

Supernovae - Beobachtung und Klassifizierung

David Bellem

La Villa - 01.09.2006

Gliederung

- 1 Was ist eine Supernova?
- 2 Klassifizierung von Supernovae
 - Spektroskopie
 - Klassifizierung
- 3 Beobachtungsmöglichkeiten
 - Motivation
 - Beobachtung

Gliederung

- 1 Was ist eine Supernova?
- 2 Klassifizierung von Supernovae
 - Spektroskopie
 - Klassifizierung
- 3 Beobachtungsmöglichkeiten
 - Motivation
 - Beobachtung

Supernova



Supernova 1987A [9]

Was ist eine Supernova?

Früher

- (Super) Nova als Entstehung eines neuen Sternes
- Beobachtungen
z.B. 1054 China, 1572 Tycho Brahe, 1604 Johannes Kepler

Heute

- Bei Novae und Supernovae entstehen keine neuen Sterne
- Physikalische Unterschiede zw. Supernova und Nova
- Physikalische Unterschiede zw. Supernovae
- Ein Stern kann mehrere Novae durchlaufen
- Supernova als Explosion am Ende der Sternenentwicklung

Was ist eine Supernova?

Früher

- (Super) Nova als Entstehung eines neuen Sternes
- Beobachtungen
z.B. 1054 China, 1572 Tycho Brahe, 1604 Johannes Kepler

Heute

- Bei Novae und Supernovae entstehen keine neuen Sterne
- Physikalische Unterschiede zw. Supernova und Nova
- Physikalische Unterschiede zw. Supernovae
- Ein Stern kann mehrere Novae durchlaufen
- Supernova als Explosion am Ende der Sternenentwicklung

Wie macht sich eine SN bemerkbar?



[9]

- Elektromagnetische Strahlung (Infrarot, Sichtbares Licht, Röntgenstrahlung)
- ca. 10^{43} J Energie werden frei (entspricht der Menge von 10^{10} Jahren Sonnenstrahlung)
- **Neutrinos** (99% der Energie)

Standardmodell der Elementarteilchenphysik

1 Fermionen (halbzahliger Spin)

- **Quarks** (starke WW, schwache WW, em WW, Gravitation)
z.B. up, down, charm, strange, top, bottom
- **Leptonen** (keine starke WW)

Generation	Teilchen	Symbol	Ladung
1	Elektronen	e^-	-1
1	Elektronenneutrino	ν_e	0
2	Myon	μ^-	-1
2	Myonneutrino	ν_μ	0
3	Tauon	τ^-	-1
3	Tauonneutrino	ν_τ	0

2 Bosonen (ganzzahliger Spin)

- **Eichbosonen** (vermitteln Wechselwirkungen)

Wie macht sich eine SN bemerkbar?

Neutrinos

- Elementarteilchen, die nur der Gravitation und schwachen Kraft unterliegen
- Sonne liefert 70 Mrd. Neutrinos pro Sek. und cm^2 auf der Erde
- Elektron-Neutrino (ν_e), Myon-Neutrino (ν_μ) und Tau- oder Tauon-Neutrino (ν_τ)
- Nachweis z.B. Super-Kamiokande oder Gallex

Überreste einer Supernova (SNR)

- Bei einer SN werden Bestandteile des Sterns mit ca 1% der Lichtgeschwindigkeit ausgeworfen
- Bilden mit interstellarem Gas eine Schockwelle, die sich auf ca 10 Millionen K aufheizt und ein Plasma bildet
- Schockwelle durchläuft unterschiedliche Stadien und emittiert dabei untersch. elektromagnetische Strahlung
- Bildung schwerer Elemente durch r- und p-Prozesse
- Bei manchen SNe entstehen Neutronensterne oder schwarze Löcher

r - Prozess

- Findet in wenigen Zehntel Millisekunden statt ($\rightarrow$ rapid)
- Neutroneneinfangprozess bei hohen Temperaturen und Neutronendichten (10^{20} Neutronen/cm $^{-3}$)
- Kerne werden mit Neutronen übersättigt, dann folgt β^- Zerfall:



- Bildung der schweren Elemente von Eisen bis Blei und Isotopen, z.B. Uran

r - Prozess

1 H 1,007																	2 He 4,002					
3 Li 6,941	4 Be 9,012															5 B 10,81	6 C 12,01	7 N 14,00	8 O 15,99	9 F 18,99	10 Ne 20,17	
11 Na 22,98	12 Mg 24,30															13 Al 26,98	14 Si 28,08	15 P 30,97	16 S 32,06	17 Cl 35,45	18 Ar 39,94	
19 K 39,09	20 Ca 40,07	21 Sc 44,95	22 Ti 47,88	23 V 50,94	24 Cr 51,99	25 Mn 54,93	26 Fe 55,84	27 Co 58,93	28 Ni 58,69	29 Cu 63,54	30 Zn 65,39	31 Ga 69,72	32 Ge 72,61	33 As 74,92	34 Se 78,96	35 Br 79,90	36 Kr 83,8					
37 Rb 85,46	38 Sr 87,62	39 Y 88,90	40 Zr 91,22	41 Nb 92,90	42 Mo 95,94	43 Tc 98,90	44 Ru 101,0	45 Rh 102,9	46 Pd 106,4	47 Ag 107,8	48 Cd 112,4	49 In 114,8	50 Sn 118,7	51 Sb 121,7	52 Te 127,6	53 I 126,9	54 Xe 131,2					
55 Cs 132,9	56 Ba 137,3			72 Hf 178,4	73 Ta 180,9	74 W 183,8	75 Re 186,2	76 Os 190,2	77 Ir 192,2	78 Pt 195,0	79 Au 196,9	80 Hg 200,5	81 Tl 204,3	82 Pb 207,2	83 Bi 208,9	84 Po 208,9	85 At 209,9	86 Rn 222,0				
87 Fr 223,0	88 Ra 226,0			104 Rf 261,1	105 Db 262,1	106 Sg 263,1	107 Bh 262,1	108 Hs 265	109 Mt 266	110 Uun 269	111 Uuu 272	112 Uub 277						©2001 periodensystem.info				

p - Prozess

- Erforderliche Temperatur ca. 1 Milliarde Kelvin
- Hohe Temperatur um Coulombabstoßung zu überwinden
- Protonenübersättigung folgt β^+ Zerfall:



- Für r-Prozess nicht erreichbare Kerne werden gebildet
- Relativ selten

Der Krebsnebel als SNR



Krebsnebel - Überlagerung von Aufnahmen in den Bereichen des sichtbaren Lichts (rot, Hubble-Teleskop) und der Röntgenstrahlen (blau, Chandra). Quelle: de.Wikipedia.org

- 1731 im Sternbild Stier von John Bevis entdeckt
- Überreste der SN1054

Gliederung

- 1 Was ist eine Supernova?
- 2 **Klassifizierung von Supernovae**
 - Spektroskopie
 - Klassifizierung
- 3 Beobachtungsmöglichkeiten
 - Motivation
 - Beobachtung

Spektroskopie

- Quantenmechanik erlaubt nur diskrete Energieniveaus der Elektronen
- Elektronen können durch Ändern ihres Quantenzustandes Energie aufnehmen oder abgeben
- Durchstrahlung eines Gases mit Licht unterschiedlicher Energie liefert Absorptionsspektrum

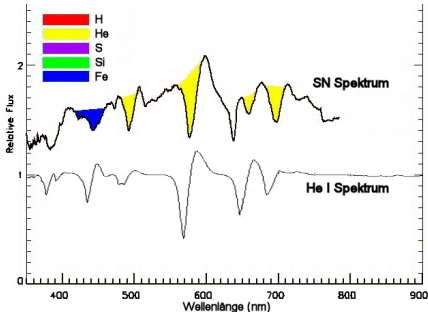
Klassifizierung

Einteilung anhand von frühem Spektrum und Lichtkurve
mangels Verständnis der physikalischen Prozesse:

- Nach Auftreten von Ähnlichkeiten mit H, He und Si Spektren
- Vergleich des zeitlichen Verlaufs der Intensität (Lichtkurve)
- Existenz von unterschiedlichen Klassifizierungen
- Meist gebräuchlich:
Einteilung in die Klassen SN I und SN II mit Untergruppen SN Ia, Ib, Ic bzw. SN IIP, IIL, IIB

Klassifizierung

Einteilung anhand von frühem Spektrum und Lichtkurve
mangels Verständnis der physikalischen Prozesse:

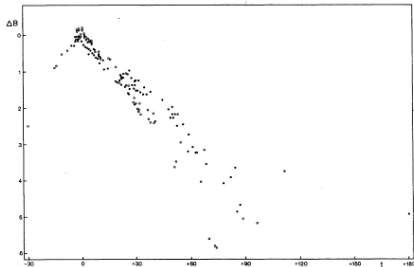


[4]

- Nach Auftreten von Ähnlichkeiten mit H, He und Si Spektren
- Vergleich des zeitlichen Verlaufs der Intensität (Lichtkurve)
- Existenz von unterschiedlichen Klassifizierungen
- Meist gebräuchlich:
Einteilung in die Klassen SN I und SN II mit Untergruppen SN Ia, Ib, Ic bzw. SN IIP, IIL, Iib

Klassifizierung

Einteilung anhand von frühem Spektrum und Lichtkurve
mangels Verständnis der physikalischen Prozesse:

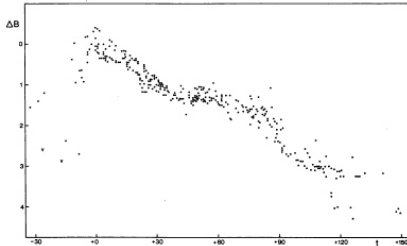


Lichtkurve mit linearem Abfall

- Nach Auftreten von Ähnlichkeiten mit H, He und Si Spektren
- Vergleich des zeitlichen Verlaufs der Intensität (Lichtkurve)
- Existenz von unterschiedlichen Klassifizierungen
- Meist gebräuchlich:
Einteilung in die Klassen SN I und SN II mit Untergruppen SN Ia, Ib, Ic bzw. SN IIP, IIL, Iib

Klassifizierung

Einteilung anhand von frühem Spektrum und Lichtkurve
mangels Verständnis der physikalischen Prozesse:



Lichtkurve mit Plateau im Abfall

- Nach Auftreten von Ähnlichkeiten mit H, He und Si Spektren
- Vergleich des zeitlichen Verlaufs der Intensität (Lichtkurve)
- Existenz von unterschiedlichen Klassifizierungen
- Meist gebräuchlich:
Einteilung in die Klassen SN I und SN II mit Untergruppen SN Ia, Ib, Ic bzw. SN IIP, IIL, Iib

Klassifizierung

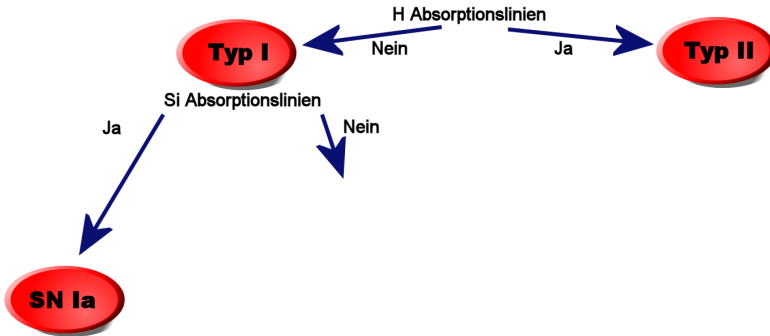
Einteilung anhand von frühem Spektrum und Lichtkurve
mangels Verständnis der physikalischen Prozesse:

- Nach Auftreten von Ähnlichkeiten mit H, He und Si Spektren
- Vergleich des zeitlichen Verlaufs der Intensität (Lichtkurve)
- Existenz von unterschiedlichen Klassifizierungen
- Meist gebräuchlich:
Einteilung in die Klassen **SN I** und **SN II** mit Untergruppen **SN Ia, Ib, Ic** bzw. **SN IIP, IIL, IIB**

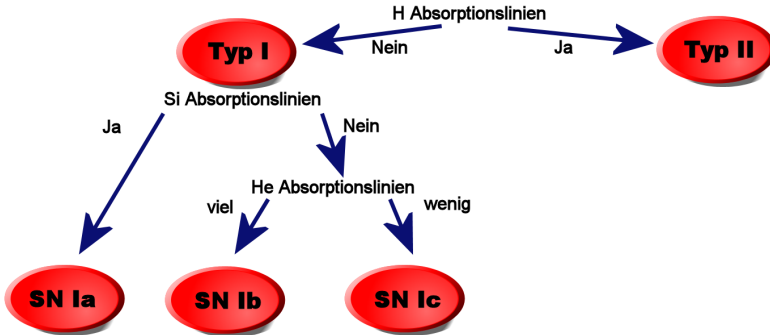
Klassifizierung



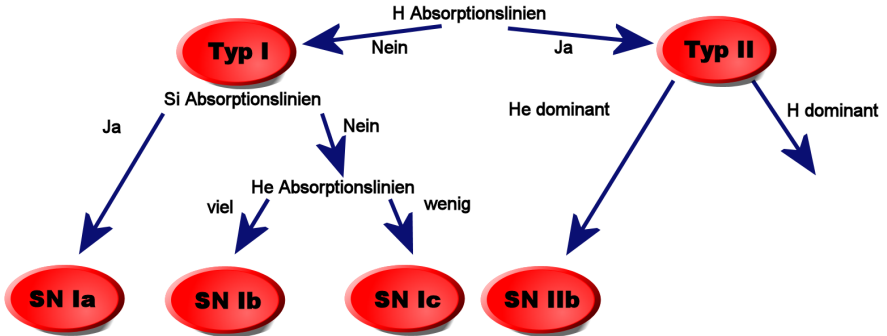
Klassifizierung



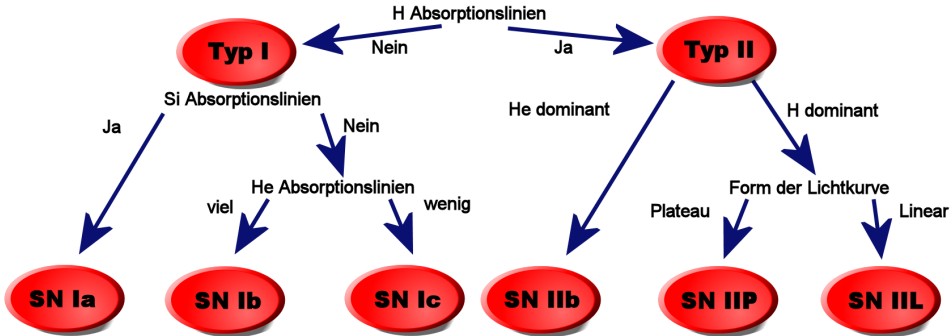
Klassifizierung



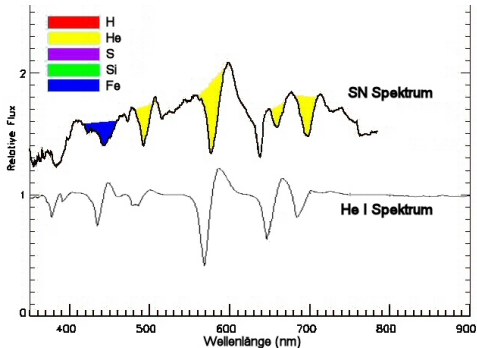
Klassifizierung



Klassifizierung

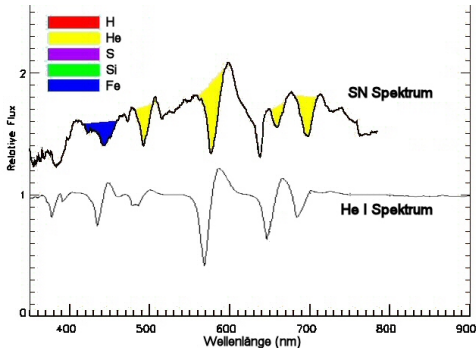


Beispiel Spektrum



- Enthält kein H, Si, dafür aber viel He

Beispiel Spektrum



- Enthält kein H, Si, dafür aber viel He
- Supernova vom Typ Ib

Gliederung

- 1 Was ist eine Supernova?
- 2 Klassifizierung von Supernovae
 - Spektroskopie
 - Klassifizierung
- 3 **Beobachtungsmöglichkeiten**
 - Motivation
 - **Beobachtung**

Warum interessieren uns Supernovae?

- SNe stellen das Ende einer Sternenentwicklung dar
- Explosion liefert Material für die Neubildung von Sternen und Planeten
- SNe bilden schwere Elemente und liefern damit Bausteine des Lebens
- SNe können zur Bestimmung von verschiedenen kosmologischen Konstanten genutzt werden
- Entstehung von schwarzen Löchern als Überreste

SN als Standardkerzen - Entfernungsmessung

- Mechanismus der Explosion von SNe vom Typ Ia ist weitgehend verstanden
- Fast gleiche absolute Helligkeit am Maximum
 $M_{max} \approx -19.5mag$
- Bestimmung des Maximums der scheinbaren Helligkeit
 m_{max} durch Messungen
- Entfernung ist gegeben durch

$$m_{max} - M_{max} = -5 + \log_{10}(\text{Abstand } D)$$

- Problem: Interstellarer Staub und Gase lassen SNe dunkler (und rötter) erscheinen

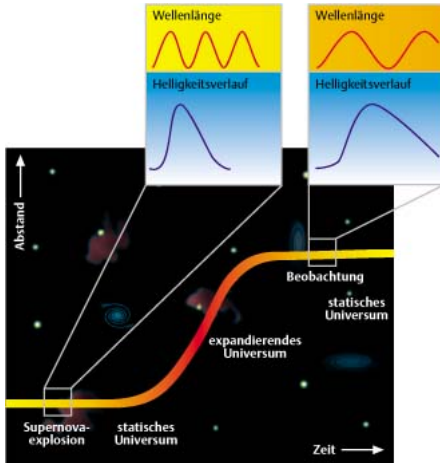
SN als Standardkerzen - Entfernungsmessung

- Mechanismus der Explosion von SNe vom Typ Ia ist weitgehend verstanden
- Fast gleiche absolute Helligkeit am Maximum
 $M_{max} \approx -19.5mag$
- Bestimmung des Maximums der scheinbaren Helligkeit m_{max} durch Messungen
- Entfernung ist gegeben durch

$$m_{max} - M_{max} = -5 + \log_{10}(\text{Abstand } D)$$

- **Problem:** Interstellarer Staub und Gase lassen SNe dunkler (und röter) erscheinen

SN als Standardkerzen - Hubble Konstante



- Hubble'sche Gesetz

$$z \cdot c = H_0 \cdot D$$

Wobei $z = (\lambda - \lambda_0)/\lambda_0$
(Rotverschiebung) und D
die Entfernung

- Messung der Rotverschiebung mittels Spektrum
- Aus z und D lässt sich H_0 berechnen

Optische Beobachtungen - Supernova Cosmology Project

- Im Prinzip Vergleich von Bildern
- 50 - 100 Bilder mit einer möglichst großen Anzahl an Galaxien (ca. 1000) nach jedem Neumond mit dem Cerro Tololo 4 Meter Teleskop
- 3 Wochen später Vergleich, da SN etwas mehr als 3 Wochen braucht um Maximum zu erreichen
- Maximum mit unterschiedlichen Teleskopen (z.B. Hubble) untersuchen

Neutrino Frühwarnsysteme

Vorteile

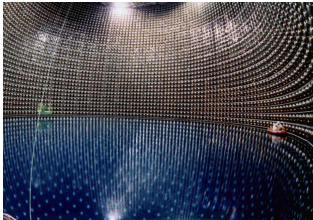
- Neutrinos werden vor der Emission von sichtbarem Licht ausgestoßen
- Manche Detektoren können Position der Neutrino Quelle bestimmen
- Zusammenschluss von Detektoren ermöglicht Frühwarnsystem
- Neutrino Detektoren ermöglichen Beobachtung des gesamten Verlaufs einer SN

Neutrino Frühwarnsysteme

Probleme

- Nicht alle Detektoren können alle drei Neutrinos nachweisen
- Neutrinos unterliegen nur Gravitation und schwacher Kraft
- Große Mengen an Material werden gebraucht um Neutrinos überhaupt zu registrieren
- Neutrinoausstoß von SN1987A so groß, dass ca. **1 Billion** Neutrinos durch jede Person flogen, aber nur ca. **20** wurden registriert

Neutrino Frühwarnsysteme - Super-Kamiokande



Super-Kamiokande [13]

- Neutrinos treten im Wasser mit Elektronen in Wechselwirkung
 - Elektronen die sich schneller als c_{Wasser} bewegen, emittieren Tscherenkow-Licht (Analog zum Überschallknall)
 - Detektion mit Photomultiplier Tubes (PMTs)
- 50 000 t hochreines Wasser und ca. 12 000 PMTs im Super-Kamiokande
 - SNEWS - Zusammenschluss verschiedener Detektoren zur Frühwarnung

Hinterlassene Spuren auf der Erde

- Durch Röntgenstrahlung Umwandlung von Ozon und Stickstoff zu Stickoxiden
- Eis als „Speicher“ unterschiedlicher Stickoxidkonzentrationen
- Durch Bohrungen Zugang zu Daten
- Durch Zuordnung von Stickoxidkonzentrationen zu bekannten Supernovae (1054, 1572 etc) können weitere Supernovae im Nachhinein erkannt werden

Zusammenfassung

- Supernovae machen sich durch **elektromagnetische Strahlung** und **Neutrinos** bemerkbar. Neutrinos enthalten ca. 99 % der Energie
- Supernovae lassen sich anhand ihrer Spektren und Lichtkurven klassifizieren. Diese Klassifizierung stimmt nicht mit den unterschiedlichen physikalischen Prozessen überein.
- Supernovae sind für unser Verständnis der Universums von großer Bedeutung, z.B. als Standardkerze oder als Mechanismus zum Bilden schwerer Elemente

Zusammenfassung

- Supernovae machen sich durch elektromagnetische Strahlung und Neutrinos bemerkbar. Neutrinos enthalten ca. 99 % der Energie
- Supernovae lassen sich anhand ihrer **Spektren** und **Lichtkurven** klassifizieren. Diese Klassifizierung stimmt **nicht** mit den unterschiedlichen physikalischen Prozessen überein.
- Supernovae sind für unser Verständnis der Universums von großer Bedeutung, z.B. als Standardkerze oder als Mechanismus zum Bilden schwerer Elemente

Zusammenfassung

- Supernovae machen sich durch elektromagnetische Strahlung und Neutrinos bemerkbar. Neutrinos enthalten ca. 99 % der Energie
- Supernovae lassen sich anhand ihrer Spektren und Lichtkurven klassifizieren. Diese Klassifizierung stimmt nicht mit den unterschiedlichen physikalischen Prozessen überein.
- Supernovae sind für unser Verständnis der Universums von großer Bedeutung, z.B. als **Standardkerze** oder als Mechanismus zum **Bilden schwerer Elemente**

Ausblick

- Physikalische Modelle für Supernovae

Ende

Vielen Dank für die Aufmerksamkeit!

Quellen & Literatur I



Begelman & Rees

Gravity's fatal attraction: black holes in the Universe.

Scientific American Library, 1996 ISBN 0-7187-5074-0



Supernova Taxonomy

<http://rsd-www.nrl.navy.mil/7212/montes/snetax.html>



Andreas Müller - Astrophysik: Lexikon, Forschung und Essays

<http://www.mpe.mpg.de/~amueller/>



Daniel Kasen – Supernova Spectra Page

<http://supernova.lbl.gov/~dnkasen/tutorial/>

Quellen & Literatur II



Wikipedia.org

<http://www.wikipedia.org>



Automated Supernovae Search Project

<http://www.supernovae.be/>



Vorlesung Einführung in die Astronomie: Supernovae

<http://www.astro.uni-bonn.de/~deboer/eida/eida-sn.html>



Poster displayed at the American Astronomical Society
meeting in Washington, D.C., January 9, 1998

[http://www-](http://www-supernova.lbl.gov/public/papers/aasposter198dir/aaasposter.html)

[supernova.lbl.gov/public/papers/aasposter198dir/aaasposter.html](http://www-supernova.lbl.gov/public/papers/aasposter198dir/aaasposter.html)

Quellen & Literatur III



Supernova 1987A

<http://www.astro.umd.edu/miller/Gallery/stars/sn1987a.jpg>



Rotverschiebung und Expansion

<http://www.mpia.de/suw/SuW/BR-alpha/AC006%20-%20Universum/S114-Rotverschiebung.jpg>



What is SNEWS?

<http://snews.bnl.gov/>



SNAP Homepage

<http://snap.lbl.gov/>

Quellen & Literatur IV



Kamioka Observatory, ICRR (Institute for Cosmic Ray Research), The University of Tokyo

http://www-sk.icrr.u-tokyo.ac.jp/index_e.html



Imagine The Universe! Home Page

<http://imagine.gsfc.nasa.gov/index.html>