ad/Electromagneticwave3Dfromside.gif>



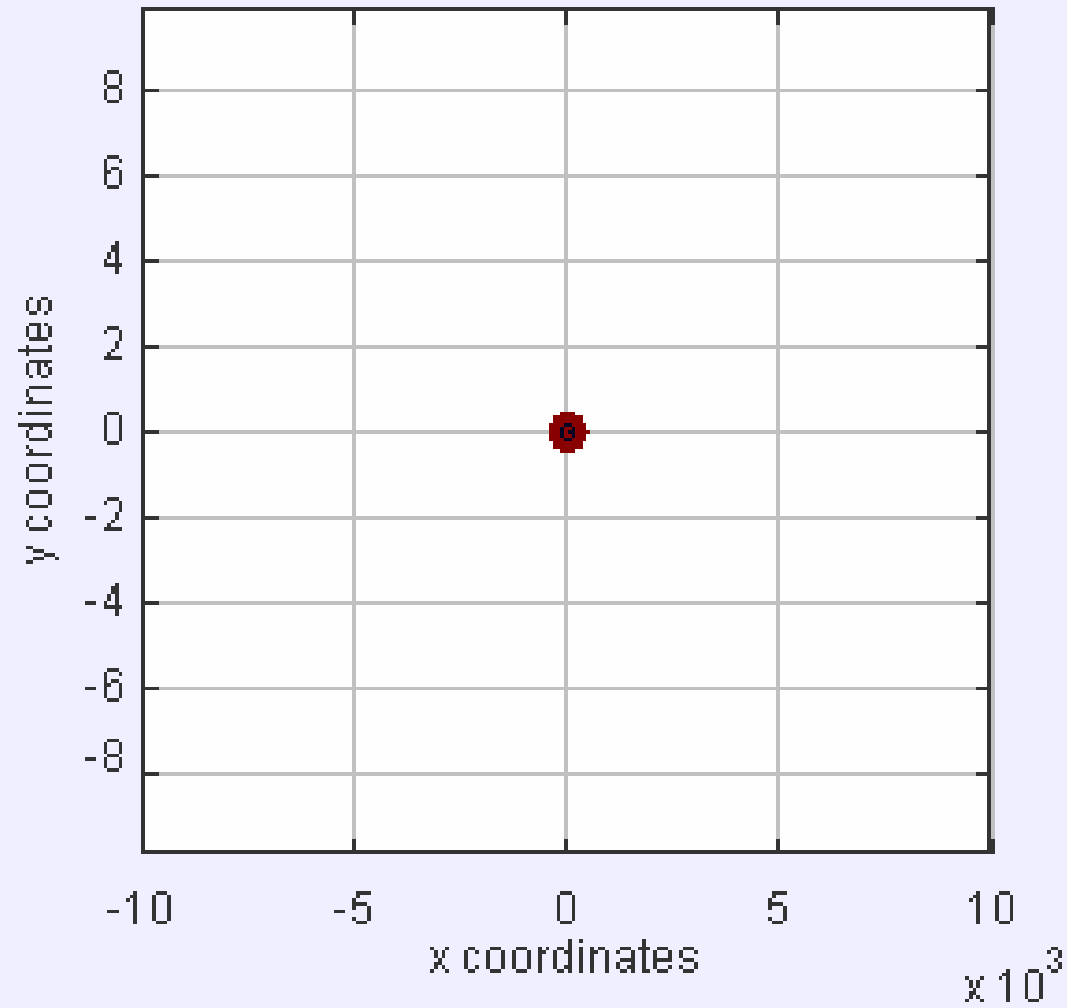
Φαινόμενο Ντόπλερ Φιζώ

$$\Delta\lambda/\lambda = v/c$$

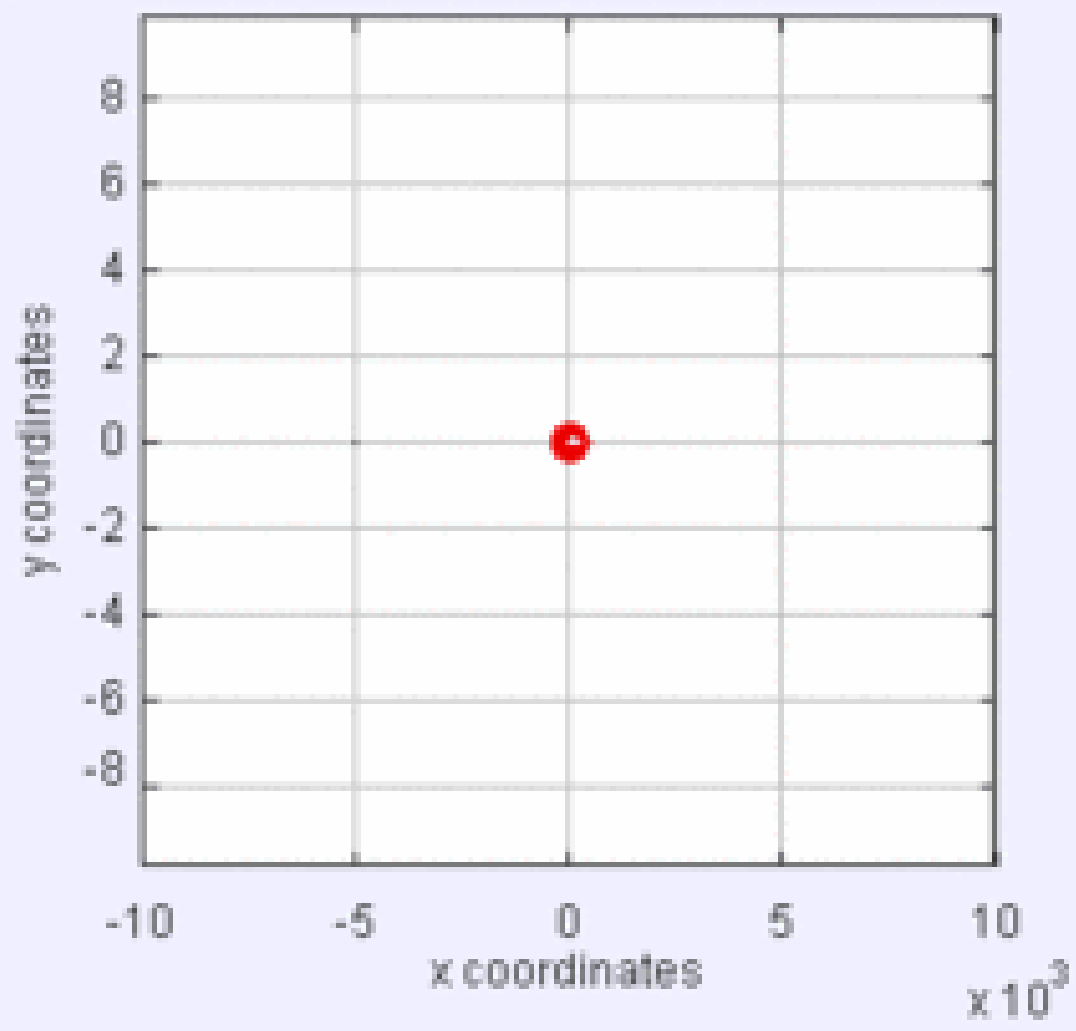
$$v = c(\Delta\lambda/\lambda)$$



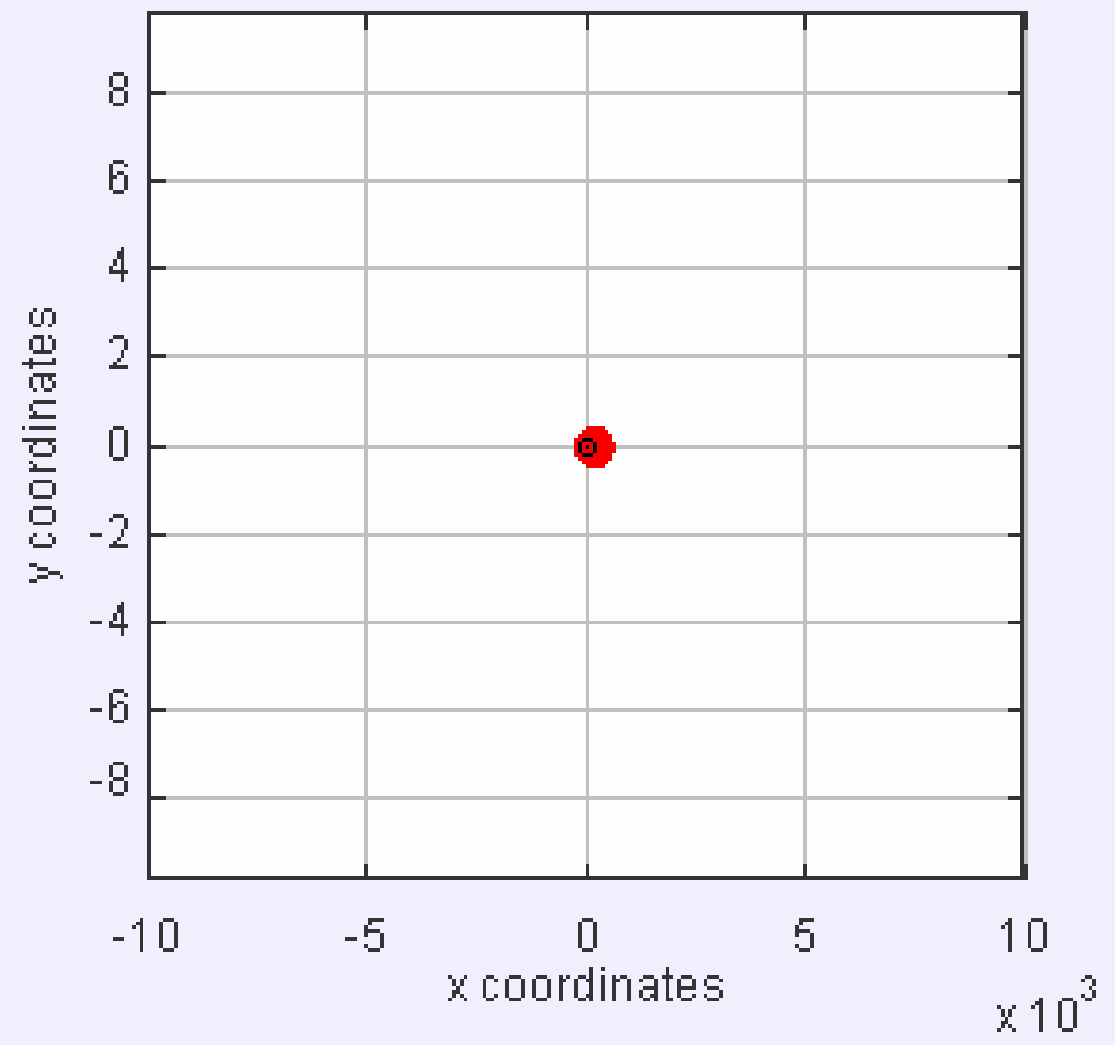
$\times 10^3$ Doppler Effect Model in 1 Doppler Effect




$\times 10^3$ Doppler Effect Model in 1 Doppler Effect



$\times 10^3$ Doppler Effect **Breaking the sound barrier**






Δημιουργία κυμάτων και κρουστικών
ΚΥΜΑΤΩΝ

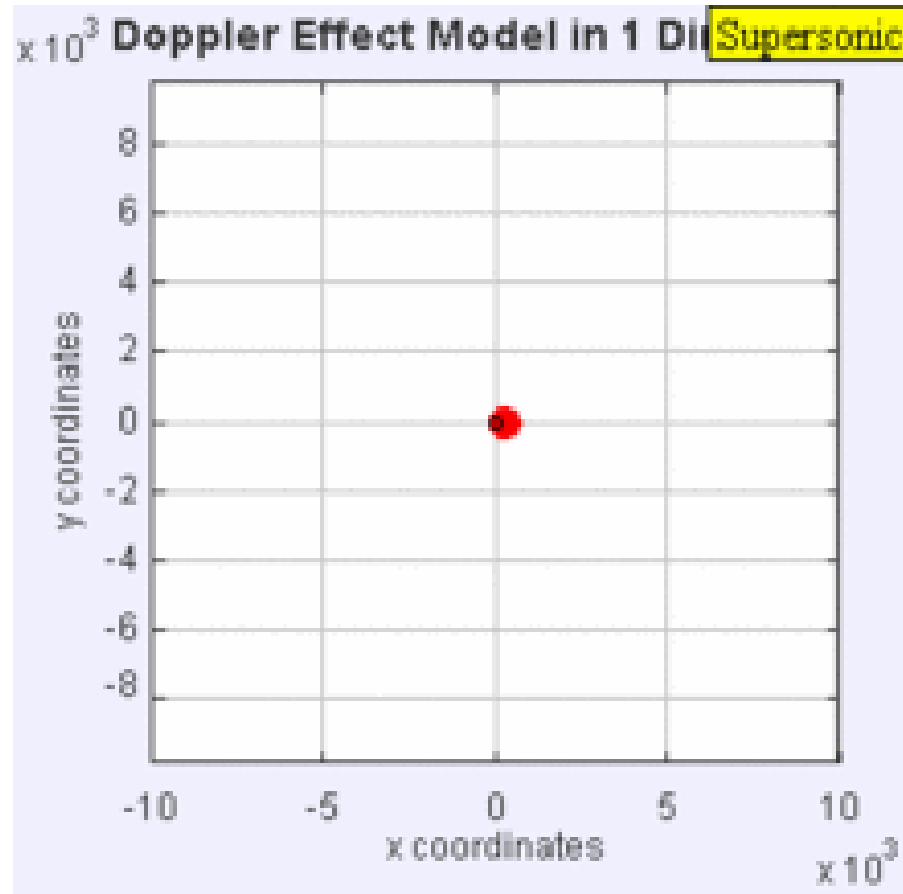
καθώς κινείται το πλοίο



Δημιουργία κυμάτων
καθώς κινείται το πλοίο

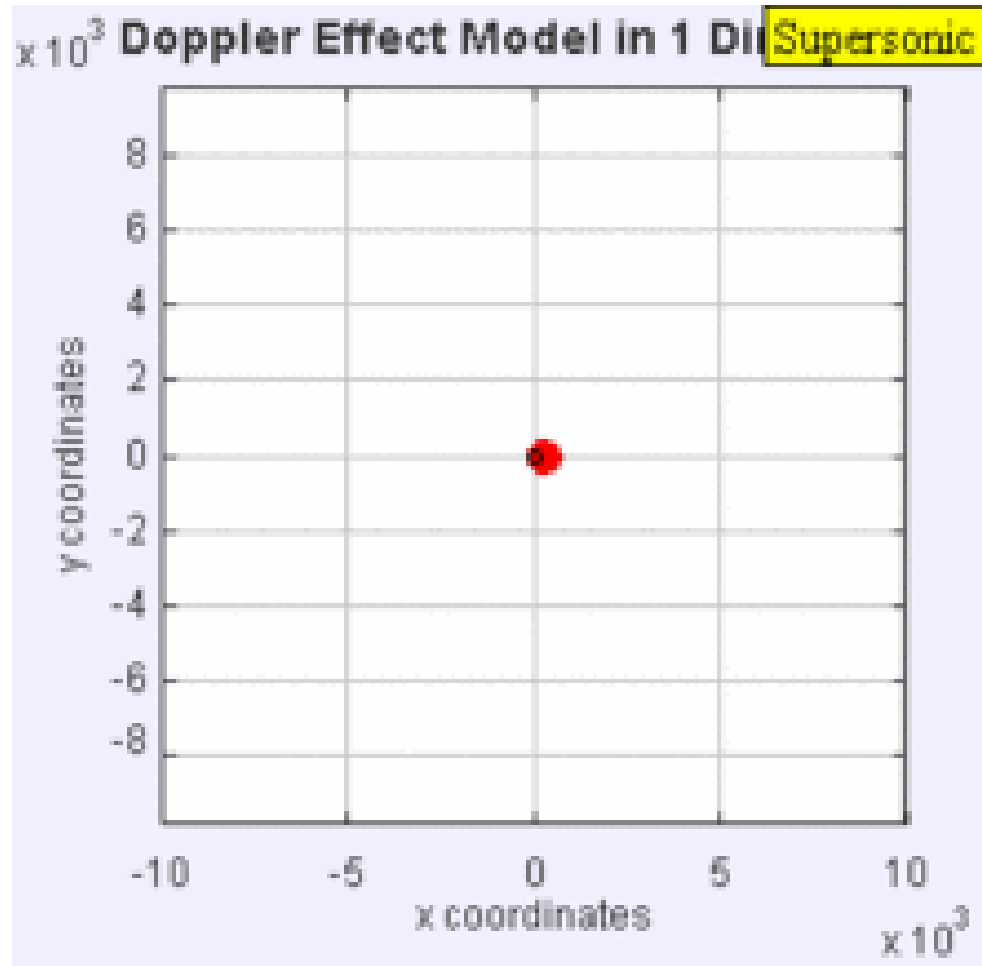
An aerial photograph of two sailboats on a calm blue sea. The larger boat is in the upper left, and the smaller one is below it. Both have left white wakes behind them. The water's surface is covered in fine, parallel ripples.

ργία κυμάτων
κινείται το πλοίο



<http://en.wikipedia.org/wiki/File:Dopplereffectsourcemovingrightatmach1.4.gif>





<http://en.wikipedia.org/wiki/File:Dopplereffectsourcemovingrightatmach0.7.gif>

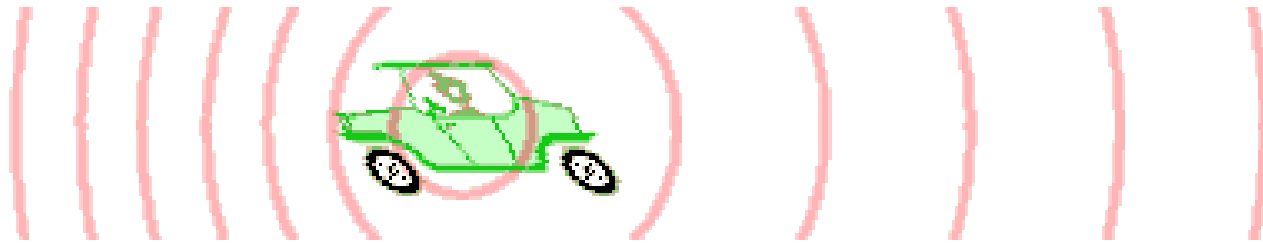


Τα τζάμια στην Ρωσία έσπασαν από το κρουστικό κύμα του
Τεράστιου μετεωρίτη που έπεσε στην Σιβηρία (15 2 2013)



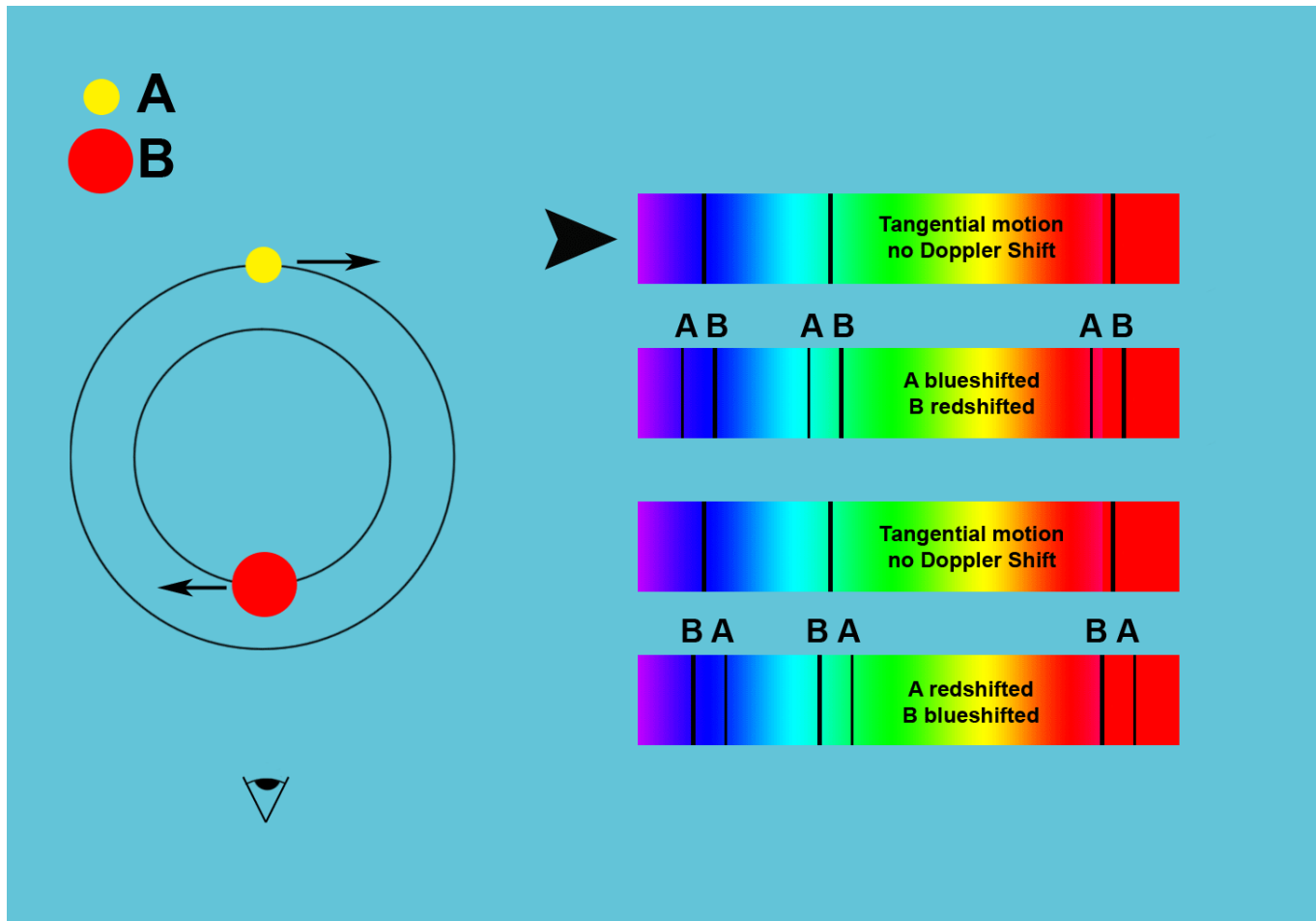
Τα τζάμια στην Ρωσία έσπασαν από το κρουστικό κύμα του
Τεράστιου μετεωρίτη που έπεσε στην Σιβηρία (15 2 2013)





http://simple.wikipedia.org/wiki/Doppler_effect





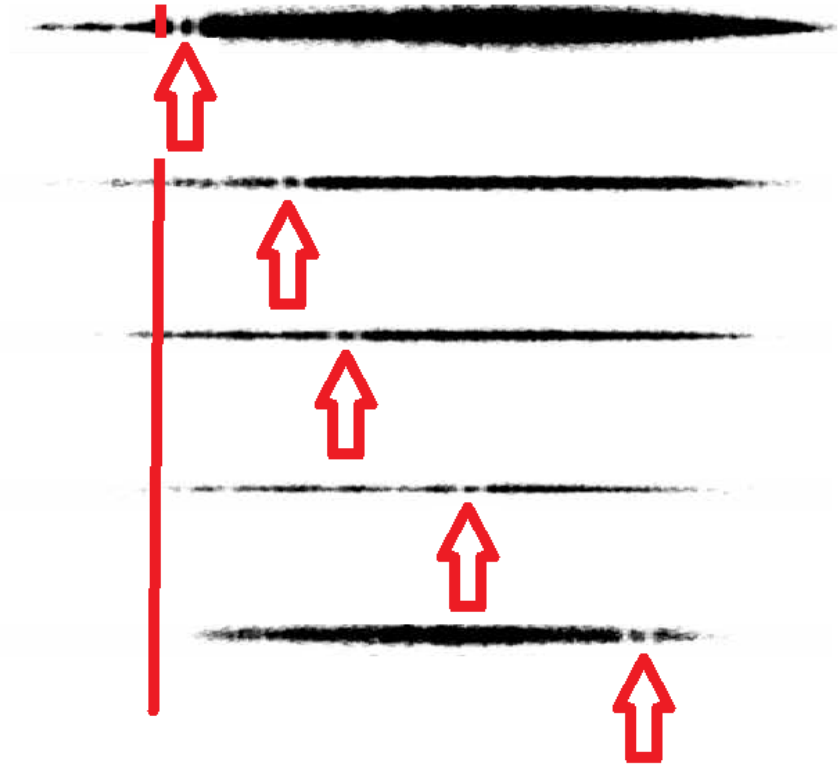
http://en.wikipedia.org/wiki/Astronomical_spectroscopy



$$v_r = (\delta\lambda/\lambda)c$$

$$v_r = H_0 d$$

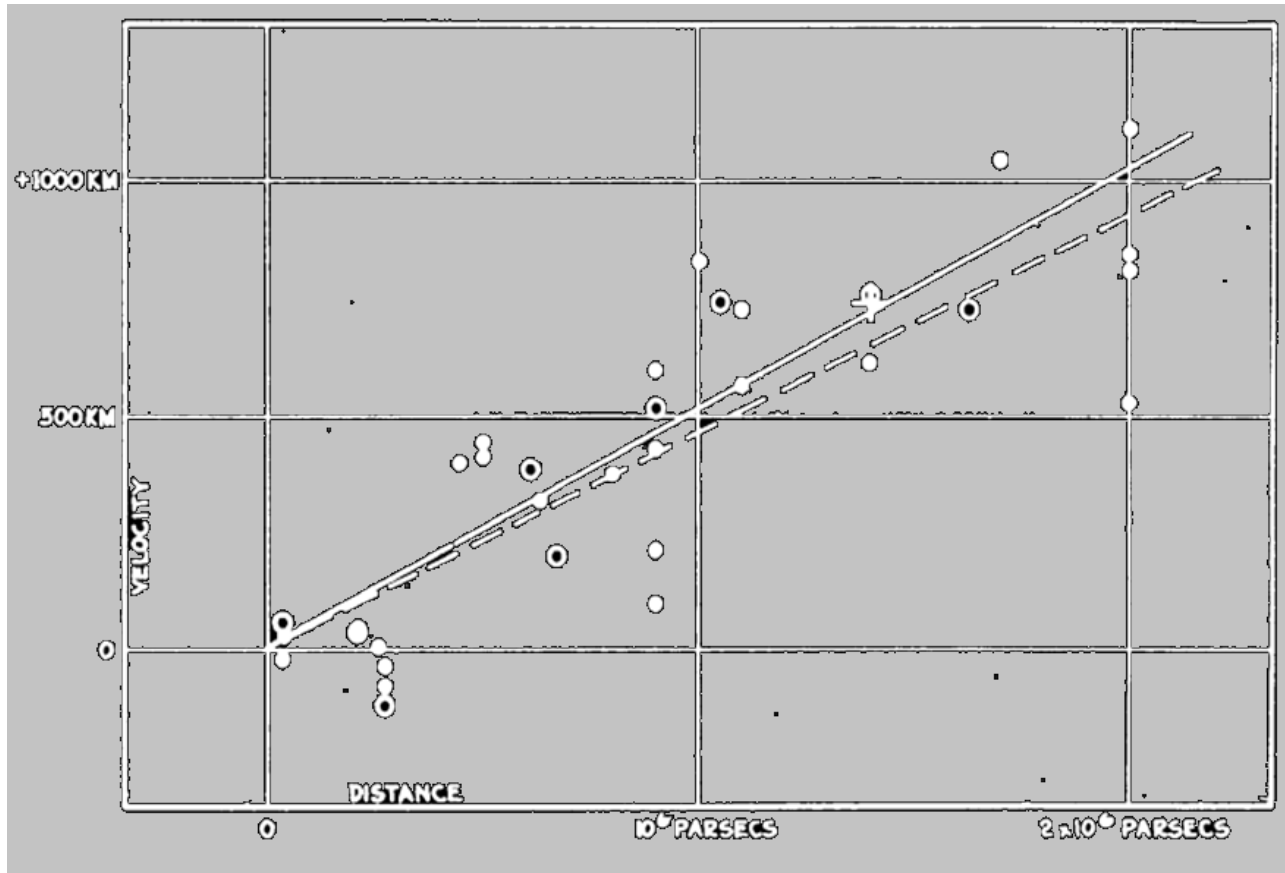
Η μετατόπιση των δυο γραμμών K (δυο κενά στο φάσμα) του ασβεστίου σε διάφορους γαλαξίες επιτρέπει να υπολογίσουμε την ταχύτητά τους και κατόπιν από τον νόμο του Hubble να υπολογίσουμε την απόστασή τους.



γραμμές K του ασβεστίου σε διάφορους γαλαξίες

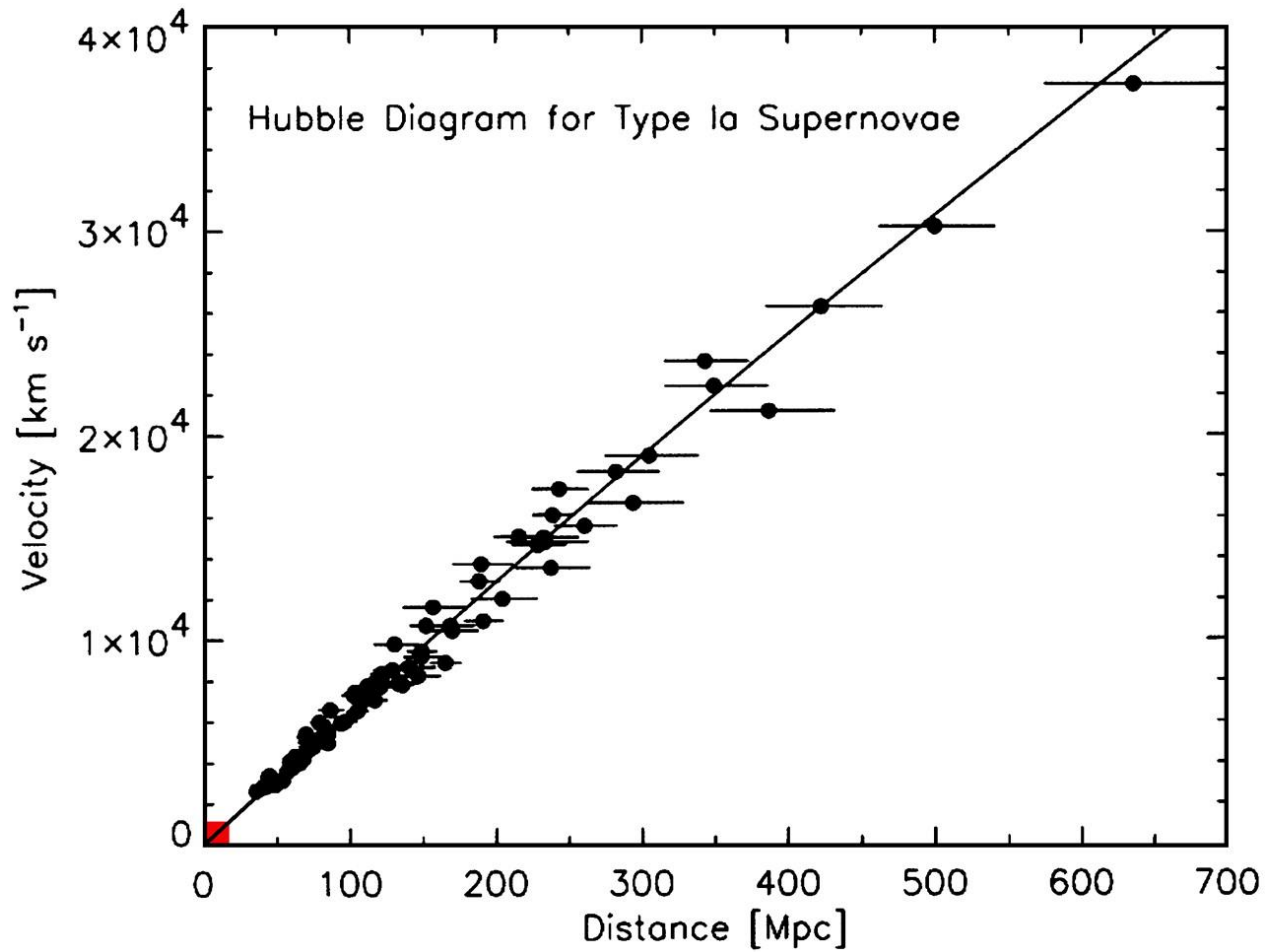


$$v_r = H_0 d$$



Hubble, E. (1929). "A relation between distance and radial velocity among extraalactic nebulae". Proceedings of the National Academy of Sciences 15 (3): 168–73





Doppler με σχετικιστικές ταχύτητες

$$\nu_1 / \nu = [(1+\beta)/(1-\beta)]^{1/2}$$

$$\beta = v/c$$

Και

$$Z = (\nu_1 - \nu) / \nu = [(1+\beta)/(1-\beta)]^{1/2} - 1$$



Doppler με σχετικιστικές ταχύτητες

$$\frac{\nu}{\nu_0} = \frac{\sqrt{1 - \beta^2}}{1 + \beta \cos \theta} \quad \left(\beta = \frac{V}{c} \right)$$



Doppler με σχετικιστικές ταχύτητες

$$f = \frac{cf_0}{\gamma(c-V)} = f_0 \frac{c}{c-V} \sqrt{1-\beta^2} = f_0 \frac{c}{c-V} \sqrt{\frac{c^2-V^2}{c^2}} = f_0 \sqrt{\frac{c^2}{(c-V)^2} \frac{(c-V)(c+V)}{c^2}} = f_0 \sqrt{\frac{1+\beta}{1-\beta}}$$



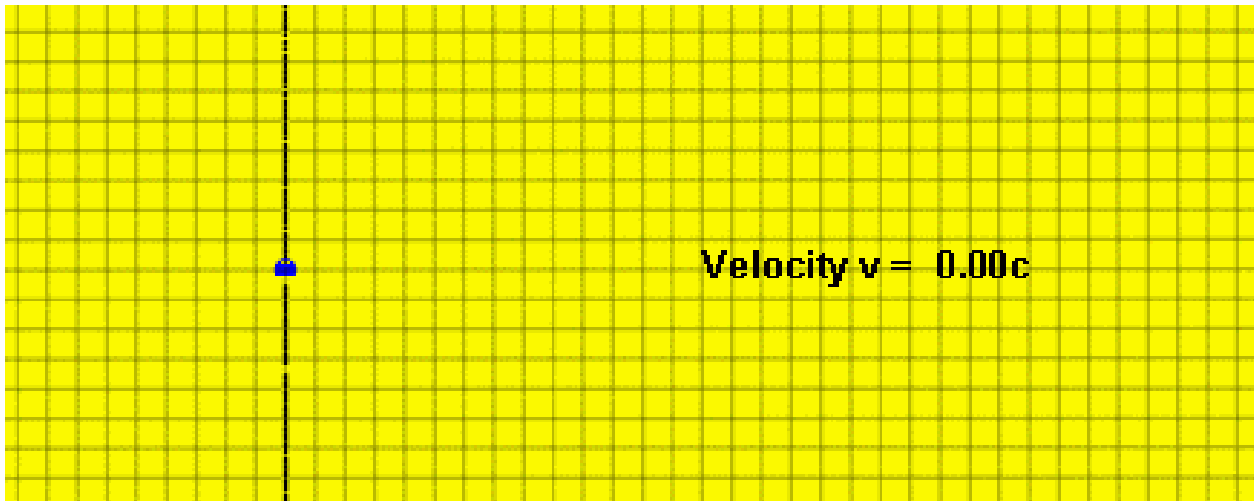
Doppler για σχετικιστικές ταχύτητες

$$\gamma = \frac{1}{\sqrt{1 - \beta^2}} \quad f_o = \frac{1}{t_o} = \gamma(1 - \beta)f_s = \sqrt{\frac{1 - \beta}{1 + \beta}} f_s.$$

$$\frac{f_s}{f_o} = \sqrt{\frac{1 + \beta}{1 - \beta}} \quad z = \frac{\lambda_o - \lambda_s}{\lambda_s} = \frac{f_s - f_o}{f_o} \quad z = \sqrt{\frac{1 + \beta}{1 - \beta}} - 1.$$

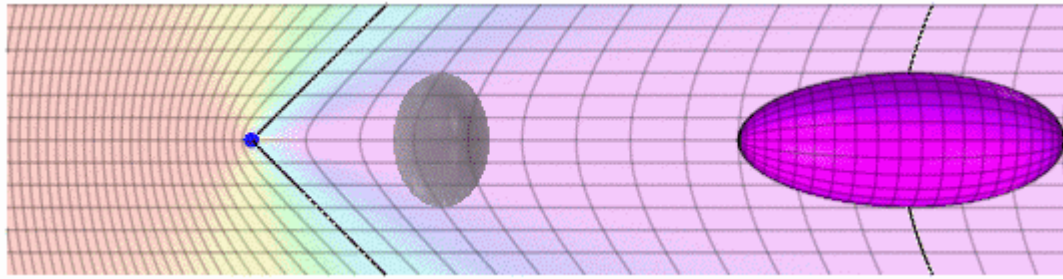
$$f_o = \frac{f_s}{\gamma \left(1 + \frac{v \cos \theta_o}{c}\right)}$$





http://en.wikipedia.org/wiki/Relativistic_Doppler_effect





http://en.wikipedia.org/wiki/Relativistic_Doppler_effect

The grey ellipse is moving relativistic sphere, its oblate shape due to [Lorentz contraction](#). Colored ellipse is visual image of the sphere. Background curves are a xy -coordinates grid which is rigidly linked to the sphere. It is shown only at one moment in time.

Η γκρι έλλειψη είναι μια σφαίρα που κινείται με σχετικιστική ταχύτητα, και αποκτά πεπλατυσμένο σχήμα λόγω συστολής κατά [Lorentz](#).

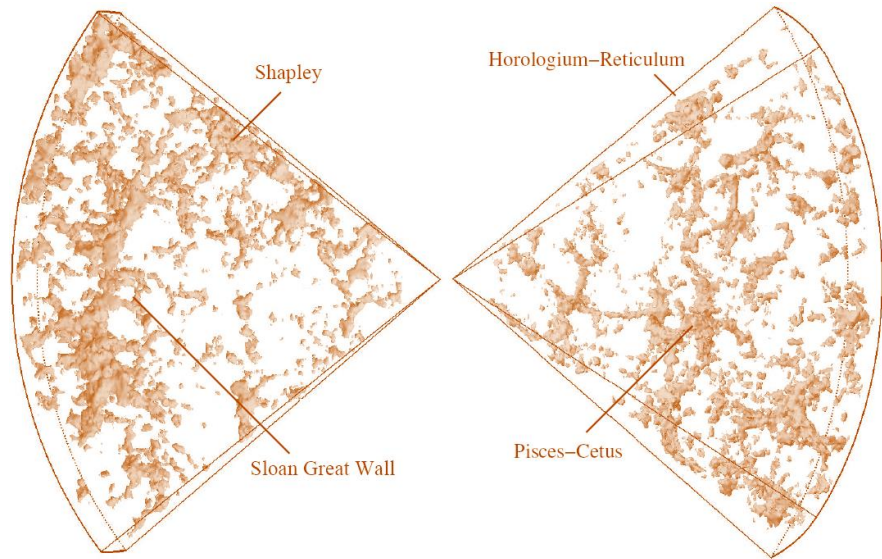
Η Χρωματιστή έλλειψη είναι η οπτική εικόνα της σφαίρας.

Στο υπόβαθρο οι καμπύλες είναι συντεταγμένες πλέγματος που είναι σταθερά συνδεδεμένο με τη σφαίρα. Παρουσιάζεται μόνο σε μία χρονική στιγμή

<http://en.wikipedia.org/wiki/File:LcprojectionS05n.gif>



Με το φαινόμενο Doppler και τον νόμο του Hubble υπολογίζουμε την θέση όλων των μακρινών γαλαξιών και βρίσκουμε την δομή του σύμπαντος.
Εικόνα του κ. Willem Schaap, http://en.wikipedia.org/wiki/Sloan_Great_Wall



Φάσμα στο εργαστήριο



Φάσμα άστρου που κινείται με ταχύτητα v_r

Μετατόπιση γραμμών φάσματος ενός άστρου που κινείται με μεγάλη ταχύτητα

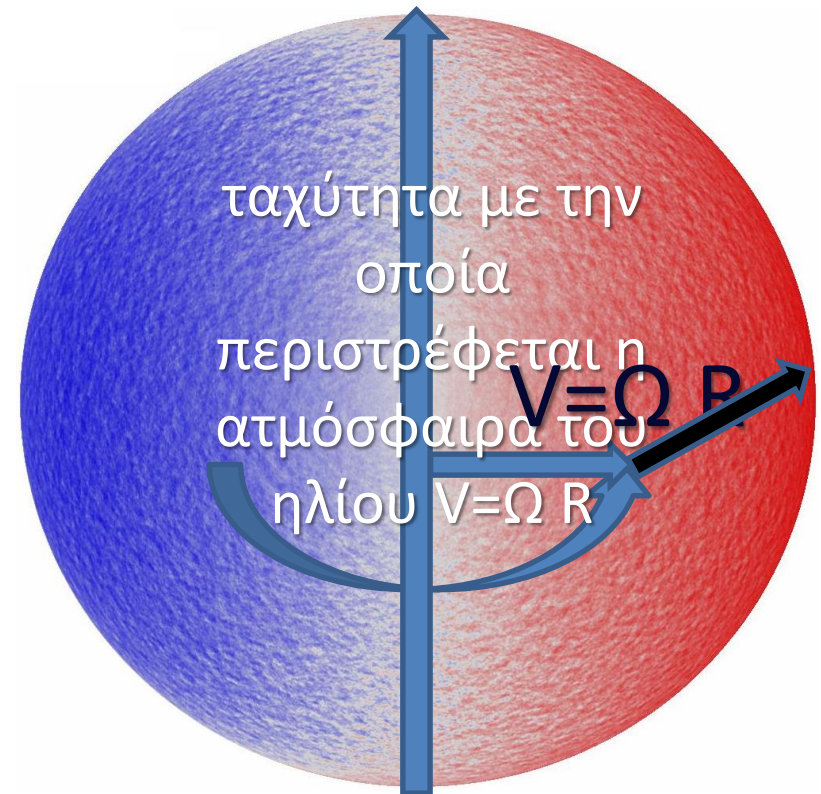
$$v_r = (\delta\lambda/\lambda)c$$



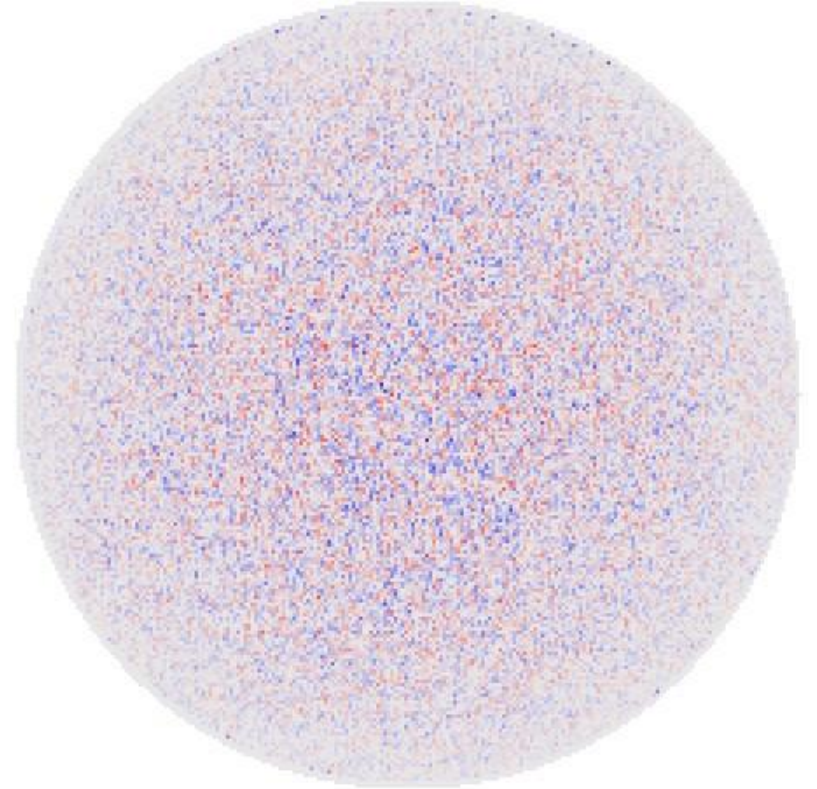
Η ταχύτητα με την οποία περιστρέφεται η ατμόσφαιρα του ηλίου $V = \Omega R$ μετρημένη ως $v_r = (\delta\lambda/\lambda)c$ $\delta\lambda$ είναι η μεταβολή του μήκους κύματος λ και c η ταχύτητα του φωτός. Σε αυτή την εικόνα **Το γαλάζιο**

αντιπροσωπεύει Ταχύτητα +2000km/sec

Και το ερυθρό αντιπροσωπεύει Ταχύτητα +2000km/sec.

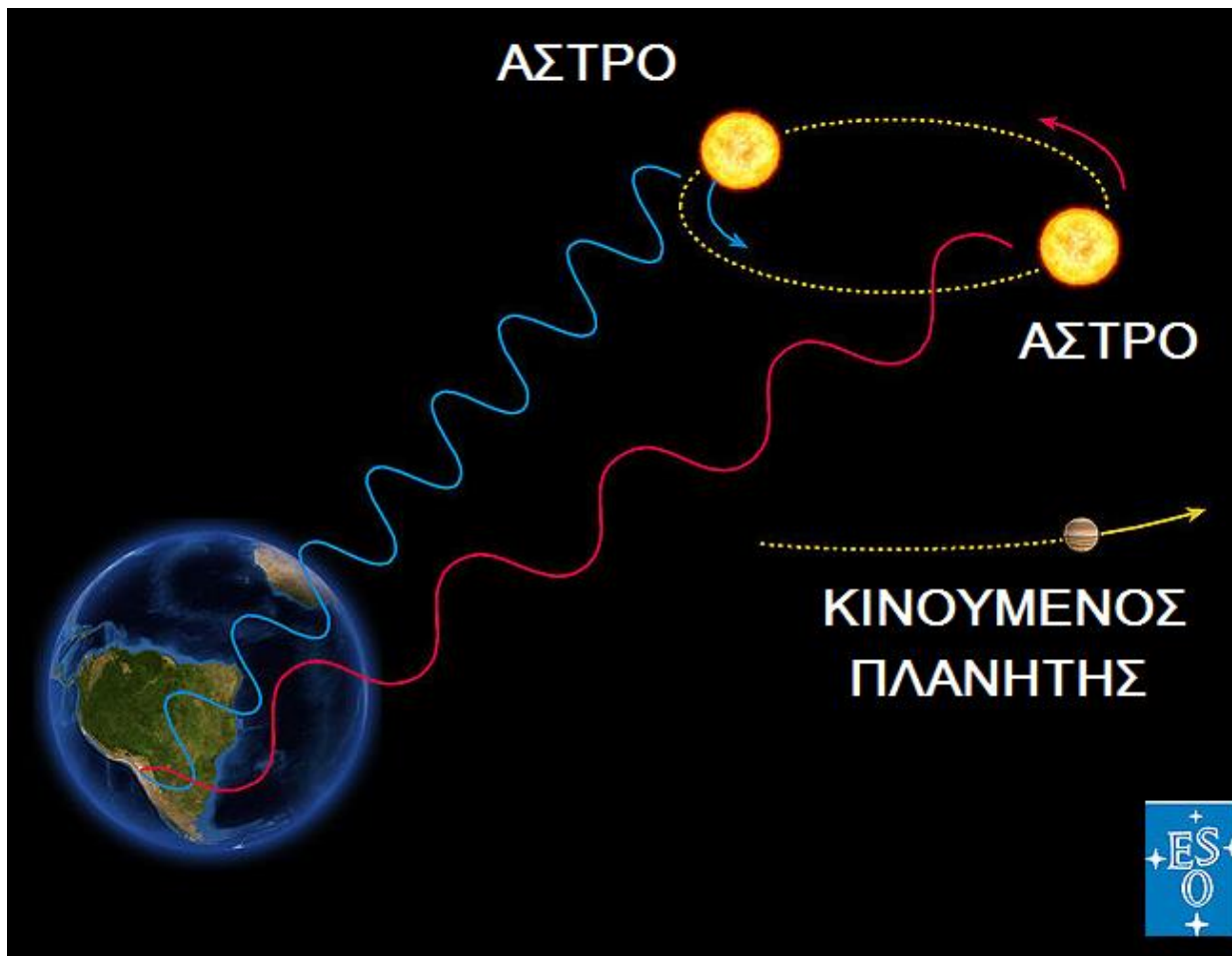


- Η ταχύτητα με την οποία κινείται η ατμόσφαιρα του ηλίου μετρημένη ως
- $v_r = (\delta\lambda/\lambda)c$
- Από την οποία έχει αφαιρεθεί η ταχύτητα περιστροφής του Ηλίου
- $(V=\Omega R)$



<http://solarscience.msfc.nasa.gov/>





Ανίχνευση ενός πλανήτη από ένα άλλο άστρο με το φαινόμενο Doppler διότι μετατοπίζεται το φάσμα του άστρου περιοδικά προς το ερυθρό και το γαλάζιο εναλλάξ.



Τέλος Ενότητας

Χρηματοδότηση

- Το παρόν εκπαιδευτικό υλικό έχει αναπτυχθεί στο πλαίσιο του εκπαιδευτικού έργου του διδάσκοντα.
- Το έργο «**Ανοικτά Ακαδημαϊκά Μαθήματα στο Πανεπιστήμιο Αθηνών**» έχει χρηματοδοτήσει μόνο την αναδιαμόρφωση του εκπαιδευτικού υλικού.
- Το έργο υλοποιείται στο πλαίσιο του Επιχειρησιακού Προγράμματος «Εκπαίδευση και Δια Βίου Μάθηση» και συγχρηματοδοτείται από την Ευρωπαϊκή Ένωση (Ευρωπαϊκό Κοινωνικό Ταμείο) και από εθνικούς πόρους.



Σημειώματα

Σημείωμα Ιστορικού Εκδόσεων Έργου

Το παρόν έργο αποτελεί την έκδοση 1.0.0.



Σημείωμα Αναφοράς

Copyright Εθνικών και Καποδιστριακών Πανεπιστημίων Αθηνών, Ξενοφών Δ. Μουσάς 2015. «Εισαγωγή στην Αστροφυσική. Φυσική των Αστέρων». Έκδοση :1.0. Αθήνα 2015. Διαθέσιμο από τη δικτυακή διεύθυνση :

<http://opencourses.uoa.gr/courses/PHYS1/>



Σημείωμα Αδειοδότησης

Το παρόν υλικό διατίθεται με τους όρους της άδειας χρήσης Creative Commons Αναφορά, Μη Εμπορική Χρήση Παρόμοια Διανομή 4.0 [1] ή μεταγενέστερη, Διεθνής Έκδοση. Εξαιρούνται τα αυτοτελή έργα τρίτων π.χ. φωτογραφίες, διαγράμματα κ.λ.π., τα οποία εμπεριέχονται σε αυτό και τα οποία αναφέρονται μαζί με τους όρους χρήσης τους στο «Σημείωμα Χρήσης Έργων Τρίτων».



[1] <http://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>

Ως **Μη Εμπορική** ορίζεται η χρήση:

- που δεν περιλαμβάνει άμεσο ή έμμεσο οικονομικό όφελος από την χρήση του έργου, για το διανομέα του έργου και αδειοδόχο
- που δεν περιλαμβάνει οικονομική συναλλαγή ως προϋπόθεση για τη χρήση ή πρόσβαση στο έργο
- που δεν προσπορίζει στο διανομέα του έργου και αδειοδόχο έμμεσο οικονομικό όφελος (π.χ. διαφημίσεις) από την προβολή του έργου σε διαδικτυακό τόπο

Ο δικαιούχος μπορεί να παρέχει στον αδειοδόχο ξεχωριστή άδεια να χρησιμοποιεί το έργο για εμπορική χρήση, εφόσον αυτό του ζητηθεί.



Διατήρηση Σημειωμάτων

Οποιαδήποτε αναπαραγωγή ή διασκευή του υλικού θα πρέπει να συμπεριλαμβάνει:

- το Σημείωμα Αναφοράς
- το Σημείωμα Αδειοδότησης
- τη δήλωση Διατήρησης Σημειωμάτων
- το Σημείωμα Χρήσης Έργων Τρίτων (εφόσον υπάρχει)

μαζί με τους συνοδευόμενους υπερσυνδέσμους.

