

Astrofísica Observacional (FIS-639)

Mestrado e Doutorado em Física e Astronomia



– Aula 1 –

Ementa, Plano de Ensino e Introdução.

Prof. Dr. Sergio Pilling

sergiopilling@yahoo.com.br

<http://www1.univap.br/spilling>

A. Ementa

Introdução histórica. Sistemas de coordenadas. Interferência da atmosfera terrestre e meio interestelar nas observações. Coletores de radiação: telescópios, antenas, interferômetros, conceitos de óptica ativa e adaptativa. Detetores: CCDs, fotomultiplicadoras, detetores infravermelhos. Analisadores de radiação: espectrógrafos, fotômetros, filtros, polarizadores. Aquisição e tratamento de dados, erros. Fotometria: sistemas fotométricos, calibração, extinção; espectroscopia: classificação espectral, parâmetros de linhas; elementos de polarimetria. Astronomia espacial: raios-gama, raios-X e ultravioleta.

B. Plano de Aula detalhado

Dias	Horas/aula acumulada	Matéria dada	Obs.
20/ago (qui)	4	1) Plano de ensino e avaliação. Introdução e parte histórica. Sistemas de coordenadas	
27/ago (qui)	8	2) Atmosfera, Interferência da atmosfera terrestre e meio interestelar nas observações.	
03/set (qui)	12	3) Coletores de radiação: telescópios, antenas, interferômetros, conceitos de óptica ativa e adaptativa.	
10/set (qui)	16	4) Detetores: CCDs, fotomultiplicadoras, detetores infravermelhos. Analisadores de radiação: espectrógrafos, fotômetros, filtros, polarizadores.	
17/set ? (qui)	20	5) Visita técnica ao ROI - Radio observatório de Itapeting, Atibaia, SP.	com Williams
24/set (qui)	24	6) Fotometria. sistemas fotométricos, calibração, extinção. Aquisição e tratamento de dados, erros.	

8/out (qui)	28	7) - Espectroscopia: classificação espectral, parâmetros de linhas; elementos de polarimetria.	Sobreposicao com curso agilent??
15/out (qui)	32	8) Introducao a interferometria em rádio.	com Guga
23/out (sexta)	36	9) Visita técnica ao DBA - Braziliam decimetric Array, Cachoeira Paulista, SP.	com Guga
29/out (qui)	40	10) Modulo IRAF #1 -Fotometria	com Will
5/nov	44	11) Modulo IRAF #2 -Espectroscopia	com aluno Matheus
12/nov	48	12) Modulo IDL #1 - Fotometria, imagem	com aluno Alexandre
26/nov	52	13) Modulo IDL #2 - Espectroscopia	
27 e 28/nov (sex e sab)	56	14) Visita técnica e observações no OPD/LNA - Observatório do Pico dos dias/Laboratório Nacional de Astrofisica em Brasopolis, Mg.	
10/dez (qui)	60	15) Visita técnica e observações no Observatório da Univap.	com Irapuan.
17/dez (qui)	64	16) Entrega de trabalho (Avaliação Final).	

C. Atividades práticas

- 1) Visita técnica ao ROI - Radio observatorio de Itapeting, Atibaia, SP.
 - 2) Visita técnica ao DBA - Braziliam decimetric Array, Cachoeira Paulista, SP.
 - 3) Visita técnica e observações no OPD/LNA - Observatório do Pico dos dias/Laboratório Nacional de Astrofisica em Brasópolis, Mg.
 - 4) Visita técnica e observações no Observatório da Univap.
-

D) Avaliação

- Listas de exercícios e Trabalho final (pesos iguais).
- Aprovação: media maior o igual a 7.0.

E) Bibliografia e material complementar.

- 1) C.R. Kitchin, C.R., Astrophysical Techniques. Adam Higer LTD, Bristol.
- 2) P. Léna, F. Lebrun, F. Mignard, Observational Astrophysics, 2a Edição, Editora Springer-Verlag, A&A Library, New York, 1998.
- 3) Smith C. R., Observational Astrophysics, 1995, Cambridge University Press.
- 4) Técnicas observacionais em astrofísica. Prof. Claudia Rodrigues (inpe)
<http://www.das.inpe.br/~claudia.rodrigues/ast203/>
- 5) Técnicas observacionais em astrofísica Prof Gabriel Hickel (UNIFEI)
<https://sites.google.com/site/profgabrielhickel/home/tecobsast>
- 6) Astrofísica Observacional. Prof. Jorge Meléndez (IAG-USP)
<http://www.astro.iag.usp.br/~jorge/aga5802/>

Introdução

- A astrofísica pode ser definida como a ciência que tenta compreender fisicamente o Universo (em escalas planetárias ou maiores)
- Essa compreensão baseia-se na interpretação de informações obtidas pela observação astronômica
- Cada técnica observacional lida com parte da informação que pode ser obtida de um objeto

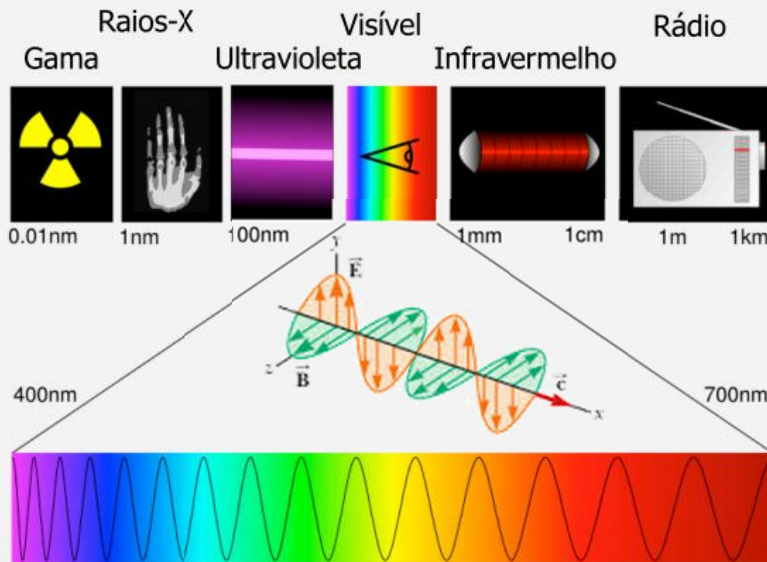
Meios da informação

- As informações sobre os objetos astrofísicos podem ser obtidas por várias maneiras:
 - ◊ radiação eletromagnética
 - ◊ matéria
 - ◊ neutrinos
 - ◊ ondas gravitacionais (ainda não detectadas)
 - ◊ medidas no local (apenas no sistema solar)

Vamos nos concentrar nesse curso na radiação eletromagnética

- Variação com comprimento de onda; —→ Espectroscopia
- posição espacial; —→ Imagem
- intensidade; —→ Fotometria, Curvas de luz.
- intensidade com o tempo —→
- e polarização. —→ Mapa de polarização ou medida de polarização.

Espectro eletromagnético



Wikipedia

- Temos toda a informação da emissão eletromagnética de um objeto se conhecemos:

- ◊ todos os parâmetros de Stokes, S ,
- ◊ em todos os comprimentos de onda, λ ,
- ◊ em todos os pontos do objeto, θ (resolução espacial),
- ◊ em todos os instantes, t .

$$S(\lambda, \theta, t) = \begin{bmatrix} I(\lambda, \theta, t) \\ Q(\lambda, \theta, t) \\ U(\lambda, \theta, t) \\ V(\lambda, \theta, t) \end{bmatrix} \begin{matrix} \leftarrow \text{Intensidade} \\ \leftarrow \text{Polarização} \end{matrix}$$



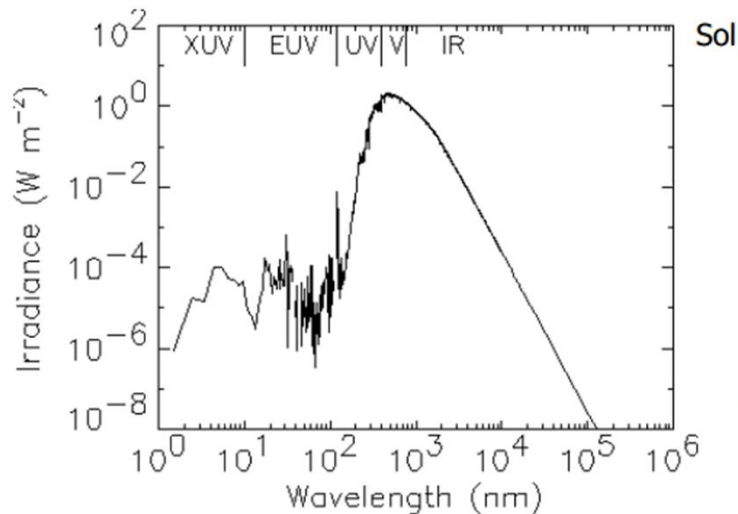
Duas lentes polaroides superpostas ainda permitem a passagem de uma certa quantidade de luz



A luz não atravessa dois polaroides colocados perpendicularmente (a 90°)

Alguns exemplos de medidas:

Objetos celestes emitem ao longo de todo o espectro

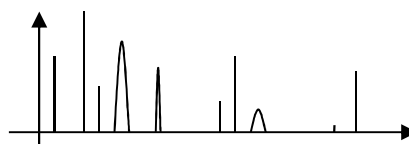
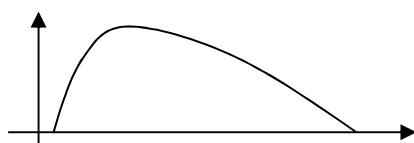
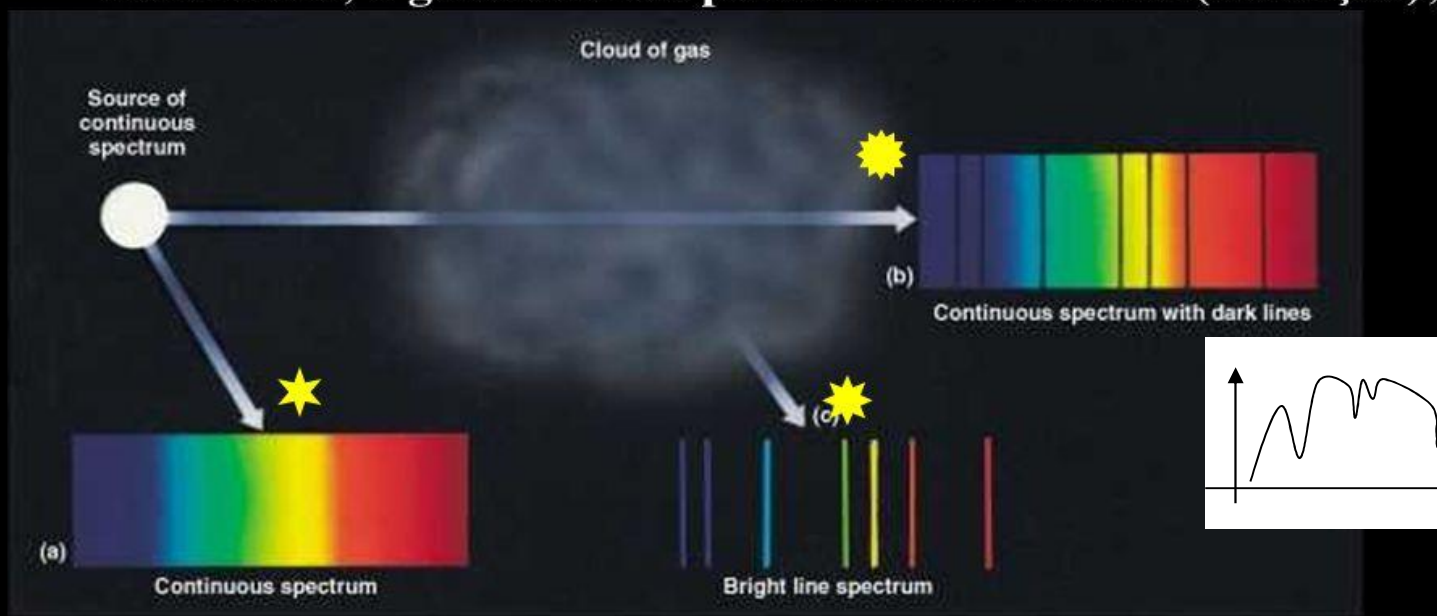


<http://www.spacewx.com/WavelengthDescript.html>

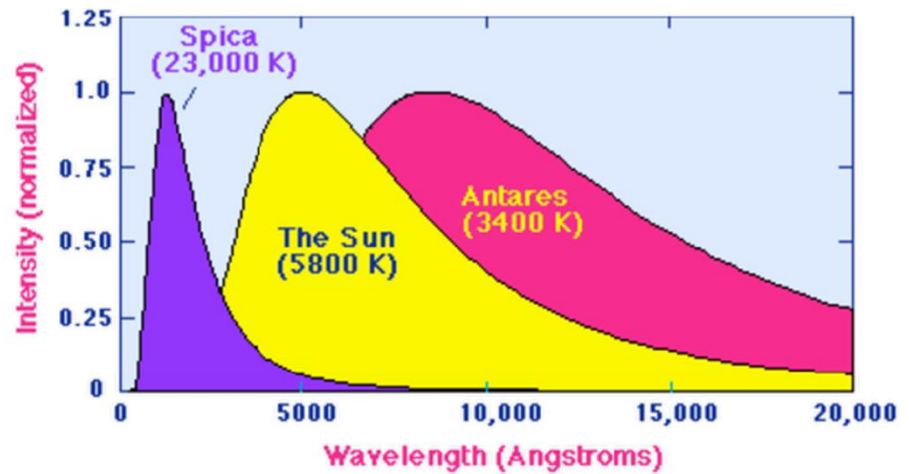
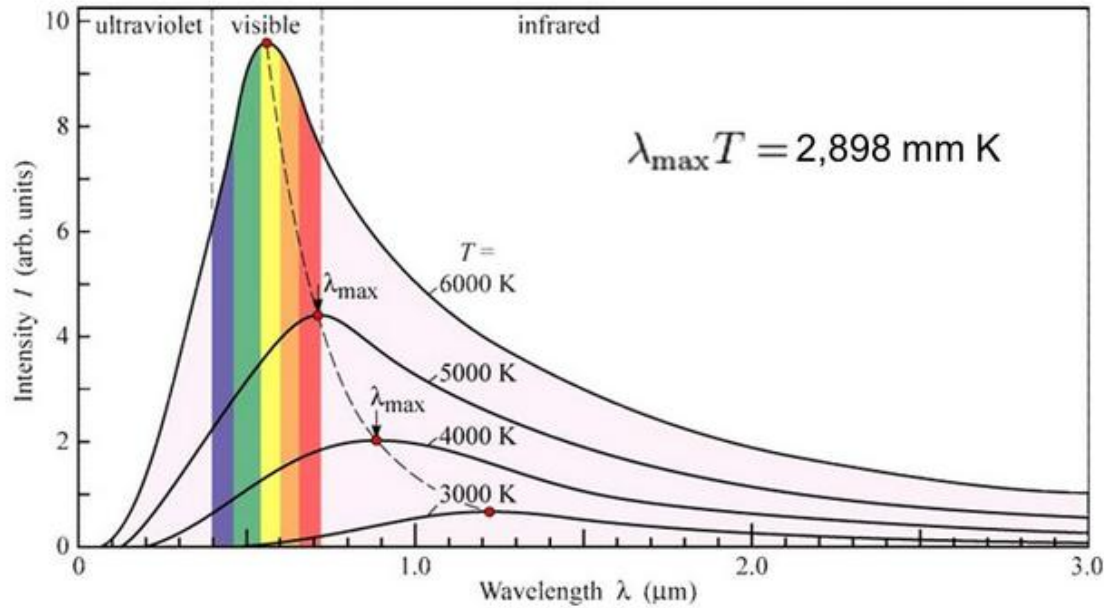
- O espectro de um objeto depende de processos físicos na fonte (Processos Radiativos!). Alguns exemplos:
 - ◊ corpo negro
 - ◊ emissão ciclotron
 - ◊ absorção/emissão por processos atômicos e moleculares
- A radiação da fonte pode ser alterada ao longo do caminho óptico até o instrumento de detecção
 - ◊ absorção, espalhamento e emissão no meio interestelar
 - poeira
 - H I
 - plasma
 - elétrons relativísticos
 - ◊ mudança de trajetória devido à presença de matéria que distorce o espaço-tempo (lentes gravitacionais)
 - ◊ atmosfera terrestre
 - ◊ sistema de observação

Leis de Kirchhoff

- ★ **Corpo opaco quente emite um espectro contínuo;**
- ★ **Gás transparente produz espectro de linhas brilhantes (emissão);**
- ★ **Espectro contínuo ao passar por um gás à temperatura mais baixa, o gás mais frio produz linhas escuras (absorção);**



Lei de Wien

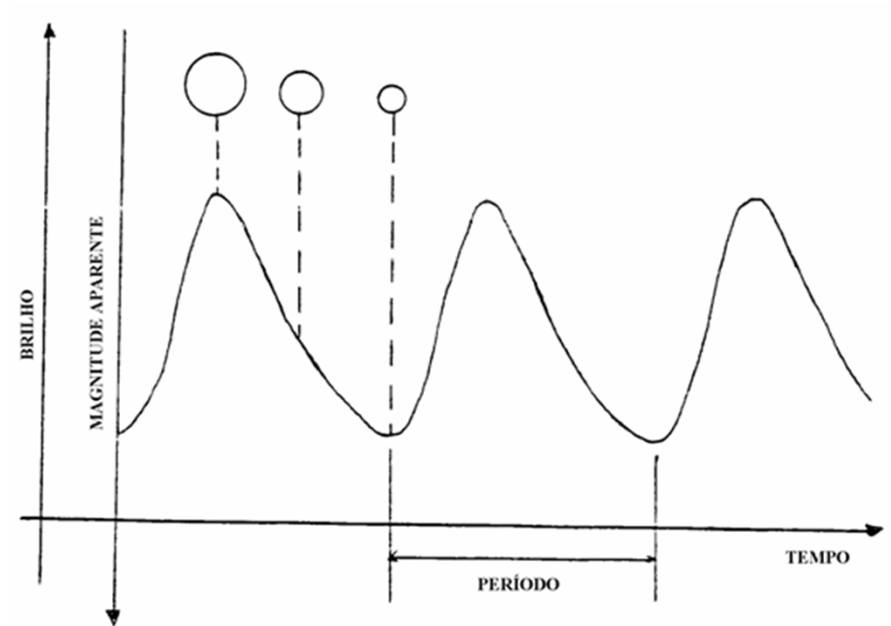


<http://csep10.phys.utk.edu/astr162/lect/sun/spectrum.html>

imagem



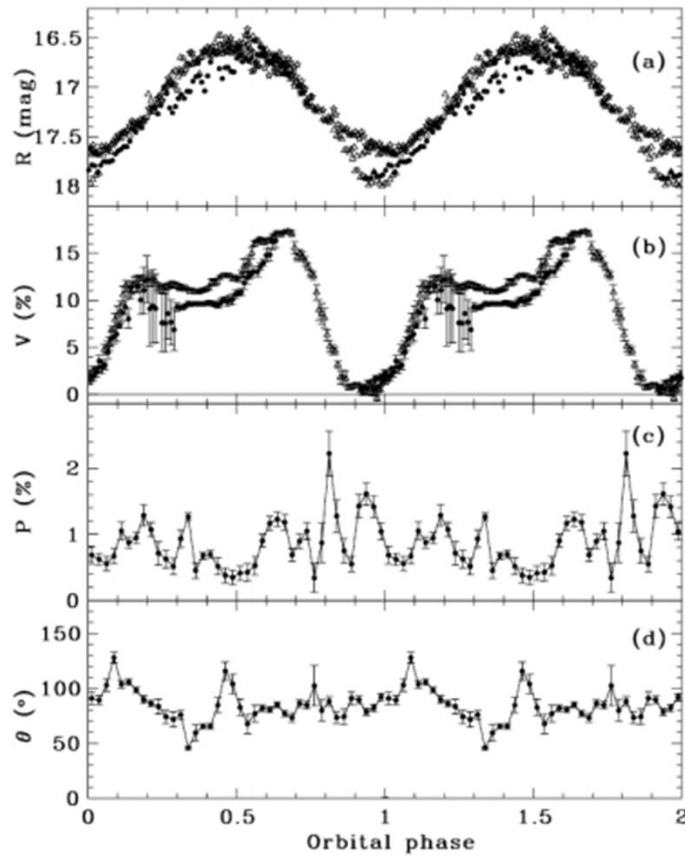
Curvas de luz



Variação da polarização com o tempo

$$S(\lambda, \theta, t) = \begin{bmatrix} I(\lambda, \theta, t) \\ Q(\lambda, \theta, t) \\ U(\lambda, \theta, t) \\ V(\lambda, \theta, t) \end{bmatrix}$$

← Intensidade
 ↗ ↘ Polarização

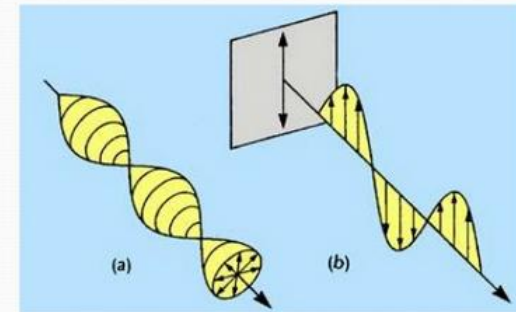


Varição de parâmetros de Stokes de uma polar

Polarização da Luz

- A luz natural que antes se propagava em todos os planos, agora passa a se propagar em um único plano.

- ✓ (a) Luz natural
- ✓ (b) Luz polarizada



Rodrigues et al. 2006

A interpretação da radiação recebida depende da compreensão dos processos físicos na fonte e ao longo do caminho óptico, incluindo a atmosfera e todo o aparato instrumental.

Sistema observacional

área coletora

espelho primário ou antena de radiotelescópio

campo de visão

ângulo sólido observado definido pelo telescópio

sistema óptico

conjunto que forma a imagem

seleção espectral

filtros, rede ou prismas

detector

CCD

sistema de aquisição e registro

Aspectos das medidas

posição

movimento da fonte

intensidade:
fotometria

absoluta e diferencial
magnitudes

variabilidade
temporal

explosões
curvas de luz

resolução espacial

tamanho do instrumento
comprimento de onda
efeitos atmosféricos
interferometria

cobertura/resolução
espectral

atmosfera
instrumentos

polarização

Parâmetros de Stokes

Astronomia antiga. (FONTE: <http://www.if.ufrgs.br>)

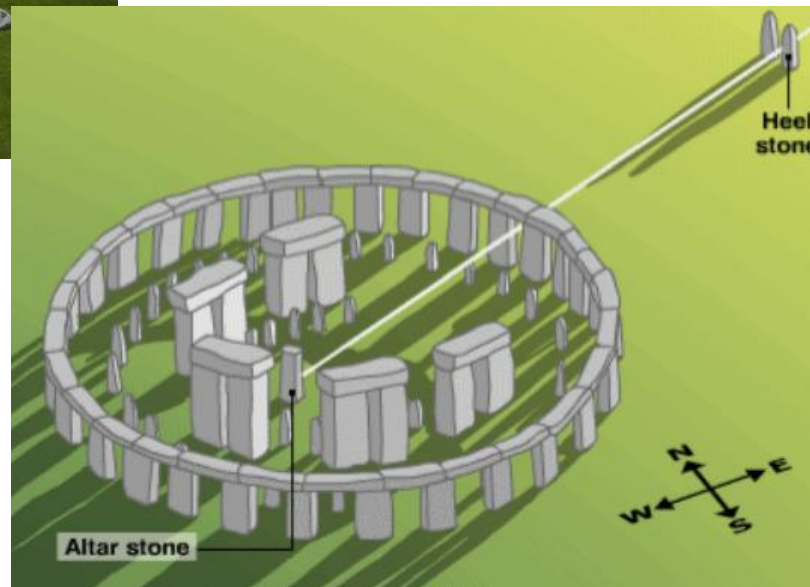
A Astronomia é a mais antiga das ciências. O homem primitivo se interessou em observar os fenômenos que ocorriam à sua volta, bem como, tentar compreendê-los. Não só o deslocamento do Sol em relação ao horizonte, e sua relação com claridade e escuridão, e as fases da Lua, foram fenômenos notados pelos homens pré-históricos. Descobertas arqueológicas têm fornecido evidências de observações astronômicas entre os povos pré-históricos. Para muitos povos antigos, os astros eram deuses ou símbolos das divindades. Atribuíram-lhes então influências sobre a vida na Terra, dando origem a seitas religiosas e ainda à Astrologia. Desde a antiguidade, o homem percebeu que podia se utilizar das estrelas para orientar-se em suas viagens, e com a regularidade de ocorrências de vários fenômenos celestes lhe permitia marcar a passagem do tempo. Desde então, o céu vem sendo usado como mapa, calendário e relógio.

Os registros astronômicos mais antigos datam de aproximadamente 3000 a.C. e se devem aos chineses, babilônios, assírios e egípcios. Naquela época, os astros eram estudados com objetivos práticos, como medir a passagem do tempo (fazer calendários) para prever a melhor época para o plantio e a colheita, ou com objetivos mais relacionados à astrologia, como fazer previsões do futuro, já que acreditavam que os deuses do céu tinham o poder da colheita, da chuva e mesmo da vida. A partir da necessidade e também da curiosidade intelectual, origina-se uma nova ciência: a Astronomia, cujo objetivo é a observação dos astros, seus movimentos, além de estudos e teorias sobre a origem e evolução.

A Astronomia Pré-Histórica Os conhecimentos disponíveis sobre a Astronomia pré-histórica são relativamente escassos. As mais antigas fontes datam de aproximadamente 50.000 anos atrás. Existem gravações feitas em pedras, que representam agrupamentos estelares como as Plêiades e as constelações da Ursa maior e Ursa Menor, entre outras. Em várias regiões da Europa são encontrados megalitos, menires e vários outros conjuntos de rochas. Estudando os sítios megalíticos, tais como os de Callanish, na Escócia, o círculo de **Stonehenge**, na Inglaterra, que data de 2500 a 1700 a.C., e os alinhamentos de Carnac, na Bretanha, os astrônomos e arqueólogos, chegaram à conclusão de que os alinhamentos e círculos serviam como marcos indicadores de referências e importantes pontos do horizonte, como por exemplo as posições extremas do nascer e ocaso do Sol e da Lua, no decorrer do ano. Esses monumentos megalíticos são autênticos observatórios destinados à previsão de eclipses na Idade da Pedra.



Em **Stonehenge**, cada pedra pesa em média 26 toneladas e a avenida principal que parte do centro do monumento aponta para o local em que o Sol nasce no dia mais longo do verão. Nessa estrutura, algumas pedras estão alinhadas com o nascer e o pôr do Sol no início do verão e do inverno.



OBS. Os maias, na América Central, também tinham conhecimentos de calendário e de fenômenos celestes, e os polinésios aprenderam a navegar por meio de observações celestes.



A Astronomia na Mesopotâmia

Na Mesopotâmia (região situada entre os rios Tigre e Eufrates, no Oriente Médio, onde hoje se localiza o Iraque) surgiram e se desenvolveram vários povos a partir de mais ou menos 3.500 a.C. Os sumérios foram os primeiros habitantes da região, e os primeiros a cultivar a astronomia. Parece justo reconhecê-los como fundadores da astronomia, apesar de terem sido também os criadores da astrologia. Realmente, a princípio, observavam os astros por motivos místicos, porém com o tempo, deixaram as suas pretensões místicas para se limitarem a observar pela simples observação. Assim fazendo, passaram de astrólogos a astrônomos. Tal mudança na análise dos fenômenos celestes ocorreu no primeiro milênio antes de Cristo. Surgem, assim, as primeiras aplicações de métodos matemáticos para exprimir as variações observadas nos movimentos da Lua e dos planetas. A introdução da matemática na astronomia foi o avanço fundamental na história da ciência na Mesopotâmia. Realizaram observações sistemáticas dos movimentos dos planetas e principalmente do Sol e da Lua. Determinaram o período da lunação (mês sinódico), o período do movimento do Sol (ano trópico), a inclinação da trajetória anual do Sol pela eclíptica e conheciam o fato de que a velocidade da Lua em seu movimento ao redor da Terra era variável. Podiam prever eclipses, e também verificaram que os planetas são encontrados sempre numa mesma região do céu. Criaram várias constelações, sendo que a maioria delas representava figuras de animais. Daí surgiu o Zodíaco, que significa círculo de animais.

A Astronomia Chinesa

A astronomia na China, como na Mesopotâmia, foi essencialmente religiosa e astrológica. Há dificuldade de reconstituir todo o conhecimento astronômico chinês, pois no ano 213 a.C. todos os livros foram queimados por decreto imperial. O que existe de mais antigo em matéria de astronomia remonta ao século IX a.C. Os chineses previam os eclipses, pois conheciam sua periodicidade. Usavam um calendário de 365 dias. Deixaram registros de anotações precisas de cometas, meteoros e meteoritos desde 700 a.C. Mais tarde, também observaram as estrelas que agora chamamos de novas.

A Astronomia entre os Egípcios

É importante registrar o papel desempenhado pelo Egito na difusão das idéias e conhecimento mesopotâmicos. Foi por intermédio dos egípcios que os astrólogos e os astrônomos babilônicos chegaram ao Ocidente. A astronomia egípcia, contudo, era bastante rudimentar, pois a economia egípcia era essencialmente agrícola e regida pelas enchentes do Nilo. Por esse motivo o ritmo de sua vida estava relacionado apenas com o Sol. As descrições do céu eram quase nulas e o zodíaco que conheciam era uma importação do criado pelos babilônicos. As pirâmides egípcias apresentam suas faces voltadas, com grande precisão, para os quatro pontos cardeais, o que atesta seus conhecimentos astronômicos.

A Astronomia Grega

O ápice da ciência antiga se deu na Grécia, de 600 a.C. a 400 d.C., a níveis só ultrapassados no século XVI. Do esforço dos gregos em conhecer a natureza do cosmos, e com o conhecimento herdado dos povos mais antigos, surgiram os primeiros conceitos de Esfera Celeste, uma esfera de material cristalino, incrustada de estrelas, tendo a Terra no centro. Desconhecedores da rotação da Terra, os gregos imaginaram que a esfera celeste girava em torno de um eixo passando pela Terra. Observaram que todas as estrelas giram em torno de um ponto fixo no céu e consideraram esse ponto como uma das extremidades do eixo de rotação da esfera celeste.

Tales de Mileto (~624-546 a.C.) introduziu na Grécia os fundamentos da geometria e da astronomia, trazidos do Egito. Já convencido da curvatura da Terra, sabia que a Lua era iluminada pelo Sol e previu o eclipse solar do ano 584 a.C. Muitos teoremas matemáticos lhe são atribuídos, mas pouco se conhece a seu respeito. Teve vários discípulos, dentre os quais merecem destaque Anaximandro, Anaximenes e Anaxágoras. **Pitágoras de Samos** (~572-497 a.C.) acreditava na esfericidade da Terra, da Lua e de outros corpos celestes. Achava que os planetas, o Sol, e a Lua eram transportados por esferas separadas da que carregava as estrelas. Foi o primeiro a chamar o céu de cosmos. De seus vários discípulos, vale destacar Filolau. **Aristóteles de Estagira** (384-322 a.C.) explicou que as fases da Lua dependem de quanto da parte da face da Lua iluminada pelo Sol está voltada para a Terra. Explicou, também, os eclipses; argumentou a favor da esfericidade da Terra, já que a sombra da Terra na Lua durante um eclipse lunar é sempre arredondada. Afirmava que o Universo é esférico e finito. Aperfeiçoou a teoria das esferas concêntricas de Eudoxus de Cnidus (408-355 a.C.), propondo em seu livro De Caelo, que "o Universo é finito e esférico, ou não terá centro e não pode se mover". Foi discípulo do filósofo Platão.

Heraclides de Pontus (388-315 a.C.) propôs que a Terra girava diariamente sobre seu próprio eixo, que Vênus e Mercúrio orbitavam o Sol, e a existência de epíclis. **Aristarcos de Samos** (310-230 a.C.) foi o primeiro a propor a Terra se movia em volta do Sol, antecipando Copérnico em quase 2.000 anos. Entre outras coisas, desenvolveu um método para determinar as distâncias relativas do Sol e da Lua à Terra e mediu os tamanhos relativos da Terra, do Sol e da Lua. Na obra de Plutarco encontra-se menção sobre Aristarcos, o qual havia proposto o duplo movimento da Terra: rotação em torno de seu eixo polar e translação ao redor do Sol. Todas as obras de Aristarcos se perderam, com exceção de uma, "Sobre os Tamanhos e Distâncias do Sol e da Lua". Ainda segundo algumas fontes, Aristarcos teria elaborado uma classificação das estrelas quanto ao brilho, estabelecendo três "grandezas", e admitiu que as estrelas se encontram a diferentes distâncias da Terra.

Eratóstenes de Cirene (276-194 a.C.), bibliotecário e diretor da Biblioteca Alexandrina de 240 a.C. a 194 a.C. realizou trabalhos importantes em vários campos. Entre suas realizações, destaca-se o "crivo" de Eratóstenes, que ainda hoje se emprega na construção de tábuas de números primos; o sistema de coordenadas geográficas que idealizou, fundamentalmente semelhante ao sistema empregado em nossos dias; foi talvez o primeiro a empregar um globo para representar a Terra; confeccionou várias cartas geográficas; escreveu vários tratados, dos quais se destaca "Sobre a posição das estrelas". Mas a mais importante de suas realizações foi medir as dimensões da Terra, sendo o primeiro a determinar seu diâmetro. Ele notou que, na cidade egípcia de Siena (atualmente chamada de Assuã), no primeiro dia do verão, ao meio-dia, a luz solar atingia o fundo de um grande poço, ou seja, o Sol estava incidindo perpendicularmente à Terra em Siena. Já em Alexandria, situada ao norte de Siena, isso não ocorria; medindo o tamanho da sombra de um bastão na vertical, Eratóstenes observou que em Alexandria, no mesmo dia e hora, o Sol estava aproximadamente sete graus mais ao sul. A distância entre Alexandria e Siena era conhecida como de 5.000 estádios. Um estádio era uma unidade de distância usada na Grécia antiga. Um camelo atravessa 100 estádios em um dia, e viaja a cerca de 16 km/dia. Como 7 graus corresponde a $\frac{1}{50}$ de um círculo (360 graus), Alexandria deveria estar a $\frac{1}{50}$ da circunferência da Terra ao norte de Siena e a circunferência da Terra deveria ser 50×5.000 estádios. Infelizmente, não é possível se ter certeza do valor do estádio usado por Eratóstenes, já que os gregos usavam diferentes tipos de estádios. Se ele utilizou um estádio equivalente a $\frac{1}{6}$ km, o valor está a 1% do valor correto de 40.000 km. O diâmetro da Terra é obtido dividindo-se a circunferência por π .

Hiparco de Nicéia (160-125 a.C.), considerado o maior astrônomo da era pré-cristã, construiu um observatório na ilha de Rodas, onde fez observações durante o período de 160 a 127 a.C. Como resultado, ele compilou um catálogo com a posição no céu e a magnitude de 850 estrelas. A magnitude, que especificava o brilho da estrela, era dividida em seis categorias, de 1 a 6, sendo 1 a mais brilhante, e 6 a mais fraca visível a olho nu. Hiparco deduziu corretamente a direção dos pólos celestes, e até mesmo a precessão, que é a variação da direção do eixo de rotação da Terra devido à influência gravitacional da Lua e do Sol, que leva 26.000 anos para completar um ciclo. Para deduzir a precessão, ele comparou as posições de várias estrelas com aquelas catalogadas por Timocharis e Aristyllus 150 anos antes (cerca de 300 a.C.). Estes eram membros da Escola Alexandrina do século III a.C. e foram os primeiros a medir as distâncias das estrelas de pontos fixos no céu (coordenadas eclípticas). Foram, também, dos primeiros a trabalhar na Biblioteca de Alexandria, que se chamava Museu, fundada pelo rei do Egito, Ptolémée Sôter Ier, em 305 a.C. Hiparco também deduziu o valor correto de $\frac{8}{3}$ para a razão entre o tamanho da sombra da Terra e o tamanho da Lua e também que a Lua estava a 59 vezes o raio da Terra de distância; o valor correto é 60. Ele determinou a duração do ano com uma margem de erro de 6 minutos.

Ptolomeu (87-150 d.C.) Claudius Ptolemaeus foi o último astrônomo importante da antiguidade. Ele compilou uma série de treze volumes sobre astronomia, conhecida como o Almagesto, que é a maior fonte de conhecimento sobre a astronomia na Grécia. A contribuição mais importante de Ptolomeu foi uma representação geométrica do sistema solar, geocêntrica, com círculos e epípiclos, que permitia prever o movimento dos planetas com considerável precisão e que foi usado até o Renascimento, no século XVI.

A Astronomia na Idade Média

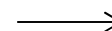
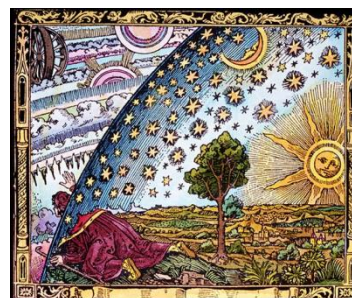
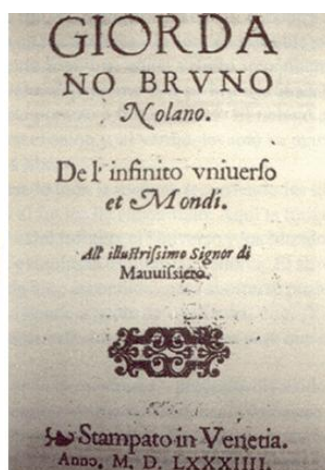
Em 1252, Afonso X, o Sábio, Rei de Castela (Espanha), que em 1256 foi proclamado rei e no ano seguinte imperador do Sacro Império Romano, convocou 50 astrônomos para revisar as tabelas astronômicas calculadas por Ptolomeu, que incluíam as posições dos planetas no sistema geocêntrico, publicado por Ptolomeu em 150 d.C., no Almagesto. Os resultados foram publicados como as Tabelas Alfonsinas. Os dados e comentários que se foram anexando ao Almagesto formaram as fontes essenciais para o primeiro livro-texto de astronomia do Ocidente, o Tratado da esfera de Johannes de Sacrobosco. **John Holywood** (1200 - 1256) Sua obra foi várias vezes reeditada, ampliada e comentada. Foi o principal texto de instrução acadêmica até o tempo de Galileu. **Nicolau Cusano** (1401 - 1464), matemático e astrônomo. É interessante ressaltar que suas idéias sobre o universo infinito e sobre a investigação quantitativa da natureza brotaram de reflexões teológicas e religiosas. **Nicolau Copérnico** (1473 - 1543) apresenta o sistema heliocêntrico. A base deste novo pensamento veio, em parte, das escolas bizantinas. Manteve durante toda a vida a idéia da perfeição do movimento circular, sem supor a existência de outra forma de movimento. **Tycho Brahe** (1546 - 1601) descobriu erros nas Tabelas Alfonsinas. Em 11 de novembro de 1572, Tycho notou uma nova estrela na constelação de Cassiopéia. A estrela era tão brilhante que podia ser vista à luz do dia, e durou 18 meses. Era o que hoje chamamos de supernova. Publicou suas observações no De Nova et Nullius Aevi Memoria Prius Visa Stella, em Copenhague em 1573. Com seus assistentes, Tycho conseguiu reduzir a imprecisão das medidas, de 10 minutos de arco deste o tempo de Ptolomeu, para um minuto de arco. Foi o primeiro astrônomo a calibrar e checar a precisão de seus instrumentos periodicamente, e corrigir as observações por refração atmosférica. Também foi o primeiro a instituir observações diárias, e não somente quando os astros estavam em configurações especiais, descobrindo assim anomalias nas órbitas até então desconhecidas.

Johannes Kepler (1571 - 1630) descobriu as três leis que regem o movimento planetário. As duas primeiras foram resultados de árdua computação trigonométrica, na qual usou as observações de Marte, realizadas por Tycho Brahe. Em 1619 Kepler publicou *Harmonices Mundi*, em que as distâncias heliocêntricas dos planetas e seus períodos estão relacionados pela Terceira Lei, que diz que o quadrado do período é proporcional ao cubo da distância média do planeta ao Sol. Esta lei foi descoberta por Kepler em 15 de maio de 1618. Em 17 de outubro de 1604 Kepler observou a nova estrela (supernova) na constelação de Ophiucus, junto a Saturno, Júpiter e Marte, que estavam próximos, em conjunção. Kepler também estudou as leis que governam a passagem da luz por lentes e sistemas de lentes, inclusive a magnificação e a redução da imagem, e como duas lentes convexas podem tornar objetos maiores e distintos, embora invertidos, que é o princípio do telescópio astronômico. Em relação a Kepler, devem ser mencionados também seu telescópio astronômico e suas Tábuas Rodolfinas.

Galileo Galilei (1564 - 1642) Em maio de 1609 ouviu falar de um instrumento de olhar à distância que o holandês Hans Lipperhey havia construído, e mesmo sem nunca ter visto o aparelho, construiu sua primeira luneta em junho, com um aumento de 3 vezes. Galileo se deu conta da necessidade de fixar a luneta, ou telescópio como se chamaria mais tarde, para permitir que sua posição fosse registrada com exatidão. Até dezembro ele construiu vários outros, o mais potente com 30X, e faz uma série de observações da Lua, descobrindo que esta tem montanhas. De 7 a 15 de janeiro de 1610 descobre os quatro satélites maiores de Júpiter e sua revolução livre em torno do planeta. Descobriu também as principais estrelas dos aglomerados das Plêiades e das Híades e a primeira indicação dos anéis de Saturno e as manchas solares. Por suas afirmações, Galileo foi julgado e condenado por heresia em 1633. Sentenciado ao cárcere, Galileo, aos setenta anos, renega suas conclusões de que a Terra não é o centro do Universo e imóvel. Apenas em 1822 foram retiradas do Índice de livros proibidos as obras de Copérnico, Kepler e Galileo, e em 1980, o Papa João Paulo II ordenou um reexame do processo contra Galileo, o que eliminou os últimos vestígios de resistência, por parte da igreja Católica, à revolução Copernicana. Não se deve esquecer que foram os grandes observadores e teóricos dessa época, como Hevelius, Huygens e Halley, que ajudaram a erguer a nova astronomia.

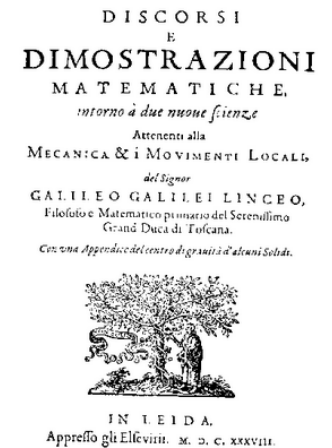
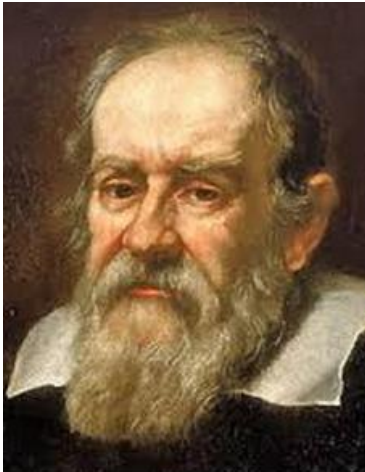
GIORDANO BRUNO (1548-1600)

Giordano Bruno nasceu em 1548, em Noli (Itália), pouco tempo depois da publicação do *Revolutionibus*. Tendo optado pela vida monástica, Bruno foi um dos grandes pensadores do seu tempo. Giordano Bruno considerava que Copérnico era um "simples matemático" que havia descoberto, por sorte, uma verdade profunda. Copérnico era, para ele, pouco mais que um daqueles compiladores de dados para Almanagues, que para ele não eram verdadeiros astrónomos. Bruno apresentava uma visão filosófica do Universo diferente de todos os seus contemporâneos, contendo ideias que apenas vieram a ser retomadas no século XX. Tal como Nicolas de Cusa, Bruno retoma a ideia que as estrelas do céu são sóis. No entanto, contrariamente a Nicolas de Cusa, era um geocentrista. Bruno ia mais longe, afirmando mesmo no seu livro, *Del Universo Infinito et Mondi*, que em torno desses sóis haveria planetas como aqueles que giram à volta do Sol. Tal como Galileu e Kepler, Bruno acreditava que a Bíblia era um texto moral e salutar, onde os autores haviam adoptado uma linguagem adequada às pessoas comuns. Para eles, a Bíblia nunca havia sido pensada como meio de ensinar Astronomia ou a filosofia da Natureza. Bruno surge na época em que a Igreja define uma política oficial relativamente à Astronomia, pelo que tendo defendido as suas ideias revolucionárias até ao fim, morreu na fogueira, condenado por heresia pela Inquisição, a 17 de Fevereiro de 1600.



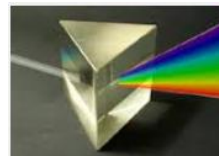
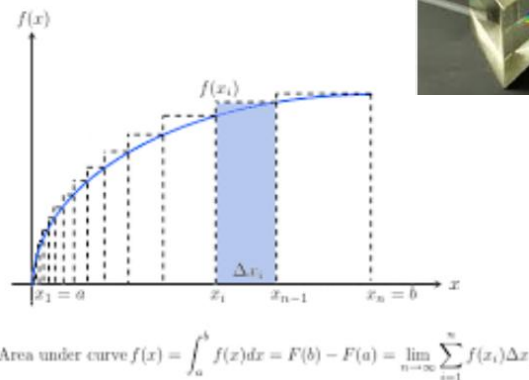
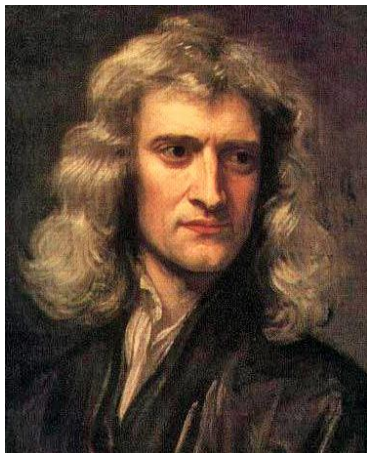
Galileo Galilei (1564 - 1642)

Em maio de 1609 ouviu falar de um instrumento de olhar à distância que o holandês Hans Lipperhey havia construído, e mesmo sem nunca ter visto o aparelho, construiu sua primeira luneta em junho, com um aumento de 3 vezes. Galileo se deu conta da necessidade de fixar a luneta, ou telescópio como se chamaria mais tarde, para permitir que sua posição fosse registrada com exatidão. Até dezembro ele construiu vários outros, o mais potente com 30X, e faz uma série de observações da Lua, descobrindo que esta tem montanhas. De 7 a 15 de janeiro de 1610 descobre os quatro satélites maiores de Júpiter e sua revolução livre em torno do planeta. Descobriu também as principais estrelas dos aglomerados das Plêiades e das Híades e a primeira indicação dos anéis de Saturno e as manchas solares. Por suas afirmações, Galileo foi julgado e condenado por heresia em 1633. Sentenciado ao cárcere, Galileo, aos setenta anos, renega suas conclusões de que a Terra não é o centro do Universo e imóvel. Apenas em 1822 foram retiradas do Índice de livros proibidos as obras de Copérnico, Kepler e Galileo, e em 1980, o Papa João Paulo II ordenou um reexame do processo contra Galileo, o que eliminou os últimos vestígios de resistência, por parte da igreja Católica, à revolução Copernicana. Não se deve esquecer que foram os grandes observadores e teóricos dessa época, como Hevelius, Huygens e Halley, que ajudaram a erguer a nova astronomia.



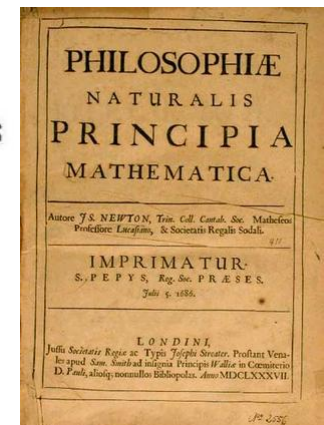
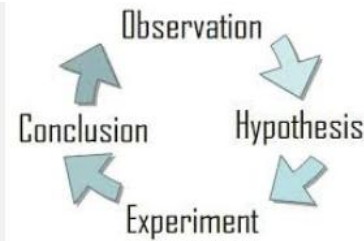
A Nova Astronomia

Sir Isaac Newton (1643 - 1727) Sua obra monumental fixa as bases da mecânica teórica. Da combinação de suas teorias com sua lei de gravitação, surge a confirmação das leis de Kepler e, num só golpe, o estabelecimento, em bases científicas, da mecânica terrestre e celeste. No domínio da óptica, Newton inventou o telescópio refletor, discutiu o fenômeno da interferência, desenvolvendo as idéias básicas dos principais ramos da física teórica, nos dois primeiros volumes do Principia, com suas leis gerais, mas também com aplicações a colisões, o pêndulo, projéteis, fricção do ar, hidrostática e propagação de ondas. Somente depois, no terceiro volume, Newton aplicou suas leis ao movimento dos corpos celestes. O Principia é reconhecido como o livro científico mais importante escrito. Os trabalhos astronômicos de Newton são apenas comparáveis aos de Gauss, que contribuiu para a astronomia com a teoria da determinação de órbitas, com trabalhos importantes de mecânica celeste, de geodésica avançada e a criação do método dos mínimos quadrados. Nunca outro matemático abriu novos campos de investigação com tanta perícia, na resolução de certos problemas fundamentais, como Gauss. São dessa época os notáveis trabalhos de mecânica celeste desenvolvidos por Euler, Lagrange e Laplace, e os dos grandes observadores como F.W. Herschel, J.F.W. Herschel, Bessel, F.G.W. Struve e O.W. Struve. Vale a pena lembrar uma data histórica para a astronomia - a da primeira medida de paralaxe trigonométrica de uma estrela e, conseqüentemente, da determinação de sua distancia, por Bessel (61 Cygni) e F.G.W. Struve (Vega), em 1838. Este notável feito da técnica de medida astronômica é basicamente o ponto de partida para o progresso das pesquisas do espaço cósmico.



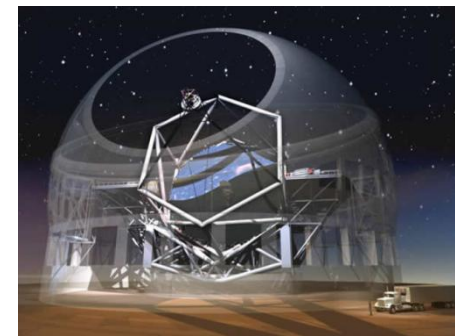
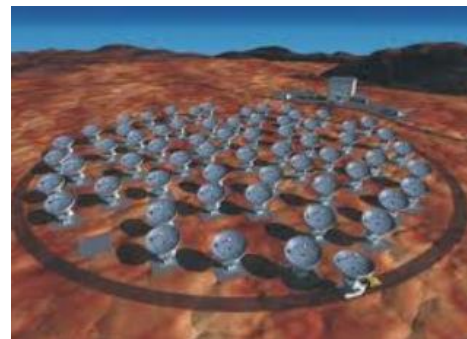
$$F = G \frac{m.M}{d^2}$$

Método científico



A Astronomia Moderna

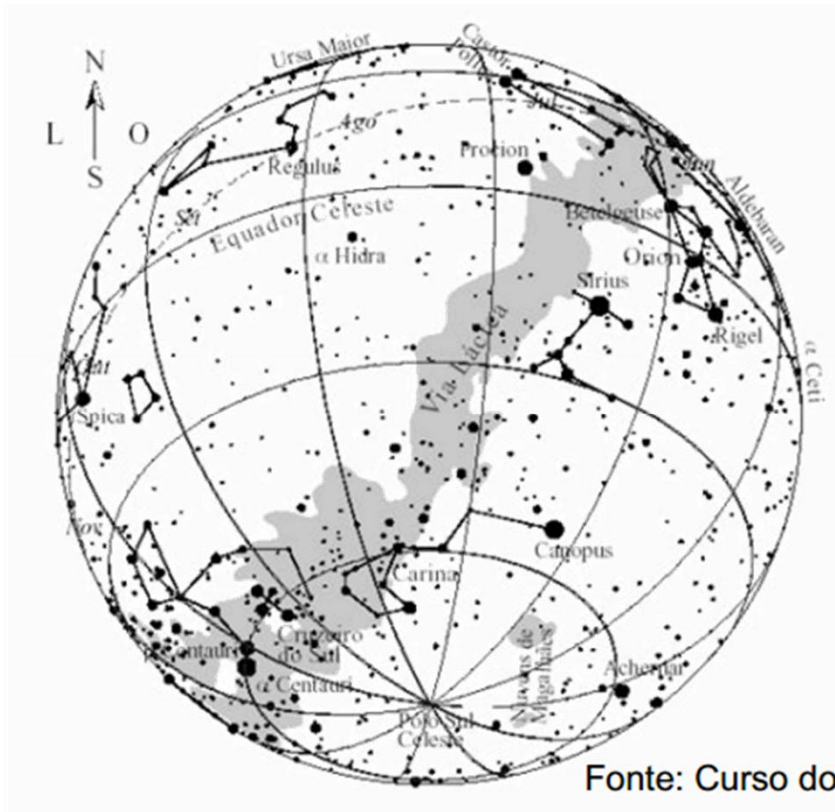
A espectroscopia estelar, a construção dos grandes telescópios, a substituição do olho humano pelas fotografias, e os objetivos de sistematização e classificação, fizeram a astronomia evoluir mais nestes últimos cinquenta anos do que nos cinco milênios de toda sua história. A partir deste momento, a história da astronomia, em consequência do desenvolvimento tecnológico da segunda metade do século XX, sofre uma tal mudança nos seus métodos, que a astronomia deixa o seu aspecto de ciência de observação para se tornar, também, uma nova ciência experimental, onde aparecem inúmeros ramos. As principais divisões da astronomia são a astrometria, que trata da determinação da posição e do movimento dos corpos celestes; a mecânica celeste, que estuda o movimento dos corpos celestes e a determinação de suas órbitas; a astrofísica, que estuda as propriedades físicas dos corpos celestes; a astronomia estelar, que se ocupa da composição e dimensões dos sistemas estelares; a cosmogonia, que trata da origem do universo, e a cosmologia, que estuda a estrutura do universo como um todo. A pesquisa espacial deu não só à cartografia, mas a todos os estudos das ciências na Terra e, em especial, aos levantamentos dos recursos naturais do planeta, um novo dimensionamento. No início do século XX, a publicação da Teoria da Relatividade, de Albert Einstein (1879-1955), produziu profundas modificações na Física e possibilitou novas descobertas sobre as leis fundamentais do Universo. Com a construção de potentes telescópios, foi possível verificar a existência de milhares de outras galáxias, e com a ajuda da Radioastronomia, os conhecimentos astronômicos aumentaram de forma muito rápida. Atualmente, inúmeras observações são realizadas não só nos muitos observatórios espalhados pelo mundo, mas também através de sondas lançadas ao espaço.



Esfera celeste e sistemas de coordenadas

Esfera celeste

- Precisamos de um sistema de coordenadas para representar a posição dos astros no céu
- Para isso, o primeiro passo é definir a esfera celeste
- A esfera celeste é uma suposta esfera no infinito sobre a qual as posições dos objetos celestes podem ser representadas



Fonte: Curso do Marcelo Assafin online

Medidas na esfera celeste

- Assim, as distâncias entre objetos na esfera celeste é medido por ângulos
- E áreas na esfera celeste são medidas em unidades de ângulo sólido

Ângulo sólido

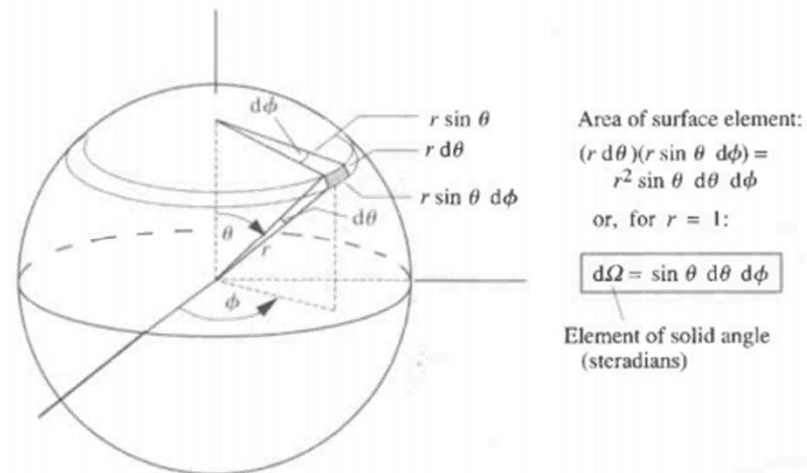
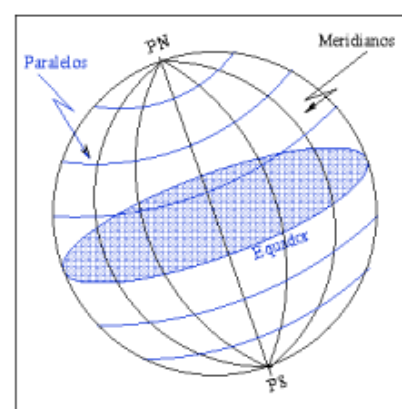
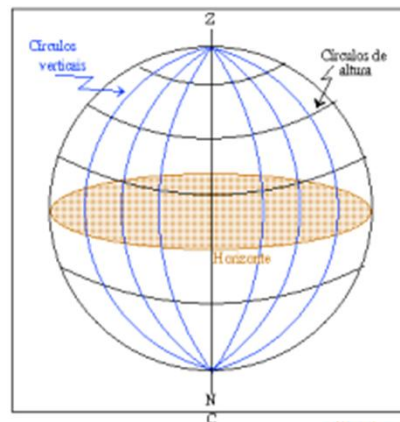
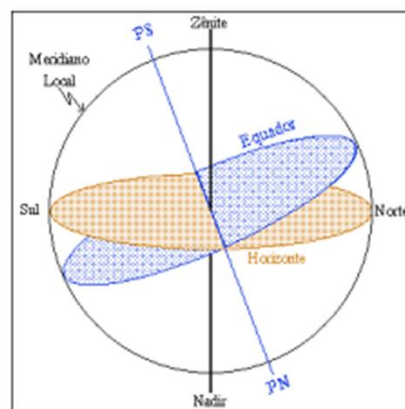


Figure 3.7. The concept of *solid angle*, Ω , which is the “angular” area on a sphere. The element of solid angle $d\Omega$ (hatched area) can be expressed in terms of steradians (or “square radians”) which is numerically equal to an element of surface area on a sphere of unit radius. Integration over the entire sphere yields a total solid angle of 4π steradians.

Ângulos sobre a esfera

- Para definir um ponto sobre a esfera celeste, precisamos definir:
 - ◇ um plano fundamental
 - ◇ dois ângulos para definir uma posição
 - ✓ um ângulo que define a distância do ponto ao plano fundamental
 - ✓ um ângulo que define a distância entre um ponto de referência no plano fundamental e a projeção do ponto sobre o Equador
- O plano fundamental também define paralelos e meridianos

Referências sob a esfera celeste



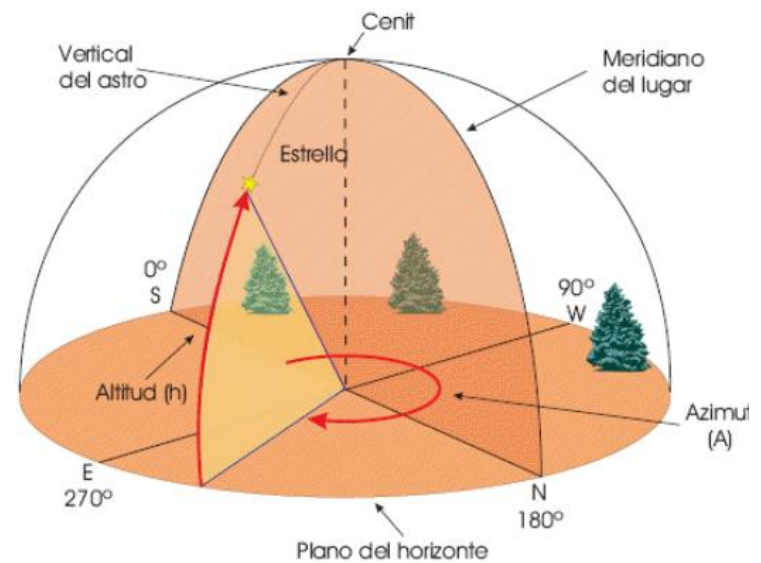
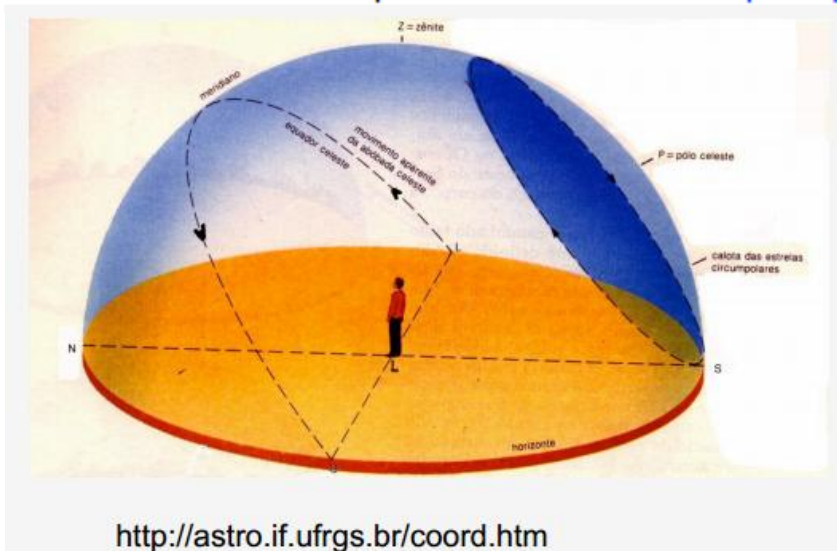
Sistemas de coordenadas celestes

- Existem vários sistemas de coordenadas, baseados em diferentes planos fundamentais, que podem ser usados para representar a posição dos astros no céu
- Como visto, um sistema é definido por um plano fundamental e dois ângulos
 - ◊ As coordenadas de um objeto NÃO dependem de sua distância ao observador
- A seguir, discutimos os sistemas de coordenadas celestes mais comuns em astronomia
 - No sistema horizontal, as coordenadas são:
 - ◊ altitude
 - ◊ azimute
 - No equatorial:
 - ◊ ascensão reta
 - ◊ declinação
 - No Galáctico:
 - ◊ longitude
 - ◊ latitude

Qual é o plano fundamental de cada um desses sistemas?

Sistema horizontal

- Plano fundamental é o definido pelo horizonte
- ângulos
 - ◇ altitude: mede a distância ao zênite
 - ◇ azimute: mede a distância da projeção norte no horizonte e cresce para leste
- sistema natural de um dado observador
 - ◇ mas que **DEPENDE** do observador
- objetos celestes possuem coordenadas **variáveis** continuamente no tempo nesse sistema – **por quê?**

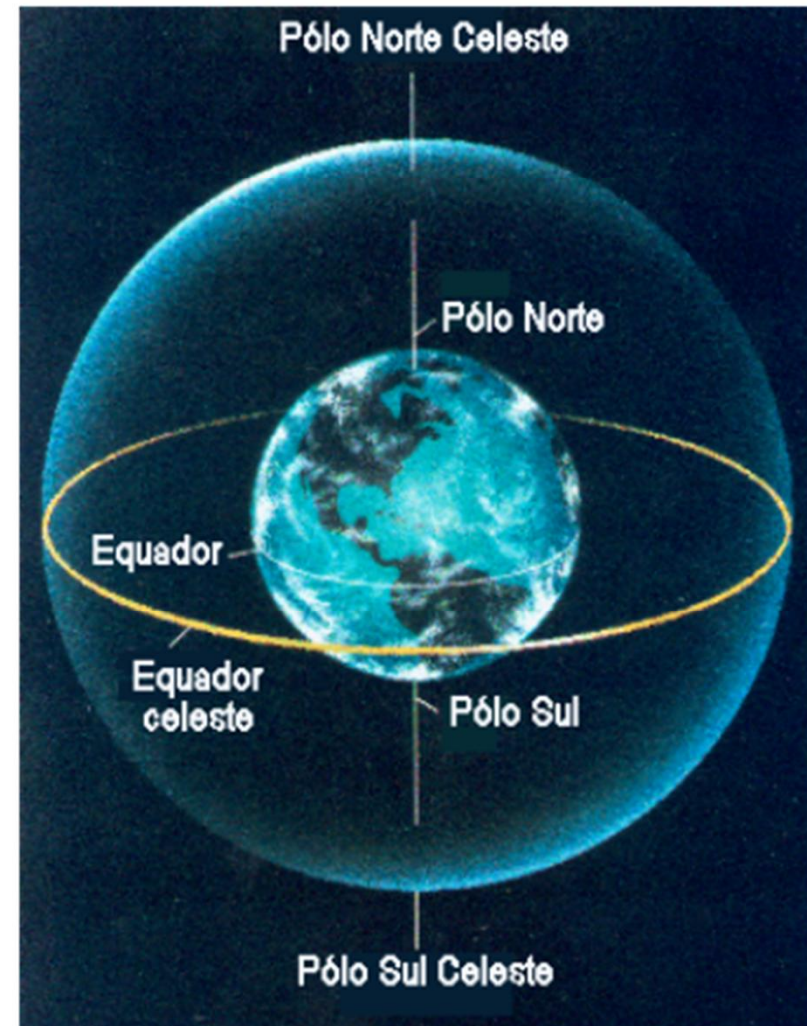


Varição de coordenadas no sistema horizontal

- Variação ao longo de um dia
 - ↳ movimento de rotação da Terra
- Variação entre dias
 - ↳ movimento de translação da Terra
- Por que 1 grau = 1/360 de um círculo?

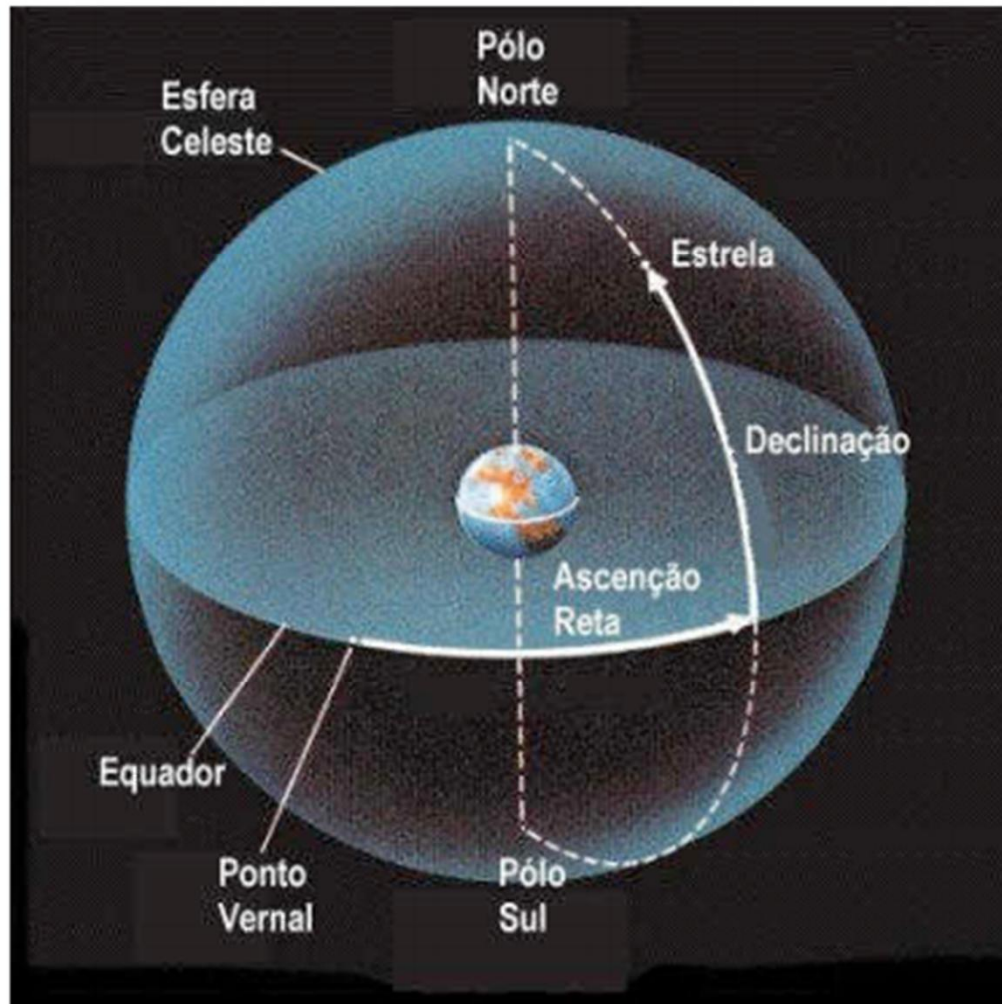
Plano fundamental
equador celeste

Outras referências
Pólos
terrestres
celestes



<http://astro.if.ufrgs.br/coord.htm>

Coordenadas equatoriais



Ângulos de posição:

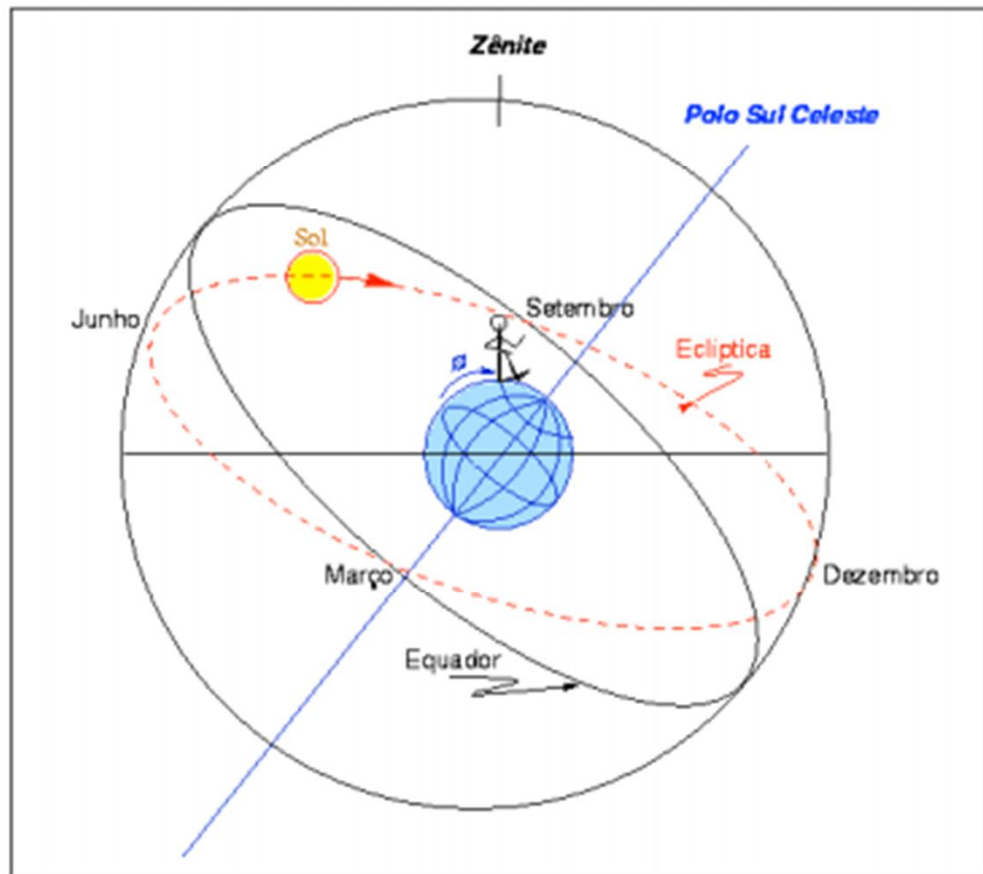
- Ascensão Reta (horas):
 - 0 a 24h
- Declinação (graus)
 - -90 a 90

Ponto Vernal: posição do Sol no equinócio da primavera no hemisfério norte

Meridiano do objeto

<http://astro.if.ufrgs.br/coord.htm>

Eclíptica



**ângulo com o Equador:
23,27 graus**

Ponto Vernal:

- ponto de referência no Equador no sistema equatorial
- intersecção do equador celeste com eclíptica

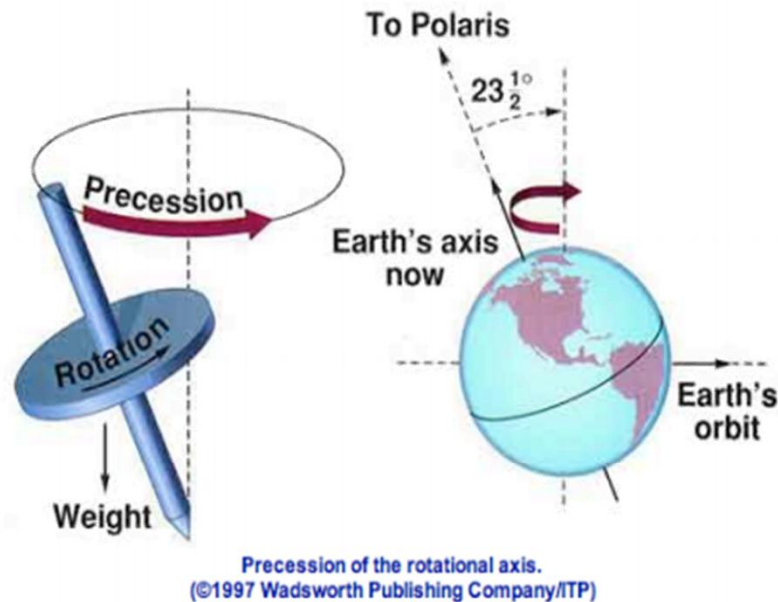
<http://astro.if.ufrgs.br/coord.htm>

Coordenadas equatoriais

- não dependem da posição do observador na superfície da Terra
- variam lentamente ao longo do tempo (por quê?). Assim, as coordenadas equatoriais celestes de um objeto dependem do instante.
 - ↳ mas muito menos que as coordenadas horizontais, por exemplo!
- Os catálogos usualmente fornecem as coordenadas de uma dada época (B1950.0 ou J2000.0). No momento da observação, as coordenadas de um objeto precisam ser corrigidas (precessionadas).

Perturbações nos sistemas de coordenadas.

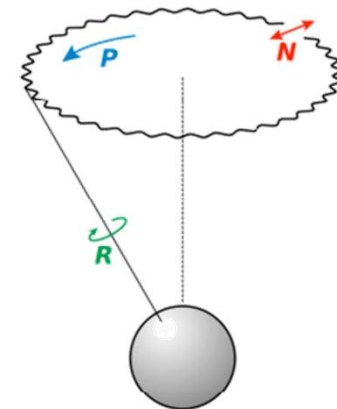
Precessão dos equinócios



Círculo completo que dura cerca de 25 800 anos

A **nutação** (do [latim](#) *nutatione*) é, na [astronomia](#), uma pequena oscilação periódica do [eixo de rotação da Terra](#) com um ciclo de 18,6 anos, sendo causada pela força gravitacional da [Lua](#) sobre a Terra. A nutação é provocada por uma inclinação de $5,1^\circ$ no plano da órbita da Lua em relação à [eclíptica](#), pela qual a precessão é durante nove anos de maior e depois nove anos de menor intensidade do que a média.

Nutação



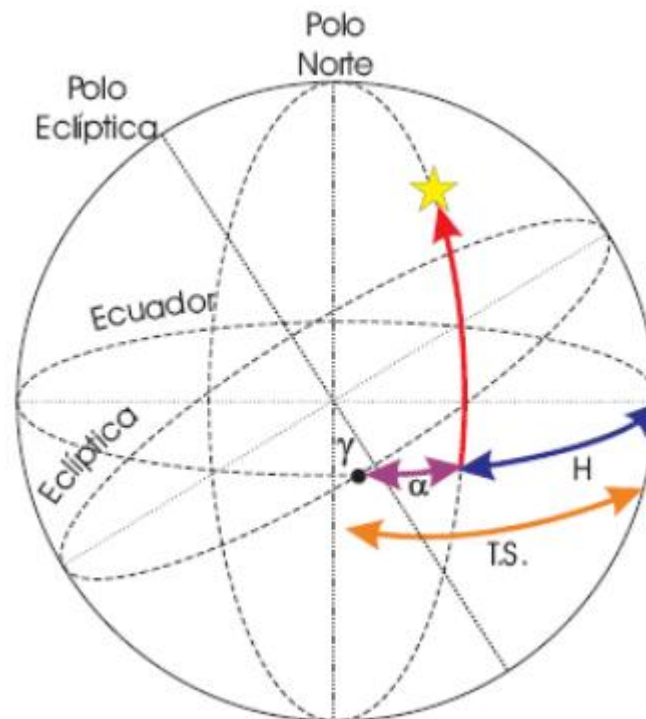
<http://en.wikipedia.org/wiki/Nutation>

Ângulo horário

- O ângulo horário, AH, mede a diferença entre o meridiano do zênite de um local e a ascensão reta de um dado objeto

$$\diamond AH = TS - AR_{obj}$$

- É normalmente medido em horas: -12h a 12h.

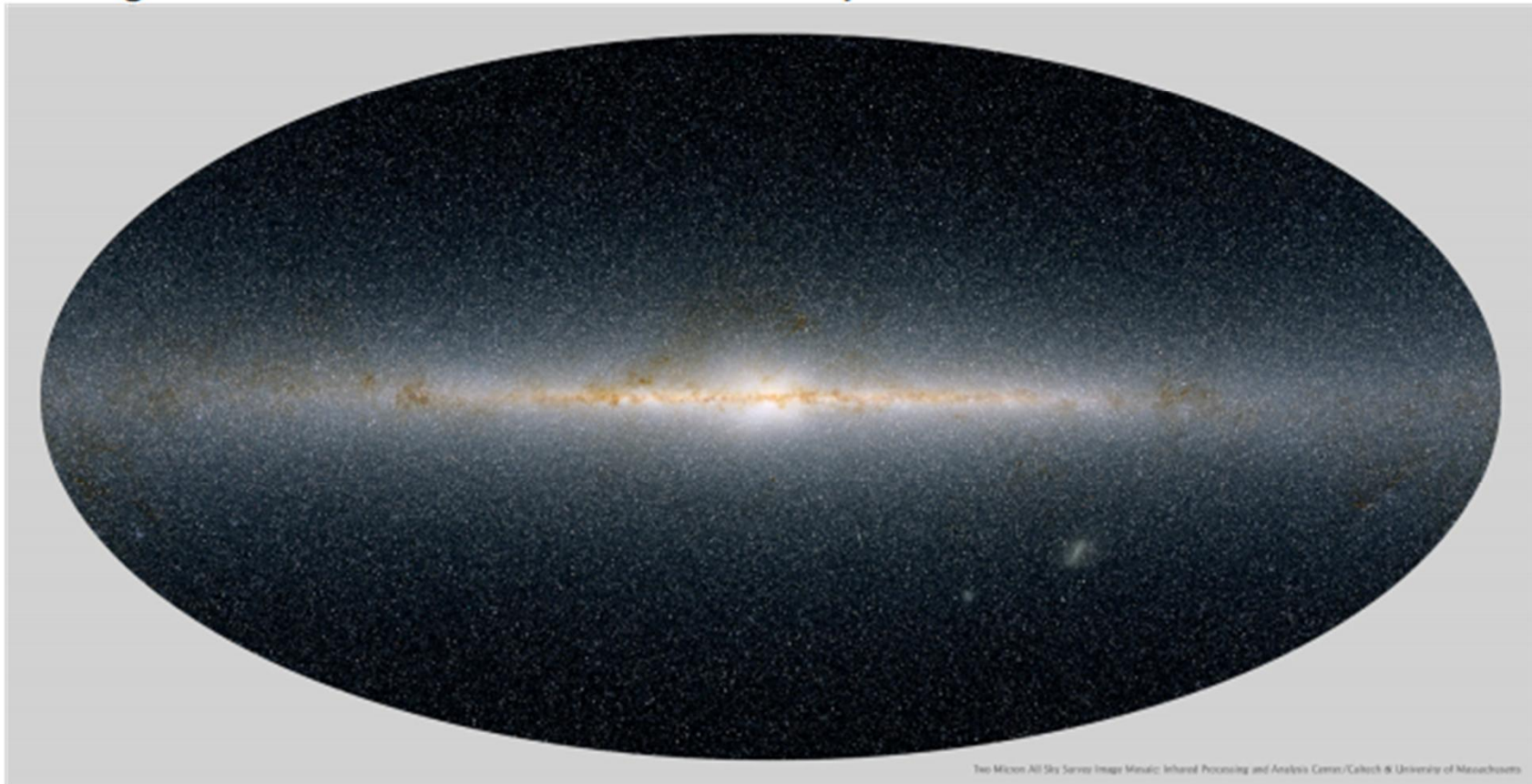


Tempo sideral

- O tempo sideral, TS, corresponde à ascensão reta do zênite ou, equivalentemente, do meridiano que contém o zênite
 - ↳ uma outra definição de TS é o ângulo horário do ponto vernal
- Tempo sideral ou tempo sideral local ou tempo sideral aparente local são sinônimos.
- Note que o tempo sideral muda continuamente no tempo
 - ↳ em uma mesma hora do seu relógio, quanto muda o TS de um dia para outro?

Coordenadas Galácticas

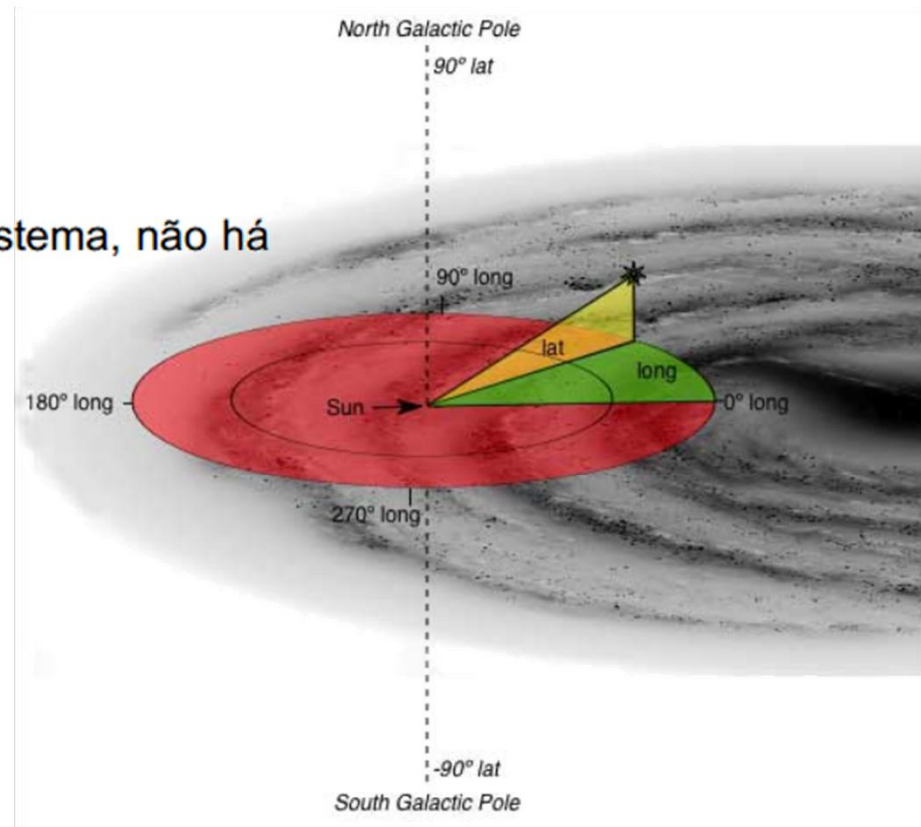
Imagem de todo céu no infravermelho próximo



Atlas Image courtesy of 2MASS/UMass/IPAC-Caltech/NASA/NSF.

Definições

- Centro da esfera = Sol
 - ◊ diferentemente dos outros sistemas onde o centro é o centro da Terra
- O plano da Galáxia define o plano fundamental das coordenadas Galácticas
- Ângulos de posição
 - ◊ Latitude: b
 - ◊ Longitude: l
 - ✓ ponto zero: centro da Galáxia
- Objetos possuem coordenadas fixas nesse sistema, não há precessão

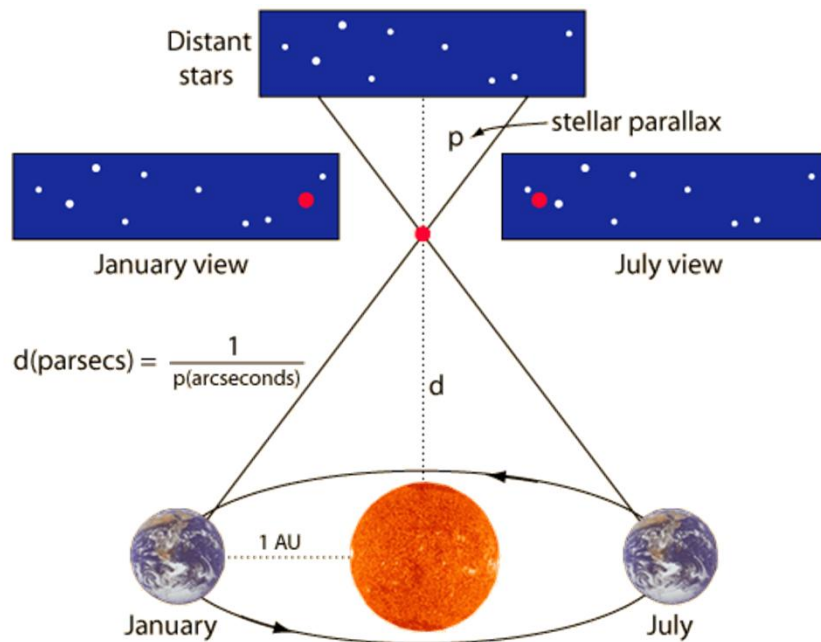


Bônus 1

Medidas de Tempo

- Tempo universal, TU
 - ◊ tempo civil de Greenwich
- O tempo sideral é também uma medida de tempo

Paralaxe



Outras definições

- Movimento próprio
 - ◊ movimento de um objeto na esfera celeste devido ao seu movimento real com referência a outros objetos na esfera celeste

Bônus 2

Repositórios na rede

- **Pesquisa bibliográfica**

- ◊ **ADS:** repositório bibliográfico

- http://adsabs.harvard.edu/abstract_service.html

- permite pesquisar por autores, palavras-chaves, texto, entre outros

- ◊ **arXiv:** repositório de preprints de várias áreas, incluindo astronomia e astrofísica (incluído no ADS)

- <http://arxiv.org/>

Repositórios na rede

- **Catálogos, informações sobre objetos**

- ◊ [SIMBAD/VizieR](#)

- ✓ [Aladin](#)

- ◊ [SkyView](#)

- ◊ Heasarc

- ◊ Surveys específicos. Exemplos:

- ✓ 2MASS

- ✓ Sloan Digital Sky Survey

- ◊ Banco de dados específicos. Exemplos:

- ✓ NASA extragalactic database - NED