

# LICÇÕES

DE

# COSMOGRAPHIA

Organizadas de accôrdo com o programma  
do Gymnasio Nacional

PELO

REV.<sup>MO</sup> SR. PADRE JOSÉ DE CALAZANS PINHEIRO

Lente de Geographia e Cosmographia

DO

ATHENÉO DE NATAL

ESTADO DO RIO GRANDE DO NORTE



RIO DE JANEIRO  
Typographia Leuzinger

—  
1922



Ao illustre e querido Amigo  
 Dr. Luiz Trindade com  
 lembrança affectuosa do  
 Autor.

Natal, 4-12-931-

LICÇÕES DE COSMOGRAPHIA

LICÇÕES  
DE  
**COSMOGRAPHIA**

Organisadas de accôrdo com o programma  
do Gymnasio Nacional

PELO

REV.<sup>MO</sup> SR. PADRE JOSÉ DE CALAZANS PINHEIRO

Lente de Geographia e Cosmographia

DO

ATHENÉO DE NATAL

ESTADO DO RIO GRANDE DO NORTE



RIO DE JANEIRO  
Typographia Leuzinger

Instituto Histórico e  
Geográfico do Rio  
Grande do Norte  
Ar. Flg. 05-94

## AO LEITOR

Levado pela necessidade em que presentemente se encontra a mocidade no estudo da Cosmographia, segundo as exigencias do programma do Gymnasio Nacional, pela falta de bons expositôres, resolvi, a instancias de alguns amigos, publicar as minhas "LICÇÕES DE COSMOGRAPHIA".

Não tive nisto outro intuito senão facilitar o estudo desta materia, aliás bem pouco diffundida, synthetizando, assim, nestas LICÇÕES o que me foi dado poder beber nos melhores auctores **ao** meu alcance.

Ellas não encerram nenhuma originalidade, nem as julgo isentas de falhas. Escrevi-as, antes de tudo, para servirem de auxilio aos meus alumnos; porém, mesmo assim, não o teria feito, se não tivesse a feliz lembrança de submettel-as á apreciação de uma pessoa de estima, entendida em assumptos astronomicos.

E assim, revistas e ampliadas, dentro dos limites traçados pelo programma official da aula a meu cargo, convenci-me de que, em taes condições, podia transmittir aos meus discipulos alguma cousa de aproveitavel.

Sirva, portanto, este meu tentamen de incentivo aos espiritos mais esclarecidos.

*Feci-quæ potui, faciant meliora potentes.*

Padre JOSÉ DE CALAZANS PINHEIRO.

## 1.<sup>a</sup> LICÇÃO

### Noções geometricas, definições, divisão do circulo em grãos, ellipse

NOÇÕES GEOMETRICAS. — 1. Sempre que representamos um corpo qualquer, pensamos ao mesmo tempo que, necessariamente, alguma cousa existe fóra do mesmo corpo, e este juizo, quasi inconsciente, repetido em novos corpos, nos condúz á concepção abstracta de espaço, construcção subjectiva do nosso espirito, de que necessitamos para conceber a existencia dos corpos

Reduzida á sua concepção positiva, no dominio geometrico, a concepção do espaço nos permite pensar na extensão sem a consideração dos corpos reaes, isto é, independente da materia de que são compostos.

A observação nos suggere que, quando pensamos na impressão deixada por um corpo qualquer mergulhado em um fluido, uma tal impressão póde substituir, sob o ponto de vista geometrico, o proprio corpo, sem que os raciocinios sejam alterados. Vê-se assim que o objecto essencial de uma tal concepção consiste, unicamente, em considerar a extensão separada dos corpos, permittindo-nos estudar os phenomenos geometricos em si mesmos, abstracção feita de todos os outros phenomenos que acompanham, constantemente, os corpos reaes, sem no emtanto exercerem sobre elles nenhuma influencia.

2. As especulações geometricas tornando-se assim abstractas, adquirem mais simplicidade e generalidade. Em quanto a extensão foi considerada nos proprios corpos, as especulações geometricas reduziram-se ás formas effectivamente realisadas na natureza.

Concebendo, pelo contrario, a extensão no espaço, nós podemos considerar todas as fórmulas imaginarias, o que se torna indispensavel para dar á geometria um caracter inteiramente racional.

3. O espaço concebe-se em infinito numero de extensões; mas, de todas as extensões, tres existem que tomam as denominações de dimensões do espaço.

São as seguintes:

Do oriente para o occidente.

Do sul para o norte.

Do zenith para o nadir.

Em geometria, as differentes sortes de extensão são designadas pelos nomes de volume, superficie, linha e mesmo, ponto. O volume é a extensão, a tres dimensões, commumente conhecidas pelas denominações de comprimento, largura e altura ou profundidade. Cada volume é, assim, limitado em tres direcções:

Da esquerda para direita.

De frente para traz.

De cima para baixo.

A superficie é a extensão a duas dimensões; a linha é a extensão com uma só dimensão apreciavel, e o ponto é a extensão sem dimensões apreciaveis, mas destinado a assignalar posições.

4. Em muitos casos, mesmo de utilidade immediata, as questões geometricas não dependem senão de duas dimensões, consideradas separadamente da terceira, ou de uma só dimensão, considerada separadamente das duas outras. Independentemente desse motivo, o estudo da extensão a uma e duas dimensões, se apresenta claramente como um preliminar indispensavel para facilitar o estudo dos corpos completos ou a tres dimensões, cuja theoria immediata, sem o concurso das linhas e superficies, seria, senão impossivel, pelo menos muito complicada.

Um exemplo esclarecerá melhor nosso pensamento. Assim, se quizessemos determinar o volume de uma esphera

sem o concurso das linhas e superficies, teriamos de recorrer ao peso, que supporia o conhecimento da substancia de que seria constituida a esphera, e bem assim a densidade dessa substancia. Conhecidos os dois elementos — peso e densidade da esphera —, determinaríamos seu volume dividindo o peso da esphera pela sua densidade, por quanto, pela Physica, sabemos que o peso de um corpo qualquer é igual ao producto de seu volume pela sua densidade; por conseguinte, o volume seria igual ao quociente que se obteria dividindo o peso do corpo pela sua densidade. Vê-se, assim, quanto seriam complicadas as soluções dos problemas geometricos, relativamente ás cubaturas, sem o estudo previo das linhas e superficies. Foi pensado na extensão em dois sentidos ou em um só, que o espirito humano formou as noções de superficie e de linha

5. O estudo systematico da geometria exige, pois, que os typos geometricos sejam apreciados, ora a uma, duas e tres dimensões, sem o que seria impossivel abordar o problema fundamental da geometria, que consiste em reduzir todas as questões sobre linhas quaesquer, superficies e volumes, a simples questões sobre linhas rectas.

6. Propondo-se a geometria a descobrir as leis que permitem medir os volumes, as superficies e as linhas por meio de seus parametros rectileneos, torna-se por conseguinte, indispensavel que se conheçam os parametros mais convenientes á determinação das relações entre a sua grandeza e a forma que se quer avaliar. D'ahi a necessidade de descobrir, tanto quanto possivel, as propriedades caracteristicas da forma proposta.

Essas propriedades consistem, sobretudo, nos diferentes modos de geração pelo movimento de um ponto ou de uma linha.

Suppondo que o circulo seja definido como a curva que sob o mesmo contorno, abrange maior area, propriedade inteiramente caracteristica, tornar-se-ia impossivel deduzir dessa propriedade a solução das questões fundamentaes relativas á rectificação ou quadratura dessa curva.

Entretanto, a propriedade de ter todos os pontos equidistantes de um ponto fixo, deve necessariamente adaptar-se melhor ás pesquizas dessa natureza.

O mesmo dá-se, com mais forte razão, relativamente ás superficies.

Se definirmos a esphera como o corpo que, sob a mesma area, contem maior volume, ficaríamos na impossibilidade de determinar a sua cubatura e a sua quadratura. Seria escusado maior numero de exemplos para fazer sentir, em geral, a necessidade de conhecer, tanto quanto possível, todas as propriedades de cada linha ou de cada superficie, afim de facilitar a pesquisa das rectificações, quadraturas e cubaturas, que constitue o objecto fundamental da geometria.

7. Fica, assim, justificada, sob o ponto de vista theorico, a necessidade do estudo das propriedades dos typos geometricos, formas ou figuras. Ao lado do motivo theorico para determinação do estudo das figuras ou formas, existe a necessidade pratica de assegurar a passagem do abstracto para o concreto. Além do officio logico e moral inherente a toda sciencia, a geometria abstracta foi instituida para habilitar-nos a conhecer o mundo em suas manifestações mais simples, mais geraes e independentes.

Ora, a medida das formas concretas exige o seu conhecimento, isto é, a sua conveniente identificação com as formas abstractas, estudadas na geometria. Por outro lado, a construcção das formas industriaes exige que se conheçam os meios mais commodos para executa-las. Sem isso seria impossivel construir formas segundo a dimensão desejada. Para todos esses casos a passagem do abstracto ao concreto exige que se dê um surto conveniente ao estudo das propriedades das formas abstractas.

Multiplicando tanto quanto possível as propriedades characteristics de cada forma abstracta, podemos estar de antemão certos de reconhecê-la no estado concreto, e de utilizar, assim, todos os nossos trabalhos racionaes, verifi-

cando em cada caso a definição susceptível de ser constatada directamente.

8. A geometria celeste nos fornece, a esse respeito, um exemplo memorável, bem apropriado para pôr em evidência a necessidade do estudo das propriedades das formas. Sabe-se que a ellipse foi reconhecida por Kepler como sendo a curva que os planetas descrevem em torno do sol, e os satellites em torno de seus planetas. Essa descoberta fundamental que renovou a astronomia, não teria sido possível si se tivesse limitado a conceber a ellipse como a secção obliqua de um cône circular por um plano. Semelhante definição não poderia comportar nenhuma verificação. A propriedade mais usual da ellipse, de ser constante a somma das distancias de todos os pontos fixos, é muito mais susceptível, sem duvida, por sua natureza, de reconhecer a curva nesse caso, embora não seja ainda directamente conveniente. O unico caracter que pôde ser então verificado immediatamente, é aquelle que se tira da relação que existe na ellipse, entre o comprimento das distancias fócaes e a sua direcção, unica relação que admite uma interpretação astronomica, como exprimindo a lei que liga a distancia do planeta ao sol, ao tempo decorrido desde a origem da sua revolução.

Foi preciso, portanto, que os trabalhos puramente especulativos dos geometras gregos sobre as propriedades das secções conicas tivessem apresentado, previamente, a geração dellas sob multiplos pontos de vista diferentes, para que Kepler tivesse pôdido, assim, passar do abstracto ao concreto, escolhendo entre todos esses caracteres o que podia ser constatado para as orbitas planetarias.

9. As questões immediatamente relativas ás *rectificações*, *quadraturas* e *cubaturas* são, evidentemente, por si mesmas, em numero limitado para cada forma considerada.

Pelo contrario, o estudo das propriedades de uma mesma forma, apresenta ao espirito humano um campo, naturalmente indefinido, no qual se pôde sempre esperar fazer novas descobertas.

Resulta d'ahi que o campo da geometria é necessariamente immenso, mesmo que ella se limitasse ao estudo de uma forma unica. Entretanto, afim de evitar especulações ociosas, a constituição normal da geometria deve desenvolver o estudo das formas ou typos geometricos, o *quantum satis* para conseguir a medida da extensão e permitir o estabelecimento entre o abstracto e o concreto, coordenando todas as pesquisas de modo a poder representar todos os attributos de cada forma como deduzidos de sua definição característica.

10. Os geometras limitaram-se, a principio, a considerar as formas mais simples que a natureza nos fornecia immediatamente, ou que se deduziam desses elementos primitivos por combinações mais ou menos complicadas.

Um exame mesmo, pouco profundo, basta para fazer comprehender que essas formas apresentam uma variedade infinita. Relativamente ás linhas, considerando-as como geradas pelo movimento de um ponto sujeito a uma certa lei, é claro que se terá, em geral, tantas linhas curvas diferentes quantas leis diversas se suppozer para esse movimento, que póde, evidentemente operar-se segundo uma infinidade de condições distinctas, comquanto possa acontecer, accidentalmente, algumas vezes, que novas gerações produzam curvas já obtidas.

Assim, limitando-se a curvas planas, se um ponto mover-se de modo a ficar equidistante de um ponto fixo, gerará uma circumferencia de circulo; se fôr a somma ou a differença das distancias de dois pontos fixos constante, a curva descripta será uma ellipse ou uma hyperbole; se o ponto afastar-se sempre igualmente de um ponto fixo e de uma recta fixa, descreverá uma parabola; se girar sobre um circulo ao mesmo tempo que este sobre uma linha recta, ter-se-á uma cycloide, etc.

Cada uma dessas curvas póde, depois, fornecer novas curvas, pelas differentes construcções imaginadas pelas geometrias.

Emfim, existe uma variedade maior ainda de curvas existentes sobre superficies curvas, e por isso justamente chamadas de dupla curvatura.

**11.** Relativamente ás superficies, as formas são necessariamente mais diversas ainda, considerando-as como geradas pelo movimento das linhas, porquanto, duas ordens de condições muito diversas podem fazer variar as formas das superficies, ao passo que só existe uma para as linhas.

Com effeito, nas superficies podemos variar em numero infinito as leis do movimento da linha geratriz, como tambem mudar a natureza dessa linha.

Bastará para fazer uma idéa, considerar a extrema variedade das superficies chamadas regradas.

Se a recta move-se parallelamente a si mesma, apoiando-se em uma certa curva, tem-se a familia das superficies cylindricas; se a recta passa por um ponto fixo e apoia-se sobre uma curva, tem-se a familia das superficies conicas, etc.

Quanto aos volumes, não ha logar para consideração nenhuma especial, visto como elles não se distinguem entre si senão pelas superficies que os terminam.

**12.** Afim de completar esse apanhado geometrico, é preciso accrescentar que as superficies fornecem um novo meio geral de conhecer novas curvas, porquanto cada uma dellas póde ser considerada como produzida pela intersecção de duas superficies. Esse modo de geração foi suggerido pela observação, que nos mostra por toda parte o horizonte como resultante da intersecção do plano terrestre com a esphera celeste.

Foi assim, com effeito, que foram obtidas as primeiras linhas que podem ser consideradas como realmente inventadas pelos geometras, pois que a natureza dava immediatamente a linha recta e a circumferencia de circulo.

Da linha recta tem-se noção sempre que se visa um ponto qualquer, por quanto, suppondo partir delle uma serie indefinida de linhas que venham terminar no órgão visual do observador, uma impressional-o-á como a mais

curta, visto como as outras farão o papel de envolventes em relação a ella.

Quanto á circumferencia de circulo, della tem-se tambem noção pelo disco que apresentam os astros do nosso systema, principalmente a lua e o sol.

E' evidente que, pelo emprego desses diversos meios geraes para a formação das linhas e superficies, poder-se-ia produzir uma série rigorosamente infinita de formas distinctas, partindo somente de um pequeno numero de figuras ou formas directamente fornecidas pela observação. Apesar, porém, dessa immensidade de formas e do character idéal dellas, tudo quanto precede mostra que ellas resultam da combinação dos elementos fornecidos pelo mundo, como sempre, alimento, estimulante e regulador de todas nossas construcções subjectivas.

Admittindo a hypothese irrealisavel da eliminação da linha recta e da circumferencia de circulo, já não poderiamos mais conceber forma nenhuma.

**13. DEFINIÇÕES.** — Se um ponto se desloca no espaço sem mudar de direcção, descreverá uma linha recta, o typo geometrico fundamental e a mais simples das grandezas que a geometria considera.

Uma linha recta é sempre o minimo caminho entre dois pontos, e é esta a sua propriedade característica.

Representa-se uma linha recta por duas letras collocadas em suas extremidades.

Dados, por consequente, dois pontos,  $A$  e  $B$ , fig. 1, é sempre possivel determinar inteiramente uma linha recta.

Qualquer outra recta que passe pelos pontos  $A$  e  $B$ , necessariamente confundir-se-á com ella; d'ahi resulta a seguinte consequencia: duas rectas distinctas só podem ter um ponto commum.

Uma porção qualquer de linha recta como, por exemplo, fig. 1,  $AC$ ,  $CD$ , etc, toma a denominação de segmento rectilineo.

14. Dada uma serie de pontos, dispostos arbitrariamente, se os unirmos por meio de linhas rectas, obteremos o que se chama uma linha quebrada, fig. 2.

As linhas quebradas podem ser compostas somente de rectas ou de rectas e de curvas. Neste ultimo caso toma o nome de linha mixta.

15. A maior ou menor abertura de duas linhas que se encontram, dá-se a denominação de angulo. Se as duas linhas que formam o angulo são rectas, o angulo toma o nome de rectilíneo, fig 3; se curvas, de curvilíneo, fig. 4; se uma é recta e outra curva, de mixtilíneo, fig. 5.

Ao ponto de encontro das duas linhas dá-se o nome de vertice do angulo, e ás duas linhas, de lados do angulo.

Podemos considerar um angulo plano como uma grandeza, visto como qualquer angulo pôde ser tomado como constituído de partes da mesma especie; isto é, de partes que tambem são angulos.

A grandeza de um angulo plano não depende do comprimento de seus lados.

Estes poderão ser, portanto, indefinidamente prolongados, sem que a extensão angular augmente. Esta extensão dependerá, por conseguinte, da inclinação mutua dos lados. O espaço contemplado pelos lados é, pois, indefinido, isto é, sem limites em sua extensão.

Um angulo plano se representa pela letra do vertice e dos dois lados, do seguinte modo:  $\angle BAC$ , fig. 3 e lê-se angulo  $ABC$ .

Algumas vezes suprimem-se as letras dos lados e designa-se o angulo somente pela letra do vertice.

16. Dá-se o nome de triangulo ao plano limitado por tres linhas rectas que se encontram duas a duas.  $\triangle$  triangulo tem uma superficie limitada, fig. 6, tres lados, que são as tres linhas que o formam, e tres angulos.

Thales, considerado como fundador da geometria abstracta, descobriu entre os angulos e os lados dos triangulos rectilíneos quaesquer, duas leis que constituem uma

das bases da geometria, e são de uma importancia capital em todo o conjuncto da mathematica.

Os enunciados dessas leis, que tomaram a denominação de lei angular e lei linear de Thales, são os seguintes :

**LEI ANGULAR.** — A somma dos tres angulos de um triangulo é equivalente a dois angulos rectos.

**LEI LINEAR.** — Dois triangulos mutuamente equi-angulos são semelhantes.

Chamam-se triangulos semelhantes os que tem os angulos respectivamente iguaes e lados homologos proporcionaes.

Lados homologos são os que se oppõem a angulos respectivamente iguaes.

As demonstrações dessas duas leis se encontram em qualquer compendio didactico de geometria.

**17.** Define-se quadrilatero como sendo o conjuncto rectilineo ou plano limitado por quatro linhas rectas, fig. 7.

Considerando, agora, que os conjunctos rectilineos pódem ser formados de cinco, seis, sete, oito, nove . . . . quinze, etc., linhas rectas, sempre se encontrando duas a duas, teremos os contórnos polygonaes de cinco, seis, sete, oito . . . . quinze, etc., lados.

Já vimos que ao contorno de quatro lados dá-se particularmente o nome de quadrilatero, ao de cinco, dá-se o nome de pentagono, de seis, hexagono, de sete, heptagono, de oito, octogono, de nove, enneagono, de dez, decagono; de onze, undecagono, de doze, dodecagono, . . . . de quinze, pentadecagono, etc. Para os contornos ou conjunctos de treze, quatorze, dezeseis, dezasete, dezoito, etc., lados, não ha denominações especiaes e diz-se, simplesmente, um polygono de treze, quatorze, dezeseis, etc., lados, exceptuando o de vinte lados, que recebeu a denominação de icosagono.

Quando um polygono tem todos os seus lados iguaes e tambem os seus angulos, é chamado polygono regular; no caso contrario o polygono toma a denominação de polygono irregular.

Quanto á natureza dos angulos, os polygonos pôdem ser concavos ou convexos.

Distinguem-se os primeiros dos segundos pelas seguintes propriedades: nos polygonos concavos ha angulos reentrantes, uma recta pôde encontrar o polygono em mais de dois pontos, e prolongando um lado qualquer do polygono elle não fica existindo para o mesmo lado prolongado fig. 8.

Nos polygonos convexos não ha angulos reentrantes, uma recta não pôde encontrar o polygono em mais de dois pontos, e prolongando um lado, o polygono fica existindo para o lado prolongado, fig. 9.

Relativamente á circumferencia de circulo, os polygonos podem ser inscriptos ou circumscriptos. Um polygono diz-se inscripto na circumferencia de circulo quando seus vertices estão na circumferencia, e seus lados são cordas da mesma circumferencia, fig. 10.

Um polygono diz-se circumscripto a um circulo, quando seus lados são tangentes á circumferencia, fig. 11.

18. Uma linha recta pôde em relação a uma outra recta ser perpendicular, obliqua e parallela. E' perpendicular quando, não cahindo mais nem menos, para nenhum lado, forma com a outra recta angulos adjacentes iguaes.

Na fig. 12, considerando os angulos  $CDA$  e  $CDB$  iguaes,  $AB$  é perpendicular a  $CD$ .

Na natureza nós temos a noção de perpendicularismo na direcção vertical, na normal imaginada á superficie da das aguas tranquillias, na direcção do fio a prumo, na passagem dos astros pelo nosso zenith, etc.

A recta é obliqua em relação a uma outra, quando forma com essa outra angulos adjacentes desiguaes.

Assim, na fig 12,  $ED$  é obliqua em relação á  $AB$ , porque os angulos adjacentes,  $EDA$  e  $EDB$ , são desiguaes.

A figura mostra que o angulo  $EDB$  é maior que o angulo recto,  $EDB$ , sendo este por sua vez maior que o angulo  $EDA$ . Ao primeiro,  $EDB$ , maior que um recto,

chama-se angulo obtuso; e ao segundo  $EDA$ , menor do que um recto, angulo agudo. A figura 12 mostra ainda que a somma dos dois angulos adjacentes,  $EDA$  e  $EDB$ , é igual a dois angulos rectos, porque essa somma é igual a dois angulos,  $CDA$  e  $CDB$ , angulos rectos, por ser  $DC$  perpendicular a  $AB$ .

Duas rectas são parallelas quando, situadas em um mesmo plano, não se encontram por mais que se prolonguem, ou antes, vão encontrar-se no infinito formando um angulo nullo.

Os trilhos das vias ferreas, nas grandes tangentes, nos dão um exemplo frisante do que acabamos de dizer.

**19. CIRCUMFERENCIA. DIVISÃO DO CIRCULO EM GRÃOS** — Passando das linhas rectas para as linhas curvas, apreciemos a mais simples e uniforme de todas, — a circumferencia de circulo. Já vimos que quando um ponto se desloca no espaço de modo a ficar sempre equidistante de um ponto fixo, gera uma circumferencia de circulo. E' com ella que nós avaliamos a intensidade de curvatura de todas as curvas planas. A sua inteira determinação exige tres pontos não em linha recta.

Quer isto dizer que toda circumferencia que tiver tres pontos em um plano, existe toda nesse plano.

A sua determinação graphica, dando-se tres pontos não em linha recta, é simples e facil. Supponhamos, fig 13, os tres pontos,  $A$ ,  $B$  e  $C$ , não em linha recta.

Unamos o ponto  $A$  ao ponto  $B$ , e este ao ponto  $C$ . Ao meio de  $AB$  levantemos uma perpendicular, e o mesmo façamos ao meio de  $BC$ . Essas duas perpendiculares irão encontrar-se no ponto  $O$ . Se deste ponto, com raio igual a  $OA$ ,  $OB$  ou  $OC$ , descrevermos uma circumferencia, ella passará necessariamente pelos tres pontos dados.

Supponhamos agora que os tres pontos dados se acham em linha recta, fig. 14.

Liguemos os tres pontos dados; elles formarão uma

mesma linha recta,  $A B C$ . Ao meio de  $A B$  levantemos uma perpendicular,  $E O$ , e outra  $F O$ , ao meio de  $B C$ .

Ora, duas perpendiculares a uma mesma recta são paralelas. Por conseguinte, as perpendiculares,  $E O$  e  $F O$ , sendo paralelas, vão encontrar-se no infinito, formando um angulo nullo.

Quer isto dizer que não existe circumferencia quando os pontos dados estão em linha recta, ou antes, que a circumferencia tem seu centro no infinito.

Assim, geometricamente, diz-se que a linha recta é uma circumferencia cujo centro está no infinito; o cylindro é um cône cujo vertice está no infinito; a parabola é uma ellipse de que um dos vertices está no infinito, etc. A noção de infinito tem grande importancia no dominio geometrico e representa-se, simbolicamente, por um oito deitado —  $\infty$

**20.** Em muitas questões de mathematica as soluções infinitas são tão reaes, tão logicas como as soluções inteiras e positivas.

Assim, se quizermos determinar o comprimento da sombra de um gnomon quando o sol está no horizonte, ou a sua distancia zenithal é de  $90^\circ$ , encontraremos, pela formula correspondente ao caso, uma solução infinita, solução verdadeira e unica que convém á questão, porquanto, quando o sol está no horizonte a sombra é paralela á perpendicular tirada do pé do gnomon, e por conseguinte vae encontrar-se com o prolongamento dessa perpendicular no infinito.

**21.** Na circumferencia de circulo, o ponto equidistante de todos os pontos da circumferencia, toma o nome de centro.

Toda recta,  $O A, O C, O D$ , etc., fig. 15, que vae do centro á circumferencia, chama-se raio.

A recta,  $A C$ , que une dois pontos quaesquer da circumferencia, chama-se corda; o diametro,  $D E$ , é a maior das cordas, e divide a circumferencia em duas partes iguaes.

Dois pontos,  $A$  e  $C$ , tomados sobre a circumferencia, determinam sobre esta linha duas porções,  $ABC$  e  $AFC$ , denominadas arcos. A recta que tocar a circumferencia em um só ponto, como  $BT$ , e fôr penpendicular ao extremo do raio que partir do centro para aquelle ponto, chama-se tangente.

A porção de plano comprehendida entre um arco e sua corda, como  $ABC$ , chama-se segmento circular. A porção comprehendida entre dois raios, como  $AO$  e  $CO$ , e o arco  $ABC$  que subentendem, sectôr circular.

O angulo,  $AOC$ , cujo vertice se acha no centro da circumferencia, toma o nome de angulo central; se o vertice se acha fóra do centro, dentro ou fóra da circumferencia, como nos angulos,  $AMC$  e  $ANC$ , o angulo toma a denominação de excentrico. O angulo,  $AFB$ , cujo vertice existe na circumferencia, toma o nome de angulo inscripto.

**22.** Qualquer linha recta póde ser comparada com um arco de circumferencia de circulo e, por conseguinte, a relação entre taes linhas poderá ser representada numericamente. A relação constante da circumferencia de circulo para o diametro, representa-se, desde Euler, pelo symbolo ou letra grega  $\pi$ . O valôr deste numero  $\pi$  não póde ser determinado exactamente, porque é um numero incommensuravel; mas, tem sido com muita approximação determinado por varios methodos. Se tomarmos um cordél que possa medir a extensão da circumferencia de uma roda circular, e outro cordél da mesma especie que possa medir o comprimento do diametro do mesmo circulo; se determinarmos a relação entre os dois cordeis, vemos que 22 comprimentos iguaes ao diametro correspondem a 7 circumferencias, isto é,

$$\frac{C}{2R} = \frac{22}{7}$$

A fracção  $\frac{22}{7}$  é uma grosseira approximação do valôr de  $\pi$ ; mas, foi a que Archimedes nos deu.

A fracção,  $\frac{355}{113}$ , devida a Adriano Metius, é mais approximada que a de Archimedes. Podemos empregal-a em calculos rigorosos; o valôr de  $\pi$  com 5 algarismos decimaes é,

$$\pi = 3,14159.$$

23. Dois diametros,  $DE$  e  $BF$ , figura 15, perpendiculares entre si, dividem a circumferencia e o circulo em quatro angulos iguaes, denominados rectos, unidade angular adoptada em muitos casos no dominio geometrico. Além dessa unidade existe uma outra mais geralmente adoptada, e que consiste em dividir a circumferencia em 360 partes iguaes.

Unindo os pontos de divisão ao centro da circumferencia, como é facil imaginar, formaremos 360 pequenos angulos centraes, tendo cada um delles o valôr de um gráo.

Para menores unidades dividiu-se o gráo em 60 partes iguaes, denominadas minutos, e cada minuto em outras 60 partes, tambem iguaes, chamadas segundos. Os grãos, minutos e segundos de arco representam-se, numericamente, do seguinte modo: os grãos por um pequeno zéro, acima, á direita do numero; os minutos, por um accento agúdo, situado nas mesmas condições; os segundos, por dois accentos tambem agúdos.

Assim, trinta e cinco grãos, vinte e oito minutos e quarenta e dois segundos, escreve-se do seguinte modo:

$$35^{\circ} 28' 42''.$$

Tratando-se do tempo, em que se consideram horas, minutos e segundos, a representação se faz substituindo as convenções, 0, I, II, pelas iniciaes minusculas das palavras hora, minuto e segundos, isto é, por  $h$ ,  $m$  e  $s$ .

Assim, seis horas, trinta e dois minutos e vinte sete segundos, representa-se do seguinte modo:

$$6^h 32^m 27^s.$$

Para reduzir tempo sideral a grãos, basta multiplicar-o por 15; para reduzir grãos a tempo sideral, basta dividir o numero de grãos por 15.

24. Da ellipse. Depois da circumferencia de circulo, é a ellipse a curva mais simples. Os geometras gregos derivavam essa curva seccionando obliquamente um cône recto de base circular.

E' a curva que os planetas descrevem em suas revoluções em torno do sol, como o provou Kepler.

A definição mais usual dessa curva é a de ser o logar geometrico dos pontos cuja somma das distancias a dois pontos fixos é constante.

Esses dois pontos fixos,  $F$  e  $F'$ , como mostra a figura 16, são os fócios.

A recta  $ab$ , que passar pelos dois pontos fixos e encontrar a curva nas duas extremidades, chama-se o maior diametro.

A perpendicular  $cd$ , ao meio do maior diametro, toma o nome de menor diametro da curva. Ao ponto de encontro,  $O$ , dos dois diametros, dá-se o nome de centro da ellipse.

A distancia  $FF'$ , entre os dois fócios, tem o nome de distancia fócal.

A recta  $Fc$ , que vae de um fóco qualquer á ellipse, chama-se raio vector.

Ao ponto  $o$ , dá-se o nome de centro da ellipse, e aos pontos,  $a, b, c, d$  a denominação de vertices da ellipse.

A relação entre a differença dos semi-diametros (maior e menor), e o semi-diametro maior, chama-se achatamento.

Assim, se designarmos por  $a$ , o semi-diametro maior da ellipse, por  $b$ , o semi-diametro menor, o achatamento da curva será representado, chamando  $\rho$  esse achatamento, pela formula:

$$(1) \quad \rho = \frac{a - b}{a}$$

Aplicação. — Sabe-se que o semi-diametro maior da ellipse terrestre, ou o raio equatorial, tem por valôr, 6378250 metros; o valôr do semi-diametro menor, ou o raio polar, é de 6356846 metros.

Substituindo esses valôres na formula (1), teremos:

$$= \frac{6378250 - 6356846}{6378250} = \frac{21404}{6378250}$$

Simplificando a fracção, teremos:

$$(2) \quad \rho = \frac{a-b}{a} = \frac{1}{299},$$

aproximadamente, que é o valor do achatamento da terra.

Este valôr mostra que a terra differe muito pouco de uma esphera.

Com effeito, de (2). deduzimos, eliminando  $a$  no primeiro membro:—

$$(3) \quad a - b = \frac{a}{299};$$

fazendo  $a = 299^{\text{mill}}$ , teremos, substituindo em (3),

$$a - b = 1^{\text{mill}};$$

d'onde se vê que, representando a terra por um glôbo cujo raio equatorial seja de  $299^{\text{mill}}$ , a differença entre o raio equatorial e o raio polar seria de um millimetro, differença inapreciavel á simples vista.

E' por esta razão que na maior parte dos casos se considera a terra como perfeitamente espherica, tomando-se para raio medio,  $R = 6366000^{\text{m}}$ .

A relação entre a semi-distancia fócal e o maior-semi-diametro, denomina-se excentricidade.

nica, donde a divisão da astronomia em geometria celeste e mechanica celeste.

A geometria celeste estuda as distancias dos astros á terra e entre si, sua figura, grandeza, etc.; a mechanica celeste procura determinar as leis dos diversos movimentos a que estão sujeitos; estuda suas massas, densidades, pesos, etc.

A Cosmographia não é mais do que um resumo descriptivo e elementar da astronomia.

**26.** Antes de abordar o assumpto principal desta licção, precisamos fazer uma distincção fundamental entre as idéas de universo e de mundo propriamente dito. Essa distincção fundamental repousa na divisão dos diversos astros visiveis em interiores e exteriores, segundo pertencem ao mesmo systema solar que nosso planeta, ou se acham fóra deste systema.

Cada estrella fixa, como ensina a astronomia, forma um systema completamente independente dos outros. O sol, por exemplo, a estrella fixa mais proxima de nós, forma um systema sem nenhuma dependencia com os demais e infinitos systemas sideraes.

Ao conjuncto do sol com os seus planetas e satellites, é o que se dá propriamente o nome de mundo, reservando-se a denominação vaga e absoluta de universo, para o conjuncto de todos os astros, tanto interiores como exteriores.

**27. SUA DIVISÃO.** — Os astros que compõem o universo ou são luminosos, isto é, possuem luz propria, ou opacos, e então recebem-na dos outros.

D'ahi a sua divisão em estrellas fixas, planetas e cometas.

As estrellas são astros luminosos que vemos á noite como pontos scintillantes, disseminados na abobada celeste, parte da esphera celeste collocada por cima de nossas cabeças. A esphera celeste é a forma apparente de uma esphera que á nossa vista toma a immensidade do espaço, com a

Se designarmos por  $a$ , o semi-diametro maior, ou o raio equatorial, e por  $c$ , a semi-distancia fócal, a excentricidade será representada, chamando  $e$ , essa excentricidade, pela formula: —

$$(4) \quad e = \frac{c}{a}$$

Em geral, a formula da excentricidade é dada em função do raio equatorial e do raio polar.

Essa formula é a seguinte: —

$$(5) \quad e = \sqrt{\frac{a^2 - b^2}{a^2}}$$

Substituindo em (5),  $a$  e  $b$  pelos seus valôres e effectuando os calculos, se encontra para valôr da excentricidade o seguinte:

$$e = 0,08247\dots \text{ aproximadamente.}$$

---

## 2.<sup>a</sup> LICÇÃO

### Do universo em geral. — Sua divisão

25. DO UNIVERSO EM GERAL. — Ao conjunto de corpos que se movem indefinidamente na immensidade do espaço, seguindo direcções diversas, mas sujeitos a determinadas leis, denomina-se universo, e aos corpos propriamente ditos, de astros.

Estes não nos sendo accessiveis senão pela vista, vê-se logo, como bem diz A. Comte, que a sua existencia será mais imperfeitamente conhecida do que qualquer outra, não podendo comportar verdadeiras apreciações senão para com os phenomenos mais simples e mais geraes, ficando, deste modo, reduzido o estudo celeste á pura existencia mathematica, primeiro geometrica, depois mecha-

nica, donde a divisão da astronomia em geometria celeste e mechanica celeste.

A geometria celeste estuda as distancias dos astros á terra e entre si, sua figura, grandeza, etc.; a mechanica celeste procura determinar as leis dos diversos movimentos a que estão sujeitos; estuda suas massas, densidades, pesos, etc.

A Cosmographia não é mais do que um resumo descriptivo e elementar da astronomia.

**26.** Antes de abordar o assumpto principal desta licção, precisamos fazer uma distincção fundamental entre as idéas de universo e de mundo propriamente dito. Essa distincção fundamental repousa na divisão dos diversos astros visiveis em interiores e exteriores, segundo pertencem ao mesmo systema solar que nosso planeta, ou se acham fóra deste systema.

Cada estrella fixa, como ensina a astronomia, forma um systema completamente independente dos outros. O sol, por exemplo, a estrella fixa mais proxima de nós, forma um systema sem nenhuma dependencia com os demais e infinitos systemas sideraes.

Ao conjuncto do sol com os seus planetas e satellites, é o que se dá propriamente o nome de mundo, reservando-se a denominação vaga e absoluta de universo, para o conjuncto de todos os astros, tanto interiores como exteriores.

**27. SUA DIVISÃO.** — Os astros que compõem o universo ou são luminosos, isto é, possuem luz propria, ou opacos, e então recebem-na dos outros.

D'ahi a sua divisão em estrellas fixas, planetas e cometas.

As estrellas são astros luminosos que vemos á noite como pontos scintillantes, disseminados na abobada celeste, parte da esphera celeste collocada por cima de nossas cabeças. A esphera celeste é a forma aparente de uma esphera que á nossa vista toma a immensidade do espaço, com a

concauidade voltada para nós, e dentro da qual julgamos conter-se todos os astros.

**28.** Segundo sua posição, as estrellas apparentemente são fixas.

Esta immobilidade que as estrellas apresentam é devido á immensa distancia em que ellas se acham do nosso planeta, immobilidade essa que é apenas apparente.

Os planetas do nosso systema solar se nos apresentam a olho desarmado como estrellas fixas.

E' assim que ao planeta venus o vulgo costuma dar a denominação de estrella venus.

Entretanto, além dos planetas não terem luz propria, se fixarmos bem a vista nelles, notaremos quasi não haver scintillação, e se applicarmos o telescópio, a sua irradiação cessará immediatamente.

Comparando ainda as estrellas com os planetas, notaremos que, através de uma lente poderosa, o planeta augmenta de volume e a estrella não. Para distinguir-se na abobada celeste, a olho desarmado, uma estrella de um planeta, sem o auxilio de cartas celestes, toma-se nota do ponto que o astro occupa em relação a uma ou mais estrellas visinhas e conhecidas. As estrellas, como sabemos, tem todas ao mesmo tempo um movimento uniforme, guardando as mesmas distancias entre si; se o astro em questão alterar sensivelmente essas distancias relativas em poucas noites, trata-se, sem duvida, de um planeta. Chama-se scintillação ou rutilação, ao movimento continuo de augmento e diminuição de luz das estrellas.

**29.** Estas, quanto ao seu brilho, dividem-se em estrellas de 1<sup>a</sup>, 2<sup>a</sup>, 3<sup>a</sup>, 4<sup>a</sup>, 5<sup>a</sup>, 6<sup>a</sup>, 7<sup>a</sup>... 16<sup>a</sup> grandeza e mais.

As de 1<sup>a</sup> grandeza são as que ostentam o brilho mais intenso. A' proporção que este brilho vae diminuindo, gradualmente, de intensidade, as estrellas vão sendo classificadas em grandezas proporcionalmente menores.

Deste modo uma estrella de 6<sup>a</sup> grandeza é o limite da visibilidade a olho nú. Essas grandezas nada tem de absoluto, porquanto, uma estrella de 4<sup>a</sup> grandeza póde ser

maior do que uma de 1<sup>a</sup>, conforme esta se achar muito mais distante do observador do que aquella, seu brilho é menor, não podendo, por conseguinte, ser considerada de 1<sup>a</sup> grandeza.

**30.** Planetas são corpos opacos, isto é, que por não terem luz propria, a recebem de uma estrella. Para o nosso systema esta estrella é o sol.

Os planetas, em relação á sua importancia, dividem-se em primarios e secundarios. Os primarios são os que giram immediatamente em torno de uma estrella fixa, considerada como centro.

Esses planetas, se forem pequenos, tomam o nome de planetoides ou asteroides. Os secundarios, chamados tambem de satellites ou luas, são os que giram em torno dos primeiros. Segundo os meios de observação, os planetas são apparentes ou telescopicos. Os primeiros são os que podemos ver a olho nú; os segundos são os que só podem ser observados com o auxilio de instrumentos apropriados.

Segundo a posição de suas orbitas, os planetas podem ser superiores, quando descrevem suas orbitas em um plano além do da terra, partindo do sol, e inferiores, quando giram entre a terra e o sol.

No nosso systema, os planetas superiores são marte, os planetoides, jupiter, saturno, urano e neptuno; e inferiores: mercurio e venus.

Os planetas sobem ao numero de quatrocentos e tantos, sendo oito grandes e os demais planetoides.

Os satellites são em numero de vinte e cinco: um pertence á terra, cinco a jupiter, dez a saturno, seis a urano, dois a marte e um a neptuno.

**31.** Contemplando em uma bella noite, a olho nú, de um ponto elevado, o conjuncto do céo, reconheceremos logo um movimento continuo, mais ou menos pronunciado, entre todos os astros.

Este phenomeno fundamental, convenientemente apreciádo, nos condúz logo ao conhecimento da invariabilidade do espectaculo celeste, e a formar a hypothese fundamental

do movimento espherico, como a mais simples de accôrdo com os dados observados. Assim, contemplando as estrellas, vemos-as apparecer no oriente, elevar-se acima do horizonte e desaparecer depois no occidente.

Algumas ha que se elevam muito pouco acima do horizonte, deitando-se logo no occaso, enquanto outras descrevem circumferencias de circulo tanto menores, quanto mais se approximam de um ponto do céu onde se acha uma estrella que parece immovel, a que se chama estrella polar.

Ainda outras ha que permanecem constantemente acima do horizonte, e que tomaram a denominação de circumpolares.

Durante o dia a luz do sol torna as estrellas invisiveis; entretanto, com o auxilio de lunetas poderosas, podemos ainda observal-as e constatar que as cousas se passam como durante a noite. E' igualmente facil convencermos-nos que as estrellas conservam entre si as mesmas posições relativas, isto é, as mesmas distancias angulares, que são os angulos formados pelos raios visuaes dirigidos para essas estrellas. Por exemplo, as que apparecêram primeiramente dispostas em linha recta, em triangulo equilatero, em quadrado, etc., apresentarão sempre, apesar de seus movimentos respectivos, a mesma configuração, vista unicamente em situações diversas.

Essa constancia das diversas configurações nos conduz, logo, a conceber o movimento diurno do céu como um systema solido, e que as estrellas se movem como se fôsem fixadas á superficie de uma esphera immensa de que a terra occuparia o centro, girando esta esphera em torno de um de seus diametros como eixo.

O movimento da esphera celeste se chama movimento diurno e retrogrado, isto é, contrario ao movimento directo.

Este ultimo é o movimento proprio do sol e dos planetas.

**32.** Se observarmos a marcha de uma estrella nas differentes posições que ella pôde occupar na esphera

celeste, verificaremos que ella descreve, com um movimento uniforme, um circulo cujo plano é perpendicular ao eixo da esphera celeste, isto é, parallello ao equador celeste. Fazendo as mesmas observações em outras estrellas chegaríamos á conclusão que ellas se movem todas obdecedo ás mesmas leis, e que ellas gastam exactamente o mesmo tempo para descrever um circulo inteiro.

De todas as considerações feitas, relativamente ao movimento da esphera celeste, concluimos as seguintes consequencias do movimento espherico:

1.<sup>a</sup> O movimento da esphera celeste é circular, isto é, as estrellas descrevem circumferencias de circulo.

2.<sup>a</sup> E' uniforme, isto é, as estrellas descrevem arcos iguaes em tempos tambem iguaes.

3.<sup>a</sup> E' isochrono, isto é, as estrellas gastam sempre o mesmo tempo para effectuar uma revolução completa.

4.<sup>a</sup> E' parallello, isto é, os circulos descriptos são todos parallellos entre si, ou parallellos ao equador celeste.

### 3.<sup>a</sup> LICÇÃO

#### Attracção e força centrífuga. — Parallaxes

33. Antes de estudarmos a lei que resume toda dinamica celeste, precisamos, embóra succintamente, apreciar as leis Keplerianas que servem de base á estatica ou geometria celeste.

Consideremos, pois, as tres grandes leis descobertas por Kepler.

1.<sup>a</sup> LEI. — Desde muito que se tinha notado que a velocidade angular de cada planeta augmentava constantemente á medida que o astro se approximava mais do centro de seu movimento; porém, se ignorava inteiramente a relação exacta entre as distancias e as velocidades.

Kepler a descobriu nas observações que fez no planeta Marte, reconhecendo que as velocidades angulares deste planeta em seu perihelio e em seu aphelio, eram inversamente proporcionaes aos quadrados das distancias correspondentes.

Esta lei descoberta pela aproximação apenas de duas unicas observações, foi mais tarde verificada para todas as posições intermediarias de marte, e, posteriormente, estendida a todos os outros planetas. Ella é, ordinariamente, apresentada sob uma outra forma geometrica, imaginada pelo proprio Kepler.

Em logar de dizer que a velocidade angular de um planeta qualquer está em cada ponto de sua orbita, na razão inversa do quadrado da distancia ao sol, é preferivel dizer-se, mais simplesmente, que a area descripta em um tempo dado pelo raio vector do planeta, é de uma grandeza constante, ainda que sua forma seja variavel, ou, em outros termos, que as areas descriptas crescem proporcionalmente com os tempos decorridos.

Exemplifiquemos.

Tracemos a ellipse, figura 17, e o maior e menor diametro,  $ab$  e  $cd$ .

Sejam  $F$  e  $F'$  os fócios da ellipse e  $S$  o sol, no fóco  $F$ . Tracemos ainda os raios vectores  $F e$ ,  $F m$ ,  $F h$  e  $F n$ .

Se um astro gasta o mesmo tempo para percorrer ou descrever os arcos  $ae$ ,  $mh$  e  $nb$ , as areas descriptas pelos raios victores, areas estas representadas pelos sectôres ellipticas,  $a F e$ ,  $m F h$  e  $n F b$ , são equivalentes.

Vê-se assim que a constancia deixou de existir nos arcos descriptos, porquanto o arco  $ae$  é maior do que  $mh$ , e este maior do que  $nb$ , mas permaneceu nas areas descriptas pelos raios vectores.

**34. 2ª LEI.** — Kepler que já tinha sentido a necessidade de abandonar os movimentos circulares, não lhe era, por conseguinte, tão difficil descobrir a verdadeira natureza das orbitas planetarias.

Muito naturalmente tentou a ellipse, a mais simples de todas as curvas fechadas depois da circumferencia de circulo, que não é della sinão uma modificação. A theoria abstracta dessa curva já tinha sido desenvolvida e estudada pelos geometras gregos, de modo a tornar-se possivel reconhecer-a, com certeza, nas orbitas planetarias.

Quanto ao logar que o sol devia nella occupar, não podia haver longa hesitação, porque não se podia, evidentemente, assignalar-lhe senão duas posições notaveis, ou o centro, ou um dos focos. Ora, uma reflexão geral sobre os movimentos celestes excluia immediatamente o centro, porque, nesta hypothese, a orbita apresentaria dois perihelios diametralmente oppostos, assim como dois aphelios.

Ainda mais, cada periphelio seria de  $90^\circ$  unicamente, em logar de  $180^\circ$ , de cada aphelio, o que é manifestamente contrario ao conjuncto das observações, mesmo as mais grosseiras.

Eis ahi como Kepler, adoptando as orbitas ellipticas, foi necessariamente conduzido a collocar o sol no fóco, para todos os planetas ao mesmo tempo.

Tal é pois a 2.<sup>a</sup> lei de Kepler: — os planetas descrevem ellipses de que o sol occupa um dos focos.

Sob o ponto de vista geometrico, essas duas leis bastam para determinar completamente o movimento proprio de cada planeta, uma regulando sua velocidade em cada instante, a outra fixando a figura da orbita.

Porém os movimentos dos diversos planetas em torno do fóco commum, ficavam ainda completamente isolados uns dos outros, e era preciso restabelecer uma certa harmonia entre movimentos tão differentes.

Tal é o objecto da 3.<sup>a</sup> lei.

**35. 3.<sup>a</sup> LEI.** — Muitos astrónomos já tinham notado que as revoluções planetarias são sempre tanto mais lentas quanto as orbitas teem maior extensão, e o proprio Kepler reconheceu mais tarde, que os tempos periodicos dos diversos planetas crescem mais rapidamente que as medias distancias ao sol.

Aprofundando a questão com as suas pesquisas mathematicas, doptado de grande genio analogico, descobriu enfim, que os quadrados dos tempos das revoluções sideraes de todos os diversos planetas, são exactamente proporcionaes aos cubos dos semi-grandes eixos de suas orbitas, lei que as observações posteriores sempre confirmaram inteiramente.

Esta lei apresenta evidentemente, em geometria celeste, esta importante propriedade directa, de permittir determinar o tempo periodico e a media distancia de todos os diversos planetas, quando estes dois elementos forem primeiramente observados em um só planeta qualquer. Foi assim, por exemplo, que se pode avaliar a duração da revolução de Urano, uma vez que a sua distancia ao sol foi determinada, sem haver necessidade de esperar a realisação tão lenta de uma revolução inteira, que serviu unicamente, mais tarde, para confirmar o resultado primitivo. Caso fôra possivel descobrir ainda algum novo planeta entre mercurio e o Sol, bastaria observar a curta duração de sua revolução sideral, para d'ahi concluir, immediatamente, o valor de sua distancia, cuja determinação directa, devido á proximidade do sol, seria, senão impossivel, pelo menos muito difficil.

**36.** Como exemplo formulemos a hypothese da descoberta de um novo astro entre mercurio e o sol. Medida ou determinada, por observações directas, a revolução sideral do novo astro, encontrou-se, supponhamos, 42 dias, isto é, o novo astro gastou 42 dias para descrever, em torno do sol, a sua orbita.

Por outro lado, sabemos que a revolução sideral de mercurio é de cerca de 88 dias, e a sua distancia média ao sol,  $\text{C}e$  58000000 de kilometros.

Fazendo, agora, a applicação da 3ª lei de Kepler, diremos: — o quadrado da revolução sideral de mercurio está para o quadrado da revolução sideral do novo astro, assim como o cubo da distancia média de mercurio ao sol, está para o cubo da distancia media, desconhecida, do novo astro ao sol.

Designando a distancia desconhecida por  $x$ , teremos a seguinte proporção:

$$\frac{88^2}{42^2} = \frac{5800000^3}{x^3},$$

ou

$$\frac{7744}{1764} = \frac{195112000.000.000.000.000.000}{x^3},$$

donde tirando o valor de  $x$ , teremos:

$$x = 35800000 \text{ kilometros, approximadamente.}$$

Assim, pela simples applicação da 3.<sup>a</sup> lei de Kepler, nos foi possivel determinar a distancia media do novo astro ao sol, o que seria quasi impraticavel por processos directos.

Se em vez de mercurio tomassemos a terra, encontraríamos tambem a mesma distancia a que deveria estar o novo astro do sol.

Taes são as tres leis geraes que servirão, eternamente, de base á geometria celeste para o estudo racional dos movimentos planetarios, e que regem tambem, exactamente, e do mesmo modo, os movimentos das satellites em torno de seus planetas, bastando para isto collocar a origem das areas, ou o fóco da ellipse, no centro do planeta correspondente.

Apreciemos, agora, a lei geral da gravitação universal.

**37.** Todo deslocamento curvilineo de um corpo qual-quer, póde ser estudado sob dois pontos de vista igualmente mathematicos: geometricamente, determinando, segundo observações directas, a forma da trajectoria, e a lei segundo a qual varia a velocidade, como o fez Kepler para os corpos celestes; mechanicamente, procurando a lei do movimento que impede, continuamente, o corpo de pro-

seguir seu caminho natural em linha recta, e que, combinado a cada instante com a sua velocidade actual, lhe faz descrever sua trajetoria effectiva desde então susceptivel de ser conhecida *á priori*.

A lei geral da igualdade constante e necessaria entre a reacção e a acção, que é uma das tres bases physicas essenciaes da mechanica racional, mostra-nos, evidentemente que a gravitação é essencialmente mutua.

Se a terra é attrahida pelo sol, este tambem o é pela terra.

Os astrónomos e geometras, Copernico, Tycho-Brahe, Kepler, Fermat, Hook, etc., suppunham que os movimentos dos corpos celestes e sua forma quasi espherica provinham de uma força residindo na materia, e agindo segundo leis desconhecidas.

O Dr. Hook, fallando da attracção mutua de todos os corpos celestes, disse que esta força é tanto mais poderosa quanto o corpo sobre o qual ella se exerce está mais perto do centro de attracção, accrescentando ainda não ter verificado a proporção segundo a qual a força diminue á medida que a distancia augmenta. Estava reservada a Newton a descoberta da grande lei fundamental, resultado o mais sublime do conjuncto de nossos estudos sobre a natureza. Como muito bem diz Laplace, Newton chegou primeiramente á conclusão de que a força que retém um planeta em sua orbita e a força da gravidade que actúa á superficie da terra, são da mesma natureza. Notou ainda que a mesma gravidade que nós observamos á superficie da terra se faz sentir nos pontos mais elevados do glóbo terrestre; concluiu d'ahi que a lua devia experimentar o effeito dessa gravidade. Entreviu, então, que devia ser essa gravidade que fazia desviar nosso satellite da linha recta, e lhe fazia descrever uma ellipse de que a terra occupa um dos fócios.

Do resultado de seus estudos chegou ás seguintes conclusões: 1.<sup>a</sup> a força que retém os planetas e os cometas em suas orbitas é dirigida para o sol; 2.<sup>a</sup> esta força actua

na razão directa das massas; 3.<sup>a</sup> esta força actua na rasão inversa do quadrado da distancia do astro ao sol.

Resumindo essas conclusões em um só enunciado, podemos formulal-o do seguinte modo: todas as moleculas do nosso mundo gravitam umas para as outras, proporcionalmente ás suas massas, e inversamente aos quadrados de suas distancias.

38. Exemplifiquemos. Sabemos que o valôr da gravidade á superficie da terra é de 9, 8, e que no primeiro segundo de quéda livre de um corpo sobre a terra, o corpo cahe de 4, 9.

Vejamós, agora, de quanto a lua cahe sobre a terra em um segundo de tempo.

Como a distancia da terra á lua é 60 vezes maior do que a dos corpos collocados á superficie da terra, teremos que, de accôrdo com a lei de Newton, o numero que representa a quéda em um segundo, da lua para terra, é 3600 vezes menor do que o que representa a quéda de um corpo collocado á superficie da terra. Já vimos que o valor numerico desta quéda é de 4,9; por conseguinte, dividindo 4,9 por 3600, quadrado de 60, encontramos,

0,0013,

que é o valor, em um segundo, da quéda da lua sobre a terra.

A descoberta deste principio fundamental do systema do mundo se acha consignada, com as leis que d'elle se derivam, em um trabalho que tem por titulo: "Philosophiæ naturalis principia mathematica", livro immortal, considerado com rasão como um dos mais sublimes productos do verdadeiro genio humano, e cujo successo, eterno como a natureza, aniquilou todos os antigos systemas e operou uma immensa revolução na sciencia.

39. E' a gravitação que retem em suas orbitas os corpos celestes, lançados na immensidade dos espaços, obri-

gando-os a descrever essas curvas, cujas propriedades são conhecidas.

E' ella quem dá e conserva em cada corpo sua forma particular.

E' ella quem une em um todo immenso os corpos de que se compõe o universo, e contem seus movimentos em uma ordem invariavel e uma harmonia eterna.

Pela gravitação podemos provar, por exemplo, que é a terra quem gira em torno do sol, e não este em torno da terra, como o acreditavam os antigos astrónomos. A mesma lei explica de um modo positivo o fluxo e o refluxo dos mares, isto é, o phenomeno das marés, pela acção que exercem o sol e a lua sobre as aguas dos oceanos.

Pela gravitação nos foi possível chegar ao conhecimento das massas dos planetas, das perturbações de seus movimentos e de suas densidades.

Foi ainda a gravitação universal que em 1846, guiou Leverrier na pesquisa do ponto do céu onde se suspeitava a existencia de um planeta desconhecido, cuja presença eram attribuidas certas perturbações de urano, e que Galle, do observatorio de Berlim, observou-o no mesmo ponto do céu que os calculos de Leverrier tinham assignalado ao novo astro, que recebeu o nome de neptuno.

O ponto do céu que occupava, realmente, no novo astro, se achava afastado do que os calculos de Leverrier lhe tinham assignalado, de menos de meio gráo.

**40.** A attracção ou gravitação universal póde ser considerada relativamente aos corpos celestes, aos corpos terrestres e ás menores particulas dos corpos, — aos atomos.

Quando ella é considerada relativamente aos corpos celestes, toma mais geralmente o nome de attracção ou de gravitação universal; aos corpos terrestres, o de gravidade ou attracção terrestre; ás moléculas e atomos dos corpos, os nomes de attracção molecular, de afinidade ou attracção chimica.

Muitos sabios são hoje de opinião que é sempre a mesma força considerada sob diferentes aspectos, e entretanto sujeita á mesma lei.

Qualquer que seja a gloria de Newton com a descoberta do grande principio da gravitação universal, ella não póde apagar a justa nomeada dos homens que o precederam, lhe abriram e prepararam o caminho. Desde a mais alta antiguidade, Anaxagoras de Clezomene, que viveu no tempo de Pericles, de quem era amigo, e que foi um dos successores de Thales de Mileto, na direcção da escola jonia, da qual este celebre philosopho foi o fundador; Anaximandro e seu alumno Anaximene; Democrito, Epicuro, etc., tiveram presentimentos do movimento de translação da terra e dos planetas em torno do sol, e da gravitação universal.

A prova, é a resposta que deu um dia Anaxagoras a alguém que lhe perguntava porque esses astros, que são corpos materiaes e pesados, não cahiam:

“A causa, respondeu o celebre philosopho, está no seu movimento circular, e sua quéda seria immediata se este movimento cessasse.”

Pythagoras, de Samos, que fundou por sua vez na parte da Italia que os gregos chamavam de Grande Grecia, uma escola não menos illustre que a do sabio de Mileto; seus discipulos, entre os quaes Philodáo de Crotona, tiveram tambem idéas justas da esphericidade terrestre, de seu isolamento no espaço, de seu movimento annual em torno do sol, e do poder attractivo deste astro. Mas Pythagoras, por motivos mysteriosos, politicos ou religiosos, sem duvida, não professou publicamente suas idéas.

Os preconceitos da época, a situação social e a inopportunidade, não permittiram que idéas tão adeantadas, tão positivas e tão reaes triumphassem.

**41. FORÇA CENTRIFUGA.** — A gravitação, agindo incessantemente sobre os corpos celestes, é continuamente modificada por uma outra força, devida ao movimento de rotação dos mesmos corpos celestes, força essa que tende a

afastal-os do centro de attracção, e que por esta razão recebeu a denominação de força centrífuga.

Em relação ao nosso planeta, essa força é devida ao movimento de rotação da terra sobre si mesmo do occidente para o oriente, a qual tende afastar os corpos do centro da terra. Actúa em sentido inverso ao da gravidade, e podemos determiná-la, numericamente, em função da velocidade da rotação do nosso planeta e seu raio, grandezas essas já sufficientemente conhecidas.

Pela regra de Huyghens, a força centrífuga varia na razão directa do quadrado da velocidade e inversa do raio, o que analyticamente se pôde traduzir pela seguinte formula, —

$$(1) \quad f = \frac{v^2}{r}$$

em que  $f$ , representa a força centrífuga,  $v$  a velocidade de rotação da terra, e  $r$ , seu raio.

Na formula (1),  $v$ , é igual a  $465^m$ , que é a velocidade de um ponto da terra no equador;  $r$  é igual a  $6371107^m$ , raio médio da terra.

Substituindo em (1),  $v$ , e  $r$ , pelos seus valores, teremos:

$$f = \frac{465^2}{6371107^m} = 0,033,$$

que é o valor da força centrífuga no equador.

Supponhamos que a velocidade de rotação da terra é 17 vezes maior; então, teríamos, applicando a formula (1),

$$f = \frac{465 \times 17^2}{6371107^m} = \frac{62489025}{6371107} = 9,8$$

que é o valor da intensidade da gravidade.

Quer isto dizer que, se a terra tivesse uma velocidade de rotação 17 vezes maior, os corpos á sua superficie não

teriam peso, e na hypothese de ser essa velocidade maior ainda que 17, os corpos seriam arremessados para o espaço. A força centrífuga é maxima no equador e minima ou nulla nos pólos; o inverso dá-se para com a gravidade, que é minima no equador e maxima nos pólos.

Essa diminuição progressiva da intensidade da gravidade terrestre, á medida que nos approximamos do equador, foi reconhecida pela observação do pendulo, como havemos de ver mais tarde, quando tratarmos da doutrina dos movimentos do nosso planeta.

**42.** A attracção terrestre, ou força centripeta, como alguns a denominam, não é outra cousa senão a gravidade modificada, isto é, diminuida da força centrífuga.

Ella actúa segundo á vertical, isto é, segundo a perpendicular á superficie das aguas tranquillias, ou ainda, segundo a direcção do fio a prumo.

**43.** Chama-se peso de um corpo o esforço total produzido sobre todas as moleculas deste corpo pela acção da gravidade. O peso é proporcional á massa e cresce com a densidade dos corpos sob o mesmo volume.

Ainda podemos definir peso como sendo a resultante das forças parallelas da gravidade, em numero infinito, actuando sobre todos os pontos do corpo.

Por esta definição vê-se que é preciso não confundir peso com gravidade; se esta é a mesma para todas as substancias em um mesmo logar, o mesmo já se não dá para com aquelle. As particulas materiaes que compõem os corpos ou substancias, não sendo em igual numero para cada uma dellas, a somma total dos esforços que a gravidade exerce sobre essas particulas deve ser differente.

**44.** Vamos dar uma demonstração elementar da lei da gravitação universal, apenas baseada na theoria das proporções.

Do principio de attracção ou gravitação resulta que, se  $m$  e  $m'$  são as massas respectivas de dois corpos,  $r$  a dis-

tancia que as separa,  $f$  o coefficiente de attracção, ou a força que attrahe a unidade de massa á unidade de distancia, a medida da attracção ou acção reciproca que esses corpos exercem uns sobre os outros, será:

$$F = \frac{f m m'}{r^2}.$$

E' isto o que vamos provar.

Com effeito, sejam  $m$  e  $m'$ , as moleculas consideradas collocadas á distancia  $r$  uma da outra.

Ora, se  $f$  é o coefficiente de attracção ou a acção da unidade de massa á unidade de distancia, qual será a attracção da massa  $m$ , á unidade de distancia?

Armando a proporção, teremos:

$$f : x :: 1 : m,$$

donde,

$$x = f m.$$

Do mesmo modo, se  $x = f m$ , é a attracção da molecula  $m$ , a unidade de massa á unidade de distancia, qual será sua attracção para a massa  $m'$ , situada á unidade de distancia?

Armando a proporção, teremos:

$$f m : x' :: 1 : m'$$

donde,

$$x' = f m m'.$$

Finalmente, se  $x' = f m m'$ , representa as acções attractivas iguaes e contrarias de uma molecula sobre a outra á unidade de distancia, qual será a unidade de attracção para a distancia  $r$ ?

Armando ainda uma nova proporção, e tendo bem em vista as variações das attracções na rasão inversa do quadrado das distancias, teremos:

$$f m m' : F :: r^2 1,$$

donde,

$$F = \frac{f m m'}{r^2},$$

o que prova que as moleculas se attrahem na rasão directa das massas e na rasão inversa do quadrado das distancias.

E' uma demonstração, como se vê, elementarissima, e que suppõe apenas a attracção variando na rasão inversa do quadrado das distancias.

45. Se em vez dè duas moleculas considerassemos o sol e um planeta, representando por  $M$ , a massa d'aquelle astro, por  $m$ , a deste, e por  $r$ , a distancia que os separa, a força attractiva do sol, seria

$$F_1 = \frac{f m M}{r^2}.$$

Designando por  $r$  e  $r'$  as distancias de dois planetas ao sol,  $m$  e  $m'$  suas massas,  $F$  e  $F'$ , as forças que as sollicitam, teremos:

$$\frac{F}{F'} = \frac{m}{m'} \times \frac{r'^2}{r^2}.$$

Assim, a attracção que o sol exerce sobre os planetas é proporcional ás massas dos planetas, e inversamente proporcional ao quadrado de suas distancias ao centro do sol.

Sendo a massa do sol immensamente grande em relação ás massas de todos os outros corpos do nosso systema, segue-se que, se deslocando o sol muito pouco pela acção das forças que lhe são applicadas, as cousas se passam quasi como se elle estivesse completamente immovel; por

outro lado, a resultante de todas as forças a que um planeta qualquer está submettido, não differe muito da attracção que elle experimenta da parte do sol, de sorte que, o planeta move-se, quasi do mesmo modo como se fôsse attraído somente para o sol.

Foi esta circumstancia que fez com que Kepler podesse achar as leis que receberam seu nome, leis que seriam exactas se o sol fôsse immovel, e cada planeta não fôsse attraído senão por esse astro; mas que não são senão approximadas em rasão do deslocamento continuo do sol, e das acções que cada planeta experimenta da parte de todos os outros astros.

**46. PARALLAXES.** — As observações celestes feitas em logares differentes da superficie terrestre, não seriam exactamente comparaveis, senão se as reduzisse, pelo pensamento, com as que se fariam de um observatorio idéal, situado no centro da terra, que é, aliás, o verdadeiro centro dos movimentos diurnos apparentes.

Essa correcção, denominada parallaxe, é perfeitamente analoga á que se faz, diariamente, nas operações geodesicas, sob o nome de reducção ao centro da estação. O effeito da parallaxe, nos astros, consiste em afastal-os do zenith, ao contrario da refração que se aproxima.

A determinação racional de tudo o que concerne ás parallaxes, repousa, finalmente, sobre a avaliação das distancias dos astros á terra.

Podemos definir a parallaxe de um astro como sendo o angulo sob o qual o raio da terra seria visto do centro desse astro.

Representemos, fig. 18, a terra pela pequena circumferencia de centro  $O$ , e raio  $AO = A'O$ ; o sol, pela maior, de raio  $OS = OS'$ .

O angulo  $ASO$ , em que do centro do sol seria visto o raio  $AO$ , da terra, é o que se chama a parallaxe do sol.

A parallaxe diz-se horisontal quando a recta que une o centro do astro á extremidade do raio da terra, é tangente

ao nosso glôbo, como  $AS$ , tangente á terra no ponto  $A$ . A parallaxe diz-se de altura quando a mesma recta não é tangente á superficie da terra, com  $AS'$ , que não é tangente á superficie da terra no ponto  $A$ .

Na figura 18, o angulo  $ASO$ , é a parallaxe horisontal do astro  $S$ , e o angulo  $A'SO$ , é a sua parallaxe de altura.

A pequenez do raio da terra, comparativamente á immensa distancia das estrellas, nos leva a não admittir differença sensivel entre uma distancia zenithal de uma estrella, tomada da superficie ou do centro da terra.

Mas, desde que queiramos observar o movimento de um astro cuja distancia ao nosso glôbo não seja infinita em relação ao raio da terra, nós devemos levar em consideração aquella differença. Por consequente, em se tratando de estrellas, podemos perfeitamente desprezar, nas correcções, as suas parallaxes; em se tratando, porém, dos corpos do nosso systema, inclusive o sol, temos, nas correcções, de levar em consideração as suas parallaxes.

Quando tratarmos do estudo do sol, da lua, etc., veremos, respectivamente, quaes os processos para determiná-las.

---

## 4.ª LICÇÃO

### Planetas. — Systemas de Ptolomêo, Copernico, Tycho-Brahe e Descartes

47. Como já vimos, na concepção geral que demos de universo, n. 27, os planetas são astros não luminosos por si mesmos, que giram em torno do sol descrevendo orbitas ellipticas, geralmente pouco excentricas. Esses astros teem, pouco mais ou menos, o mesmo aspecto que as estrellas. Distingue-se-os na esphera celeste pela ausencia de scintillação e, sobretudo, pelo seu deslocamento entre as estrellas. Demais, como já vimos, os planetas observados

com uma poderosa luneta são vistos sob a forma de um disco cujo diâmetro augmenta com o poder do instrumento, em quanto as estrellas não se mostram nunca senão como pontos brilhantes. Os satellites são planetas secundarios que giram em torno dos planetas principaes.

48. Antes de fazermos a enumeração dos planetas e bem assim o seu estudo em conjuncto e separadamente, precisamos saber como elles se originaram, donde provieram, como se formaram, façamos, em uma palavra, a sua cosmogonia, formulando sempre a hypothese mais simples e mais sympathica de accôrdo com as informações adquiridas.

De todas as concepções cosmogonicas relativamente á formação do nosso systema solar, a geralmente admittida, é a do grande astronomo e mathematico francez, Laplace.

Segundo Laplace, todo nosso systema solar formava, primitivamente, uma immensa nebulosa, constituida de materias gazozas, em quantidade consideravel, possuindo uma temperatura excessiva e animada de um movimento giratorio em torno de seu centro.

Como ensina a lei fundamental da gravitação universal, a attracção exercida pela massa de uma esphera, se exerce como se toda massa estivesse reunida no centro. Os elementos da nebulosa primitiva, sendo submettidos ás leis da attracção, eram, por conseguinte, attrahidos para o ponto central da massa, resfriando-se ao mesmo tempo, por causa do calôr que irradiava para o espaço.

A' medida que a massa constituida de materias gazozas se concentrava, a velocidade de rotação augmentava.

Com a acceleração da velocidade rotatoria, augmentava tambem a força centrifuga, porque, como ensina a mechanica, esta é gerada no movimento de rotação, e cresce quando augmenta a velocidade deste movimento.

Crescendo a força centrifuga, havia de chegar a um momento, com a continuação da concentração da massa gazóza, em que ella devia equilibrar-se com a attracção

ou força centripeta, e então, com o progresso do phenomeno da concentração da massa gazóza, immensos aneis se fôram destacando da nebulosa.

Esses aneis, animados do mesmo movimento giratorio que o resto da massa, se romperam logo em fragmentos que, se concentrando isoladamente e girando sobre si mesmos, formaram os planetas.

Durante esse tempo, a nebulosa primitiva, continuando seu movimento de concentração ou condensação, constituiu o sol, que se reduziu ou se foi reduzindo, pouco a pouco, ás dimensões sob as quaes existe hoje.

Os planetas assim formados, animados de um movimento proprio de rotação sobre si mesmos e de um movimento de translação em torno do sol, reproduziram, em menor escala, os phenomenos da nebulosa primitiva, donde elles tinham emanado.

D'ahi a formação dos satellites.

Assim, a lua, terra, marte, jupiter, etc., todos fôram formados ou tiveram sua origem na nebulosa primitiva.

O facto de saturno mostrar-se ainda, actualmente, envolvido de aneis em via de concentraçãõ, corroborá a concepção de Laplace.

Comte, sempre genial em todos os departamentos do verdadeiro saber humano, tentou descobrir um aspecto segundo o qual a concepção de Laplace comportasse alguma verificação mechanica, criterio indispensavel a toda hypothese relativa a phenomenos astronomicos.

O principio fundamental dessa importante verificação, consiste em demonstrar que o tempo periodico de cada astro produzido deveria ser igual, necessariamente, á duração da rotação do astro productor, na época em que sua atmospherá se estendia até ao astro produzido. A questão resumia-se, pois, em determinar, directamente, qual deveria ser a duração da rotação do sol, quando o limite mathematico de sua atmospherá se estendia até tal ou qual

planeta, para examinar-se, com effeito, se a encontraria igual ao tempo periodico correspondente, e igualmente a respeito de cada planeta comparativamente a seus satellites.

Comte formou a equação fundamental que compara ou estabelece as relações entre as rotações dos astros productôres com os movimentos de translação dos astros produzidos, e para a lua encontrou um erro inferior a  $\frac{1}{10}$  de um dia, isto é, achou que o tempo periodico actual do nosso satellite está de accôrdo com a duração que deveria ter a rotação terrestre na época em que a distancia lunar formava o limite mathematico da nossa atmosphaera.

Em todos os outros casos a coincidência foi menos exacta.

Pelo conjuncto das comparações que fez, chegou o grande philosopho ao seguinte resultado: suppondo o limite mathematico da atmosphaera solar, successivamente estendida até ás regiões aonde se acham agora os diversos planetas, a duração da rotação do sol deveria ser, em cada uma dessas épocas, sensivelmente igual á duração da revolução sideral actual do planeta correspondente; e do mesmo modo para cada atmosphaera planetaria a respeito de todos os diversos satellites correspondentes.

**49. PLANETAS.** — Conhecem-se, actualmente, oito planetas principaes, que são, na ordem de suas distancias ao sol: — mercurio, venus, a terra, marte, jupiter, saturno, urano e neptuno.

Os planetas conhecidos pela denominação de inferiores, são os que se acham mais proximos do sol do que da terra; são mercurio e venus. As suas orbitas são envolvidas pela orbita terrestre.

Os planetas superiores são os mais afastados do sol, envolvendo as orbitas de todos elles a orbita terrestre. São: marte, jupiter, saturno, urano e neptuno. Entre marte e jupiter existe um grande numero de pequenos planetas que só podem ser vistos por meio do telescopio; se os denomina, por esta rasão, de planetas telescopicos.

A terra não era considerada pelos antigos como um planeta. Não conheciam elles senão venus, marte, jupiter e saturno.

Urano foi descoberto em 1781, por Hérshell, e neptuno, em 1846, por Leverrier.

**50.** SYSTEMA DE PTOLOMEU. — Ptolomeu, natural do Egypto, nascido no anno 130 da éra christã, era uma das glorias da escola de Alexandria.

Foi quem primeiro reuniu em uma especie de codigo, todos os processos empregados, até então, para determinação das posições apparentes dos corpos celestes. Consignou em seu *Almagesta*, o resumo dos factos observados pelos astrônomos que o tinham precedido. Ptolomeu ligou seu nome a um systema, por meio do qual chegou a representar todas as apparencias dos movimentos da lua e dos planetas.

Tomando as apparencias como realidades, Ptolomeu admittia que o sol descrevia uma ellipse, de que o centro da terra occupava um dos fôcos.

Seu systema é um conjuncto complexo de epicyclos e excentricos, de que se pôde dar uma idéa do modo seguinte: imaginemos sobre uma primeira circumferencia em movimento de que a terra occupa o centro, o centro de uma segunda circumferencia sobre a qual se move o centro de uma terceira, e assim por diante, até uma ultima que o astro descreve com um movimento uniforme. Escolhendo, convenientemente, as relações dos raios dessas circumferencias, Ptolomeu chegava a dar conta dos movimentos apparentes da lua e dos planetas. Porém, esse conjuncto, já tão complicado, se complicava ainda mais a cada nova desigualdade que uma observação mais attenta fazia descobrir no movimento dos astros.

Essa falta de simplicidade em um tal systema, dizia Laplace, — “bastava para demonstrar que semelhante systema não era o natural”.

O proprio Ptolomeu sentia muito os defeitos de seu systema.

A terra immovel era o centro dos movimentos do sol, dos planetas e das estrellas. Todos os astros faziam em torno da terra uma revolução inteira em 24 horas. A lua era o astro mais perto da terra e descrevia um circulo menor; depois vinham mercurio, venus, o sol, marte, jupiter, saturno, e em uma ultima esphera, as estrellas fixas.

Mercurio, venus, marte, jupiter e saturno descreviam circumferencias chamadas epicyclos, cujos centros descreviam circumferencias denominadas deférentes, em torno da terra.

As leis do movimento eram as seguintes: 1.<sup>a</sup> Os raios dos deférentes de mercurio e de venus devem sempre ser dirigidos para o sol; 2.<sup>a</sup> Os raios traçados de marte, jupiter e saturno no centro dos seus epicyclos, deviam ficar sempre parallellos á linha que vae do centro do sol ao da terra.

Esta primeira tentativa do espirito humano, como muito bem faz ver A. Comte, comquanto illusoria, para representar os movimentos dos corpos celestes, não deixou, entretanto, de honrar a Ptolomeu.

Com os trabalhos de Ptolomeu terminam os progressos da astronomia na escola de Alexandria. O systema de Ptolomeu e as leis de seu movimento só fôram admittidas durante longo tempo pelos antigos, porque os preconceitos a favôr da immobilidade da terra se achavam por demais enraizados no espirito humano e muito conforme com as apparencias. Embóra erroneo e defeituoso, o systema geocentrico de Ptolomeu foi adoptado até Copernico, 1543.

A figura 19, mostra a imagem geometrica do systema de Ptolomeu.

**51. SYSTEMA DE COPERNICO.** — Copernico nasceu em Thorn (Polonia), em 1472.

As complicações do systema do Ptolomeu iam dar logar a idéas mais simples e mais racionaes.

Com Copernico a astronomia entra em uma nova phase.

Impressionado com a extrema complicação do systema de Ptolomeu, e da inconcebivel velocidade que era neces-

sario suppôr á esphera celeste para effectuar, em tão curto espaço de tempo, sua revolução diurna, Copernico procurava uma disposição mais simples, de modo a poder explicar, mais racionalmente, os movimentos celestes.

A sabedoria de Deus é tão grande — dizia elle —, que as complicações extraordinarias desse systema astronomico (o de Ptolomeu), demonstram a sua falsidade.

Concebeu, então, a feliz idéa de explicar os phenomenos celestes por meio do duplo movimento da terra sobre si mesmo e em torno do sol, não tardando a perceber que esse duplo movimento explicava, de um modo simples e mais exacto, todos os movimentos apparentes dos astros. A revolução diurna não passou a ser mais que uma simples illusão devida á rotação da terra; a precessão dos equino-cios se reduziu a um leve movimento do eixo terrestre; os epicyclos e os excentricos do systema de Ptolomeu desaparecêram, e a terra passou a ser um simples planeta girando, como os outros, em torno do sol, considerado como centro immovel do mundo, e d'ahi a sua denominação de systema heliocentrico.

Dentre os mais ardentes defensores do systema de Copernico, conta-se Galileu, nascido em Pisa, na Italia, considerado justamente como um dos fundadôres da mechanica racional.

No systema de Copernico admite-se que a terra descreve uma ellipse, de que o centro do sol occupa um dos fôcos.

Esta ellipse é igual á que o sol descreve no systema de Ptolomeu.

A hypothese geocentrica é a que se apresenta aos nossos sentidos como tendo realmente logar. Porém o testemunho dos sentidos não nos pôde fazer reconhecer qual das duas hypotheses é a verdadeira. Porque, ou o sol descreva uma ellipse em volta da terra, ou a terra descreva uma ellipse igual em torno do sol, para os nossos sentidos o effeito deve ser sempre o mesmo: veremos sempre o sol mover-se através as constellações.

Se os astrónomos subordinando-se ás apparencias, tivessem recorrido unicamente ao testemunho dos sentidos, como o fizeram durante muitos seculos, não obstante a contradicção chocante que muitos sentiram pela hypothese geocentrica, — talvez que ainda hoje a Humanidade permanecesse na mesma hypothese.

A fig. 20 representa a imagem geometrica do systema de Copernico.

**52. SYSTEMA DE TYCHO-BRAHE.** — Tycho-Brahe nasceu na Dinamarca, alguns annos depois da morte de Copernico.

Estudou a orbita lunar, sua inclinação, o movimento de seus nós, e fez um catalogo contendo mais de 700 estrellas.

Chocado com as objecções feitas ao systema de Copernico, Tycho-Brahe imaginou um novo, que não é mais do que o meio termo entre o systema de Ptolomeu e o de Copernico.

O systema de Tycho-Brahe devia preceder ao de Copernico na ordem natural das concepções humanas. Collocou a terra immovel no centro dos movimentos da lua e do sol, e no centro da esphera celeste; era uma concessão á opinião universal. No seu systema os cinco planetas até então conhecidos, assim como os cometas, gravitavam, não mais em torno da terra directamente, mas em torno do sol, o qual, arrastando com elle esse cortêjo magestoso, descreveria em torno da terra uma orbita circular.

Tycho-Brahe teve a gloria de lançar os primeiros elementos da theoria dos cometas, que se persistia em considerar como simples meteóros.

A figura 21, representa a imagem geometrica do systema de Tycho-Brahe.

**53. SYSTEMA DE DESCARTES.** — Descartes nasceu em 1596. Tentou explicar os movimentos dos corpos celestes considerando-os como collocados no centro de turbilhões de uma materia subtil.

Os turbilhões dos planetas arrastavam os satellites, e o turbilhão do sol arrastava, por sua vez, os planetas com seus turbilhões e seus satellites.

Foi mais uma tentativa para explicar os movimentos celestes, que tem apenas hoje valor historico, e de ter emanado de um dos maiores philosophos dos tempos modernos.

## 5.<sup>a</sup> LICÇÃO

### O Sol, movimento, manchas e densidade

54. O SOL. — Na apreciação que nós vamos fazer do sol e de seus movimentos, estudaremos primeiramente o astro em relação ao horisonte, ao meridiano e, em seguida, quanto ás estrellas, aonde veremos quaes as constellações que elle percorre e como as percorre.

Para obtermos depois, de uma maneira rigorosa, a curva que elle descreve na esphera celeste, nós mostraremos como se determinam cada dia, por meio de instrumentos apropriados, sua declinação e sua ascensão recta. Emfim, reconhecida de uma maneira geral, que a curva que elle descreve em movimento é plana, mostraremos como se determina a forma dessa curva no movimento do astro em sua trajectoria.

Eis o plano do nosso estudo.

55. 1.<sup>o</sup> RELATIVAMENTE AO HORISONTE. — Contemplando do alto de uma montanha situada no meio de uma grande planicie, de maneira que o horisonte visivel seja circular, o nascimento de uma estrella, já vimos que esse nascimento tem sempre logar no mesmo ponto do horisonte. Já vimos tambem que observada a altura da estrella, quando ella passa no meridiano, esta altura é sempre a mesma, deixando todavia, de lado, as variações das coordenadas desses astros, variações que não podem modificar o

que dissemos, senão no fim de um grande numero de annos.

Se se considera o sol, já os factos não se passam do mesmo modo. Supponhamos que estamos no hemispherio norte, a 21 de Março, por exemplo; o sol se levanta em um certo ponto do horisonte e se deita, pouco mais ou menos, no ponto diametralmente opposto. Esses dois pontos são os verdadeiros pontos éste e oéste.

No dia seguinte o sol se levanta e se deita em dois pontos um pouco mais approximados do norte. Continuando a successão dos nascimentos e occasos heliacos, os pontos onde o sol se levanta e se deita se vão ainda mais approximando do norte, e assim seguidamente, até quasi 22 de Junho.

Nesta época, o sol parece, durante alguns dias, levantar se ou deitar se nos mesmos pontos do horisonte; depois, os nascimentos e os occasos heliacos se vão approximando systematicamente do sul. A 22 de Setembro mais ou menos, o sol se levanta e se deita nos mesmos pontos que a 21 de Março; continúa em seguida a levantar-se e deitar-se em pontos demais a mais approximados do sul, até 22 de Dezembro, época em que, durante alguns dias, se nos afigura levantar-se e deitar-se nos mesmos pontos do horisonte.

Depois, os pontos de seus nascimentos e de seus occasos se approximam do norte, para voltar ao que eram em 21 de Março. Assim, os pontos dos nascimentos e occasos heliacos oscillam em torno dos pontos éste e oéste e vão, do sul ao norte durante seis mezes, e do norte ao sul nos seis outros mezes do anno.

E' a duração deste periodo que constitue o anno. A amplitude dessa oscillação dos nascimentos do sol em torno do ponto éste, depende da latitude do logar.

A velocidade do movimento desse deslocamento diario dos pontos de nascimento e occaso é, maxima, a 21 de Março e 21 de Setembro, minima, e em um dado momento

nulla, em 21 de Junho e 21 de Dezembro, épocas designadas, por esta razão, sob o nome de solstícios (sol parado).

56. 2.º RELATIVAMENTE AO MERIDIANO. — Se observarmos também, a partir de 21 de Março, a elevação máxima do sol acima do horizonte, veremos que de 21 de Março a 21 de Junho essa elevação vai aumentando, depois começa a diminuir de 21 de Junho a 22 de Dezembro, adquirindo em 22 de Setembro, quasi, a mesma elevação que a 21 de Março; depois, enfim, a 22 de Dezembro a elevação recomeça a aumentar até 21 de Junho, e assim por diante.

Notaremos também que o intervalo de tempo que decorre entre duas passagens consecutivas do sol pelo meridiano não é sempre o mesmo.

Assim, o ponto de elevação máxima do sol oscilla, no curso do anno e para um mesmo lugar, entre dois limites fixos. Esse ponto attinge a uma posição media, em 21 de Março e 22 de Setembro, épocas nas quaes a velocidade do movimento desse ponto é maxima.

57. 3.º RELATIVAMENTE ÀS ESTRELLAS. — Comparemos agora o movimento do sol relativamente ás estrellas. Considerando, durante alguns dias, uma estrella que se deite pouco depois do occaso do sol, veremos que o intervalo que separa essa estrella do horizonte, e por conseguinte do sol, vai dia a dia diminuindo, e que essa estrella acaba por não poder mais ser percebida, visto achar-se mergulhada na luz solar que envolve o occaso do sol.

Se observarmos, pelo contrario, uma estrella que se levante antes do sol, veremos que dia a dia essa estrella, no momento do nascimento do sol, se afasta de mais a mais do horizonte e por conseguinte do sol.

Concluimos, pois, o seguinte: as estrellas que precedem o occaso do sol se approximam d'elle, as que precedem seu nascimento se afastam.

Esse movimento das estrellas em relação ao sol, só podemos explicar admittindo que a terra, independente-

mente de seu movimento proprio de translação em torno do sol do occidente para o oriente, translação que constitue, na apparencia, um movimento elementar do oriente para o occidente, como o que parecem ter as estrellas.

58. Vejamos, agora, qual a curva que o sol descreve na esphera celeste em seu movimento annual apparente.

Para isso determinemos, todos os dias, a ascensão recta e a declinação do sol.

Em logar conveniente definiremos essas duas coordenadas.

Tomando para origem das ascensões rectas o meridiano que passa por uma estrella qualquer, *A*, por exemplo, figura 22, se cada dia determinarmos a ascensão recta e a declinação do sol, acharemos valôres que differem de um dia para outro.

Assignalando sobre um glôbo as differentes posições do sol, assim determinadas no decurso de um anno, obteremos pontos taes como *S*, *S'*, *S''*, *S'''*, etc., os quaes, unidos por um traço continúo, determinarão um grande circulo que recebeu a denominação de ecliptica. Precisamos entretanto notar, que a trajectoria apparente do sol não é uma circumferencia de circulo. A ecliptica não é mais do que a perspectiva, sobre a esphera celeste, da curva verdadeira.

Veremos mais tarde que essa curva verdadeira é a ellipse. O nome de ecliptica provem do facto dos eclipses não terem logar senão quando a lua se acha no plano desse circulo, ou a pouca distancia d'elle. Do conjuncto das observações feitas para determinação dos pontos, *S*, *S'*, *S''*, etc., nós chegaremos tambem á conclusão de que o grande circulo *M N*, se acha inclinado sobre o equador celeste *Q Q'*, cerca de  $23^{\circ} 28'$ .

Este angulo que é, em resumo, o maximo da declinação do sol, se chama obliquidade da eliptica.

Veremos, mais longe, que esta obliquidade não é constante. Segundo Delambre, ella diminue, actualmente, de  $0",48$  por anno. Os pontos em que a ecliptica corta o equador, se chamam pontos equinoaciaes. Na figura 23 esses

pontos são  $\gamma$  e  $\underline{\smile}$ . O paralelo que o sol parece descrever nesses pontos, em virtude do movimento diurno da terra, coincide exactamente com o equador.

Ora, este circulo sendo sempre cortado em duas partes iguaes, qualquer que seja a latitude do observador, o astro percorre, por cima desse circulo, um arco igual ao que percorre por baixo, donde resultou o nome de equinocio attribuido a esse dia particular.

O ponto do equador em que o sol passa quando vae do hemispherio sul ao hemispherio norte, se chama ponto equinocial da primavera, ponto vernal. O outro tomou a denominação de ponto equinocial do outomno. Os pontos,  $C$  e  $C'$ , da ecliptica que se acham a  $90^\circ$  dos pontos equinociaes, tomaram o nome de pontos solsticiaes.

O que se acha no hemispherio norte se chama solsticio do verão, o outro se chama solsticio do inverno.

O movimento do sol na ecliptica fazendo variar a cada instante sua declinação, explica porque, para um mesmo logar, os pontos de nascimento e occaso mudam periodicamente, e porque a altura meridiana varia entre dois limites fixos.

A linha,  $\underline{\smile} \gamma$ , que une os dois pontos equinociaes, tomou a denominação de linha dos equinocios; a que une os pontos solsticiaes, linha dos solsticios.

Na figura 23, essas linhas são  $\underline{\smile} \gamma$  e  $CC'$ . Como vemos, ellas se cortam perpendicularmente entre si, ou a primeira forma com a segunda angulos de  $90^\circ$ .

O grande circulo,  $PCP'C'$ , que passa pelos pólos e pelos pontos solsticiaes, tomou o nome de coluro dos solsticios. Chama-se eixo da ecliptica o diametro da esphera celeste perpendicularmente ao plano da ecliptica.

O diametro  $QQ'$  eixo da ecliptica, faz com o eixo do mundo,  $PP'$  um angulo igual á obliquidade de ecliptica.

Os tropicos são paralelos que passam pelos solsticios. Estão acerca de  $28^\circ 28'$  do equador. O tropico,  $C$ , chama-se tropico de Cancer e passa pelo solsticio do verão, e o tropico  $C'$ , de Capricornio e passa pelo solsticio do inverno.

Circulos polares são parallellos passando pelos pólos da ecliptica.

Estão ácerca de  $23^{\circ}28'$  do pólo.

Na figura 23 esses circulos estão representados por  $QD$  e  $Q'D'$ .

59. Apreciado, assim, o movimento apparente do sol, vejamos agora, os movimentos reaes.

O sol, centro do nosso systema planetario, move-se tambem.

Gira em torno do proprio eixo no mesmo sentido dos planetas, effectuando uma rotaçãõ completa em 25 dias e 8 horas. Alem deste movimento, o sol caminha no espaço arrastando comsigo todos os planetas.

Diversas observações provam, incontestavelmente, o movimento de translaçãõ do sol, que parece caminhar para um ponto — apex — da constellaçãõ de Hercules, com uma velocidade pelo menos igual á da terra ao longo de sua orbita. As coordenadas desse ponto, segundo W. Campbell, director do Observatorio de Leick, são:

$$A. R. = 277^{\circ}30'$$

$$D. = +19^{\circ}58'$$

60. Determinaçãõ da distancia do sol á terra. Paralaxe solar.

O problema da determinaçãõ da distancia do sol á terra, é um dos mais importantes e mais difficeis da astronomia.

Sua importancia resulta pelo facto de ser essa distancia, isto é, o raio da orbita terrestre, a unidade linear destinada a medir todas as outras distancias celestes, salvo a da lua.

Um erro nessa unidade fundamental se transmite em todas as direcções atravez o espaço, affectando com um erro proporcional a distancia de cada estrella, o raio de cada orbita e o diametro de cada planeta.

O calculo da massa dos corpos celestes depende tambem da distancia da terra ao sol, e como esta distancia entra, geralmente, na 3ª potencia, na avaliação da massa, o menor erro accarreta um outro mais que triplo no resultado. Um erro de 1 por 100 na distancia do sol á terra, por exemplo, acarretaria na massa de todo corpo celeste um erro de mais de 3 por 100.

A determinação dessa unidade fundamental suppõe o conhecimento da parallaxe solar, que entra em quasi todos os calculos astronomicos, e cuja determinação constitue o primeiro passo para se ter uma idéa qualquer das dimensões da constituição do proprio sol.

Já vimos que essa parallaxe é simplesmente o semimetro angular da terra visto do sol.

Actualmente se conhecem com uma grande exactidão as dimensões do nosso planeta. Por conseguinte, conhecida a grandeza apparente da terra vista de um certo ponto, poder-se-á deduzir sua distancia, por meio de um calculo muito simples: essa distancia será igual ao numero 206265, multiplicado pelo raio da terra e dividido pela parallaxe, avaliada em segundos de arco.

Trigonómetricamente, podemos exprimir melhor o que dissemos, do seguinte modo: supponhamos, figura 24, o ponto *A*, do qual vemos a grandeza apparente, *CD*, do raio da terra.

O angulo *CAD* ou  $\alpha$ , é a parallaxe horisontal do ponto *A*.

Sendo o triangulo *CAD*, rectangulo em *D*, teremos, pela trigonometria:

$$C D = A D \operatorname{tg} \alpha,$$

donde

$$(1) \quad A D = \frac{C D}{\operatorname{tg} \alpha}$$

Sendo  $CD$  igual ao raio da terra, e  $tg \alpha$  igual a  $tg 1'' \times \alpha$ , teremos, substituindo-se em (1),  $CD$  e  $tg \alpha$  pelos seus valôres:

$$(2) \quad CD = \frac{r}{tg 1'' \times \alpha}$$

As taboas trigonometricas nos dão para de  $tg 1''$ :

$$tg 1'' = \frac{1}{206265}$$

Substituindo em (2),  $tg 1''$  pelo seu valôr, vem:

$$(3) \quad CD = \frac{r}{\alpha} = \frac{r \times 206265}{\alpha}$$

Vemos, assim, que em (3), o valôr de  $CD$  depende unicamente do conhecimento da parallaxe, porquanto, o raio da terra é conhecido.

Fica assim provado que a distancia do sol á terra depende somente do conhecimento da parallaxe solar.

Diversos são os methodos para determinação dessa parallaxe, entre os quaes podemos mencionar: 1º o das observações de marte perto da opposição; 2º o das observações de venus no momento ou perto de suas conjunções inferiores; 3º o das observações das perturbações dos planetas, as quaes nos permitem calcular as relações entre as massas dos mesmos planetas e a do sol, e, por consequente, suas distancias: é o methodo de Leverrier; 4º o do emprego da equação mensal do movimento do sol; 5º o da medida da velocidade da luz, e comparação do resultado com a equação da luz entre a terra e o sol, ou com a constante da aberração, etc.

A extensão e o fim destas licções não nos permitem que entremos em detalhes sobre esses methodos.

O valôr geralmente admittido para parallaxe horison-  
tal do sol, é de, —

$$8'',86.$$

A conferencia internacional das estrellas fundamen-  
taes, que teve logar em Paris, em 1896, decidiu para valôr  
da parallaxe do sol, —

$$8'',80.$$

Substituindo este valor da parallaxe solar, em (3), e  
bem assim o do raio equatorial da terra, teremos:

$$D = \frac{6378393 \times 206265}{8'',80} =$$

$$= \frac{1315639232145}{8,80} = 149.504.458.198^m.$$

Vê-se, assim, que a distancia do sol á terra excede de  
149 milhões de kilometros ou 149 bilhões de metros.

Um trem que percorresse sem parar, 60 kilometros  
por hora, gastaria quasi 280 annos para vencer a distancia  
do nosso planeta ao sol.

**61. DIMENSÕES DO SOL.** — Conhecida a distancia  
media do sol á terra, podemos facilmente calcular as suas  
dimensões. Determinemos, primeiramente, o valôr nume-  
rico do raio do sol.

A determinação do raio solar suppõe o conhecimento  
de seu diametro médio aparente. Por observações dire-  
cias, mediu-se o diametro médio aparente do sol e encon-  
trou-se, 32'4". Para diametro maximo aparente, encon-  
trou-se, 32'36"; para diametro minimo aparente, 31'31".  
Na circumferencia tendo para raio a distancia  $d$ , do sol á  
terra, o raio do sol se confunde com um arco da metade  
de 32'4", ou de 16'2", ou ainda, reduzindo os minutos a  
segundos, de 962".

Os raios  $R$  e  $r$ , do sol e da terra, vistos á mesma distancia  $d$ , o primeiro da terra e o segundo do sol, podem ser considerados como proporcionaes aos angulos sob os quaes se os vê; teremos, pois, armando a proporção:

$$(1) \quad \frac{R}{r} = \frac{962}{8'80}.$$

Tirando de (1) o valor de  $R$ , raio do sol, teremos, effectuando as operações:

$$R = 108 r, \text{ aproximadamente,}$$

isto é, o raio do sol é igual a 108 raios terrestres.

Conhecido o raio do sol, torna-se facil agora, pela simples applicação das leis geometricas, determinar sua superficie e seu volume, e, conhecida sua densidade seu peso.

Assim, se designarmos por  $S$  e  $s$  as superficies do sol e da terra, teremos, pela geometria:

$$\frac{S}{s} = \frac{R^2}{r^2} = \frac{108^2 r^2}{r^2} = 108^2 = 11664,$$

donde, tirando o valor de  $S$ , teremos:\*

$$S = 11664 s,$$

isto é, a superficie do sol é igual a 11664 vezes a superficie do nosso planeta.

Se designarmos, agora, por  $V$  e  $v$ , os volumes do sol e da terra, teremos, pela geometria:

$$\frac{V}{v} = \frac{R^3}{r^3} = \frac{108^3 r^3}{r^3} = 1259712,$$

donde, tirando o valor de  $V$ , teremos:

$$V = 1259712 v,$$

o que quer dizer que o volume do sol é igual a 1259712 vezes o volume da terra.

**62. MANCHAS DO SOL.** — As manchas do sol fôram estudadas pela primeira vez por Scheiner, em 1610.

Depois Galileu e outros astrônomos reconheceram essas manchas, que nos permittiram penetrar no estudo da constituição physica do sol.

As manchas são, geralmente, de formas arredondadas e observam-se nellas duas partes distinctas: a parte central, que é negra e se chama o nucleo ou a sombra, e, em redor, uma região mais clara, que se denomina penumbra. Essas partes das manchas estão nitidamente limitadas em seus contornos: a penumbra é cinzenta e o nucleo, negro. Essas manchas que não apresentam aos observadores da terra senão pequenas dimensões, são na realidade absolutamente gigantescas.

Já fôram medidas algumas, cujo diametro regulou dez vezes a largura da terra ou seja, 12000 kilometros, approximadamente.

Algumas dessas manchas tem taes dimensões que se tornam visiveis a olho nú, prudentemente defendido por um vidro fumado.

Não se formam instantaneamente; annunciam-se primeiro por uma grande agitação da superficie solar, por uma especie de vagas luminosas.

Nesta agitação, vê-se apparecer uma pequena mancha, geralmente circular, que se alonga, progressivamente, para attingir a um maximo, e diminuir em seguida, segmentando-se frequentemente.

As manchas solares não estão immoveis, e seu movimento mostra-nos que o sol gira sobre si mesmo, como já vimos, (59), em um pouco mais de 25 dias. A reaparição das manchas é, na média, de 27 dias, porque a terra não está immovel e porque em sua translação em volta do sol, movimento que effectua no mesmo sentido que a rotação solar, ella vê ainda as manchas dois dias e meio depois de terem desaparecido 25 dias antes. O glôbo solar não gira em

todo conjuncto de sua massa, simultaneamente, como a terra; as velocidades de movimento da superficie solar vão diminuindo do equador aos pólos. Sendo de cerca de 25 dias no equador, é de 26 no vigesimo quarto gráo de latitude norte ou sul, de 27 no trigesimo setimo gráo, e de 28 no quadragesimo oitavo. As manchas formam-se, geralmente, entre o equador e essa ultima latitude. Nunca fôram observadas em redor dos pólos solares.

Nos bórdos do sol, notam-se ainda regiões muito brilhantes, muito luminosas, que, em geral, rodeiam as manchas, e a que se deu o nome de faculas.

As manchas solares variam em periodos muito regulares, de 11 a 12 annos.

Em certos annos são vastas, numerosas e frequentes; em outros, são raras e pequenas. As manchas solares exercem influencia, mais ou menos consideravel, sobre o magnetismo terrestre, as auroras boreaes, a temperatura e outros diversos phenomenos terrestres.

O magnetismo terrestre e as auroras boreaes seguem uma oscillação parallela á das manchas. Quanto á influencia das manchas sobre a temperatura do nosso planeta, nada ha de concludente a este respeito. As manchas em si mesmas, como mostraram Henry, Secchi, Langley e outros, nos enviam certamente, por irradiação, menos calôr que a superficie geral do sol. Segundo os resultados a que chegou Langley, a sombra de uma mancha emite cerca de 54 %, e a penumbra cerca de 80 % do calôr emittido por uma superficie correspondente á photosphéra. A superficie total coberta pelas manchas, mesmo na epocha do maximo, não excedendo nunca de  $\frac{1}{600}$  da superficie total do sol, — segue-se que, directamente, ellas podem diminuir nossa provisão de calôr de cerca de  $\frac{1}{1000}$  da quantidade total.

? Seria este effeito sensivel no nosso planeta? E' uma questão um tanto difficil de resposta.

Diversas tentativas teem sido feitas para estabelecer uma relação entre as manchas solares e diversos phenomenos

terrestres. Assim, Moffat, em 1874, publicou um trabalho em que tentava demonstrar que, nos annos de maximo de manchas solares, a quantidade media de ozona da atmosphera é um pouco maior do que durante um minimo de manchas. A mais interessante das tentativas a esse respeito, foi ao do Professor Jevons, que procurou demonstrar a existencia de uma relação entre as manchas solares e as crises commerciaes. A idéa nada tem de absurdo porque, se as manchas solares tem realmente uma influencia sensivel sobre a meteorologia terrestre, sobre a temperatura, as tempestades e as chuvas, devem indirectamente actuar sobre as colheitas e perturbar, por conseguinte, as relações financeiras, produzindo crises commerciaes.

Devemos considerar o sol como um immenso glôbo de gaz em combustão, ardendo a uma alta temperatura, e despedindo prodigiosa quantidade de luz e calôr. A superficie deslumbrante desse glôbo chama-se photosphéra (esphera de luz). Está em perpetuo movimento, como as ondas de um oceano de fôgo, cujas chamas roseas e transparentes, medem 15 mil kilometros de altura.

E' a essa camada de chammas roseas, que se dá o nome chromosphéra (esphera colorida), e é transparente.

Só podemos apreciar-a durante os eclipses totaes do sol, quando a lua occulta inteiramente o disco deslumbrante, ou com o auxilio do espectroscopio. O que nós vemos do sol é a sua superficie luminosa, a sua photosphéra. Desta superficie movimentada, sahem constantemente erupções gigantescas, immensos feixes de chammas, turbilhões de fôgo projectados com uma espantosa velocidade, a alturas prodiosas.

A essas massas inflammadas os astrônomos dêram o nome de protuberancias, que se projectam como fogos de artificio, e que não são visiveis senão durante os eclipses totaes do sol.

Hoje, porém, essas erupções pôdem ser observadas todos os dias com o auxilio do espectroscopio.

Durante os eclipses, nota-se em redor do disco negro da lua collocado deante do sol, cuja luz intercepta, uma aureola rosea e brilhante, da qual se destacam longos penachos luminosos, e que se projectam muito longe da superficie solar. Esta aureola cuja natureza é ainda desconhecida, chama-se corôa. E' uma especie de atmospherâ immensa, extremamente rarefeita.

**63. CALÔR SOLAR.** — Os melhores calculos nòs levam a avaliar em sete mil grãos centigrados a temperatura da superficie do sol.

A temperatura interior deve ser muito mais elevada. Uma das principaes causas do calôr solar é devida á sua condensação. Segundo todas as probabilidades (concepção de Laplace), o glôbo solar representa o nucleo de uma vasta nebulosa que se estendia, primitivamente, para além da orbita de neptuno, e que, pela sua contracção, acabou por formar esse fóco central, que é o sol.

Em virtude da transformação do movimento em calôr, essa condensação, que ainda não chegou a seu termo, basta para elevar esse glôbo colossal a essa temperatura que nós vemos hoje, a qual ainda o entreterá durante milhões de annos.

A quantidade total da luz solar é de,

1.575.000.000.000.000.000.000.000 velas.

A intensidade da luz solar á superficie do sol é de 146 vezes a de uma luz de calcio, ou de 3,4 vezes a do arco voltaico.

**64. DENSIDADE DO SOL.** — Antes de apreciarmos o modo de determinar a densidade solar, vejamos o que vem a ser densidade. Para um corpo qualquer (excepção feita dos gazes), dá-se o nome de densidade ao numero que representa a relação entre o peso do corpo e o peso de igual volume d'agua a 4° centigrados. Como se vê, semelhante definição implicaria, para poder ser applicada, a

determinação do peso do sol e a do peso de igual volume d'agua a 4° centigrados. Entretanto, se definirmos densidade de um corpo como sendo a relação de sua massa pelo seu volume, porquanto, a massa de um corpo é igual ao volume do mesmo corpo pela sua densidade, a questão torna-se mais simples. Precisamos, por conseguinte, para chegar ao conhecimento da densidade do sol, determinar em primeiro logar sua massa.

Para isto não temos mais do que applicar a lei fundamental da gravitação universal. Já sabemos (3.<sup>a</sup> lição) que todos os corpos se attrahem na rasão directa das massas e na inversa do quadrado das distancias.

Fazendo applicação desta lei, tem-se a medida da massa do sol, determinando a relação das attracções reciprocas deste astro e da terra, cuja massa a densidade devem ser conhecidas.

Ora, a terra só descreve sua orbita em torno do sol, porque ella está a cada instante a cahir para seu centro de attracção. Caso não existisse esse centro de attracção, ella seguiria, no espaço, uma linha recta.

A resolução da questão reduz-se pois, em saber de quanto a terra se afasta da direcção da tangente, ou antes, de quanto ella cahe sobre o sol em um segundo de tempo. Como os calculos a fazer excedem os limites destas lições, por serem um tanto complicados, limitamo-nos a dar aqui os resultados. Assim, calculou-se que a massa do sol é igual a 330000 vezes, na média, a massa da terra tomada para unidade, e que a sua densidade é igual a 0,253 a da terra.

Segundo Cavendish, a densidade da terra é igual a 5,48; a do sol será por conseguinte, igual a  $5,48 \times 0,253$ , ou 1,386... quasi. Vemos assim que a densidade do sol é um pouco superior a da agua. A' superficie do sol a gravidade é cerca de 27 vezes mais intensa do que á superficie da terra.

## 6.ª LIÇÃO

### A Terra. — Movimentos, fôrma, posição e redondeza da Terra

**65.** A TERRA — A terra, terceiro planeta do systema solar, fluctuando na immensidade do espaço, foi, em seu comêço, ha milhares de annos, um aggregado de materias em completa fusão, resultante da temperatura elevadissima que lhe é peculiar.

Lançada no espaço quando se desprende da nebulosa solar, em virtude das leis de attracção e repulsão exercidas pelo sol, conservou-se á distancia, de onde sahiu, de 149 milhões de kilometros, na media. Pela gravitação universal começou a executar em torno do sol um movimento de revolução; cedendo ao movimento de rotação sobre seu eixo, foi tomando a fôrma de ellipsoide achatado que conserva hoje.

Em contacto com a temperatura do espaço, a camada superficial ou pirosthéra foi pouco a pouco se resfriando, se solidificando e formando uma crôsta de algumas leguas de espessura.

A superficie dessa crôsta, contrahida irregularmente, e assim formada de saliencias, planicies e depressões de diversas dimensões, compõe-se de  $\frac{3}{4}$  partes d'agua, que formam os oceanos, mares, rios, lagos, etc., e uma de terra que forma os continentes, em uma extensão de 130 milhões de kilometros quadrados, approximadamente.

Se a terra em seu comêço fôsse solida e não fluida, teria, necessariamente, guardado a mesma fôrma que então tinha ao desprender-se da nebulosa solar; foi devido ao movimento de rotação em torno do eixo que ella tomou a fôrma (ellipsoide achatado), que apresenta actualmente. Seu calôr primitivo ella ainda conserva á mesma alta temperatura no interior do glôbo.

Assim é que, á proporção que se penetra nas camadas mais profundas da terra, a temperatura vae subindo; dever-se-á, certamente chegar a um ponto em que se encontre a materia em fusão.

A terra é cercada de uma atmosphera que tem cerca de 80 kilometros de altura, sendo mais densa nas camadas inferiores e menos densa nas superiores. Essa atmosphera é composta de oxygenio, azôto, uma pequena porção de acido carbonico, outros gazes e vapor d'agua.

A pressão que a atmosphera exerce sobre nós é de 15500 kilometros, approximadamente. E' facil determinar essa pressão, bastando para isto multiplicar o valor de uma atmosphera pela superficie media do corpo humano, que é de um metro quadrado e meio, ou antes, reduzindo a centimetros, de 15000 centimetros quadrados.

Pela Physica sabemos que o valor de uma atmosphera é de 1<sup>kg</sup>,033, e se obtem multiplicando uma columna mercurial de 760 de altura por um centimetro quadrado de base.

Com effeito, sendo a densidade do mercurio de 13,597, teremos:

$$13,597 \times 760 \times 1 = 1033^{\text{grs}} \dots = 1^{\text{kg}},033 \dots$$

Multiplicando agora o valôr da atmosphera por 15000 centimetros quadrados, superficie média do corpo humano, teremos:

$$1,033 \times 15000 = 15495 \text{ kilogrammas,}$$

que é a pressão que a atmosphera exerce sobre nós.

**66. MOVIMENTOS DA TERRA.** — Antes de apreciarmos os diversos movimentos da terra, fixemos algumas noções essenciaes sobre movimento, para bôa comprehensão do que se passa em o nosso planeta e nos outros astros.

Um corpo deslocando-se no espaço descreve uma linha que se denomina trajectoria. Se a trajectoria do corpo fôr

uma linha recta, o movimento diz-se rectilíneo, se fôr uma linha curva, curvilíneo.

Um individuo caminhando por uma estrada recta, está animado de um movimento rectilíneo. Os ponteiros de um relógio, movendo-se em torno do mostrador, teem um movimento curvilíneo. Supponhamos que um individuo, em uma estrada, caminha em uma hora dois kilometros, em duas horas quatro kilometros, em tres horas seis kilometros, etc. Este movimento diz-se uniforme, porque, no fim do mesmo tempo o individuo caminhou espaços perfeitamente iguaes.

Assim, o movimento diz-se uniforme quando os espaços percorridos em tempos iguaes são também iguaes.

Ao espaço constante que o individuo caminha no mesmo tempo, denomina-se velocidade. Assim, podemos definir velocidade no movimento uniforme como sendo o espaço percorrido na unidade de tempo.

A formula algebrica que define o movimento uniforme é, designando por  $t$ ,  $v$  e  $e$ , o tempo, a velocidade e o espaço:

$$(1) \quad e = vt.$$

Nesta formula, conhecidas duas quaesquer das tres quantidades, é sempre possível determinar o valor da terceira, bastando para isto consideral-a como incognita, e resolver a equação em relação a esta incognita.

Exemplo: qual o tempo gasto por um corpo que percorreu com movimento uniforme 36 metros, com a velocidade de 4 metros por segundo?

Resolvendo (1), em relação a  $t$ , que passa a ser a nossa incognita, teremos:

$$t = \frac{e}{v} = \frac{36}{4} = 9^s.$$

O tempo gasto foi, por conseguinte, de 9 segundos.

Se um individuo caminhar em uma hora, cinco kilometros, em uma segunda hora, quatro kilometros, em uma

terceira, tres kilometros e meio, etc., seu movimento diz-se variado, visto ter caminhado no mesmo tempo espaços diversos.

Como a sua velocidade foi, successivamente, diminuindo, seu movimento diz-se retardado. Se, porém, caminhasse na primeira hora, tres kilometros, na segunda, quatro e meio, na terceira, cinco, etc., seu movimento seria acelerado, visto sua velocidade ir augmentando successivamente. No movimento variado a velocidade, espaço percorrido na unidade de tempo, não é constante.

Quando a velocidade de um movel augmenta ou diminue de espaços iguaes em tempos iguaes, o movimento diz-se uniformemente variado.

E' uniformemente acelerado quando a velocidade augmenta de espaços iguaes em tempos iguaes; é uniformemente retardado quando decresce de quantidades iguaes em tempos tambem iguaes.

Ao accrescimento ou diminuição constante da velocidade no mesmo espaço de tempo, denomina-se *aceleração*.

Assim, um corpo que cahe livremente sobre a terra, é animado de um movimento uniformemente acelerado, e a *aceleração* do corpo, ou accrescimento constante que adquire a velocidade em cada unidade de tempo, é o que se chama *gravidade*, cujo valor numerico nas latitudes medias, é de 9,8. Se lançarmos ou arremessarmos um corpo de baixo para cima, o movimento por elle adquirido será uniformemente retardado, isto é, a velocidade do corpo diminue de uma quantidade constante em cada unidade de tempo.

As leis que presidem ao movimento uniformemente variado são duas, uma relativa aos espaços, e outra ás *velocidades*.

1<sup>a</sup> LEI. — No movimento uniformemente variado os espaços percorridos são proporcionaes aos quadrados dos tempos gastos em percorrel-os.

2<sup>a</sup> LEI. — As *velocidades* são proporcionaes aos tempos.

Algebricamente, podemos representar essas duas leis pelas seguintes formulas:

$$1.^a e = \frac{1}{2} gt^2; 2.^a v = gt,$$

em que,  $e$ ,  $v$ ,  $t$  e  $g$ , representam o espaço, a velocidade, o tempo e a aceleração.

Para um novo espaço  $e'$ , o tempo seria  $t'$  e a velocidade,  $v'$ , e então teremos:

$$3.^a e' = \frac{1}{2} gt'^2, 4.^a v' = gt'.$$

Dividindo a 1.<sup>a</sup> pela 3.<sup>a</sup> e a 2.<sup>a</sup> pela 4.<sup>a</sup>, teremos:

$$\frac{e}{e'} = \frac{t^2}{t'^2}; \quad \frac{v}{v'} = \frac{t}{t'},$$

formulas que traduzem as duas leis acima enunciadas.

Um movimento diz-se de translação quando todos os pontos do corpo descrevem ao mesmo tempo espaços iguaes e parallelos.

Temos, como exemplo, o movimento da terra em torno do sol. Esse movimento pôde tambem ser rectilíneo ou curvilíneo consoante a trajectoria, e variado ou uniforme, consoante a sua velocidade é igual ou diversa para todos os pontos do corpo, durante a mesma unidade de tempo.

O movimento diz-se de rotação se todos os pontos do corpo descrevem circulos em torno de um eixo fixo.

O movimento da terra em torno de seu eixo é um movimento de rotação.

Os pontos mais afastados do eixo descreverão, ao mesmo tempo, arcos maiores; por conseguinte, a velocidade, neste movimento, não é identica para todos os pontos do corpo.

Veremos, quando tratarmos do movimento de rotação da terra, qual a velocidade nas differentes latitudes.

Finalmente, se em um corpo animado de rotação e translação, seu eixo fôr paralelo á direcção da translação, o movimento diz-se helicoidal.

O movimento de um parafuso dentro de sua pórca é um movimento helicoidal. Da combinação dos dois movimentos apparentes do sol (rotação e translação), parece descrever elle na esphera celeste uma helice de 365 espiras.

**67.** Tratemos agora dos movimentos da terra.

1.º Rotação diurna do glôbo terrestre sobre si mesmo, em 23 horas, 56 minutos e 4 segundos de tempo medio, ou 24 horas sideraes.

A rotação terrestre foi sempre mais simples de reconhecer, directamente, que a translação, e a hypothese de Longomontanos, que admittia a rotação terrestre sem a translação, confirma o que acabamos de dizer, e por mais absurda que tenha sido sob o ponto de vista astronomico, como faz ver. A. Comte, não foi, sob o ponto de vista philosophico, inteiramente inutil como meio transitorio,

O caso terrestre, como muito bem aprecia o genial philosopho, apresenta-nos um caracter todo especial, que não poderia ter lugar em nenhum outro corpo celeste.

Podiamos, sob o ponto de vista logico, conceber ou suppôr a rotação sem a translação, e nunca a translação sem a rotação. Este movimento da terra é muito vagaroso. No equador, a velocidade de rotação é de quasi 465 metros por segundo; é facil determinál-a dividindo o comprimento da circumferencia, no equador, que é de 40059950 por 23<sup>h</sup> 56<sup>m</sup> 4<sup>s</sup>, ou, reduzindo a segundos, 86164 segundos de tempo médio.

Effectuando a divisão encontra-se, designando por  $v$ , essa velocidade:

$$(1) \quad v = 464^m,9.$$

No pólo, como é facil comprehender, a velocidade de rotação é nulla, e podemos chegar a este resultado nullo,

multiplicando a velocidade no equador pelo coseno da latitude. A latitude no pólo sendo de  $90^\circ$ , teremos, designando por  $v'$ , essa velocidade:

$$(2) \quad v' = 464^m,9 \times \cos 90^\circ$$

Pela trigonometria sabemos que coseno de  $90^\circ$  é igual a zero, logo, teremos:

$$v' = 464^m,9 \times 0 = 0.$$

Para obtermos a velocidade de rotação em um paralelo qualquer, não temos mais do que multiplicar a velocidade de rotação no equador pelo coseno desse paralelo.

Assim, no paralelo de  $60^\circ$ , a velocidade de rotação seria de  $232^m,45$ , porque o coseno de  $60^\circ$  é igual a  $\frac{1}{2}$ .

**68.** 2.º Translação annual em torno do sol, em 365 dias e 6 horas, approximadamente. Arrastado pela força de gravitação em redor do sol dominador, o glóbo terrestre gira em torno deste astro, como todos os outros planetas do systema a que pertencemos.

O movimento de translação da terra em torno do sol, é rapido.

A orbita percorrida annualmente pelo nosso planeta, méde, 936 milhões de kilometros; por dia, a porção dessa orbita percorrida pela terra, méde, 2.562.000 kilometros, por hora, 106700 kilometros; por minuto, 1778 kilometros, e por segundo  $29^{\text{km}},600$ .

**69.** 3.º PRECISÃO DOS EQUINOCIOS. — O eixo de rotação da terra não conserva uma direcção fixa; comquanto dirigido sempre para o mesmo ponto do céu, como o prova a constancia das declinações das estrellas, gira á maneira de um pião, descrevendo um cône de quasi  $47^\circ$  de abertura, resultando d'ahi o deslocamento lento do pólo celeste e as variações seculares da estrellas polar.

Seu valôr annual é de,  $50'',2$ .

Mais tarde veremos como se obteve esse numero.

**70.** Movimento mensal da terra em torno do centro de gravidade do conjuncto ou par, terra-lua.

Girando em volta da terra, a lua desloca o nosso glôbo no espaço porque, de facto, a terra e a lua giram como um par em volta do seu centro commum de gravidade.

Pesando a lua oitenta vezes menos do que o nosso planeta, esse centro de gravidade encontra-se oitenta vezes mais perto do centro da terra que do centro do nosso satellite, isto é, a 4.680 kilometros do centro do nosso mundo, e nós giramos, mensalmente, em volta deste ponto.

**71.** 5.<sup>a</sup> Nutação em 18 annos e meio, movimento este causado pela attracção da lua sobre o entumescimento equatorial do nosso planeta.

O nosso satellite exerce uma acção sobre o entumescimento equatorial da terra, obrigando nosso planeta a descrever em torno do eixo uma pequena ellipse, que se liga ao movimento geral de precessão dos equinócios por uma ligeira fluctuação, cujo periodo é de 18 annos e meio.

Como mostra a figura 25, o pólo  $P$ , descreve na esphera celeste, em torno do eixo,  $PP'$ , da ecliptica, uma curva sinuosa,  $ABCD E$ .

Em consequencia da nutação, o eixo da terra, ora approxima-se, ora afasta-se do pólo da ecliptica, de um angulo de quasi  $19''$ ,3.

A obliquidade da ecliptica segue as mesmas variações, não podendo afastar-se do seu valôr médio, além da metade de  $19''$ ,3, isto é, de 9,65.

Temos uma imagem fiel dos movimentos reaes da terra — rotação, translação, precessão e nutação —, no movimento de um pião. Quando se atira um pião, observam-se os seguintes factos:

1.<sup>o</sup> o pião descreve sobre o sólo curvas mais ou menos circulares: é a representação do movimento de translação da terra; 2.<sup>o</sup> o pião executa um movimento de rotação em torno de um eixo: é a imagem do movimento de rotação da terra; 3.<sup>o</sup> quando se lança obliquamente o pião, seu eixo

descreve um cône em torno da vertical: é a imagem do movimento de precessão; 4º finalmente, quando o eixo de rotação do pião não passa pelo centro de gravidade, o eixo não só descreve um cône em volta da vertical, mas executa uma série de oscillações em torno das geratrizes successivas do cône: estas oscillações representam, fielmente, o movimento de nutação.

**72. 6.º VARIAÇÃO DA OBLIQUIDADE DA ECLIPTICA.** — O eixo do nosso planeta está inclinado de quasi  $23^{\circ}28'$  sobre a perpendicular ao plano em que elle se move em redor do sol, e que se chama o plano da ecliptica.

Giramos obliquamente, mas esta obliquidade varia de seculo em seculo.

Mil e cem annos antes da nossa era, os astrônomos chinezes verificaram que essa obliquidade era de,

$23^{\circ} 54'$

Actualmente decresce de  $47''$  por seculo. Se essa diminuição continuasse, tempo chegaria em que as estações desapareceriam e os habitantes da terra gosariam de uma primavera eterna.

**73. 7.º VARIAÇÃO DA EXCENTRICIDADE DA ORBITA TERRESTRE.** — O nosso planeta é muito excentrico, isto é, em vez de gravitar regularmente, uniformemente, em circulo, em volta do sol, descreve uma ellipse mais ou menos alongada. Essa excentricidade varia.

Em 24 mil annos tornar-se-á muito fraca. Ha cem mil annos era muito fórte.

**74. 8.º DESLOCAMENTO DA LINHA DOS APSIDES EM 21.000 ANNOS.** — Chama-se linha dos apsidés o eixo maior da orbita terrestre. Tambem este eixo gira.

Quatro mil annos antes da nossa éra, a terra chegava ao perihelio a 21 de Setembro, dia do equinocio do Outomno; hoje a terra chega ao perihelio no dia 1º de Janeiro.

**75.** 9.º Perturbações causadas pela attracção mutavel dos planetas, segundo suas posições e distancias, e que alteram perpetuamente o percurso do nosso planeta.

Se não houvesse no systema planetario outros corpos senão o sol e a terra, esta descreveria em torno do sol uma ellipse perfeita, de accôrdo com a 2ª lei de Kepler. Em virtude, porém, da gravitação universal, os outros planetas exercem uma attracção sobre a terra, desviando-a do seu verdadeiro caminho, de sorte que, as leis de Kepler, como já vimos na 3ª licção, n. 45, sob a influencia do movimento perturbador não são senão approximativas.

Essas perturbações, conquanto insignificantes em um certo espaço de tempo, acabariam por se accumular em um espaço mais longo, produzindo differenças notaveis nos elementos ellipticos primitivamente determinados.

D'ahi a necessidade de determinar essas perturbações, de maneira a poder-se corrigir os elementos ellipticos do planeta á medida que fôrem variando, porquanto, o conhecimento desses elementos serve de base ás predições astronomicas. A determinação do movimento perturbador é um dos problemas mais difficeis da mechanica celeste.

**76.** 10.º Deslocamento do centro de gravidade do systema solar, centro determinado pelas posições variaveis dos planetas.

E' em torno desse centro que a terra gira, e não em torno do sol, centro esse que póde ficar muitas vezes fóra do sol.

**77.** 11.º Tranlação geral do systema solar no espaço. O sol move-se no espaço caminhando para um ponto — apex — situado na constellação de Hercules, como já vimos (n. 59), e arrastando consigo a terra e todos os outros planetas, de modo que a orbita descripta annualmente pelo nosso planeta não é uma curva fechada, mas sim uma espiral de espiras muito afastadas.

Se o movimento continuar em linha recta, chegaremos ao meio das estrellas, d'aqui á cerca de 500.000 annos.

78. 12.º E' um movimento do pólo. O pólo norte, por exemplo, isto é, a extremidade do eixo de rotação diurna do nosso planeta, não é um ponto fixo, immovel na superficie da terra: move-se perpetuamente, não se conservando dois dias seguidos no mesmo logar; desloca-se, descrevendo uma curva irregular em torno de um ponto médió. E' uma oscillação, que não é a mesma todos os annos, e tem por causa o deslocamento das massas atmosphericas, sua circulação, correntes maritimas, etc., e que é, aliás, muito fraca, pois a sua amplitude total não ultrapassa de 16 a 18 metros.

Mas, por minusculo que seja esse movimento, não deixa de ser curioso: é o glóbo terrestre inteiro que oscilla e por tal motivo as latitudes de todas as regiões variam constantemente.

Ao terminar a revista que fizemos dos movimentos da terra, podemos dizer que todos elles são, directa ou indirectamente, consequencias da grande lei da gravitação universal.

79. FORMA DA TERRA. — Na mais remota antiguidade, quando a sciencia nem esboçada ainda se achava, resumindo-se os conhecimentos humanos a simples apanhados empiricos, vivendo os povos em estado nomade, — a concepção que elles tinham da forma da terra, era a de uma superficie plana, e nem lhes era permittido formular outra concepção que não a de um plano.

A habitabilidade terrestre reduzia-se a uma pequena porção da superficie, e por toda parte para onde dirigissem o olhar, não viam outra cousa senão essa immensa superficie a interceptar a curva do horisonté. De accôrdo com a lei fundamental de *Philosophia Primeira*, formularam a hypothese mais simples, mais sympathica e mais esthetica com os elementos de que despunham, e d'ahi a hypothese da forma plana.

Mais tarde, com a aquisição de novos conhecimentos, nova hypothese veio substituir a primitiva, porque outros

dados foram observados, e assim se passou da forma plana para a forma espherica. Com os grandes progressos que fez a astronomia a partir do seculo 16, principalmente a descoberta da rotaçãõ terrestre, nova hypothese veio modificar a espherica.

A terra passou a ter a forma espheroidica e depois a de um ellipsoide de revoluçãõ achatado nos pólos.

A demonstraçãõ da forma ellipsoidal da terra, não ha ninguem que conteste hoje, entretanto tal demonstraçãõ envolve questões de calculo transcendente que excedem de muito os limites destas licções.

**80. POSIÇÃO DA TERRA.** — Como já vimos, no n. 49, na ordem das distancias dos planetas ao centro do systema, a terra occupa o 3.º logar. Quando tratarmos, especialmente, das provas de translaçãõ do nosso planeta, veremos quaes as differentes posições que elle occupa durante seu movimento annual.

**81. REDONDEZA DA TERRA.** — Quanto á convexidade, ou redondeza propriamente dita, do nosso planeta, podemos verifical-a pelos seguintes factos que a observaçãõ directa nos offerece.

1.º Quando estamos em uma planicie, se olharmos ao redor, vemos que o horisonte visual tem a forma de um circulo. Se mudarmos de logar, o circulo desloca-se comõsco, mas nem augmenta nem diminue de tamanho.

Aquí temos, pois, a primeira prova da esphericidade terrestre, porque a esphera é o unico corpo que, visto em qualquer posiçãõ, tem sempre a apparencia de um circulo. No mar, esse facto ainda se observa melhor.

2.º Quando um navio apparece á vista, o que primeiro se vê são os tópos dos mastros, e successivamente, á medida que elle se approxima, as partes mais elevadas e por ultimo o casco, parecendo surgir das aguas; era a curvatura da superficie liquida que primeiramente o escondia completamente á nossa vista, curvatura que diminue á pro-

porção que elle se approxima, tornando-se cada vez mais visivel.

Qualquer pessoa poderá reproduzir esse factó, collocando um objecto pouco volumoso na superficie de um corpo espherico, de uma laranja, de uma bola de bilhar, etc., e fazendo-a girar lentamente.

3.<sup>o</sup> Quando, no hemispherio boreal, viajamos para o norte, sobre um meridiano, vemos que a estrella polar, não visivel no hemispherio austral, vae subindo cada vez mais, e descendo quando viajamos em sentido contrario.

Semelhante factó só se poderia explicar admittindo a convexidade da terra.

4.<sup>o</sup> Ainda ha um outro factó, perante o qual não é admittida a menor sombra de duvida quanto á forma do nosso planeta. Referimo-nos ás viagens de circumnavegação, isto é, ás viagens em volta da terra, a primeira das quaes, como sabemos, foi feita pelo portuguez Fernão de Magalhães.

5.<sup>o</sup> Nos eclipses da lua, a sombra projectada pela terra, no espaço, sobre a lua, é limitada por uma curva circular, e só um corpo mais ou menos espherico poderia apresentar semelhante curva.

6.<sup>o</sup> Acha-se ainda uma prova da convexidade terrestre, na depressão do horisonte.

A depressão do horisonte é o angulo que faz o horisonte visual com a tangente traçada do olho do observador á terra.

Se na figura 26,  $SH$ , é o horisonte visual, e  $ST$  é uma tangente ao glôbo terrestre, o angulo  $TSH$ , ou  $\alpha$ , é a depressão do horisonte. Fora das irregularidades do sólo, no mar, por exemplo, esse angulo é constante, para uma mesma altura do olho do observador, constancia esta que só póde ser admittida para um corpo mais ou menos espherico.

82. O diametro da terra é, no equador, de 12742 kilometros; de um pólo a outro é um pouco menor, por

causa do achatamento das calótes polares; a diferença é pouco mais ou menos de 43 kilometros.

Em virtude do achatamento, os meridianos terrestres são ellipses e médem 40000 kilometros.

83. Os antigos e entre elles Ptolomeu, tiveram uma noção perfeita da esphericidade terrestre. Na sua syntaxe mathematica dizia Ptolomeu: "A terra é espherica pelo menos sensivelmente.

Os astros não se levantam no mesmo instante para todos os pòvos; mais cêdo para os orientaes e mais tarde para os que se acham no occidente.

A lua não se eclipsa para todos os paizes á mesma hora nem á mesma altura; a diferença de horas é porporcional ás distancias terrestres.

Se a terra fôsse plana os astros se levantariam ao mesmo tempo para todos; se fôsse polyedrica, todos os que habitassem uma mesma face teriam os mesmos phenomenos que sobre a face plana; se fôsse cylindrica, os phenomenos seriam em parte os da esphera e em parte os da figura plana, e nada de semelhante se observa no espectaculo celeste.

As alturas das estrellas mudam á proporção que se avança para o norte ou para o sul; as alturas das montanhas observadas no mar provam igualmente que a superficie dos mares é espherica em todos os sentidos; todos os phenomenos conduzem á mesma conclusão."

Quanto á esphericidade dos movimentos, Ptolomeu chegava a provar pela construcção dos quadrantes solares e pela marcha das sombras. Aliás, como bem diz Delambre, na sua Historia da Astronomia Antiga, as figuras as mais proprias ao movimento são o circulo e a esphera, como sendo o circulo a maior das superficies e a esphera o maior dos solidos.

---

## 7.<sup>a</sup> LIÇÃO

### **Linhas, pontos e circulos da esphera. — Antipodas. — Antiecios e perihecios**

84. Linhas, pontos e circulos da esphera. Assim como a esphera celeste, que é apparente, a terrestre, ou mais rigorosamente, o ellipsoide terrestre, que é real, tem pontos, linhas e circulos, que precisamos conhecer para melhor comprehender e explicar as diversas theorias celestes.

Esses pontos, linhas e circulos são: o horisonte, o equador e seus parallelos, os meridianos os circulos polares, os dois tropicos, os dois pólos, o eixo, etc.

Para o estudo do movimento dos astros precisamos referir sua posição apparente a pontos que nos pareçam fixos.

Em um mesmo lugar, em pleno mar, por exemplo, a agua forma em torno de nós um circulo cuja circumferencia é o limite dos pontos aquosos que a nossa vista póde alcançar.

Se imaginarmos que todos os pontos dessa circumferencia venham convergir ou unir-se ao nosso orgão visual, obteremos uma superficie conica que se chama horisonte visual ou visivel. De sorte que, podemos definir horisonte visual como o formado por uma superficie conica, tendo o vertice no orgão visual do observador.

A base desse cône nos parece fixa e immovel se não mudamos de posição, podendo, assim, servir de primeiros pontos de referencia no estudo do movimento dos astros. Se o observador muda de lugar, o horisonte tambem vae mudando, qualquer que seja a direcção tomada.

Se o observador subir a uma alta montanha, terá o horisonte mais largo, isto é, maior será a superficie conica, e o angulo formado pelos dois raios visuaes, um dos quaes

tangente á superficie da terra, é o que se chama, como já vimos, n. 81, 6º, a depressão do horisonte, cuja constancia na superficie liquida, serve de prova á convexidade terrestre.

Se supposermos que o nosso orgão visual se aproxima da superficie liquida, o cône se abrirá e terá por limite um plano tangente á superficie liquida. Este plano tangente toma o nome de horisonte sensível ou aparente, e é perpendicular á vertical do logar. Além do horisonte visual e do sensível ou aparente, temos ainda o horisonte racional, que é um plano paralelo ao horisonte sensível, passando pelo centro do nosso glôbo; é um dos circulos maximos do glôbo terrestre.

85. Chama-se equador terrestre um grande circulo perpendicular á linha dos pólos; seu plano se confunde com o do equador celeste. Na figura 27, está representado pela linha *AB*.

Parallelos terrestres são pequenos circulos parallelos ao equador. De todos os parallelos que podemos traçar na superficie terrestre, os principaes são: os tropicos e os circulos polares.

Os tropicos são parallelos distantes cerca de 28° 28' do equador.

Ao traçado no hemispherio norte, chama-se tropico de Cancer; ao traçado no hemispherio sul, tropico de Capricornio.

Na fig. 27, estes dois circulos estão representados por *E V F* e *E' V' F'*. A denominação de tropico provem de uma palavra grega que significa voltar, porque o sol, em seu movimento aparente, ao passar por elles, volta para o equador em demora ao outro hemispherio.

Os circulos polares são parallelos distantes do pólo cerca de 23° 28'.

Na esphera celeste esses parallelos passam pelos pólos da ecliptica.

Na figura 27, estão representados por *CD* e *C' D'*.

86. Chamam-se pólos terrestres os pontos em que o eixo imaginario do mundo encontra a superficie da terra. Ao primeiro, situado ao norte, chama-se pólo norte ou boreal; ao segundo, pólo sul ou austral.

Na figura 27 estão representados pelos pontos  $P$  e  $P'$ .

87. Chamam-se meridianos terrestres aos grandes circulos da terra que passam pelos pólos. Como a linha dos pólos da esphera celeste, não é mais do que um prolongamento do eixo do mundo, resulta d'ahi a coincidencia dos planos dos meridianos terrestres com os dos meridianos celestes. Chama-se meridiano de um logar ao plano que passa pela vertical desse logar e pelo eixo do mundo, e primeiro meridiano ao que se convencionou referir todos os outros. Na França, o 1º meridiano é o que passa pelo observatorio de Paris; na Inglaterra, é o que passa pelo observatorio de Greenwich; entre nós, é o que passa pelo observatorio do Rio de Janeiro. O meridiano divide a esphera celeste em dois hemispherios: hemispherio oriental e hemispherio occidental.

A linha dos polos divide todo meridiano em duas partes iguaes; a parte que contem o zenith, embóra seja um semi-meridiano, toma o nome de meridiano superior, a outra, o de meridiano inferior.

Na fig. 27, o meridiano se acha representado pela linha  $P S P' S'$ ; a porção,  $P S P'$ , representa o meridiano superior, e a outra porção pontilhada,  $P S' P'$ , o inferior.

O meridiano gosa das seguintes propriedades:

1.<sup>a</sup> O meridiano contem as culminações de todas as estrellas; 2.<sup>a</sup> O meridiano divide em duas partes iguaes os arcs descriptos pelas estrellas acima do horisonte; 3.<sup>a</sup> Uma estrellá á mesma altura acima do horisonte, está o mesmo tempo antes e depois da sua passagem pelo meridiano.

E' nesta ultima propriedade que nos fundamos para determinar a posição do meridiano pelo processo conhecido pela denominação de methodo das alturas correspondentes.

88. DETERMINAÇÃO DO MERIDIANO. — Para determinarmos a direcção do meridiano, em um ponto qualquer da superfície terrestre, visa-se com um theodolito uma estrella antes da sua passagem pelo meridiano: fixa-se a luneta do instrumento nesta posição e nota-se sobre o limbo horizontal a divisão em que pára a alidade. Depois faz-se girar, no sentido do movimento diurno, o limbo horizontal do theodolito até que se possa, passando um intervallo sufficiente de tempo, visar de novo a estrella, notando tambem a divisão em que pára a alidade.

Neste instante a estrella tem a mesma altura que tinha na primeira observação; e como uma estrella tem a mesma altura acima do horisonte, (3<sup>a</sup> propriedade do meridiano) o mesmo tempo antes e depois da sua passagem pelo meridiano, segue-se que, tirando a bissectriz do angulo formado pelas duas posições da alidade, temos a direcção da meridiana.

89. Vimos que o horisonte racional era um grande circulo. A intersecção deste circulo com o equador, toma o nome de verdadeira linha éste-oeste, e a intersecção do horisonte com o meridiano, o de verdadeira linha-norte-sul.

Todo paralelo ao horisonte racional toma o nome de almlicantarat.

Todo plano passando pela linha fixa chamada vertical do lugar, toma o nome de circulo vertical ou simplesmente vertical.

Vê-se, assim, que o meridiano é um vertical. O que passa pela verdadeira linha éste-oeste, toma o nome de primeiro vertical. A vertical de um lugar é normal á superfície das aguas tranquillias, e a sua direcção determina-se por meio do fio a prumo. A vertical prolongada de baixo para cima, corta a superfície da esphera celeste em um ponto, chamado zenith; e prolongada para baixo, córta aquella superfície em outro ponto, chamado nadir.

90. Quando tratámos do estudo do sol, vimos que, para determinar, em qualquer momento, sua posição na ellipse apparente, bastava determinar dois elementos conhe-

cidos pela denominação de coordenadas celestes. A posição do sol ou de qualquer astro na esphera celeste pôde ser referida a tres grandes circulos principaes: o horisonte racional, o equador e a ecliptica. D'ahi tres systemas de coordenadas celestes.

O que empregámos no estudo do sol, foi o que refere a posição deste astro ao equador celeste, cujos elementos são conhecidos pelas denominações de ascensão recta e declinação.

**91.** Para determinação da posição de um ponto sobre a superficie terrestre, empregamos tambem duas coordenadas analogas á ascensão recta e á declinação, e são: a latitude e a longitude. As coordenadas geographicas são em relação aos differentes pontos da terra o que as coordenadas equatoriaes são em relação aos astros: assim, a latitude corresponde á declinação, e a longitude á ascenção recta.

Os astrônomos tomam para origem das ascensões rectas um ponto fixo do equador, o ponto vernal; convinha, por consequente, que se tomasse tambem um ponto fixo para origem das longitudes. Foi o que se fez durante muito tempo, tomando para primeiro meridiano o da ilha de Ferro, a mais occidental das Canarias. Hoje, porém, cada nação toma para primeiro meridiano, ordinariamente, o que passa pelo seu principal observatorio astronomico.

**92.** LATITUDE. — Chama-se latitude de um logar a a altura do polo sobre o horisonte neste logar, ou a distancia que vae deste mesmo logar ao equador.

Se a terra fôsse espherica, o angulo formado pelos dois raios que comprehendem o arco que vae do ponto ao equador, teria seu vertice no centro da terra, e a latitude geographia confundir-se-ia com a geocentrica. Como, porém, a terra tem a forma de um ellipsoide achatado, a inclinação da normal do logar sobre o plano do equador, que define a latitude geographica, cahirá fóra do centro da terra, como mostra a figura 28, em que a latitude do ponto

$O$ , é o angulo,  $O A E$ . A figura mostra ainda que a latitude do  $O$ , é medida pelo arco do meridiano,  $O E$ , comprehendido entre o mesmo ponto e o equador.

A latitude é boreal ou positiva, e austral ou negativa, segundo o logar está no hemisphèrio boreal ou no hemisphèrio austral.

Ella é contada do equador para os pólos e varia de  $0^\circ$  a  $90^\circ$ . Todos os pontos situados sobre um mesmo paralelo teem a mesma latitude, variando esta do equador para os pólos.

93. Há diversos methods para determinação da latitude de um logar, entre as quaes mencionaremos o das culminações, o das circummeridianas, o de Sterneck (alturas iguaes ou proximamente iguaes de duas estrellas na passagem pelo meridiano); o de Stechert (alturas iguaes de duas estrellas), fóra do meridiano, uma ao norte outra ao sul do zenith do observador; o de Gauss (alturas iguaes de tres ou mais estrellas, etc.). O estudo e desenvolvimento desses methods são mais propriamente ditos do dominio da Geodesia.

94. A longitude de um logar é o angulo diedro do meridiano deste logar com o  $1^\circ$  meridiano, ou antes, é o angulo formado no pólo pelo meridiano superior do logar e um outro meridiano superior determinado, chamado primeiro meridiano. Esse angulo é medido pelo arco do equador comprehendido entre o  $1^\circ$  meridiano e o meridiano do logar.

A longitude póde ser oriental ou occidental, e varia de  $0^\circ$  a  $180^\circ$ .

Assim, a longitude do ponto,  $M$ , figura 29, situado no meridiano,  $P D P' D'$ , é o angulo espherico,  $P D Q'$ , ou o arco do equador  $D Q'$ .

O meridiano  $Q P Q' P'$ , foi considerado como primeiro meridiano. As longitudes variam do oriente para o occidente e contam-se, a partir do  $1^\circ$  meridiano, de  $0^\circ$  a  $180^\circ$ , para léste ou oeste.

Todos os pontos da terra que se acham sobre um mesmo semi-meridiano, teem a mesma longitude. Quando se conhece a longitude de um logar em relação a um primeiro meridiano, é facil ter a longitude deste mesmo logar em relação a um outro meridiano cuja longitude seja conhecida.

Com effeito, se o novo primeiro meridiano cahe a oeste do antigo, todas as longitudes deverão ser augmentadas da longitude do novo primeiro meridiano, e todas as longitudes occidentaes deverão ser diminuidas delle.

Seria o inverso, se o novo meridiano cahisse a léste do outro. Na somma é preciso levar em consideração que a longitude de um logar não deve exceder de  $180^\circ$ ; assim, encontrando-se uma longitude maior que  $180^\circ$ , toma-se o supplemento para  $360^\circ$ , e se muda a denominação.

**95. DETERMINAÇÃO DA LONGITUDE.** — A differença de longitude de dois logares é igual á differença da hora sideral dos dois logares no mesmo instante, reduzida a grãos.

Se o primeiro meridiano passar por um dos logares, a differença da hora sideral é a longitude do outro logar.

O problema das longitudes, reduz-se, por conseguinte, a determinar, no mesmo instante, a hora sideral de cada um dos logares de que se trata.

Para isso ha varios methodos.

**1.º METHODO DOS SIGNAES DE FÔGO.** — Em um ponto intermedio entre as duas estações e visivel de cada uma dellas, produz-se um signal de fôgo; cada observador, no instante em que vê o signal, nota a hora marcada pela sua pendula, regulada pelo tempo sideral do logar respectivo. Se as duas estações estiverem muito afastadas, estabelecem-se estações intermediarias, e multiplica-se o numero de signaes. Em logar de signaes de fôgo, emprega-se hoje de preferencia o telegrapho electrico., que permite transmittir instantaneamente um signal de um para outro logar.

## 2.º METHODO DAS OBSERVAÇÕES ASTRONOMICAS. —

Entre os phenomenos ha muitos que são visiveis, no mesmo instante, de logares da terra muito afastados, taes são os eclipses dos satellites de jupiter, os eclipses da lua, as occultações das estrellas pela lua, etc.

Estes phenomenos, susceptiveis de serem annunciados com grande anticipação, acham-se inscriptos nas ephemerides com indicações, para cada dia, da hora do primeiro meridiano, em que estes phenomenos teem logar.

Um observador, vendo um desses phenomenos, sabe immediatamente pelas ephemerides qual é a hora do primeiro meridiano; e depois por meio de observações astronomicas, calcula a hora do logar em que se acha.

## 3.º METHODO CHRONOMETRICO. —

Os marinheiros e viajantes servem-se de chronometros, que são relogios construidos com grande precisão, e compensados de modo que não soffrem alteração com as modificações de temperatura. Antes da partida, acerta-se o chronometro pela hora média do primeiro meridiano, depois, chegando a um logar qualquer e querendo determinar a sua longitude, determina-se por meio de observações astronomicas a hora desse logar, e nota-se a hora marcada pelo chronometro no mesmo instante, que é a hora do primeiro meridiano.

O desenvolvimento de todos esses methodos, do mesmo modo que para latitude, é um assumpto mais do dominio da Geodésia.

## 96. ANTIPODAS. ANTIECIOS E PERIHECIOS. —

Dois pontos da terra diametralmente oppostos, ou que deffiram de 180° em longitude, dizem-se antipodas. Se prolongarmos nos dois sentidos a vertical de um logar, ella irá encontrar a abobada celeste em dois pontos; o situado acima do observador toma o nome, como já vimos, n. 89, de zenith, o outro, situado abaixo, o de nadir.

Para dois logares antipodas, o zenith de um é o nadir do outro e reciprocamente.

• Os povos que se acham no mesmo meridiano, quer para o hemispherio septentrional, quer para o meridional, em latitudes iguaes, são chamados anticios, e os que em relação ao equador se acham no mesmo hemispherio, ou ainda, em hemispherios contrarios, relativamente ao meridiano, porém tendo latitudes iguaes, são chamados de periecios.

Dos primeiros temos mais ou menos como exemplo os habitantes de S. Luiz, na Senegambia, que estão a 16° de latitude norte, e os que se acham na ilha de Santa Helena, que estão a 16° de latitude sul. Dos segundos podem servir de exemplo os habitantes do Rio de Janeiro e os do Cabo Cuvier, na Nova Hollanda.

## 8.<sup>a</sup> LICÇÃO

### **Atmosfera, meteóros, ventos e chuvas**

97. A atmosfera de que os animaes e as plantas tiram um dos elementos mais essenciaes á vida, é um fluido elastico, transparente, pesado, que envolve o glôbo terrestre, constituindo uma camada cuja espessura se conhece ainda com pouca exactidão.

Alguns a suppõem ser de quasi 80 kilometros de espessura. As observações das estrellas cadentes e dos crepusculos, elevam-na a uma espessura maior.

A atmosfera é formada pela mistura de dois gazes: o oxigenio na proporção de 21 em peso por cento, e o azóte na proporção de 79. Tambem existe nessa mixtura acido carbonico, producto das combustões que se effectuam á superficie da terra, e mais outros corpos como o argus e seus associados (helio, néo, etc.), tudo em pequenas proporções.

O ar que penetra nos nossos pulmões pela respiração abandona ao sangue uma parte do seu oxigenio, que se combina com o carbono existente no mesmo sangue, expel-

lindo para a atmosphaera uma certa quantidade de acido carbonico, resultante d'aquella combinação que é uma verdadeira combustão.

O azote existente na atmosphaera tem por effeito moderar a energia do oxigenio, que não poderia ser respirado, puro, sem tambem produzir a morte.

São da maior importancia para a saúde as qualidades do ar respirado.

O ar é pesado. Um litro de ar sêcco pesa 1<sup>gr</sup>,29, e a columna de ar que comprime nosso corpo, e que tem por base a superficie do mesmo corpo, e por altura a distancia delle até aos confins da atmosphaera, não deve pesar menos, como já vimos, n. 65, de 15 a 16 mil kilogrammas. Tal é a pressão que continuamente supportamos.

**98. METEÓROS** — A todos os phenomenos que se passam na atmosphaera e para os quaes ella contribue com o concurso de agentes naturaes, chamam-se meteóros.

A meteorologia que estuda esses phenomenos, offerece ao maritimo, ao lavrador, ao industrial, ao hygienista e ao medico, importantes applicações.

Assim, o conhecimento da lei das tempestades veio ensinar aos capitães a manobra que lhes permite salvar seus navios, carga e vida das tripulações. A metereologia póde fornecer ao agricultor illustrado indicações que o habilitam a corrigir, tanto ou quanto, os excessos de um clima local, e lhe permittam, até certo ponto, pelo conhecimento dos phenomenos que precedem e acompanham as mudanças de tempo, antecipar ou retardar os labôres do campo, precavendo assim suas colheitas e seus gados.

Em quanto á hygiene e á medicina, muitas são tambem as vantagens tiradas do estudo da meteorologia.

Não ha quem desconheça a influencia que os agentes meteriologicos exercem sobre o estado sanitario.

Classificam-se os meteóros em calorificos, aereos, aquosos, electricos e luminosos. Devemos começar o estudo dos meteóros pelos calorificos, em virtude da influencia

que exerce o calôr, não só nos phenomenos atmosphericos, mas em toda natureza.

O principio do calôr, e portanto de toda força e de toda vida, reside no sôl.

A quantidade de calôr emittida pelo sol foi medida, approximadamente, por Ponillet, por meio de instrumentos chamados pyrocliometros.

Se a terra não fôsse cercada pela atmosphera, um centimetro quadrado de sua superficie receberia 1763 calorias por minuto. Caloria é a quantidade de calôr necessaria para elevar a um gráo de temperatura um kilogramma d'agua.

O calôr que o sol nos envia, não se reparte igualmente pela terra; a quantidade que delle recebemos depende da latitude, da altura do astro sobre o horisonte e da pureza da atmosphera, porque o poder absorvente desse envolucro gazoso é principalmente devido aos vapores que contem. E' do calôr assim desigualmente distribuido, de que dependem, além de outros phenomenos, especialmente os da circulação das aguas do oceano. A uma pequena profundidade abaixo da superficie do sólo, existe uma camada, cuja temperatura se conserva constante em todas as estações, a que se dá o nome de camada de temperatura invariavel.

Além desta camada a temperatura augmenta com a profundidade.

Esse accrescimo de temperatura é, na media, de um um gráo para 30 metros.

Dahi a hypothese de que a terra possui um calôr interior, que lhe é proprio, e que se denomina de calôr central. Define-se temperatura o estado actual do calôr sensivel de um corpo.

Os instrumentos com que se medem as mudanças de temperatura são os thermometros. Fundam-se no phenomeno da dilatação que o calôr determina.

A unidade mais geralmente adoptada na representação das temperaturas é o gráo centigrado. Dá-se este nome á

centesima parte da dilatação de mercurio de um thermometro, quando se submete as duas temperaturas finaes extremas — a do gêlo fundente, a  $0^{\circ}$ , e a do vapôr d'agua em ebullição, a pressão 760<sup>mm</sup>, representada por  $100^{\circ}$ . E' por meio desses instrumentos que se obtêm as temperaturas do sólo, do ar, ou de um recinto qualquer.

A temperatura média de um dia se obtem tomando a média das temperaturas observadas nas differentes horas do dia, ou a maxima e a minima.

A média de um mez é a média das temperaturas de todos os dias desse mez; a média de um anno é a média das médias dos doze mezes. A temperatura de um lugar é a média das médias annuaes de muitos annos de observação. Em um mesmo lugar a temperatura experimenta oscillações.

**99. METEÓROS AÉREOS OU VENTOS.** — Chamam-se meteóros aéreos aos phenomenos dependentes do movimento do ar.

Os ventos são correntes aéreas produzidas por um desequilibrio de pressão atsmospherica. As differenças da temperatura produzem vento porque determinam differenças de densidade entre regiões da atmosphaera mais ou menos distantes.

Evidentemente, o ar em contacto com o sólo aquecido dilata-se, eleva-se, como os gases se elevam nas chaminés, produzindo-se uma corrente ascensional que, resfriando-se se transforma em corrente horisontal, dirigindo-se, nas mais altas regiões da atmosphaera, das quentes para as frias, o que origina ventos chamados de impulsão ou de insuflação. Nas camadas inferiores da atmosphaera, porém, o ar quente tendo-se elevado, deixou um vazio, uma depressão barometrica, que aspira o ar frio dos logares contiguos.

Esse vento assim produzido denomina-se de aspiração. Em geral, quando se manifesta, junto á terra, uma corrente de vento em um sentido, produz-se uma outra, superior, em sentido contrario. Os ventos pódem soprar em todas as direcções; porém, distinguem-se oito principaes, que combi-

nadas duas a duas, formam outras tantas direcções intermediarias. Os ventos denominam-se pelos quatro pontos cardaes: norte (N), sul (S), léste (E), oeste (O), e direcções intermediarias: nordeste, (NE), sueste (SE), noroéste (NO), sudoéste (SO) que, pela sua combinação dão ainda outras tantas direcções, cujos nomes se formam pondo em primeiro logar a direcção principal, do seguinte modo: nor-nordeste (NNE), su-nordeste (SNE), les-sueste (ESE), su-sueste (SSE), su-sudoeste (SSO), oes-sudoeste (OSO), oes-noroeste (ONO) e nor-noroeste (NNO).

Os navegantes consideram ainda além dessas direcções ou rumos, mais outros 16, ao todo 32, que reperesentam por outros tantos raios de uma estrella conhecida pelo nome de rosa dos ventos.

A direcção dos ventos superiores pode conhecer-se pelo movimento das nuvens.

Se o céo está limpo de nuvens, temos de nos contentar, á falta de um anemoscopio ou catavento, com outros signaes, bem que menos seguros.

O fumo das chaminés, uma bandeira fluctuando, as folhas das arvores, — podem fornecer indicações uteis ás pessoas habituaadas á observação desses phenomenos. Ainda se póde recorrer ao seguinte meio, usado especialmente no campo: levanta-se verticalmente um dedo, previamente molhado; o vento soprará do lado donde se sente frio; porque desse lado, a evaporação, activando-se, rouba calór á pelle. Com o fim de conhecer a direcção dos ventos inferiores, empregam-se, porém, apparatus conhecidos pela denominação generica de anemoscopios ou cataventos.

Sua descripção e funcionamento se encontram em qualquer compendio de meteréologia. A velocidade do vento é o numero de kilometros que elle percorre em uma hora; é sua força, funcção da velocidade, é igual á pressão em kilogrammas, que exerce sobre a superficie plana de um metro quadrado, que se oppõe á sua propagação.

A força ou pressão exercida pelo vento em uma superficie plana normal á sua direcção é, para velocidades inferiores a  $10^m$  por segundo, dada pela formula empirica,

$$(1) \quad P = 2 d s h,$$

em que  $P$ , é igual á pressão em kilogrammas;  $d$  é igual ao peso de um metro cubico de ar em movimento, cujo valor é de  $1^{kg},231$ , se a temperatura é de  $12^\circ$  e a pressão barometrica de  $0,755$  de mercurio;  $s$ , é igual á superficie da placa em metros quadrados;  $h$  é igual á  $\frac{v^2}{2g}$ , em que  $v$ , é igual a velocidade do vento em metros por segundo.

Assim, se quizermos saber qual é a pressão exercida pelo vento, com uma velocidade de  $4^m$  por segundo, em uma placa ou superficie normal á sua direcção, de  $6$  metros quadrados, teremos, applicando a formula (1):

$$P = 2 \times 1,231 \times 6 \times 0,8156 = 12^{kg},048 \dots$$

Vê-se, assim, que a pressão exercida pelo vento nas condições acima mencionadas, é superior a  $12$  kilogrammas.

Os ventos classificam-se em regulares e irregulares ou accidentaes.

Ventos regulares são os que sopram, periodica ou constantemente, em direcções determinadas; dividem-se em constantes e periodicos. Os ventos regulares constantes, chamados tambem ventos geraes e alizados, são os que sopram sempre na mesma direcção. Os ventos regulares periodicos são os que sopram, ora na mesma direcção, ora na opposta; dividem-se em brisas e monções.

Os ventos geraes observam-se principalmente na zona torrida, sobre os oceanos Atlantico e Pacifico, soprando, no hemispherio boreal, de nordeste e sudoeste, e no hemispherio austral, de suéste a noroeste.

Fazem-se sentir longe das costas até á latitude de  $30^\circ$ , para o norte e para o sul. Explica-se a existencia desses

ventos pela differença de temperatura entre o equador e as zonas glaciaes.

Entre as regiões do equador em que sopram os ventos geraes, e que variam com os mezes do anno, existe uma zona onde ha apenas ventos frescos e variaveis, chuvas e trovoadas quasi quotidianas, conhecida pelo nome de região das calmas.

**100.** BRISAS. — As brisas são ventos regulares periodicos, que sopram nas costas, do mar para terra, de dia, e da terra para o mar, de noite, isto é, da parte mais fria para parte mais quente.

As brisas podem ser explicadas do seguinte modo: aquecendo mais a terra do que o mar durante o dia, o ar, tambem mais aquecido sobre a terra, dilata-se, torna-se especificadamente mais leve, eleva-se, e é substituido por uma corrente de ar mais denso (porque está mais frio), que sopra do mar. De noite, esfriando-se o sólo mais rapidamente, pela irradiação, do que o mar, produz-se o phenomeno inverso, soprando a brisa da terra.

**101.** As monções são ventos regulares periodicos que sopram, principalmente, no mar da Arabia, no golpho de Bengala e no mar da China, seis mezes em uma direcção, e outros seis mezes em direcção opposta.

Ventos irregulares são os que sopram em direcções variaveis, ora de um quadrante, ora de outro, não obedecendo, em sua translação, á lei nenhuma conhecida. A sua irregularidade augmenta com a latitude; observam-se, principalmente, desde 30° para o norte e para o sul, sendo maxima nas zonas glaciaes.

**102.** Quanto á qualidade, os ventos ainda podem ser frios, sêccos e humidos .

O Simum, por exemplo, é um vento que tem um poder dissecador extraordinario.

Na Hespanha, o Simum tem a denominação de solano, e na Italia, de sirôcco.

**103. METEÓROS AQUÓDOS-CHUVAS.** — Denominam-se de hydro-meteóros ou meteóros aquódos, aos phenomenos atmosfericos determinados pelo vapôr d'agua contido na atmosphaera, como as nuvens, a chuva, a neve, etc.

A chuva é a quêda seguida de pequenas gottas d'agua, provenientes das vesiculas que constituem as mesmas.

Para medir a quantidade de chuva, que cahe em uma localidade qualquer, adopta-se um apparelho chamado udometro ou pluviometro.

A quantidade de chuva que cahe sobre a superficie do glôbo, diminue com o augmento da latitude, porque é maior no equador do que nos climas temperados, e nestes maior do que nos pólos.

Há, todavia, muitas circumstancias locaes que fazem variar a quantidade de chuva nos logares da mesma latitude.

Dentre as circumstancias que influem na frequencia e quantidade de chuvas, podemos mencionar as seguintes: a altitude, a direcção das montanhas, a maior ou menor proximidade dos mares, dos lagos e dos rios, as mattas e bosques extensos, etc.

Quanto á altitude, se collocarmos dois udometros em altitudes differentes, no mesmo logar da terra, observaremos que elles não recebem a mesma quantidade de chuva; ordinariamente, o mais baixo recebe mais.

As montanhas são, em geral, causa de chuvas abundantes; a influencia da visinhança do mar é tambem causa evidente de chuvas abundantes.

As extensas mattas, do mesmo modo que as montanhas, impedem a progressão das correntes aéreas, fazem subir o ar, e carregam-no de nuvens que se resolvem em chuvas.

Para produzir chuvas, dizia Babinet, um bosque vale o mesmo que uma montanha. O desapparecimento das florestas, dizia Humboldt, diminue a quantidade d'agua que corre á superficie de um paiz.

## 9.ª LIÇÃO

**Refracção atmospherica, aurora boreal.**  
— **Climas**

**104.** REFACÇÃO ATMOSPHERICA. — As diversas camadas que compõem a atmospherica não teem todas a mesma densidade; as camadas mais baixas ou inferiores são mais densas do que as superiores.

Não formando a massa atmospherica um todo homogéneo, um raio luminoso atravessando-a, não segue a direcção rectilínea, refracta-se, successivamente, de camada em camada, desviando-se sempre da direcção primitiva.

Prova-se em Physica que todo raio luminoso que passa de um meio para outro, muda de direcção, ficando situado no plano normal á superficie de separação dos dois meios.

Assim, figura 30,  $AB$ , sendo a intersecção desse plano normal com o plano tangente á superficie, o raio  $ab$ , em lugar de continuar segundo  $ab'$ , tomará a direcção  $ab''$ , geralmente mais approximada da normal  $xx'$ , se o segundo meio é mais denso que o primeiro, mais afastada, se é este, o primeiro, o mais denso.

Ao angulo  $ba x$ , dá-se o nome de angulo de incidencia, e ao angulo  $b''ax'$ , o de angulo de refracção. Designando o primeiro por  $\alpha$  e o segundo por  $\beta$ , a lei geral da refracção é que para dois mesmos meios, a relação do seno do angulo de incidencia para o seno do angulo de refracção é uma quantidade constante.

Algebricamente se representa do seguinte modo:

$$\frac{\text{sen } \alpha}{\text{sen } \beta} = \text{constante.}$$

O angulo  $b'ab'' = bax - b''ax'$ , é o que se chama a refracção. A refracção é nulla quando  $\alpha = 0$ , e augmenta com  $\alpha$ .

105. Já vimos que o ar é pesado e compressível, e é por isto que as camadas que se avisinham do sólo são mais densas do que as situadas nas regiões elevadas. Essa densidade segue uma certa lei de decrescimento. Podemos considerar nossa atmosphaera como composta de camadas homogenas pouco espessas, cuja densidade decresce á medida que consideramos camadas de mais a mais distantes do sólo. Todo raio luminoso que chega ao orgão visual do observador, quer de um astro, quer de um objecto terrestre, atravessa todas essas diferentes camadas atmosphericas de desigual densidade, ou unicamente uma parte dessas diferentes camadas. O raio luminoso experimenta, então, um desvio que se chama refracção atmospherica, a qual toma o nome de refracção astronomica no primeiro caso, e de refracção terrestre no segundo.

106. REFACÇÃO ASTRONOMICA. — Como mostra a figura 31, os raios que nos chegam em uma direcção differente da vertical, soffrem um desvio que faz com que percebamos os astros em uma posição pouco differente da que occupa realmente.

Assim,  $Aa$ , é um raio luminoso partindo de um astro  $A$ . Atravessando a atmosphaera, soffre desvios successivos,  $a$ ,  $a'$ ,  $a''$  e chega ao orgão visual do observador segundo a direcção  $Ba''$ , isto é, em  $A'$ . O angulo  $AB A'$ , é o que se chama refracção atmospherica, ou antes, astronomica. Ella diminue quando a altura apparente do astro augmenta; varia tambem com o estado da atmosphaera.

E' nulla no zenith e maxima no horisonte.

Resulta desse desvio que toma o raio luminoso ao penetrar na nossa atmosphaera, uma fonte fundamental de erros, de que todas as nossas observações astronomicas teem necessidade de ser corregidas.

A influencia do erro consiste, como mostra a figura 31, em appromixar constantemente o astro do zenith. Ainda que a alteração que provem de uma tal causa não possa influir, immediatamente, senão sobre as distancias zeni-

thaes dos astros, é claro que, por uma consequencia necessaria, deve affectar indirectamente todas as outras medidas astronomicas, excepção feita dos azimuths, que se conservam inalteraveis.

Sua distancia ao pólo, o momento de sua passagem no meridiano, a hora de seu nascimento e seu occaso, etc., experimentam modificações inevitaveis.

Mas, esses effeitos secundarios seriam evidentemente faceis de calcular com exactidão, por simples formulas trigonometricas, se o effeito principal fôsse uma vez bem conhecido. Assim considerado, o problema das refrações astronomicas reduz-se a descobrir a verdadeira lei segundo a qual a refração diminue as diversas distancias zenithaes.

Desde já podemos adiantar que o estabelecimento racional de uma verdadeira theoria das refrações astronomicas, é impossivel. Recorreu-se, então, a processos empiricos que consistem na construcção de taboas apropriadas, onde, conforme o gráo, são corregidas as alturas e, por conseguinte, as distancias zenithaes dos astros.

As taboas pôdem ser construidas pela observação de estrellas ou pelo calculo.

**107.** PELA OBSERVAÇÃO DE ESTRELLAS. — Com o auxilio da observação meridiana das estrellas que se avizinham do zenith, e que, por conseguinte, não são submettidas ao effeito da refração de uma maneira sensivel, podemos determinar a latitude do logar e a declinação dessas estrellas. Se agora observarmos as distancias zenithaes  $N, N', N''$ , etc., de uma estrella, nas horas,  $t, t', t''$ , etc., de uma pendula sideral que indica  $T$  horas quando essa estrella passa no meridiano superior, — nós podemos comparar as distancias zenithaes observadas com as distancias zenithaes calculadas,  $N_1, N_1', N_1''$ , etc., com o auxilio das formulas da Trigonometria espherica para o caso correspondente. As differenças entre  $N$  e  $N_1, N'$  e  $N_1', N''$  e  $N_1''$ , etc., darão as refrações que conveem ás distancias zenithaes,  $N, N', N''$  etc., observadas.

**108. PELO CALCULO.** — As formulas empiricas de Laplace são as unicas que permitem calcular as refrações de uma maneira sufficientemente exacta; são as usadas na França. Sem entrarmos em detalhes sobre essas formulas, apenas daremos a que corresponde á temperatura da atmospherica  $0^\circ$  á pressão  $760^{\text{mm}}$ . A formula é:

$$R = 60'',567 \, \text{tg} \cdot N - 0'',067 \, \text{tg}^3 N,$$

em que,  $R$  é a refração a determinar e  $N$  a distancia zenithal observada.

Esta formula só dá as refrações para distancias zenithaes menores que  $74^\circ$ .

As taboas de Callet e as ephemerides de Paris, conhecidas pela denominação de *Connaissance de Temps*, dão as refrações medias calculadas segundo as formulas de Laplace, tendo como argumento a altura apparente do astro.

**109. REFRAÇÃO TERRESTRE.** — Consideremos dois pontos,  $o$  e  $o'$ , situados a uma certa distancia um do outro, mas visiveis; supponhamos que a differença de altura desses dois pontos seja  $o' o''$ .

O raio luminoso que vae do ponto  $o$  ao ponto  $o'$ , atravessando camadas atmosphericas de desigual densidade, segue a linha polygonal,  $o c b a o'$ , conforme as refrações successivas que experimenta.

Reciprocamente, o raio luminoso  $a o'$ , que parte do ponto  $o'$ , segue a linha polygonal,  $o' a b c o$ , e chega em  $o$ , segundo o ultimo elemento,  $o c$ , da polygonal.

Assim, um observador collocado em  $o$ , julgará ver o ponto  $o'$  em  $B$ , segundo a tangente á linha,  $o' a b c o$ , e experimenta o effeito de uma refração,  $B o o' = r$ .

Do mesmo modo, um observador situado em  $o'$ , julgará ver o ponto  $o$  em  $B'$ , e experimentará o effeito da refração,  $B' o' o = r'$ . As refrações,  $r$  e  $r'$  tomam o nome de refrações terrestres.

As refrações terrestres teem uma grande importancia na alta geodesia.

**110. AURORA BOREAL.** — Ao phenomeno luminoso que com seus fulgôres illumina, tantas vezes, as frias e longas noites dos pólos, substituindo, até certo ponto, os raios do sol, recebeu o nome de aurora polar e, particularmente, no pólo norte, o de aurora boreal.

Este phenomeno apresenta, quando completo, as seguintes phases: 1.<sup>a</sup> vê-se no ar, na direcção do meridiano magnetico, um segmento circular mais escuro, bem depressa contornado por um arco luminoso, cujos extremos tocam no horisonte.

A luz que o forma, de um amarello pallido, scintilla e agita-se; depois o arco eleva-se parallelamente a si mesmo, apoiando seus extremos sempre no horisonte, conservando-se seu plano perpendicular á direcção da agulha magnetica.

2.<sup>a</sup> Desse arco brotam, em seguida, raios luminosos, resplendôres tremeluzentes, parecendo convergir todos para o mesmo ponto do céu situado no prolongamento da agulha de inclinação, illuminando, com intensidade variavel, a parte superior da abobada celeste, desenrolando-se e dobrando-se, mais tarde, em curvas caprichosas, inferiormente córadas de vermelho, passando na parte média a tons verdes e na superior a cambiantes entre o vermelho e o branco.

3.<sup>a</sup> Em seguida os contórnos esvahem-se, o brilho desaparece, e tudo cahe outra vez na escuridão da noite.

Algumas vezes uma mesma aurora boreal tem sido vista, simultaneamente, no norte, no centro e sul da Europa.

Por observações feitas em Melbourne, na Australia, e no norte da Europa, parece que as auroras polares são simultaneas. As relações que existem entre o phenomeno das auroras polares e o magnetismo, como a direcção constante do seu arco, as perturbações que exercem sobre as bussolas, etc., fazem com que esse phenomeno seja attribuido ao magnetismo e, portanto, á electricidade, isto é, fazem com que seja considerado um meteóro electrico,

Segundo parece, as auroras polares teem a sua origem nas descargas lentas que se operam nas regiões polares, entre a electricidade positiva da atmosphera e a negativa do sólo, electricidades separadas, completamente, nas regiões equatoriaes, pela acção do sol.

**111. CLIMAS.** — Geralmente definimos clima ao conjuncto de meteóros que caracterisam uma região.

Geographicamente podemos definir clima como sendo toda zona comprehendida entre dois parallellos ao equador, ou entre duas latitudes.

Os climas assim definidos são os astronomicos. Os effeitos dos climas sobre os seres organisados, resultam da acção simultanea e complexa de todos os meteóros; sendo, porém, difficil synthetisar todas essas acções, facilita-se a caracterisação dos climas, definindo-os pelas temperaturas médias ao ar livre. As principaes causas que modificam a temperatura do ar, influindo, por conseguinte, nos climas, são: a latitude, a altitude, a direcção dos ventos e a proximidade do mar.

Em relação á temperatura media, classificam-se os climas em: clima ardente, de  $28^{\circ}$  a  $25^{\circ}$ ; quente, de  $25^{\circ}$  a  $20^{\circ}$ ; suave, de  $20^{\circ}$  a  $15^{\circ}$ ; temperado, de  $15^{\circ}$  a  $10^{\circ}$ ; frio, de  $10^{\circ}$  a  $5^{\circ}$ ; muito frio, de  $5^{\circ}$  a  $0^{\circ}$ ; glacial, abaixo de zero.

Relativamente ás differenças entre as médias de verão e inverno, dividem-se os climas, em constantes, quando a differença não excede de  $6^{\circ}$  a  $8^{\circ}$ ; variaveis, quando attinge a  $16^{\circ}$  ou  $20^{\circ}$ ; e excessivos, quando é superior a  $20^{\circ}$ .

Como os climas das ilhas são pouco variaveis, denominam-se, ainda, de climas constantes os maritimos ou insulares; de variaveis ou excessivos, os continentaes.

---

## 10.ª LIÇÃO

### Movimento diurno da Terra

**112.** Os astrónomos que admittiam o movimento da esphera celeste e a immobildade terrestre, não podiam explicar os movimentos particulares do sol, dos planetas e de seus satellites, senão suppondo no espaço outras espheras concentricas á esphera celeste, tendo um movimento differente e independente da primeira.

Em virtude da immensa distancia em que nos achamos d'aquelles astros e principalmente das estrellas, seria preciso suppôr-lhes uma velocidade inaudita de translação no espaço, o que não é admissivel.

Tudo se simplifica maravilhosamente desde que se admitte o movimento terrestre. Na apreciação que vamos fazer desta questão fundamental, convem separar os dois movimentos de que o nosso planeta está animado, começando pelo de rotação, muito mais simples de reconhecer directamente, como já vimos, n. 67, do que a translação.

Segundo o principio geral da ligação destes dois movimentos em um corpo qualquer, as provas directas que dêmos aqui da rotação da terra, servirão de outras tantas provas indirectas do outro movimento.

**113.** Já vimos, n. 66, que no movimento de rotação os pontos mais afastados do eixo descrevem, ao mesmo tempo, arcos maiores, e que a velocidade, neste movimento, não é idêntica para todos os pontos do corpo. Por conseguinte, não podendo a rotação terrestre ser exactamente commum, no mesmo gráo, a todos os pontos de sua superfície, deve deixar, entre os phenomenos puramente terrestres, alguns indícios sensiveis de sua existencia. D'ahi a necessidade de distinguir as provas celestes e as terrestres do nosso movimento diurno, emquanto nosso movimento annual não comporta senão as provas do primeiro genero, as celestes.

A astronomia grega já tinha esboçado a theoria verdadeiramente geometrica dos movimentos celestes, não considerando essencialmente senão as direcções, sem se preocupar de medir as proporções do universo, o que correu para manter, por muito tempo, a opinião primitiva sobre o systema do mundo. Mas, depois que essas proporções começaram a ser geometricamente apreciadas, o conjuncto das noções sobre as quaes repousava uma tal opinião, tomou um character absolutamente inverso, provocando de mais a mais a formação da concepção copernicana.

**114.** Provas do movimento diurno ou de rotação da terra.

1.<sup>a</sup> Quando ficou bem averiguado que a terra não é senão um ponto no meio dos intervallos celestes, e que suas dimensões são exactamente pequenas, comparativamente as do sol e mesmo de muitos outros astros do nosso mundo, tornou-se absurdo fazer da terra o centro de diversos movimentos, e sobretudo a immensa rotação diaria do céu suppôz logo uma contradicção chocante.

A terra girando em 24 horas sideraes em torno do eixo, apresentará necessariamente seus dois hemispherios ao sol, que illuminará sempre um delles, emquanto o outro permanecerá nas trevas; a noite succederá ao dia.

A hypothese de rotação da terra deixa em repouso relativo milhares de estrellas que, sem este movimento, seriam obrigadas a circular em 24 horas, em torno da terra, com velocidades inadmissiveis. A hypothese do movimento de rotação da terra tem pois, ao mesmo tempo, exactidão e simplicidade desejaveis.

**115.** 2.<sup>a</sup> Depois da criação da dynamica por Galileu, e da grande lei — independencia e coexistencia dos movimentos —, uma das tres bases phisicas da mechanica racional, a propagação de semelhante doutrina fez desaparecer a unica difficuldade que se oppunha realmente á admissão da rotação terrestre.

Procurou-se no exame da quéda dos graves, uma confirmação directa e terrestre da existencia do movimento de rotação da terra.

Assim, se collocarmos no alto de uma torre um corpo qualquer, elle descreverá, no mesmo tempo, um circulo maior que o descripto pelo pé da torre.

O corpo adquire, pois, no vertice da torre, mais velocidade do que no pé, e deve, por conseguinte, em quéda livre, cahir um pouco mais a léste do pé da torre.

Como conhecemos hoje as dimensões da terra, e seu movimento diurno, podemos calcular de quanto o corpo deve afastar-se, para léste, da torre. Esse afastamento é, em geral, muito pequeno, mesmo para os edificios mais elevados.

Suspendamos no alto da torre um fio carregado de um peso; depois de algumas oscillações, deter-se-á em um ponto que será o pé da perpendicular.

Assignalemos este ponto no terreno, remontemos o peso e deixemol-o cahir livremente do mesmo ponto de suspensão; se cahir a léste do ponto assignalado no terreno é porque a terra gira, se cahir no mesmo ponto é porque a terra está em repouso. O resultado o mais constante dessa experiencia, tentada diversas vezes, foi favoravel ao movimento da terra.

As variações notadas nessa experiencia, apenas vieram provar quanto é ella delicada e difficil: a menor agitação no ar póde facilmente produzir um desvio superior ao effeito procurado.

Sendo a experiencia feita no equador, o afastamento dever ter maior extensão do que em qualquer outro logar

**116.** 3.<sup>a</sup> Uma outra prova terrestre verdadeiramente incontestavel da realidade da nossa rotação, é a que resulta necessariamente da influencia da força centrifuga, que deve alterar a direcção e, sobretudo, a intensidade da propria gravidade.

O valor desta diminue dos pólos ao equador. No pólo, o valor da gravidade é de 983 centímetros; o achatamento da terra é, perfeitamente conhecido, como já vimos, e o calculo mostra que, no equador, o valor da gravidade deve ser de 981 centímetros, quando a experiencia deu apenas, 978. Por conseguinte, além do achatamento, existe uma outra causa que deve influir para essa diminuição do valor da gravidade, de 3 centímetros.

Essa causa é a força centrífuga produzida pela rotação da terra sobre si mesma.

**117.** 4.<sup>a</sup> O comprimento do pendulo que bate o segundo, ainda nos póde fornecer uma prova da rotação terrestre, como bem o demonstrou Richer, na celebre experiencia que fez em Cayenna, em 1672, em que verificou a diminuição do comprimento do pendulo no equador, do comprimento exacto do pendulo em segundos, regulado em Paris.

**118.** 5.<sup>a</sup> Já vimos o que sejam ventos alizados ou alizeos, n. 99.

Se a terra fôsse fixa, deveriam necessariamente approximar-se do equador, na direcção norte-sul para o hemispherio boreal, e na direcção sul-norte para o hemispherio austral. A inclinação delles, de léste para oeste, é devida á rotação da terra no sentido contrario; de oeste para leste; o movimento da terra, do occidente para o oriente combina-se com o movimento proprio do ar na direcção norte-sul, dando como resultante, como é facil ver compondo os dois movimentos, a direcção inclinada dos ventos alizeos. Por conseguinte, esses ventos servem de demonstração á rotação da terra.

**119.** 6.<sup>a</sup> O pendulo de Foucault serve tambem para demonstrar de um modo incontestavel que a terra gira realmente sobre si mesma, em sentido inverso ao movimento apparente. Imaginemos, primeiro, um pendulo transportado para o pólo norte da terra, de modo que o ponto de suspensão esteja no prolongamento do eixo de rotação.

Se podessemos fazer oscillar esse pendulo, não tardariamos a notar que o traço do plano de oscillação varia-ria continua e regularmente no sentido do movimento da esphera celeste; de modo que, se o pendulo oscillasse durante 24 horas, o vestigio horisontal do plano de oscillação por elle descripto, daria a volta completa do horisonte, sem deixar de passar pela projecção horisontal do plano de suspensão.

Ora, o plano de oscillação do pendulo é invariavel; por conseguinte, seu deslocamento apparente não poderia ter sido produzido senão pelo movimento de rotação da terra. Do pólo ao equador, repete-se o mesmo phenomeno; mas o desvio apparente diminue, sendo nullo no equador.

Foucault fez a experiencia do pendulo em Paris, no anno de 1851. Para isto tomou uma esphera de peso de 28 kilogrammas e suspendeu-a á abobada do Pantheon por um fio de 64 metros de comprimento. Nessa esphera elle collocou um ponteiro no prolongamento do fio de suspensão.

Prendeu o pendulo á parede por um fio, e depois queimou este. Começou então uma longa série de oscillação, cada uma das quaes durava 8 segundos.

A cada oscillação o ponteiro do pendulo passava por cima do centro de um círculo horisontal, e deixava signaes em dois pequenos montes de areia, dispostos sobre a circumferencia em forma de prismas triangulares.

A cada oscillação a ponta do ponteiro feria os montes de areia em pontos distantes uns dos outros, cerca de dois millimetros e meio.

**120.** 77.<sup>a</sup> Como termo do estudo sobre a rotação terrestre, vamos dar agora a experiencia de Plateau, que serve de prova ao movimento de rotação da terra.

Plateau, physico belga, mostrou, por uma experiencia celebre, que o achatamento da terra deve ser attribuido a seu movimento de rotação em torno das linhas dos pólos. Se em uma mistura de agua e alcool, tendo a mesma densidade que o azeite, se deixa cahir uma certa quantidade

deste ultimo liquido, se o vê tomar immediatamente a forma espherica.

Se se imprime agora, ao liquido, por meio de uma agulha comprida, um movimento de rotação em torno de um eixo, a esphera de azeite torna-se um ellipsoide cujo eixo menor coincide com o de rotação. O achatamento do ellipsoide augmenta com a velocidade do movimento.

Admittindo-se a hypothese verificavel de ter sido fluído o estado da terra na origem, essa experiencia mostra que a forma ellipsoidal do nosso glôbo é devida ao movimento de rotação.

De tudo quanto dissemos fica, pois, provado o movimento de rotação da terra no sentido directo, sentido este contrario ao movimento apparente dos astros.

---

## 11.<sup>a</sup> LICÇÃO

### **Movimento annual da Terra. — Posição da Terra durante seu movimento annual**

**121.** A verificação do movimento de translação da terra só pôde ser feita por provas astronomicas. Na definição que demos de movimento de translação, n. 66, vimos que todos os pontos do corpo descrevem ao mesmo tempo espaços iguaes e parallelos.

Por conseguinte, em virtude da differença inteiramente insensivel da velocidade dos diversos pontos da terra, relativamente á sua translação, essa velocidade não pode exercer a menor influencia sobre os phenomenos terrestres, de modo a nos offerecer provas de sua translação, como no caso da rotação. Como neste movimento, é tambem evidente que na traslação as apparencias nada podem decidir.

Considerando o movimento annual da terra como não alterando o parallelismo de seu eixo, toda explicação dos

phenomenos relativos ás estações e aos climas, daria, evidentemente, os mesmos resultados que no systema antigo.

Todos os phenomenos os mais sensiveis do céu são, pois, exactamente identicos para as duas hypotheses, geocentrica e heliocentrica.

Entretanto, demonstra-se que o movimento annual do sol, tão bem como o movimento diurno da esphera celeste, não são senão apparencias, e que os phenomenos celestes se explicam mais facilmente admittindo o sol fixo e a terra movel.

**122.** Provas do movimento de translação da terra.

1.<sup>a</sup> O volume do sol sendo 1.300.000 vezes maior que o da terra, é logico admittir que é a terra que gira em torno do sol; admittir o contrario seria admittir um corpo menor attrahindo um maior, quando é o inverso o que tem, realmente, logar.

**123.** 2.<sup>a</sup> Os planetas, como sabemos, giram tambem em torno do sol, e seu movimento se explica facilmente quando se admite o deslocamento da terra; semelhante movimento tornar-se-ia, entretanto, complicadissimo e confuso, na hypothese da terra immovel. Aliás, tendo a terra muita analogia com os planetas, principalmente com venus, é natural admittir que ella tenha os mesmos movimentos.

Devemos pois admittir, segundo o que ficou dito, que a terra gira em torno do sol e que descreve, com uma velocidade angular variavel, uma ellipse de que esse astro occupa um dos fócios.

**124.** 3.<sup>a</sup> A aberração annual das estrellas nos fornece uma prova do movimento de translação da terra.

A descoberta desse phenomeno é devida a Bradley, e consiste em um desvio apparente dos raios luminosos que as estrellas nos enviam. Semelhante desvio é a resultante da combinação do movimento da terra com o da luz que nos vem dos astros. Seja  $T T'$ , fig. 33, o espaço percorrido pela terra em um certo tempo, e  $A T$ , o espaço per-

corrido no mesmo tempo pelos raios luminosos de uma estrella  $E$ .

Como a velocidade da luz é cerca de 10000 vezes maior que a da terra no seu movimento de translação em torno do sol,  $AT$  será cerca de 10000 vezes maior que  $T'T'$ . A luz nos chegando segundo a direcção da resultante  $AT'$ , a estrella é vista na direcção  $T'E'$ . O angulo  $EAE'$ , chamado angulo da aberração, é de cerca de  $20''$ ,45. Demais, a terra girando em torno do sol, a linha  $T'E'$  gira em torno de  $TE$ .

**125.** 4.<sup>a</sup> A precessão dos equinócios tambem nos fornece uma demonstração do movimento de translação da terra.

Esse notavel phenomeno foi descoberto por Hipparco. Determinando o logar das estrellas pelo sol, observara que no seu tempo a espiga da virgem estava a  $6^\circ$  do equinocio do Outomno, em quanto pelas observações de Timocharis, ella se achava a  $8^\circ$ .

Notára além disso que a latitude da estrella não soffera nenhuma alteração.

A mesma observação feita em algumas outras estrellas o levaram a crer que o equinocio retrogradára. Embóra tivesse escripto um trabalho com o titulo "Retrogradação dos pontos equinociaes", segundo refere Ptolomeu, Hipparco não propunha sua idéa ou descoberta senão como hypothese.

Esse phenomeno consiste em uma retrogradação dos pontos equinociaes sobre a ecliptica contra a ordem dos signaes, donde veio a sua denominação habitual, por causa do avanço que dahi resulta, necessariamente, cada anno, para a época dos equinócios. A precessão dos equinócios não poderia ser concebida, na hypothese da terra immovel, senão fazendo girar todo o universo em torno dos pólos da ecliptica em 25920 annos, o que não é concebível. Entretanto, admittindo a translação terrestre, basta alterar o parâllelismo do seu eixo de rotação de uma quantidade quasi insensível, para que o phenomeno fique

perfeitamente demonstrado. Esse movimento de precessão é de  $50''{,}23$  por anno.

Quando o sol chega ao encontro do ponto equinocial da primavera (ponto vernal), elle não tem mais a descrever senão um arco de  $359^{\circ} 59' 9''{,}77$ , para se rechar no equador ou no mesmo ponto vernal depois de um anno. O equinocio avança assim de mais de 20 minutos todos os annos, tornando-se o anno mais curto tambem de mais de 20 minutos.

Quando tratarmos da medição do tempo, veremos qual a denominação que toma esse anno.

**126.** Os astrônomos costumam determinar a posição de um astro na esphera celeste por meio de duas coordenadas, denominadas de equatoriaes, visto se referirem ao equador.

Essas coordenadas tomaram a denominação de ascensão recta e declinação. Chama-se circulo horario de um astro o semi-meridiano celeste que passa por esse astro; o circulo horario do ponto vernal tem uma importancia excepcional relativamente aos outros, por quanto, quando passa pelo meridiano de um lugar, é  $\theta$  hora,  $\theta$  minuto e  $\theta$  segundo no relógio sideral deste lugar.

A ascensão recta de um astro é o numero de grãos que comprehende o circulo horario desse astro com o circulo horario do ponto vernal. Conta-se no sentido directo e varia de  $0^{\circ}$  a  $360^{\circ}$ .

A ascensão recta é designada pelo symbolo  $AR$ .

Na figura 34, se  $\gamma$  é o ponto vernal, a ascensão recta do astro  $A$ , é o angulo  $\gamma Ta$ , medido pelo arco  $\gamma a$ , no equador celeste, comprehendido entre o ponto vernal e o circulo horario do astro.

A declinação de um astro é o numero de grãos comprehendido entre este astro e o equador celeste; conta-se no circulo horario desse astro, do equador celeste para os pólos, e varia de  $0^{\circ}$  a  $90^{\circ}$ .

E' boreal ou austral conforme o astro se acha no hemispherio boreal ou no hemispherio austral, no primeiro caso

é positiva, e no segundo negativa. Na fig. 34, a declinação do astro  $A$ , é o angulo  $aTA$ , medido pela arco  $Aa$ .

**127.** Tambem podemos, determinar a posição de um astro na esphera celeste, referindo suas duas coordenadas ao plano da ecliptica.

Chamam-se circulos de latitude os circulos maximos da esphera celeste que passam pelos pólos da ecliptica.

E' boreal ou austral conforme o astro se acha ao norte ou ao sul da ecliptica, e conta-se de  $0^\circ$  a  $\pm 90^\circ$ .

A latitude de um astro é o arco de circulo de latitude comprehendido entre este arco e a ecliptica.

Na fig. 35, a latitude do astro  $A$ , é o arco  $Aa$ . A longitude de um astro é o arco da ecliptica comprehendido entre o ponto vernal e o circulo de latitude deste astro.

Assim, na fig. 35, a longitude do astro  $A$ , se  $\gamma$  é o ponto vernal, é o arco  $\gamma a$ .

Estas duas novas coordenadas são principalmente empregadas para estudar os movimentos do sol e dos planetas.

Não são determinadas pela observação directa dos astros, mas deduzidas da ascensão recta e declinação, por meio das formulas da trigonometria espherica.

**128.** Ainda podemos referir a posição de um astro ao horizonte racional; neste caso as duas coordenadas que servem para determinar essa posição, tomaram a denominação de azimuth e distancia zenithal.

O azimuth de um astro é o angulo diedro que forma um vertical qualquer com o primeiro vertical. Chama-se primeiro vertical um certo e determinado vertical, ao qual referimos todos os outros.

Os azimuths medem-se sobre o horizonte no sentido  $S O N E$  (Sul, Oeste, Norte e Leste), e variam entre  $0^\circ$  e  $360^\circ$ .

Se na figura 36,  $Z S Z' N$  é o primerio vertical, o azimuth do astro  $A$ , é o angulo  $S T E$ , medido pelo arco,  $S O N E$ .

A distancia zenithal de um astro é o angulo que forma a vertical com a recta que vae do orgão visual do observador a esse astro; é medida pelo arco vertical do astro comprehendido entre esse astro e o zenith. Deve ser considerada negativa, quando se conta em opposição ao pólo. Na fig. 36, a distancia zenithal do astro  $A$ , é o angulo,  $A T Z$ , medido pelo arco,  $A Z$ . Apreciados, assim, os diversos systemas de coordenadas celestes, tratemos agora das differentes posições que toma a terra em seu movimento annual.

**129.** Se durante o curso de um anno nós determinarmos a direcção do eixo do mundo, notaremos que este eixo é sempre dirigido para o mesmo ponto do céu.

Assim no movimento de translação da terra em torno do sol, seu eixo fica sempre sensivelmente paralelo a si mesmo.

O grande circulo da esphera celeste que parece descrever o sol, circulo que nós chamamos de ecliptica, indica que o centro do nosso globo descreve em torno d'aquelle astro uma curva plana situada no plano da ecliptica; a intersecção desta e do equador terrestre, representa a linha dos equinocios, que fica então paralela a si mesma, como mostra a fig. 37, no movimento da translação da terra.

Este movimento explica o phenomeno do movimento em ascensão recta e em declinação do sol, e por consequente, o das variações de seus nascimentos, occasos, e de sua elevação maxima.

Sejam, como mostra a figura,  $T_1, T_2, T_3, T_4, T_5, T_6, T_7, T_8$ , oito posições da terra na orbita elliptica que ella descreve em torno do sol,  $S$ , no sentido da flecha ( $F$ ).

A intersecção do plano da orbita com a terra determina os grandes circulos,  $cc'$ , para cada uma dessas posições.

O equador terrestre está representado por um grande circulo,  $qq'$ , inclinado de  $23^{\circ}27'30''$ , sobre o plano do circulo,  $cc'$ , que é, evidentemente, a ecliptica, ou o circulo que lhe corresponde sobre a terra. Nessas differen-

tes posições da terra o eixo,  $p p'$ , é sempre paralelo a si mesmo, e por conseguinte a linha dos equinócios,  $b b'$ , ou  $\gamma \underline{\Delta}$ , também paralela a si mesma.

Consideremos a posição da terra em  $T_1$ , quando a linha que une o centro do sol,  $S_1$ , ao centro da terra, se confunde com a linha dos equinócios.

Admittindo que o pólo,  $p$ , seja o pólo norte, a posição da terra em  $T_1$ , corresponde ao movimento em que o sol parece passar pelo ponto vernal.

Sua declinação é nulla, visto achar-se no equador, sua longitude e, por conseguinte, sua ascensão recta também são nullas. Pelo effeito do movimento diurno da terra, que tem logar no sentido da flecha ( $f$ ), o sol parece nesse dia descrever o equador. Quando a terra se transportar para  $T_2$ , o sol parece estar em  $S_2$ , sobre a ecliptica; sua declinação augmentou e bem assim sua longitude e ascensão recta, que se acham comprehendidas entre  $0^\circ$  e  $90^\circ$ ; o sol parece mover-se sobre a ecliptica no sentido da flecha; pelo effeito do movimento diurno da terra, o paralelo que o sol parece descrever está situado no hemispherio norte. Em  $T_3$ , o eixo  $p p'$  se projectando segundo a linha que une o sol ao centro da terra, o sol parece estar em  $S_3$ , e sua declinação attingiu ao maximo; a longitude e a ascensão recta do sol são de  $90^\circ$ , e o paralelo que parece descrever é o tropico de Cancer.

Vemos assim que, de  $T_1$  a  $T_3$ , os parallelos que o sol pareceu descrever estão successivamente approximados do pólo norte; é para os habitantes do hemispherio boreal a primavera.

A terra continuando seu movimento de translação, chega a  $T_4$ ; o sol parece estar em  $S_4$ , sua declinação diminuiu, e sua longitude e ascensão recta se acham comprehendidas entre  $90^\circ$  e  $180^\circ$ .

O paralelo que o sol parece descrever nesse dia ainda está no hemispherio norte.

Quando a terra chegar a  $T_5$ , a linha dos equinócios se confundindo ainda com a linha que une o sol ao centro

da terra, o sol parece estar em  $S_5$ ; sua declinação é nulla; sua longitude e ascensão recta attingem a  $180^\circ$ .

Achando-se nesse momento no equador, parece descrevê-lo nesse dia.

E' a época do equinocio do outomno. De  $T_3$  a  $T_5$ , o sol ainda descreveu seus parallelos diurnos no hemispherio norte.

E' o periodo do verão. Quando a terra se achar em  $T_6$ , o sol parece estar em  $S_6$ ; sua declinação torna-se negativa, sua longitude e ascensão recta se acham comprehendidas entre  $180^\circ$  e  $270^\circ$ .

Pelo effeito do movimento diurno, o paralelo que o sol parece descrever está situado no hemispherio sul.

Em  $T_7$ , o eixo de rotação da terra,  $p p'$ , se projecta segundo a linha,  $S c c'$ , e o sol parece estar em  $c$ , ou  $S_7$ ; sua declinação é maxima, e sua longitude e ascensão recta são iguaes a  $270^\circ$ ; o sol parece descrever o tropico de Capricornio; é a época do solsticio do inverno.

De  $T_5$  a  $T_7$ , a declinação do sol tendo augmentado negativamente, seus parallelos se vão approximando do sul; é o periodo do outomno.

Em  $T_8$  o sol parece estar em  $S_8$ ; sua declinação diminuiu, e sua longitude e ascensão recta se acham comprehendidas entre  $270^\circ$  e  $360^\circ$ .

O paralelo que o sol parece descrever, pelo effeito do movimento diurno, está ainda situado no hemispherio sul.

Emfim, a terra volta a tomar sua posição em  $T_1$ , já considerada.

De  $T_7$  a  $T_1$ , os parallelos descriptos cada dia, pelo sol, se vão approximando do equador. E' o periodo do inverno.

Assim, o movimento annual do sol sobre a ecliptica é perfeitamente explicado, admittindo-se que a terra, além do seu movimento de rotação, é doptada de um movimento de translação no mesmo sentido, de tal modo que seu

eixo de rotação se transporte sempre paralelamente a si mesmo.

Este movimento de translação da terra, que explica os movimentos em declinação e em ascensão recta do sol, explica também a rasão da oscillação de seus pontos de nascimento e de occaso, das variações de sua altura meridiana para um mesmo logar, e do retardamento successivo que a sua passagem meridiana experimenta sobre a passagem meridiana de uma estrella.

**130.** Como termo desta licção, determinemos a excentricidade da orbita apparente do sol, ou antes, a excentricidade da orbita real da terra.

Designando por  $\delta$ , o diametro apparente do sol que corresponde á distancia minima do mesmo sol á terra, e por  $\delta'$ , o diametro apparente que corresponde á distancia maxima, a formula correspondentemente ao caso é, chamando  $e$ , a excentricidade:

$$(1) \quad e = \frac{\delta - \delta'}{\delta + \delta'}$$

Ora, o diametro apparente do sol diminue desde o primeiro de Janeiro, em que tem o valôr maximo de  $32' 35'',58$ , até primeiro de Julho, em que tem o valor minimo, de  $31' 31''$ . D'ahi em deante augmenta até ao fim do anno, passando pelos mesmos valores; nos equinocios tem um valor medio  $32'$ .

Substituindo, pois, em (1),  $\delta$  e  $\delta'$ , pelos seus valores, teremos.

$$e = \frac{32' 35'',58 - 31' 31''}{32' 35'',58 + 31' 31''} = \frac{64,58}{3846,58} = 0,01678.$$

Por meio deste valor da excentricidade da orbita terrestre, podemos determinar perfectamente as distancias maxima e minima do sol á terra, em funcção da distancia media ou semi-eixo maior.

Com effeito, designando por  $a$  o semi-grande eixo da orbita terrestre, e por  $c$  a semi-distancia focal, teremos:

$$(2) \quad a + c = a \left(1 + \frac{c}{a}\right) = a(1 + e).$$

Para distancia minima, teremos:

$$(3) \quad a - c = a \left(1 - \frac{c}{a}\right) = a(1 - e).$$

Assim, substituindo em (2) e (3),  $a$  e  $e$  pelos seus valores, já conhecidos, teriamos as distancias maxima e minima do sol á terra.

## 12.ª LICÇÃO

### Desigualdade dos dias e das noites. — Estações

**131.** Chama-se dia o tempo durante o qual o sol permanece acima do horisonte, e noite o tempo durante o qual elle fica abaixo do mesmo horisonte.

O arco de dia é a parte do paralelo que o sol parece descrever acima do horisonte; o arco de noite é a parte que o sol parece descrever abaixo do mesmo horisonte.

O movimento do sol, combinado com o seu movimento annual, parece fazer descrever a este astro uma curva continua, semelhante a uma helice.

Esta helice está comprehendida entre os dois tropicos, isto é, em uma zona de duas vezes  $23^\circ 27' 30''$ , ou  $2 \times 23^\circ 27' 30'' = 46^\circ 55'$ .

Póde-se, sem grande erro, considerar cada espira da helice como se confundindo com um paralelo.

Nos equinocios, o sol parece descrever o equador, e nos solsticios, um dos tropicos. A successão dos dias e das

noites está sujeita a desigualdades que variam com as estações e com os logares.

Essas desigualdades provêm da inclinação da ecliptica sobre o plano do equador.

**132.** Apreciemos, succintamente, essas desigualdades dos dias e das noites nas differentes estações, e bem assim em determinadas latitudes.

Na fig. 38,  $PP'$ , representa a linha dos pólos,  $EE'$  o traço do equador sobre o meridiano da figura,  $CS'$  o da ecliptica,  $CS$  e  $C'S'$ , os traços dos tropicos.

Supponhamos, primeiramente, que o logar está situado no equador, ou tem para latitude  $0^\circ$ . Seja  $E$ , este logar; seu horisonte,  $PP'$ , cõrta em duas partes iguaes todos os parallellos descriptos pelo sol. Assim, durante todo anno, o dia é igual á noite para todos os pontos do equador.

**133.** Formulemos uma segunda hypothese.

Supponhamos que a latitude do logar seja menor que  $66^\circ 33'$ .

Seja  $L$ , este logar,  $HH'$ , seu horisonte, fig. 39.

Nos equinocios, quando o sol descreve o equador, o arco de dia, projectado em  $TE'$ , é igual ao arco de noite, projectado em  $TE$ . O dia é igual á noite.

A partir do equinocio da primavera (no hemispherio norte), os dias augmentam até ao solsticio do verão, época em que o sol parece descrever, acima do horisonte, o arco de dia que é projectado em  $AS$ .

Este arco é maior do que o arco de noite, projectado em  $AC$ .

Por conseguinte, para um mesmo logar cuja latitude é inferior a  $66^\circ 33'$ , os dias são mais longos que as noites depois do equinocio da primavera até ao equinocio do outomno, e mais curtos durante o resto do anno.

**134.** Formulemos, agora, a hypothese da latitude do observador ser igual a  $66^\circ 33'$ . Seja  $L'$ , fig. 39, um logar cuja latitude é de  $66^\circ 33'$ ; seu horisonte se confunde com a ecliptica,  $CS'$

No solstício do estio, o sol, parecendo descrever o paralelo  $CS$ , não desce abaixo do horizonte; o sol fica visível, nesse dia, durante 48 horas consecutivas.

O dia diminui progressivamente até ao solstício do inverno; nessa época, há uma noite de 48 horas consecutivas.

**135.** Supponhamos agora que a latitude é superior a  $66^{\circ} 33'$ . Seja  $L$ , fig. 40, esse lugar; seu horizonte,  $h h_1$ , não encontra todos os paralelos descriptos pelo sol.

No equinócio da primavera, o dia é igual á noite; augmenta depois até que o sol, tendo descripto  $h h_1$ , fique acima do horizonte; começa então um dia que não acabará senão quando o sol voiltar a  $h h_1$ , depois de ter passado pelo solstício do verão. A partir deste momento, as noites, primeiro muito curtas, augmentam rapidamente. Quando o sol tiver descripto o paralelo  $h' h'_1$ , a noite começa e dura tanto como o dia longo.

**136.** Finalmente, formulemos a ultima hypothese, quando a latitude do lugar é de  $90^{\circ}$ , ou o observador está no pólo.

Nos pólos, o horizonte se confundindo com o equador, não há senão um dia de seis mezes e uma noite de igual periodo.

O sol parece descrever cada dia um circulo paralelo ao horizonte, como é facil comprehender.

**137.** Da desigualdade dos dias e das noites, cuja apreciação acabamos de fazer, tiramos as seguintes consequências:

1.<sup>a</sup> Para dois paralelos correspondentes á mesma latitude, tomado, um no hemispherio austral, e outro no hemispherio boreal, os phenomenos relativos ao comprimento do dia e da noite são inversos.

Se, para um ponto do primeiro, a duração do dia excede, em uma certa época, a da noite, para um segundo ponto, excederá o dia da mesma differença.

Quando, para o primeiro, houver dia permanente, haverá noite perpetua para o segundo. Não é senão nos

equinócios que os phenomenos são identicos para os dois parallelos.

2.<sup>a</sup> Desde o meiado de Janeiro até meiado de Fevereiro, o augmento do dia é muito sensivel á tarde, e pouco apreciavel de manhã; isto se explica pela differença entre o tempo médio e o tempo verdadeiro. Nessa época a equação do tempo é de quasi 14 minutos, de modo que o tempo medio indicado por um relógio, adeanta-se sobre o tempo verdadeiro indicado pelo sol.

Este parece nascer em atrazo, e pela mesma razão terá um occaso tambem em atrazo.

3.<sup>a</sup> Os habitantes dos paizes situados entre os tropicos veem o sol no zenith em duas épocas differentes do anno.

Ao meio dia sua sombra se projecta ora ao norte, ora ao sul.

Na latitude de  $23^{\circ} 27' 30''$ , não se vê o sol no zenith senão no solsticio do verão, no hemispherio boreal, e no solsticio do inverno, no hemispherio austral.

**138.** DETERMINAÇÃO DAS ESTAÇÕES.— Os pontos equinociaes dividem a ecliptica em quatro partes, e por consequente o tempo que o sol gasta a voltar a um mesmo equinocio, o da primavera, por exemplo, póde ser dividido em quatro partes desiguaes, porque a velocidade do sol sobre a ecliptica não é uniforme.

Esses quatro periodos tomam a denominação de estações, e individualmente os nomes de primavera, verão, outomno e inverno. As differentes situações do sol na abobada celeste têm uma influencia consideravel sobre os reinos da natureza em cada hemispherio.

A primavera começa no momento em que a terra passa no equinocio da primavera, denominado ponto vernal, ou conforme o movimento apparente, no momento em que o sol atravessa o equador e passa do hemispherio austral para o boreal. Esta passagem tem logar de 21 a 22 de Março.

O verão começa no solstício que toma este nome, isto é, de 20 a 21 de Junho.

O outono principia no segundo equinócio, quando o sol parece de novo atravessar o equador, descendo do hemisphero boreal para o austral.

Este equinócio tem lugar de 22 a 23 de Setembro. Emfim, o inverno começa no segundo solstício, de 20 a 21 de Dezembro.

Essa succinta exposição que fizemos das estações foi para o hemisphero norte; para os habitantes do hemisphero sul as cousas se passam inversamente: quando é primavera no hemisphero norte, é outono para o hemisphero sul, quando é inverno no boreal, é verão no austral. As estações não tem igual duração, e veremos que a primavera e o verão duram mais que o inverno e o outono.

**139.** A desigualdade das estações é uma consequencia do principio das areas e da posição actual da linha dos solstícios em relação á linha dos apsidés (eixo maior da orbita solar).

Se a linha dos solstícios,  $mn$ , fig. 41, se confundisse com o grande eixo,  $CC'$ , da ellipse, a primavera seria igual ao verão e o outono igual ao inverno, tendo as duas primeiras estações maior duração que as duas ultimas; porém, como essas duas linhas não se confundem, pelo contrario, fazem um angulo de cerca de  $10^\circ$ , a linha dos solstícios e a dos equinócios dividem a ellipse em quatro arcos desiguaes. A desigualdade das estações provem ainda da velocidade maxima do sol que tem lugar durante o inverno, e a minima durante o verão.

**140.** Duração das estações.

O inverno dura 89 dias e uma hora approximadamente.  
 O outono dura 89 dias e 18 horas approximadamente.  
 A primavera dura 92 dias e 21 horas approximadamente.  
 O verão dura 93 dias e 14 horas approximadamente.

Vemos assim que: 1.º as estações teem duração desiguales; 2.ª o verão é a estação mais longa e o inverno a mais curta; 3.º a primavera e o verão, reunidos, duram quasi 8 dias mais do que o outomno e o inverno.

Observações diversas levaram os astrônomos ao conhecimento de que o equinocio da primavera e o perigêo se approximam lentamente.

Quando esses dois pontos se confundirem, a primavera será igual ao inverno e o outomno ao verão.

**141.** Determinação da época das diferentes estações.

Cada uma das estações de que acabamos de fallar, começa no momento onde o sol passa no ponto equinocial ou do solsticial que toma o nome da estação que principia. E' facil com o auxilio de uma ephemeride qualquer, as de Paris, por exemplo, determinar as épocas do anno em que as estações começam.

---

## 13.ª LICÇÃO

### **Dia, anno sidereal e solar. — Precessão dos equinocios**

**142.** A successão do dia e da noite e bem assim a das estações, exerceram uma tão grande influencia na vida do homem, que os movimentos do sol, que regulam sua duração, serviram sempre para medida de tempo.

Assim, a rotação da terra em torno da linha dos pólos e o movimento apparente do sol verdadeiro sobre a ecliptica, offerecêram a medida natural do tempo.

Da duração de uma rotação completa da terra resultou a unidade de tempo chamada dia; da duração de cada revolução do sol em relação a um ponto da ecliptica, resulta uma outra unidade chamada anno.

Distinguem-se os dias sidereal, solar verdadeiro e solar médio.

Chama-se dia sideral ao tempo decorrido entre duas passagens superiores consecutivas de uma estrella no mesmo meridiano. O dia sideral sendo invariavel, os astronautas o tomaram para unidade de tempo, mas, apresenta o inconveniente de começar, successivamente, a todas as horas do dia solar, accrescendo ainda a circumstancia de terem logar as passagens successivas de uma estrella no meridiano, sem que tal phenomeno exerça sobre nós nenhuma influencia. Não pôde, por conseguinte, servir o dia sideral de unidade de tempo nos usos da vida.

Chama-se dia solar verdadeiro ao tempo que decorre entre duas passagens consecutivas do sol verdadeiro pelo mesmo meridiano.

O dia solar verdadeiro é um pouco maior que o dia sideral.

Com effeito, consideremos uma estrella  $A$ , passando so meridiano do logar ao mesmo tempo que o sol,  $S$ , fig. 42.

No dia seguinte, quando a estrella tornar a passar pelo meridiano, o sol terá percorrido, em virtude de seu proprio movimento, o arco da ecliptica,  $S S'$ .

Assim, o sol não estando mais em  $S$ , porém, em  $S'$ , seu circulo de declinação será,  $P B'$ , e terá effectuado um movimento em ascensão recta igual a  $B B'$ .

O dia solar excederá, pois, ao dia sideral do tempo que fôr preciso á esphera celeste girar de  $B B'$ .

O intervallo que decorre para o sol voltar ao meridiano, compôr-se-á, pois, de uma rotação completa do nosso globo, augmentada do tempo que o meridiano gastará para percorrer o arco  $B B'$ .

Podemos, por conseguinte, escrever a seguinte relação: um dia solar verdadeiro é igual a um dia sideral, mais o tempo que o meridiano empregará a percorrer em ascensão recta do sol um certo arco  $\alpha$ , ou:

$$24^{\text{hs}} = 24^{\text{hs}} + \frac{\alpha}{360^\circ} \times 24^{\text{hs}}.$$

Por outro lado, o arco  $S S'$ , que representa o deslocamento angular do sol durante um dia sideral, varia de um dia para outro, em virtude da lei das areas.

Os dias solares verdadeiros não pódem, pois, ser iguaes entre si. Elles excedem o dia sideral de quantidades desiguaes segundo as differentes épocas do anno; o dia solar verdadeiro não pôde, pois, servir para unidade de tempo.

**143.** Para obviar os inconvenientes que apresentavam o emprego do dia sideral e do dia solar verdadeiro, se imaginou o dia solar médio. Para determinação da duração desse dia, suppôz-se um sol médio, percorrendo o equador com uma velocidade uniforme, ao mesmo tempo em que um terceiro sol ficticio percorre a ecliptica.

O sol médio fica sujeito ás seguintes condições: 1.<sup>a</sup> a descrever o equador com um movimento uniforme; 2.<sup>a</sup> a de se achar ao mesmo tempo que o sol ficticio nos equino-cios; 3.<sup>a</sup> a descrever o equador ao mesmo tempo que o sol ficticio descrever a ecliptica.

Podemos, então, definir dia solar médio como sendo o tempo decorrido entre duas passagens consecutivas do sol médio pelo mesmo meridiano.

O sol médio está, ora adeantado, ora atrazado do sol verdadeiro; essa differença que não excede de 16 minutos, chama-se equação do tempo, e representa sempre o excesso, para mais ou para menos, entre a ascensão recta do sol verdadeiro e a ascensão recta do sol médio.

**144.** Duração do dia solar médio.

O tempo que decorre entre duas passagens consecutivas do sol no perigêo, é igual a 366 dias sideraes e mais a fracção de dia,  $0^d,242217$ .

Pela definição de sol médio, é tambem o tempo que decorre entre duas passagens consecutivas deste no ponto vernal. Ora, durante esse tempo, o ponto vernal retrogradou de um arco igual a  $50',23$ ; por consequinte, o sol médio não descreveu, inteiramente, o equador, por quanto resta ainda a percorrer esse pequeno arco de  $50'',23$ , para voltar ao seu ponto de partida.

Resulta d'ahi que durante esses 366 dias sideraes e mais a fracção de dia,  $0^{\text{d}},242217$ , o sol médio percorreu um arco de  $360^{\circ}$  menos  $50'',23$ ; por conseguinte, em um dia sideral elle se deslocará, sobre o equador, de um arco  $\alpha$ , dado pela expressão:

$$(1) \quad \alpha = \frac{360^{\circ} - 50'',23}{366,242217}$$

Effectuando as operações em (1), encontra-se um arco de quasi um gráo, que reduzido a tempo dará:  $3^{\text{m}} 56^{\text{s}},56$ , que é justamente a differença que existe entre o tempo solar medio e o tempo sideral.

145. Consideremos, agora, o sol médio em seu movimento diurno.

Seja uma estrella  $A$ , fig. 43, passando pelo meridiano,  $PAP'$ , ao mesmo tempo que o sol médio. O movimento da esphera celeste arrasta a estrella e o sol no sentido,  $SE'$ ; quando a estrella voltar a seu ponto de partida, isto é, em  $A$ , terá decorrido um dia sideral; porém, durante essa revolução, o sol ter-se-á deslocado no sentido directo do arco  $SS' = \alpha$ , já calculado, e se acha então em  $S'$ . Resta-lhe, pois, ainda a percorrer esse arco  $\alpha$ , para voltar a seu ponto de partida, isto é, para medir um dia solar médio.

Por conseguinte, se para percorrer um arco de  $360^{\circ} - \alpha$ , o sol médio gastou um dia sideral, para percorrer  $360^{\circ}$  será preciso, pois, um tempo representado pela expressão:

$$(2) \quad \frac{1 \text{ dia sid.} \times 360^{\circ}}{360^{\circ} - \alpha}$$

Substituindo em (2),  $\alpha$  pelo seu valor, já determinado, n. 144, e effectuando as operações, encontra-se:

$$1 \text{ dia sideral } 3^{\text{m}} 56^{\text{s}},555,$$

que é o valor do dia solar médio.

Este dia é uma média dos dias solares verdadeiros de um anno inteiro.

**146.** Os astrónomos fazem começar o dia ao meio dia médio e contam as horas de 0 a 24. Nos usos civis, o dia começa á meia noite média, e se divide em dois periodos de 12 horas cada um.

Com a nova reforma adoptada entre nós desde 1<sup>o</sup> de Janeiro de 1914, os dois periodos de 12 horas desapareceram, e as horas passaram a ser contadas de 0 a 24, a partir da meia noite, isto é, quando o sol passa pelo meridiano inferior.

E' meio dia verdadeiro quando o sol verdadeiro passa pelo meridiano; é meio dia médio, como já vimos, quando o sol médio tambem passa pelo meridiano.

Nós não podemos observar, realmente, senão o meio dia verdadeiro, porquanto, o sol médio é um astro imaginario.

Para termos o meio dia médio recorreremos á equação do tempo.

Já vimos o que vem a ser equação do tempo, n. 143. Esta é negativa se o sol verdadeiro passa no meridiano antes do sol médio; é positiva no caso contrario.

**147.** Chama-se anno, em geral, ao tempo decorrido entre duas passagens consecutivas da terra por um certo ponto determinado de sua orbita. Este ponto póde ser movel como os equinocios, o perihelio, etc., e póde ser fixo, como uma estrella sem movimento proprio apreciavel.

Em relação ao equinocio da primavera ou ponto vernal, o anno toma a denominação de anno tropico, de modo que podemos definir anno tropico como sendo o intervallo de tempo comprehendido entre duas passagens consecutivas da terra pelo equinocio da primavera.

Esse anno corresponde ao conjuncto das quatro estações e contem:

$$365^d 5^h 48^m 47^s,5.$$

Tomando-se uma estrella fixa para origem do movimento, o anno recebe a denominação ou qualificativo de sideral e contem:

$$365^d \ 6^h \ 9^m \ 10^s,1.$$

Como vemos, é maior que o anno tropico de  $20^m \ 22^s,6$ ; isto é devido ao phenomeno da precessão dos equinocios.

O ponto vernal retrograda de  $20'',23$ , por anno, e o sol, em seu movimento apparente, para voltar ao meridiano da estrella fixa tomada para origem do movimento, tem ainda de percorrer o arco de  $50'',23$ , gastando neste percurso, exactamente,  $20^m \ 22^s,6$ .

Em relação ao perihelio, o anno chama-se anomalistico e constitue um periodo mais longo que o anno tropico e mesmo que o sideral, porque o perihelio se desloca, annualmente, e no sentido directo, cerca de  $11'',66$ .

O valôr do anno anomalistico é de:

$$365^d \ 6^h \ 13^m \ 50^s.$$

O anno civil se compõe de um numero exacto de dias. Ora tem 365, ora 366, afim de conservar a concordancia com a marcha do sol.

**148. PRECESSÃO DOS EQUINOCIOS.** — A precessão dos equinocios é um deslocamento que soffre o ponto vernal no sentido retrogado. Para determinarlo basta que se conheça a ascensão recta de uma mesma estrella em duas épocas bem afastadas. Dividindo a differença dessas duas medidas pelo numero de annos que separa as duas observações, se encontra  $50'',23$ , para differença annual.

Foi Hipparco o primeiro astronomo, e o maior da antiguidade, quem notou esse phenomeno, comparando as longitudes de estrellas por elle determinadas com as que resultaram de observações feitas, um seculo e meio antes, por Aristillo e Timocharis.

Notou então uma differença de dois grãos, differença esta que explicou, mais tarde, ser devida ao retrocesso do ponto vernal.

Para explicação desse deslocamento, admite-se que a esphera celeste fica immovel e que a linha dos pólos,  $P P'$ , fig. 44, gira em sentido retrogrado em torno do eixo  $Q Q'$ , sem cessar de ser perpendicular ao plano do equador que ella arrasta em seu movimento.

Nesta hypothese, a linha dos equinocios não cessa de ser perpendicular ás duas rectas,  $T P$  e  $T Q$ , e por conseguinte a seu plano; porém, como este plano gira em torno de  $T Q$ , a linha dos equinocios gira no mesmo sentido, assim como os equinocios e os solsticios.

#### 149. Efeitos da precessão dos equinocios.

1.º A precessão dos equinocios adeanta o instante dos equinocios, por quanto, quando o sol chega ao equinocio da primavera, lhe falta ainda a percorrer um arco de  $50'',23$ , para fazer uma volta inteira da ecliptica. E' d'ahi que vem o nome de precessão dos equinocios.

2.º A precessão dos equinocios augmenta annualmente a longitude das estrellas de  $50'',23$ , por quanto, é o ponto vernal o que se toma para origem das longitudes, e foi este augmento das longitudes que fez com que Hipparco descobrisse esse notavel phenomeno.

Hipparco fixou, no anno 128 antes da éra christã, a longitude da espiga da Virgem em  $174^\circ$ ; em 1802 achou-se para longitude da mesma estrella,  $201^\circ$ .

Por conseguinte a retrogradação do ponto vernal foi de  $27^\circ$  em 1930 annos, logo, em cada anno, foi de,

$$\frac{27^\circ}{1930} = \frac{97200''}{1930} = 50'',3 \text{ approximadamente.}$$

3.º A precessão desloca o pólo fazendo com que este descreva annualmente um arco de  $50'',23$  sobre uma circumferencia,  $P P_1$ , fig. 44, situada a  $23^\circ 27' 30''$ ,

do ponto  $Q$ ; a duração de uma revolução inteira é de  $\frac{360^\circ}{50'',23}$ , ou cerca de 25816 annos.

O pólo que se acha actualmente a  $1^\circ 15'$  da estrella polar, se approximar $\acute{a}$  ainda at $\acute{e}$  2605, aonde apenas distar $\acute{a}$  de  $26'$  desta estrella; depois afastar-se $\acute{a}$ , e, d'aqui a um pouco mais de 3500 annos, ser $\acute{a}$  Wega, da Lyra, a nossa estrella polar. Esta estrella est $\acute{a}$  hoje a  $51^\circ$ , pouco mais ou menos, do pólo, e d'aqui a 3300 annos, n $\acute{a}$ o distar $\acute{a}$  do mesmo pólo sen $\acute{a}$ o cerca de  $5^\circ$ .

Ha 4000 annos, na  $\acute{e}$ poca da construc $\tilde{c}$ o da grande pyramide do Egypto, era a estrella  $\alpha$  do Drag $\tilde{a}$ o, que servia de estrella polar.

4. $^\circ$  H $\acute{a}$  2000 annos, no tempo de Hipparco, o sol, no equinocio da primavera, estava na constella $\tilde{c}$ o de Aries; hoje, por causa da precess $\tilde{a}$ o, se acha na constella $\tilde{c}$ o de Pisces.

Com effeito, desde aquella  $\acute{e}$ poca, o ponto vernal retrogradou de  $50'',2 \times 20000$ , ou  $27^\circ 53' 20''$ .

Os outros signaes do zodiaco retrogradar $\tilde{a}$ o de um mesmo arco.

Em pouco menos de 26000 annos, o sol ter $\acute{a}$  occupado, em uma mesma  $\acute{e}$ poca do anno, todas as constella $\tilde{c}$ o es do zodiaco, produzindo-se, deste modo, um desacc $\tilde{o}$ rd $\tilde{o}$  entre os signos do zodiaco e as constella $\tilde{c}$ o es zodiacaes.

5. $^\circ$  J $\acute{a}$  vimos, n. $^\circ$  147, o que distingue o anno sideral do anno tropico.

Se o ponto vernal, fosse fixo, n $\acute{a}$ o haveria distinc $\tilde{c}$ o es entre anno sideral e anno tropico. Por $\acute{e}$ m, como o ponto vernal retrograda cada anno de  $50'',23$ , o anno sideral torna-se um pouco maior que o anno tropico, porque o anno sideral  $\acute{e}$  o tempo que o sol gasta em percorrer  $360^\circ$  da  $\acute{e}$ cliptica, em quanto o anno tropico  $\acute{e}$  o tempo que o sol gasta em percorrer  $360^\circ - 50'',23$ .

6. $^\circ$  E' ainda devido  $\acute{a}$  precess $\tilde{a}$ o dos equinocios que a dura $\tilde{c}$ o es das esta $\tilde{c}$ o es experimenta varia $\tilde{c}$ o es. Quanto  $\acute{a}$  causa desse notavel phenomeno,  $\acute{e}$  devido, de acc $\tilde{o}$ rd $\tilde{o}$

com os astrónomos, á attracção do sol sobre o entumescimento equatorial. O equador é, realmente, mais attrahido pelo sol do que as outras regiões do globo, e disso resulta uma pequena inclinação do seu plano, que desloca naturalmente o ponto de intersecção com o da ecliptica, produzindo sua retrogradação.

## 14.ª LICÇÃO

### Lua, caracteres geraes da lua, movimento e orbita da Lua

**150.** Depois do sol, o que o céo nos offerece de mais interessante é a lua, que é o astro mais proximo da terra, acompanhando sempre, fielmente, o nosso planeta.

A lua nos apparece sob a forma de um disco circular, (lua cheia); porém, observada com uma bôa luneta, ella se nos mostra sensivelmente espherica.

**151.** CARACTERES GERAES DA LUA. — Observando-se com um telescopio a superficie lunar, notam-se altas montanhas, sobretudo nas circumvisinhanças do circulo de illuminação, aonde os raios do sol chegam obliquamente.

Nessas regiões, as montanhas projectam grandes sombras, e notam-se vertices esclarecidos que emergem de planicies ainda obscuras.

Certas partes da lua não encerram montanhas e reflectem muito menos a luz que as outras; são grandes planicies impropriamente chamadas mares.

As montanhas da lua teem a forma das cratéras dos nossos vulcões, e não são dispostas em cadeias como as da terra. Já se conseguiu medir a altura dessas montanhas, e, relativamente, são mais elevadas que as da terra; algumas attingem á alturas de mais de 7 mil metros.

A grande altura dessas montanhas pôde ser considerada como uma consequencia da gravitação universal.

Com effeito, a gravidade na lua é cerca de seis vezes menor que na terra.

Compreende-se perfeitamente que as massas lunares levantadas pelos agentes interiores, tenham podido, deante de uma tão fraca gravidade attingir facilmente tão grandes alturas.

Comparada com o sol, relativamente aos aspectos que os dois astros nos offerecem, emquanto o sol se nos apresenta em todos os tempos como um disco perfeitamente circular, a lua não se nos apresenta sensivelmente redonda senão durante algumas horas, e no espaço de mais de 29 dias, que ella emprega a fazer a volta do céo.

Durante esses mais de 29 dias ella nos offerece todas as differenças possiveis entre um disco perfeitamente claro, ou quasi inteiramente obscuro.

Essas diversas apparencias, denominadas phases, fornecêram ao homem um meio facil de dividir o tempo em periodos, que tomaram a denominação de mezes.

As quatro fazes mais notaveis, que se succedem com intervallos de 7 a 8 dias, nos deram a idéa de semana ou periodo de 7 dias.

A lua é desprovida de atmosphaera, o que é, aliás, muito facil provar.

Se a lua estivesse envolvida, como a terra, em um envolucro de ar, apresentaria certamente, os phenomenos seguintes: 1º seu disco nos seria, provavelmente, occulto algumas vezes pelas nuvens; 2º a parte obscura, em logar de ser separada da parte esclarecida por uma linha tão nitida, apresentaria uma transição sensivelmente graduada pelo effeito do crepusculo; 3º uma estrella não desappareceria bruscamente no momento da occultação, isto é, em sua passagem atrás do disco da lua, mas sua luz se enfraqueceria gradualmente. Sua reaparição se effectuaria de um modo analogo; 4º a refração diminuiria a duração da occultação das estrellas; o que não tem logar porque a duração observada é igual á duração calculada.

**152.** CONSEQUENCIAS. — A ausencia d'agua á superficie da lua é uma consequencia da ausencia da atmosphera; porque, se houvesse agua na lua, este liquido, não supportando nenhuma pressão, reduzir-se-ia em vapor e formaria uma atmosphera. A ausencia de atmosphera na lua tem ainda por effeito supprimir toda luz diffusa á superficie do nosso satellite. A obscuridade a mais completa reina pois em todas as partes que não são esclarecidas directamente; a transição do dia para noite e do calor ao frio faz-se rapidamente.

O céo lunar parece inteiramente negro; o sol allí se destaca sob o aspecto de um disco deslumbrante, e as estrellas não cessam de ser visiveis.

**153.** Antes de tratarmos do movimento e orbita lunar, vejamos como determinar a distancia da lua á terra, sua forma, dimensões, façamos, em uma palavra, o estudo geometrico da lua.

Para determinarmos a distancia da lua á terra, precisamos conhecer a sua parallaxe, como já vimos quando tratámos do estudo do sol.

Chama-se parallaxe da lua o angulo sob o qual o raio da terra seria visto do centro da lua.

Supponhamos, fig. 45,  $T$ , a terra,  $A$  e  $A'$ , a lua em duas posições, e  $BT$ , o raio da terra. O angulo  $BAT$ , como mostra a figura, é a parallaxe horisontal da lua, e o angulo,  $BA'T$ , a parallaxe de altura.

O valor da parallaxe da lua foi determinado pela primeira vez em 1756, por Lacaille e Lalande. O primeiro observava no cabo da Bôa Esperança, e o segundo em Berlim. Em um mesmo logar a parallaxe da lua varia com a distancia desta á terra, e para diversos logares varia com o raio terrestre; ella é maxima no equador e minima nos pólos.

Dá-se, geralmente, para valor médio da parallaxe da lua,  $57'$ ; para valor maximo,  $67' 27''$ , e para valor minimo,  $53', 53''$ .

154. Conhecida a parallaxe horisontal da lua, calcula-se facilmente a sua distancia á terra. Com effeito, designando por  $P$ , o comprimento do arco que méde a parallaxe, por  $r$ , o raio da terra e por  $d$ , a distancia da lua á terra, a fig. 45, nos dá:

$$r = d \text{ sen } P, \text{ ou } r = d P,$$

donde

$$(1) \quad d = \frac{r}{P}$$

Nesta formula,  $P$  é o comprimento do arco, como já vimos acima, que méde a parallaxe, isto é, o comprimento do arco de  $57'$  ou  $3420''$ . Por conseguinte, para acharmos o comprimento desse arco, diremos, o comprimento de meia circumferencia, ou  $\pi$ , está para o comprimento do arco  $P$ , assim como  $180^\circ$  ou  $648000''$  está para  $3420''$ , donde a proporção:

$$\pi : P :: 648000 : 3420.$$

Tirando o valor de  $P$ , vem,

$$P = \frac{\pi \times 3420}{648000}$$

Substituindo em (1),  $P$ , pelo seu valor, vem:

$$d = \frac{64800 r}{\pi \times 342} = 60,311 r.$$

Assim, a distancia média da lua á terra é 60 vezes o raio da terra.

Considerando que o valôr do raio equatorial da terra é de 6378253 metros, teremos para distancia média da lua á terra, cerca de,

384000 kilometros

Esta distancia varia entre 57 e 64 raios terrestres.

**155.** Operando como fizemos para o sol, encontra-se que o raio da lua é igual á 0,273 do raio terrestre ou  $\frac{3}{11}r$ , que dá cerca de 1741 kilometros para o raio da lua.

De accôrdo com este raio, encontra-se para superficie lunar  $\frac{1}{14}$  da superficie terrestre, e para volume da lua, cerca de  $\frac{1}{49}$  do volume da terra.

**156.** MOVIMENTO E ORBITA DA LUA. — O movimento da lua sobre a esphera celeste se determina como o do sol, medindo, em diversos intervallos, suas coordenadas equatoriaes, — a ascensão recta e a declinação. Acha-se, assim, que a lua descreve, pouco mais ou menos, um grande circulo do occidente para o oriente.

O movimento da lua estuda-se mais facilmente, referindo-o ao plano da ecliptica e ao seu eixo, do que ao equador. E' por esta razão que as ascensões rectas e as declinações da lua se convertem ordinariamente em longitudes e latitudes.

Ora, medindo em muitos dias consecutivos a ascensão recta e a declinação da lua na sua passagem pelo meridiano, e convertendo estas coordenadas em coordenadas eclipticas, acha-se que:

1<sup>a</sup> a longitude em cada dia, vae augmentando pouco mais ou menos de 13°, mas não em razão constante

2<sup>a</sup> a latitude augmenta a partir de 0°, até ao valor maximo de 5° 8' 48'', e depois diminue, passando pelos mesmos valôres.

**157.** Os pontos de nascimento e occaso da lua oscillam entre uma posição média identica a do sol; unicamente, esse movimento oscillatorio em logar de se effectuar de seis em seis mezes, se effectua de quatorze em quatorze dias, por consequente, quasi 13 vezes mais veloz do que o movimento oscillatorio dos pontos de nascimento e occaso do sol.

158. Em relação ás estrellas, a lua possui um movimento proprio que ella executa em cerca de 27 dias e  $\frac{1}{3}$ , percorrendo as constellações zodiacaes.

Em relação ao sol, nota-se que quando ella está a oéste deste astro, parece approximar-se d'elle, e afastar-se quando está a léste.

Ella effectua esse movimento, em relação ao sol, em 29 dias e meio.

159. A orbita da lua é uma ellipse de que a terra occupa um dos fócios.

O grande eixo desta ellipse se chama linha dos apsidés. A extremidade mais proxima da terra chama-se perigêo, e a outra, mais afastada, apogêo.

A ellipse que a lua descreve em torno da terra se approxima menos do circulo do que a descripta pela terra em torno do sol. A excentricidade da ellipse terrestre, que já vimos não ser constante, é de 0,017.

Podemos determinar a excentricidade da ellipse lunar, do mesmo modo porque procedemos para determinar a da terra, valendo-nos do maior e menor diâmetros apparentes da lua.

Deduz-se da observação, que o diâmetro apparente da lua varia desde 29'30'' até cerca de 33'30''.

29'30'' corresponde á distancia lunar no apogêo, e 33'30'', no perigêo.

A formula da excentricidade correspondente ao caso, é:

$$(1) \quad e = \frac{\delta - \delta'}{\delta + \delta'}$$

○ Nesta formula,  $e$ , é a excentricidade a determinar;  $\delta$  e  $\delta'$ , representam o maior e o menor diâmetro, cujos valôres demos acima.

Substituindo em (1),  $\delta$  e  $\delta'$ , por 33'30'' e 29'30'', vem: —

$$e = \frac{33'30'' - 29'30''}{33'30'' + 29'30''} = \frac{4}{63} = 0,0635$$

Methodos mais rigorosos dêram para valor da excentricidade,

$$e = 0,0568,$$

sensivelmente maior do que a da ellipse descripta pela terra em torno do sol.

**160.** A intersecção do plano da orbita da lua com o da eliptica é conhecida pela denominação de linha dos nós.

O nó ascendente é o ponto onde a lua encontra a ecliptica passando do hemispherio austral para o boreal.

O nó descendente é o em que a lua encontra a ecliptica passando do hemispherio boreal para o austral. Esses pontos são analogos aos pontos equinociaes e se determinam do mesmo modo; são submettidos a uma retrogradação muito mais rapida, porquanto, fazem uma revolução inteira em 18 annos e  $\frac{3}{6}$ .

A inclinação da orbita da lua sobre a ecliptica é de quasi,  $5^{\circ}9'$ .

**161.** O nosso satellite gasta, proxivamente, um mez em effectuar a sua grande viagem em volta da terra.

Movendo-se aparentemente no mesmo sentido dos outros corpos celestes, parece todavia caminhar menos depressa do que elles. Basta observar, á mesma hora, tres dias successivamente, a posição da lua no céu, para conhecer-se essa irregularidade.

Se, por exemplo, estiver proxima de uma estrella, no 1<sup>o</sup> dia terá recuado cerca de  $13^{\circ}$  para léste em relação a esta estrella; no 2<sup>a</sup> dia, de  $26^{\circ}$  ou  $2 \times 13^{\circ}$ ; no 3<sup>o</sup> dia, de  $39^{\circ}$  ou  $3 \times 13^{\circ}$ , etc., de modo que no fim de 27 dias ter-se-á afastado de  $360^{\circ}$ , e terá voltado ao mesmo ponto pelo lado opposto. E' preciso na contagem levar em consideração as fracções de dia, no movimento de revolução e de gráo no deslocamento diario apparente.

A orbita da lua méde approximadamente 24000000 de kilometros, e gasta o nosso satellite em percorrê-la, 27 dias, 7 horas, 43 minutos e 11 segundos exactamente.

**162. ROTAÇÃO LUNAR.** — Observam-se á superficie da lua manchas que differem das do sol pelo sua permanencia, sua forma invariavel e fixidez de sua posição. Essa constancia no aspecto que nos apresenta a lua, mostra que ella volta para a terra sempre o mesmo hemispherio, donde se conclue que ella é animada de um movimento de rotação em torno de um de seus diametros.

Como o disco lunar conserva sempre o mesmo aspecto, é logico admittir que a duração da rotação da lua é igual á de sua revolução em torno da terra. A velocidade desse movimento é relativamente fraca; ella é, com effeito, cerca de cem vezes menor que a do nosso planeta.

Um ponto do equador lunar não percorre em um segundo senão cerca de 4 metros e meio, como é facil determinar, dividindo o comprimento do equador lunar, pelo tempo, previamente reduzido a segundos, que ella gasta em effectuar uma rotação completa.

---

## 15.ª LICÇÃO

### Phases da lua, sua influencia sobre as marés

**163.** Vimos, na licção anterior, que a lua não se apresentava sempre, como o sol, sob a forma de um disco luminoso, mas sob a forma de um crescente variando desde um delgado filête luminoso até ao circulo inteiro. Esses differentes aspectos sob os quaes a lua se nos apresenta, tomam o nome de phases. Quando a lua e o sol estão em conjuncção, os dois astros teem a mesma longitude; estão situados do mesmo lado da terra.

Diz-se que a lua está em opposição ao sol quando as longitudes dos dois astros differem de  $180^\circ$ . Nesse momento a terra se acha entre a lua e o sol. Diz-se que a lua está em quadratura com o sol, quando as duas longitudes differem de  $90^\circ$  e  $270^\circ$ .

A lua não sendo luminosa por si mesma, seu hemispherio voltado para o sol é o unico esclarecido.

A linha que separa o hemispherio esclarecido do que está na sombra, chama-se circulo de illuminação.

Seu contorno apparente é o grande circulo que limita o hemispherio visto da terra.

**164.** Explicação das phases da lua. Consideremos a lua girando em torno da terra, fig. 46, supposta immovel.

O sol estando muito afastado da lua, podemos considerar seus raios parallellos. Quando a lua está em conjuncção com o sol, seu circulo de illuminação se confunde com o contorno apparente, e ella volta para terra o hemispherio que está na sombra.

Torna-se então invisivel para nós; é a lua nova ou neomenia.

Noz dias seguintes, a parte esclarecida da lua apresenta o aspecto de um crescente delgado, cuja largura augmenta cada dia. No 7º dia, a metade de seu disco se torna brilhante; é o quarto crescente. Depois a lua fica em opposição, isto é, a terra fica situada entre ella e o sol, depois de ter passado pelos grãos intermediarios. Na opposição, o circulo de illuminação e o contorno apparente se confundem de novo, porém, agora, é o hemispherio esclarecido o voltado para a terra. E' então a lua cheia.

Continuando a lua seu movimento, a parte esclarecida começa a diminuir, e sete dias depois da lua cheia, chega a phase denominada de quarto minguante. Continuando em seu movimento, o crescente se vae tornando cada vez mais delgado, até que chega ao seu ponto de partida, e uma nova lunação começa.

Podemos considerar, entre duas phases quaesquer, uma outra intermediaria, a que se deu o nome de oitante, como mostra a fig. 46.

Temos, assim, quatro phases principaes e quatro intermediarias, oitantes, em posição equidistantes das syzigias e das quadraturas.

**165.** Na lua nova esta se levanta e se deita ao mesmo tempo que o sol; porém, os movimentos proprios destes dois astros tendo logar em sentido inverso ao movimento diurno, e o deslocamento angular da lua sendo maior que o do sol, resulta d'ahi que, nos dias seguintes, isto é, até á lua cheia, esta se levanta e se deita depois do sol. Seu nascimento será tanto mais retardado, quanto mais se afastar da lua nova. Este atrazo é, na média, de 50 minutos por dia.

O nascimento da lua será tanto mais approximado do sol, quanto mais perto ella estiver da lua nova.

O crescente da lua tem sempre sua convexidade voltada para o sol.

A terra reflecte para o espaço os raios luminosos do sol. Vista da lua, a terra tem tambem suas phases.

Na lua nova, o hemispherio terrestre voltado para este astro está inteiramente illuminado; há então terra cheia para um observador situado na lua; o inverso acontece quando quando a lua é cheia. As phases da terra e da lua são, por conseguinte, pouco mais ou menos complementares.

E' nas circumvizinhanças da lua nova que a terra reflecte uma maior quantidade de luz para seu satellite.

A luz que a terra reflecte para a lua, e que esta nos reenvia, tem a denominação de luz *cendrée* (cinzenta).

Esta luz deve ser provavelmente produzida pela luz solar que, depois de reflectida á superficie da terra, é de novo reflectida á superficie da lua.

O phenomeno da luz *cendrée* foi descoberto pelo celebre pintor e homem de sciencia, Leonardo da Vinci.

**166.** INFLUENCIA DA LUA SOBRE AS MARÉS. — Foi Descartes quem primeiro tentou fundar uma theoria positiva das marés, cuja explicação se tornou inteiramente inadmissivel, por estar ligada a concepções metaphysicas.

Entretanto, é a elle que devemos a observação fundamental da harmonia constante entre a marcha geral desse

phenomeno e o movimento da lua, que muito contribuiu para que Newton formulasse a verdadeira theoria.

Bastava que Newton estivesse convencido de que a causa real desse grande phenomeno devia necessariamente achar-se no céo, para que a theoria da gravitação por elle fundada, desvendasse logo sua explicação.

**167.** Antes de tratarmos da verdadeira explicação do phenomeno das marés, vejamos o que vem a ser maré, fluxo, refluxo, finalmente, examinemos todo cyclo do phenomeno.

**168.** Ao movimento periodico das aguas do mar, em virtude do qual ellas se elevam e descem, no mesmo lugar, acima e abaixo de um nivel médio, dá-se a denominação de maré.

Observa-se que durante um pouco mais de 6 horas, as aguas elevam-se de mais a mais, invadem as costas e refluem as aguas dos rios; esse movimento de ascensão chama-se fluxo ou maré montante.

Quando a altura das aguas attinge a seu maximo, fica estacionaria durante 7 a 8 minutos; diz-se então que ha preamar. As aguas começam em seguida a baixar pouco a pouco, até terem attingido ao nivel inferior, chamado baixa mar. Este ultimo movimento toma o nome de refluxo, jusante ou maré descendente.

O mar recomeça, em seguida, seu movimento de ascensão, e os mesmos phenomenos se repetem indefinidamente.

O fluxo dura, geralmente, um pouco menos que o refluxo; esta differença varia com os portos.

Os preamares consecutivos não chegam á mesma hora do dia; o tempo que os separa é igual, na média, ao que decorre entre duas passagens consecutivas, uma inferior e outra superior da lua no meridiano, isto é, 12 horas e quasi 25 minutos.

Si, por exemplo, um preamar chega ao meio dia, o seguinte chegará á meia noite e 25 minutos, o outro ao meio dia e 50 minutos ou  $2 \times 25^m$ , etc.

Assim, no decorrer de uma lunação, o preamar chega successivamente a todas as horas do dia e da noite.

Quanto mais as aguas se elevam no preamar, mais tambem descem na baixa maré seguinte. Tomando uma média entre uma baixa maré e um preamar, ou um refluxo e um fluxo consecutivos, se obtem um resultado pouco mais ou menos constante para todos os portos. E' a este nivel médio a que de ordinario são referidas as altitudes.

**169.** Explicação do phenomeno das marés. O intervalo de  $12^h 25^m$  que separa duas alturas maxima e minima, é o tempo que decorre entre duas passagens consecutivas, superior e inferior, da lua no meridiano do logar considerado.

Ha, por conseguinte, analogia entre as voltas periodicas das marés e o movimento da lua. Tudo leva pois a crer que a principal causa do phenomeno seja devida á acção do nosso satellite.

Eis, segundo a grande lei da gravitação universal, como se pôde explicar o phenomeno das marés.

Sejam, fig. 47,  $T$  a terra,  $L$  a lua, que para mais simplicidade consideramos situada no plano do equador, e  $AB A' B'$ , o equador da terra supposta espherica.

Representamos por  $ab a' b'$ , o circulo que determina a superficie das aguas, quando se suppõe a lua sem attracção.

Segundo o principio da gravitação universal, a lua exerce sobre todas as moleculas terrestres uma attracção proporcional á sua massa e inversamente proporcional ao quadrado das distancias.

Ora, é evidente que esta acção é muito mais forte sobre as moleculas situadas em  $a$ , do lado da lua, do que sobre o centro da terra. Em virtude dessa acção formar-se-ão sobre a linha  $a' L$ , duas protuberancias aquosas, em  $D$  e  $D'$ . Os pontos  $b$  e  $b'$ , experimentarão, por conseguinte, um movimento de abaixamento em virtude do escôamento das aguas para os pontos,  $A$  e  $A'$ .

Por conseguinte, em  $A$  e  $A'$  ha elevação das aguas e abaixamento em  $B$  e  $B'$ .

Se o movimento de rotação da terra tem lugar no sentido  $a b a' b'$ , a duração desta rotação em relação á lua será de quasi 25 horas. Por conseguinte, 6<sup>h</sup> e 25<sup>m</sup> depois, o meridiano  $B B'$  passará pela lua e haverá então protuberancia aquosa nos pontos,  $B$  e  $B'$ , isto é, preamar, e diminuição das aguas em  $A$  e  $A'$ , isto é, baixa mar; 6<sup>h</sup> e um quarto mais tarde, a lua tornará a passar pelo meridiano  $A A'$ , e haverá novo preamar nos pontos  $A$  e  $A'$ , e assim por deante.

Em resumo, podemos dizer que o phenomeno das marés não é senão uma consequencia da grande lei da gravitação universal, e consiste na desigual gravitação das diversas partes do oceano, pelos astros do nosso mundo, e particularmente pelo sol e pela lua; d'ahi a distincção entre maré lunar e maré solar. Tudo o que dissemos da acção da lua póde applicar-se tambem ao sol; porém, por causa da grande distancia deste astro á terra, os effeitos que elle produz são pouco intensos relativamente aos da lua.

Prova-se em mechanica celeste que a maré solar é pouco mais ou menos inferior de metade da maré lunar.

Chama-se maré composta a resultante da maré lunar e da maré solar; é a maré que observamos.

**170.** Dentre as diversas causas que tendem a modificar o phenomeno das marés, devemos considerar as seguintes:

1.<sup>a</sup> A extensão dos mares, tornando-se o phenomeno mais sensivel nas grandes extensões d'agua, como nos grandes oceanos, e menos sensiveis, nos grandes mares interiores, e quasi nullo nos pequenos.

2.<sup>a</sup> As posições respectivas da lua e do sol. As marés solares não são distinctas das marés lunares: ellas se juntam nas syzygias, e tendem a neutralizar-se nas quadraturas. Assim, as mais fórtes marés são as da lua nova e lua cheia, emquanto as mais fracas são as da primeira e ultima quadraturas.

As marés mais consideraveis apparecem nos equinocios.

3.<sup>a</sup> Distancia da lua e do sol á terra. A altura total das marés varia com a distancia da lua e do sol á terra.

4.<sup>a</sup> Configuração das costas.

O phenomeno das marés é ainda modificado pela configuração e orientação das costas, pela direcção dos ventos, etc.

## 16.<sup>a</sup> LICÇÃO

### Revolução sideral da lua. — Revolução synodica. — Libração

171. No seu movimento em torno da terra, a lua não descreve uma ellipse fixa; o plano desta ellipse tem um movimento em torno do eixo da ecliptica, movimento que produz a retrogradação da linha dos nós.

O grande eixo tem tambem um movimento directo que se chama movimento da linha dos apsides.

Podemos, por conseguinte, considerar o tempo de revolução da lua em relação a pontos diversos da abobada celeste.

172. REVOLUÇÃO SIDERAL DA LUA. — Tomando uma estrella para origem do movimento, a revolução toma o nome de sideral, e consiste no tempo que a lua gasta para voltar ao meridiano de uma mesma estrella, ou em percorrer os 360° da sua orbita.

A duração desta revolução é de, —

27<sup>d</sup> 7<sup>h</sup> 43<sup>m</sup> 11<sup>s</sup>.

ε

E' este tambem o tempo que gasta nosso satellite para percorrer a sua orbita que mede 2.400.000 kilometros, o que dá para velocidade média, por segundo, 1.017 metros.

173. Podemos determinar a duração da revolução sideral da lua em funcção da duração do anno sideral e da

da revolução synodica. Com effeito, designando por  $t$ , a duração do anno sideral, por  $t'$ , a da revolução synodica, e por  $x$ , a duração da revolução sideral da lua, teremos a seguinte formula:

$$x = \frac{t t'}{t + t'}$$

que resolve a questão, logo que sejam conhecidos os valores do anno sideral e da revolução synodica.

**174.** Em relação ao meridiano do ponto vernal, a revolução da lua toma a denominação de tropica, e consiste no tempo gasto pelo nosso satellite para reduzi-lo á mesma longitude contada do equinocio movel, ou ponto vernal, ou ainda, é o intervallo de tempo que decorre entre duas passagens consecutivas da lua pelo circulo de latitude do ponto vernal.

O valor desta revolução é de,

$$27^d 7^h 43^m 4^s,7.$$

Como se vê, é um pouco menor do que a revolução sideral, e essa differença é devida á precessão dos equinocios.

**175.** Vejamos como explicar geometricamente essa pequena differença da revolução tropica, relativamente á sideral. Conforme mostra a fig. 48, supponhamos  $L$  a lua, e  $E$  uma estrella, tendo os dois astros a mesma longitude,  $\gamma A$ .

Já vimos que se chama longitude celeste de um astro o arco da ecliptica comprehendido entre o ponto vernal e o circulo horario deste astro.

Emquanto a lua effectua uma revolução, o ponto vernal  $\gamma$ , se desloca e vae tomar a posição  $\gamma'$ , de sorte que a longitude  $\gamma A$ , torna-se  $\gamma' A'$ , igual a  $\gamma A$ . Quando a lua voltar á mesma longitude, isto é, em  $L'$  terá effectuado uma revolução tropica, e o tempo decorrido será evidente-

mente menor do que para voltar a  $L$ , trajecto este que corresponde a uma revolução sideral.

A differença entre a duração destas duas revoluções é, pois, igual ao tempo que gasta a lua para percorrer um arco igual ao que se deslocou o ponto vernal durante esta revolução.

Já vimos quando tratámos do sol, que esse deslocamento era de  $50''{,}23$  por anno. Vejamos, então, qual o que corresponde á lua no decurso de uma revolução. Sabe-se que a lua effectua cerca de 13 revoluções sideraes e meia por anno. Por conseguinte, para obtermos o deslocamento correspondente a uma revolução, não temos mais do que dividir  $50''{,}23$  por 13,5, que nos dá cerca de  $3''{,}7$ , que é o arco correspondente ao deslocamento no sentido retrogrado, em cada revolução sideral.

O tempo correspondente será obtido multiplicando a revolução sideral por  $3''{,}7$ , e dividindo o producto por  $360^\circ$ .

Assim, teremos, chamando  $x$ , esse tempo:

$$x = \frac{27^d, 321661 \times 3''{,}7}{360^\circ} = 6^s, 8,$$

que é a differença, para menos, que existe entre o tempo da revolução sideral e o da revolução tropica.

**176.** Em relação ao mesmo nódo, a revolução toma o nome de draconitica, e consiste no tempo gasto pela lua a voltar ao mesmo nó.

Seu valor é de:

$$27^d 5^h 5^m 36^s.$$

**177.** Tomando para origem do movimento um mesmo ponto da ellipse, a revolução recebe o nome de anomalistica, e consiste no tempo gasto pela lua a voltar ao mesmo ponto da ellipse.

O valor desta revolução é de:

$$27^d 13^h 18^m 37^s.$$

**178.** REVOLUÇÃO SYNODICA. — Chama-se revolução synodica da lua ao tempo que ella emprega para voltar ao mesmo meridiano do sol. Esta revolução, que tambem se chama meç lunar ou lunação, é a mais longa de todas.

Com effeito, sejam, como mostra a fig. 49,  $S$  e  $L$ , as posições respectivas do sol e da lua, no momento em que os dois astros se acham no mesmo meridiano. Emquanto a lua effectua uma revolução sideral, a terra percorre uma parte da sua orbita.

Quando a terra se achar em  $T'$ , e a lua em  $L'$ , de modo a ser  $T' L'$  parallel a  $L T$ , a lua terá feito uma revolução sideral completa; mas para que ella se encontre no mesmo meridiano do sol, terá ainda de percorrer o arco  $L' L''$ , donde resulta sob o ponto de vista geometrico, que a revolução synodica é maior do que a sideral, ou qualquer das outras já mencionadas.

A duração desta revolução é de, —

29<sup>d</sup> 12<sup>h</sup> 44<sup>m</sup> 2<sup>s</sup>,5.

**179.** Por meio dos eclipses do sol, podemos calcular exactamente a duração da revolução synodica, porquanto, esses só se realizam quando o nosso satellite está em conjuncção, isto é, entre a terra e o sol.

Para isto basta dividir o intervallo de tempo comprehendido entre dois eclipses do sol bem afastados, pelo numero de revoluções lunares que este intervallo comprehende; obtem-se, assim, com uma grande exactidão, a duração da revolução synodica, isto é, o momento preciso em que o sol e a lua voltam a um mesmo meridiano. 3

**180.** LIBRAÇÃO DA LUA. -- Libração é uma especie de oscillação que a lua parece fazer em volta de uma posição média, em virtude da qual vemos apparecer e desaparecer successivamente, nas visinhanças do bórdo do disco, pequenas porções de sua superficie.

Esta oscillação é uma illusão optica, que se explica facilmente. Ha tres especies de libração: libração em longitude, libração em latitude e libração diurna.

**181.** Libração em longitude é a oscillação que a lua parece fazer em volta de uma recta perpendicular ao plano da sua orbita, e em virtude da qual se descobre e occulta successivamente uma pequena porção da sua superficie, no bordo oriental ou no bordo occidental. Galileu, quem primario observou este phenomeno, comparou a lua a uma pessoa que volta a cabeça para direita ou para esquerda, descobrindo-nos e occultando-nos, alternadamente, uma e outra orelha. Esta libração resulta de dois factos: 1º a lua fazer a sua rotação e a sua translação ao mesmo tempo; 2º a lua effectuar a rotação com uma velocidade constante e a translação com uma velocidade variavel, que diminue desde o perigêo até ao apogêo, e que depois augmenta passando pelos mesmos valores.

Assim o angulo de que a lua gira em volta da terra, n'um tempo dado, é ora maior ora menor do que a rotação correspondentemente.

**182.** LIBRAÇÃO DA LATITUDE. — Esta é a oscillação que a lua parece fazer em volta de uma recta, situada no plano da sua orbita, e em virtude da qual se descobre e occulta, successivamente, uma pequena porção da superficie, no bórdo superior ou no bórdo inferior.

Esta libração resulta da inclinação do eixo de rotação da lua sobre o plano da sua orbita.

Sejam  $T$  a terra,  $L$  e  $L'$  a lua em dois pontos diametralmente oppostos da sua orbita, por exemplo, no perigêo e no apogêo.

Além disto, sejam  $PP'$  o eixo de rotação da lua e  $AB$  o traço do contorno apparente. Quando a lua está em  $L$ , é invisivel o pólo  $P$  e visivel o pólo  $P'$ ; e um ponto  $c$  do equador lunar vê-se acima do centro do disco. O contrario tem lugar em  $L'$ ; é visivel o pólo  $P$  e invisivel o pólo  $P'$ ; e o ponto  $c$  do equador vê-se abaixo do centro do disco. Parece

portanto que a lua fez uma oscillação no sentido norte-sul. A libração em longitude tem uma amplitude de  $8^{\circ}$ , e a de que acabamos de tratar, tem uma amplitude de  $6^{\circ} \frac{1}{2}$ . Durante uma revolução sideral a lua mostra-nos eoccultanos, alternadamente, porções de sua superficie perto dos pólos.

**183. LIBRAÇÃO DIURNA.** — Libração diurna é a oscillação que a lua parece fazer durante um dia sideral.

Sejam  $T$  a terra,  $L$  a lua, e supponhamos, fig. 51, um observador em  $A$ ; será  $ab$ , perpendicular a  $AL$ , o contorno apparente da lua. Passado algum tempo, o observador, em virtude da rotação da terra, está em  $B$ , e como então o contorno apparente é  $cd$ , perpendicular a  $BL$ , torna-se visível o fuзо  $aLc$ , e deixa de o ser o fuзо  $dLb$ .

Na libração diurna, a amplitude da oscillação é de  $1^{\circ}$  approximadamente.

As tres librações que acabamos de tratar, existindo simultaneamente, resulta d'ahi um movimento composto que é o que realmente observamos. O effeito do conjuncto dessas tres librações é permittir-nos perceber quasi  $\frac{4}{7}$  da superficie lunar.

## 17.ª LICÇÃO

### Eclipses — Total — parcial e annular

**184.** Ao desaparecimento momentaneo, total ou parcial, de um astro, é o que se dá o nome de eclipse. Em virtude do seu movimento em torno da terra, a lua, ás vezes, interpõe-se entre o nosso planeta e o sol, produzindo, assim, um eclipse do sol. Em outras occasiões, é a terra que se interpõe entre a lua e o sol, privando essa da luz solar, o que dá causa aos eclipses da lua.

**185. ECLIPSES DA LUA.** — Já vimos o que vem a ser um eclipse da lua. A terra, interceptando os raios luminosos que incidem em sua superficie, projecta no espaço

um immenso cône de sombra, gerado pela revolução de uma tangente,  $AB$ , fig. 52, tangente esta commum ao sol e á terra, como mostra a figura.

Agora, se considerarmos um outro cône gerado pela tangente interior,  $CD$  ou  $C'D'$ , vemos que o espaço,  $BMNB'$ , não recebe senão uma parte dos raios solares; a este espaço é o que se chama penumbra. Ha eclipse da lua quando esta penetra total ou parcialmente no cône de sombra,  $BOB'$ . O eclipse é total quando a lua penetra inteiramente no cône de sombra; é parcial quando ella não penetra senão em parte.

**186.** Para que um eclipse total da lua possa ter logar, é preciso, como mostra a fig. 52, que sejam satisfeitas as seguintes condições: 1.<sup>a</sup> que o comprimento do cône de sombra seja maior do que a distancia da lua á terra; 2.<sup>a</sup> que a largura do mesmo cône de sombra, na região atravessada pela lua, seja sufficientemente grande, pelo menos maior do que o diametro desta, afim de ser no mesmo cône totalmente immersa. Ora, já vimos qual a distancia da terra á lua e ao sol, e bem assim o tamanho do diametro do nosso satellite e o do sol; por conseguinte, podemos, por simples considerações geometricas, determinar, não só o comprimento do cône de sombra como tambem sua largura.

**187.** Designemos, como mostra a fig. 53, por  $R$  e  $r$ , os raios do sol e da terra, por  $D$ , a distancia que separa esses dois astros, por  $h$ , o comprimento,  $OT$ , do cone de sombra.

Considerando os dois triangulos,  $OAS$  e  $OBT$ , vemos que elles são semelhantes, por conseguinte, os lados homologos são proporcionaes (lei linear de Thades), donde, podemos tirar a seguinte relação,

$$(1) \quad \frac{AS}{BT} = \frac{SO}{TO}$$

Mas, como já vimos:

$$AS = R, BT = r, SO = ST + TO = D + h, TO = h.$$

Substituindo em (1),  $AS$ ,  $BT$ , etc., pelos seus valores vem:

$$(2) \quad \frac{R}{r} = \frac{D+h}{h}$$

A distancia do sol á terra como já vimos, é igual a  $23280 r$ , sendo  $r$  o raio da terra; o raio do sol tambem é igual a  $108,5 r$ , por conseguinte, substituindo em (2),  $D$  e  $R$  pelos, seus valôres vem:

$$(3) \quad \frac{108,5 r}{r} = \frac{23280 r + h}{h}$$

Resolvendo (3) em relação a  $h$ , teremos:

$$h = 216,5 r \text{ aproximadamente.}$$

Vê-se, assim, que o comprimento do cône de sombra é de  $216,5$  raios terrestres, e como a distancia da terra á lua é, na média, de  $60$  raios terrestres, segue-se que o eclipse pôde ter lugar.

188. Já vimos que o eclipse pôde ter lugar; agora vejamos qual a largura do cône de sombra, afim de verificarmos se poderá ou não ser total.

Como mostra a fig. 53, designando por  $r'$ , o raio da lua, dos dois triangulos semelhantes,  $OB T$  e  $Ol'V'$ , podemos tirar a seguinte relação:

$$(1) \quad \left( \frac{l'V'}{BT} = \frac{Ol'}{OT} \right)$$

Nesta relação,  $l'V'$  vem a ser a nossa incognita;  $BT$ , é igual ao raio  $r$  da terra;  $Ol' = OT - Tl' = 216,5 r - 64 r = 152,5 r$ .

Effectuando as substituições em (1), vem:

$$\frac{l'l'}{r} = \frac{152,5 r}{216,5 r},$$

donde, tirando o valor de  $l'l'$  teremos:

$$(2) \quad l'l' = \frac{152,5}{216,5} \times r.$$

Já vimos que o raio da lua é igual a  $\frac{3}{11}$  do raio terrestre, por conseguinte, substituindo em (2),  $r$  por  $\frac{11}{3} r'$ , sendo  $r'$ , igual ao raio da lua, teremos:

$$l'l' = \frac{152,5}{216,5} \times \frac{11}{3} r' = 2,5 r'.$$

O valôr de  $l'l'$ , nos indica que a metade da largura do cône de sombra é quasi tres vezes o raio da lua, por conseguinte, esta pôde ser totalmente eclipsada.

**189.** Se o movimento da lua se effectuasse no plano da ecliptica, haveria um eclipse da lua em cada opposição ou lua cheia; mas, fazendo a orbita lunar um angulo de quasi  $5^{\circ} 9'$  com o plano da ecliptica, acontece, ordinariamente, ser a latitude da lua bastante grande de modo a impedir a passagem do astro no cône de sombra, no momento de uma opposição.

Determina-se pelo calculo que, se no momento da opposição, a latitude da lua é superior a,  $1^{\circ} 2' 37''$ , o eclipse não poderá ter lugar.

Ter-se-á certeza do eclipse se a latitude da lua, no momento da opposição, fôr inferior a  $52' 25''$ .

Os eclipses da lua seriam mais frequentes senão houvesse o effeito da refração atmospherica, ou antes, se a terra não fôsse cercada de uma atmosphera. Pelo effeito da refração atmospherica, os raios são desviados, e o com-

primento do cône de sombra diminue consideravelmente, de modo a dar, em média, um comprimento igual a 42 raios terrestres.

Como a lua está a uma distancia média de 60 raios terrestres, não póde ser eclipsada.

Um eclipse da lua apresenta duas phases ou momentos bem distinctos: o da immersão e o da emersão, difficeis de observação de uma maneira precisa.

**190.** ECLIPSES DO SOL. — Já vimos que elles se realizam quando a lua, passando entre a terra e o sol, nos occulta este em todo ou em parte.

O eclipse é total se o sol é inteiramente occulto pela lua; é parcial quando o sol é occulto somente em parte. Entre os eclipses parciaes do sol se distinguem os annulares.

Sendo o diametro apparente da lua menor que o do sol, deixa visiveis os bórdos do disco deste astro, que se apresenta então sob a forma de um annel luminoso.

**191.** Examinemos agora, como o fizemos para os eclipses da lua, as possibilidades de um eclipse total do sol.

Quando a lua passa entre o sol e a terra, ella projecta um cône de sombra no espaço. Na fig. 54, designemos por  $R$ ,  $r$ ,  $D$  e  $h$ , os comprimentos,  $SA$ ,  $LB$ ,  $LS$  e  $SO$ , correspondentes aos raios do sol, da lua, distancia da lua ao. sol e comprimento do cône de sombra.

Considerando os dois triangulos semelhantes,  $ASO$  e  $BLO$ , tiramos a seguinte relação:

$$\frac{AS}{LB} = \frac{LO + LS}{LO},$$

cu

$$(1) \quad \frac{108 r}{\frac{3}{11} r} = \frac{23280 r}{h}$$

Resolvendo (1), em relação a  $h$ , e effectuando as operações, teremos:

$$h = 58,7 r.$$

A distancia da lua á terra variando entre  $57 r$  e  $64 r$ , o cône de sombra póde deixar ou não de encontrar a terra. Para as regiões atingidas pelo cône de sombra, o eclipse do sol é total; elle é parcial para as regiões encontradas pela penumbra.

Póde acontecer que a terra seja encontrada, não pelo cône de sombra, mas pelo prolongamento deste; neste caso, o disco da lua não occulta inteiramente o do sol, dar-se-á então o eclipse annular.

**192.** Como já o fizemos ver para os eclipses da lua, se o movimento desta se effectuasse no plano da ecliptica, haveria um eclipse do sol em cada conjuncção ou lua nova.

Como, porém, o plano da orbita lunar faz com o da ecliptica um angulo de quasi  $5^{\circ} 9'$ , a lua poderá passar por fóra do cône de sombra e não haver eclipse.

Para que haja eclipse é preciso que a latitude da lua, como é possível demonstrar, não seja superior a  $1^{\circ} 24'$ .

**193.** Diferenças entre os eclipses do sol e da lua. — 1.<sup>a</sup> os eclipses da lua começam sempre pelo bórdo oriental; 2.<sup>a</sup> os eclipses da lua são geraes, isto é, võem-se no mesmo instante e com a mesma phase; em quanto que os eclipses do sol são locaes, e não se veem com a mesma phase: no mesmo instante para alguns logares o eclipse é total, para outros é parcial, e para outros não há eclipse.

**194.** FREQUENCIA DOS ECLIPSES. — Os eclipses do sol são mais frequentes do que os da lua. Com effeito, como mostra a fig. 55, há eclipse do sol quando a lua atravessa em  $AB$ , o cône  $MON$ , e há eclipse da lua quando ella atravessa o mesmo cône em  $CD$ ; ora a secção ou arco em  $AB$  é maior do que o arco em  $CD$ .

**195.** Há tres eclipses do sol para dois da lua. Entretanto, em um mesmo logar võem-se mais eclipses da lua que

do sol, porque os eclipses da lua são visiveis para todos os pontos que teem a lua acima do horisonte, enquanto os eclipses do sol só são visiveis nos pontos encontrados pelo cône de sombra ou pela penumbra.

Como o demonstrou Arago, em um anno não póde haver mais de sete eclipses e nem menos de dois; neste caso serão do sol.

Os eclipses totaes do sol são muito raros em um mesmo logar.

**196.** PERIODICIDADE DOS ECLIPSES. — Os antigos reconheceram que os eclipses, tanto do sol como da lua, se reproduziam em uma mesma ordem para cada periodo de 18 annos e 11 dias, que comprehende 223 lunações.

Esse periodo é conhecido pela denominação de periodo de Saros, e comprehende 70 eclipses, dos quaes 41 são do sol.

---

## 18.ª LICÇÃO

### Systema planetario, numero e densidade

**197.** O systema solar ou planetario comprehende o sol, os planetas com os seus satellites e os cometas.

Os planetas são em numero de oito, formando dois grupos distinctos.

O 1.º grupo comprehende 4 planetas de pequenas dimensões relativamente aos do 2.º grupo, os quaes são tão volumosos que o menor delles, ou o menos importante, é ainda maior do que os quatro reunidos do 1.º grupo.

**198.** Na ordem das distancias ao sol encontramos, primeiro, — mercurio, depois venus, a terra e marte; são os mundos mais proximos do astro do dia, e compõem o 1.º grupo. Os quatro do 2.º grupo são, pela ordem de suas distancias ao sol, — jupiter, saturno, urano e neptuno.

Este 2.º grupo está separado do 1.º por um vasto espaço occupado por um pequeno exercito de planetas minusculos, comparativamente com os do 1.º e principalmente com os do 2.º grupo.

**199.** Antes de fazermos a apreciação dos planetas considerados em si mesmos, precisamos dar uma idéa de certos phenomenos que os mesmos apresentam, sem o que não seria possivel comprehender e explicar certas posições notaveis que elles tomam, em seus movimentos em relação ao sol.

**200.** Entre as posições as mais notaveis são: a conjuncção, a opposição, a quadratura, a elongação e a digressão.

Quando dois astros teem a mesma longitude, diz-se que elles estão em conjuncção; se as longitudes differem de  $180^\circ$ , diz-se que estão em opposição; se a differença de longitude é, porém, de  $90^\circ$  ou  $270^\circ$ , diz-se que os dois astros estão em quadratura.

**201.** Supponhamos, como mostra a fig. 56, *I*, um planeta inferior, cuja orbita é envolvida pela orbita da terra, e *E*, um planeta superior, cuja orbita envolve a da terra. Como mostra a fig. 56, um planeta inferior tem duas conjuncções, uma inferior em *I*, e outra superior em *I'* e não tem opposição, isto é; a terra nunca fica entre elle e o sol, unico caso em que seria possivel a opposição; entretanto, um planeta superior tem uma conjuncção em *E'*, e uma opposição em *E*. Ao maior ou menor angulo formado por um planeta e o sol, visto da terra, dá-se o nome de elongação do planeta. *E'* oriental quando o astro está á esquerda do sol; é occidental quando está á direita.

Quando a elongação de um planeta é nulla ou  $0^\circ$ , o planeta está em conjuncção; quando o angulo mede  $180^\circ$  o planeta está em opposição.

Ao angulo maximo de elongação de um planeta inferior, dá-se o nome de digressão. A digressão é de quasi  $28^\circ$

em mercurio, e  $48^\circ$  em venus, pelo que estes dois planetas nunca poderão estar em quadratura, para isto seria necessario que a digressão ou o angulo maximo de elongação attingisse a  $90^\circ$ , como se dá na lua.

**202.** Quando a orbita de um planeta córta ou atravessa o plano da ecliptica, a intercessão dos planos da orbita e da ecliptica determina dois pontos, que teem a denominação de nós.

Ao primeiro dá-se o nome de nó ascendente, ao outro de nó descendente.

Os nós dos planetas se determinam do mesmo modo que o equinocio da primavera, e soffrem um deslocamento analogo ao do ponto vernal.

**203.** Consideremos agora os planetas do nosso systema em si mesmos.

MERCURIO. — De todos do systema solar, é o que está mais proximo do sol.

E' raramente visivel porque se afasta pouco do centro de attracção.

Sua digressão, como já vimos, n.º 201, não sendo senão de  $28^\circ$ , não se poderá observar-o senão na época das digressões, á tarde, no occidente, depois do pôr do sol, ou de manhã, no oriente, antes do nascimento deste astro.

O plano da sua orbita faz com o plano da ecliptica um angulo de  $7^\circ$ .

Mercurio é o planeta, cuja orbita se afasta mais da forma circular, isto é, que tem maior excentricidade.

O valor desta é de 0,206.

A duração da revolução sideral é pouco mais ou menos de 88 dias ( $87^d,969$ ); portanto é esta a duração do anno de mercurio.

**204.** Distancias de mercurio ao sol e á terra. Conhecida a revolução sideral de mercurio, acha-se facilmente, fazendo applicação da 3.ª lei Kepleriana, o semi-eixo maior da sua orbita, isto é, a sua distancia média ao sol.

Designando por  $a$  esta distancia, e tomando por unidade a distancia média do sol á terra, teremos:

$$a = 0,387 = 56000000 \text{ de kilometros,}$$

por conseguinte sua distancia maxima será:

$$a + c = a (1 + e) = a.1,206 = 680000000 \text{ kilometros,}$$

em que  $e$  representa a excentricidade e  $c$  a semi-distancia focal.

A distancia minima será de,

$$a - c = a (1 - e) = a.0,794 = 44000000 \text{ kilometros.}$$

Da distancia de mercurio ao sol conclue-se que a intensidade do calor e da luz deve ser n'aquelle astro sete vezes maior do que na terra.

O diametro aparente de mercurio varia entre  $4'',4$  e  $12''$ ; e o seu diametro aparente á distancia média do sol á terra é  $6'',7$ . Ora, como as distancias de um astro á terra variam na razão inversa dos seus diametros apparentes, designando por  $d$ ,  $d'$ ,  $d''$  as distancias correspondentes áquelles diametros, temos:

$$\frac{d}{d''} = \frac{6,7}{4,4},$$

donde  $d = 1,5$   $d'' = 220000000$  kilometros.

$$\frac{d'}{d''} = \frac{6,7}{12},$$

donde  $d' = 0,55$   $d'' = 80000000$  kilometros.

**205.** DIMENSÕES DE MERCURIO. — Designando por  $r$  o raio da terra, por  $r'$  o raio de mercurio e por  $\delta$  seu diametro apparente á distancia média do sol á terra, temos:

$$\frac{r'}{r} = \frac{\frac{1}{2}\delta}{P} = \frac{3,3}{8,86} = 0,373,$$

donde  $r' = 0,373 r$ .

Designando por  $v$  e  $v'$ , por  $r$  e  $r'$ , os volumes e os raios da terra e de mercurio, teremos:

$$\frac{v'}{v} = \frac{r'^3}{r^3} = 0,373^3 = 0,052,$$

donde  $v' = 0,052 v$ , ou, approximadamente,

$$r' = \frac{2}{5} r, \quad v' = \frac{1}{19} v.$$

**206.** ROTAÇÃO DE MERCURIO. — Foi Shroæter quem descobriu que mercurio gira sobre si mesmo do occidente para o oriente em 24 horas e mais ou menos 4 a 5 minutos, em torno de um eixo fazendo um angulo de quasi  $70^\circ$  com o plano da ecliptica.

**207.** VENUS. — Este planeta está mais afastado do sol do que o precedente. Suas digressões variam entre  $45^\circ$  e  $48^\circ$ .

Venus apparece de manhã, no oriente, antes do nascer do sol, ou á tarde, no occidente, depois do occaso deste astro. No primeiro caso se chama Lucifer ou estrella d'alva, e no segundo, Vesper, estrella da tarde ou estrella do pastor. Venus excede em brilho as mais brilhantes estrellas; sua luz é branca.

Algumas vezes é visivel em pleno dia. Venus tem phases como a lua; e é da combinação destas com a sua distancia á terra que depende seu maior ou menor brilho.

**208.** *Orbita, distancia e dimensões de venus.* A orbita de venus tem uma inclinação de  $3^{\circ} 23'$  sobre o plano da ecliptica, e é quasi circular; a sua excentricidade é apenas de 0,007.

A duração de revolução sideral é de  $224^d,7$ ; portanto, as suas distancias, média, maxima e minima, ao sol, são:

$$\begin{aligned} a &= 0,723 = 106800000 \text{ kilometros.} \\ a + c &= a (1 + e) = a \cdot 1,007 = 107200000 \text{ kilometros.} \\ a - c &= a (1 - e) = a \cdot 0,993 = 106000000 \text{ kilometros.} \end{aligned}$$

O diametro apparente de venus varia entre  $9''$  e  $62''$ , e o seu diametro apparente á distancia média do sol á terra é  $16'',9$ .

Logo as distancias de venus á terra são:

$$\begin{aligned} \text{Distancia maxima} &= 264.000.000 \text{ kilometros.} \\ \text{Distancia minima} &= 40.000.000 \text{ kilometros.} \end{aligned}$$

Designando por  $r$  e  $v$  o raio e o volume da terra, e por  $r'$  e  $v'$  o raio e volume de venus, encontra-se que,

$$r' = 0,954 r, \qquad v' = 0,868 v.$$

Estes resultados mostram que as dimensões de venus differem pouco das da terra.

Tem-se verificado em venus a existencia de montanhas, relativamente muito mais altas que as da terra.

O planeta tambem é cercado de uma atmosphera analogá á nossa.

Na época das conjuncções inferiores, quando venus se acha perto do nó, isto é, na intercessão do plano da orbita com a ecliptica, vê-se o planeta passar como uma mancha negra sobre o disco solar.

**209.** As passagens de venus gosam de uma grande importancia em astronomia, porque fornecem um dos meios mais exactos á determinação da parallaxe solar. A orbita

de venus méde 672 milhões de kilometros, que o planeta tem de percorrel-a em cerca de 225 dias, com uma velocidade média de 34 kilometros por segundo.

**210. ROTAÇÃO.** — Venus tem um movimento de rotação sobre si mesmo, cuja duração é de  $23^h 11^m 19^s$ , movimento este que se effectua do occidente para o oriente, em torno de um eixo formando um angulo de  $75^\circ$  com o plano da ecliptica.

**211. TERRA.** — A' distancia média de 149000000 de kilometros do centro de attracção, vóga no céo o terceiro planeta na ordem das distancias ao sol. Podemos todos vê-lo a olho nú, e julgal-o cada um a seu modo: é a terra onde habitamos.

**212. MARTE.** — Dos planetas superiores o mais visinho de nós, é marte, que nos apparece, a olho nú, como uma bella estrella vermelha. Gira em torno do sol descrevendo uma orbita exterior áquella que a terra percorre annualmente.

Quando os gregos da antiguidade déram nomes aos planetas, a coloração ardente de marte levou-os a ver neste astro o Deus da guerra que derrama o sangue da Humanidade nas hecatombes internacionaes, invectivando-o e enchendo-o de maldições.

**213. Orbita, distancias de marte ao sol e á terra; dimensões.**

A orbita de marte tem uma inclinação de  $1^\circ 51'$  sobre o plano da ecliptica, e é muito alongada; a sua excentricidade é de 0,093.

A duração da revolução sideral de marte se effectua, exactamente, em 686 dias, 23 horas, 30 minutos e 41 segundos.

As suas distancias, média, maxima e minima, ao sol, são:

$$a = 1,524 = 224000000 \text{ de kilometros.}$$

$$a + c = a \cdot 1,093 = 248000000 \text{ de kilometros.}$$

$$a - c = a \cdot 0,907 = 204000000 \text{ de kilometros.}$$

O diametro apparente de marte varia entre 3'',3 e 23'',5; o diametro apparente á distancia média do sol á terra é 9'',57. Daqui concluímos que as distancias de marte á terra, são:

Distancia maxima = 424000000 de kilometros.

Distancia minima = 56000000 de kilometros.

Designando por  $r$  e  $r'$  os raios da terra e de marte, por  $v$  e  $v'$  seus respectivos volumes,\* teremos:

$$r' = 0,53 r, \quad v' = 0,148 v,$$

ou approximadamente,

$$r' = \frac{1}{2} r, \quad v' = \frac{1}{7} v.$$

**214.** Em marte como na terra, ha alternativas de luz e sombra, manhãs de sol, crepusculos matizados de bellas côres porque o planeta é, como nosso glôbo, cercado de uma atmosphaera protectôra, a qual, apesar de muito mais leve do que a nossa, deverá produzir effeitos de luz analogos aos que nós admiramos na aurora, ao nascer do sol, e á tarde, ao sol posto.

**215.** ROTAÇÃO DE MARTE. — A forma das montanhas que o planeta nos apresenta, quando observado pelo telescopio e o estudo do seu movimento, levaram os astrônomos a determinar com uma precisão notavel, a duração da rotação diurna de marte, que se effectua em 24<sup>h</sup> 37<sup>m</sup> 23<sup>s</sup>. O dia e a noite desse planeta são pois, um pouco mais compridos que os nossos, mas, como vemos, a differença é pequena.

**216.** SATELLITES DE MARTE. — Duas pequenas luas giram rapidamente em torno de marte. Receberam os nomes de Phôbos e Deimos.

A primeira a uma distancia de seis kilometros, realisa sua translação rapidamente, em 7 horas e 39 minutos,

e faz, assim, tres vezes por dia, a volta em redor do céo de marte.

A segundo gravita a 20 mil kilometros, e gira em torno do seu centro de attracção, em 30 horas e 18 minutos.

Esses dois satellites foram descobertos por Hall, do observatorio de Washington, em Agosto de 1877.

**217. PLANETOIDES.** — Entre marte e jupiter descobriu-se um exercito de pequenos corpos celestes, verdadeiras sentinelas entre o grupo dos planetas médios e o dos grandes planetas.

Esses astros minusculos talvez tenham sido fragmentos de materia pertencente a um vasto anel, formado no tempo em que o systema solar não era mais do que uma massa sem consistencia e que, em logar de se condensar em um unico globo, se tenha dividido fragmentando-se em uma quantidade consideravel de mundos liliputianos, invisiveis á vista desarmada.

E' esta, pelo menos, a opinião de Olbers.

**218.** O primeiro desses pequenos planetas foi descoberto em 1 de Janeiro de 1801, por Piazzi, astronomo do observatorio de Palermo. Depois dessa data, teem-se descoberto algumas centenas delles, formando uma especie de enxame turbilhonante entre as orbitas de marte e de jupiter:

Muitos delles são tão pequenos, que não foi possivel ainda medir seu diametro apparente. Há, entretanto, alguns mais consideraveis, entre os quaes mencionaremos: Pallas, Ceres, Juno e Vesta, que brilham como estrellas de 7.<sup>a</sup> e 8.<sup>a</sup> grandeza.

Leverrier admitte que a massa reunida de todos esses pequenos planetas, seri<sup>o</sup> quando muito, igual á quarta parte da massa terrestre.

**219. JUPITER.** — Pelo seu volume, pela importancia de seus satellites e sobretudo pelo seu brilho, que excede algumas vezes o de venus, — jupiter, é um dos planetas mais notaveis do systema solar.

**220.** *Orbita. Distancias ao sol e á terra.*

*Dimensões.* — A orbita de Jupiter tem uma inclinação de  $1^{\circ} 18' 40''$ , e a sua excentricidade é de 0,048.

A duração da revolução sideral de jupiter se effectua em quasi doze annos, ( $4333^d,58$ ), com uma velocidade de 1.115.000 kilomeros por dia, ou 12.900 metros por segundo. A terra effectua 12 revoluções em torno do astro do dia, em quanto jupiter percorre uma só vez a sua orbita. Sua distancia ao sol, no perihelio, é de 775 milhões de kilometros, na posição média, de 803 milhões de kilometros e no aphelio, de 832 milhões.

Suas distancias maxima e minima á terra são:

Distancia maxima = 972000000 kilometros.

Distancia minima = 632000000 kilometros.

De accôrdo com as medidas feitas sobre seu diametro apparente, reconheceu-se que este seria visto sob um angulo de  $199'',4$ , si o planeta se achasse a uma distancia da terra igual á distancia média da terra ao sol. Por conseguinte, o raio de jupiter é quasi 11,44 vezes maior do que o da terra.

Seu volume é cerca de 1300 vezes maior do que o volume do nosso planeta.

**221.** *ROTAÇÃO DE JUPITER.* — O eixo em torno do qual se effectua seu movimento de rotação, faz um angulo de quasi  $87^{\circ}$  com o plano da sua orbita.

Por causa desta pouca inclinação, as estações de jupiter e, bem assim, a successão dos dias e das noites, não devem lá apresentar senão fracas variações. Este planeta gira sobre si mesmo em 9 horas • 55 minutos, pouco mais ou menos.

Seu achatamento é avaliado em  $-\frac{1}{17}$ , excessivamente grande, devido, naturalmente, á rapidez da rotação.

**222.** *SATELLITES DE JUPITER.* — Em quanto a lua, solitaria, acompanha nosso glôbo, jupiter caminha no meio

de um magnifico cortejo de 7 satellites, 4 muito grandes, visiveis nos pequenos oculos, e 3 minusculos. Os 4 principais desses satellites foram descobertos, em 7 e 8 de Janeiro de 1610, por Galileu e Simão Marius, quando pela primeira vez dirigiam um oculo de augmento para esse planeta. Os 5.º, 6.º e 7.º, incomparavelmente menores, e de ordem telescopica, foram descobertos, o 4.º pelo Sr. Barnard, astronomo do observatorio de Lick (California), o 6.º e o 7.º, em 1905 pelo Sr. Perine, astronomo do mesmo observatorio. Do mesmo modo que a lua, elles gastam o mesmo tempo par effectuar uma rotaçãõ sobre si mesmos, e executar uma revoluçãõ inteira em torno do astro principal, para o qual voltam sempre o mesmo hemispherio. Esses satellites, sobretudo os dois primeiros, que se movem em um plano muito visinho da orbita de jupiter, passam, em cada revoluçãõ, no cône de sombra que este planeta projecta no espaço, e sãõ entãõ eclipsados.

As observações destes eclipses conduziram Ræmer, astronomo dinamarquez, a determinar a velocidade da luz.

O problema das longitudes tambem encontra uma soluçãõ satisfactoria nos eclipses dos satellites de jupiter.

**223.** SATURNO. — Pela sua forma é o mais notavel dos planetas do systema solar. A' vista desarmada saturno tem o aspecto de uma estrella de 1.ª grandeza, menos brilhante, porém, que marte, jupiter, venus e mercurio.

**224.** Orbita, distancias ao sol e á terra; dimensões.

A orbita de saturno tem uma inclinaçãõ de  $2^{\circ} 29' 40''$ , e a sua excentricidade é de 0,056.

Saturno effectua sua revoluçãõ sideral, em 29 annos e 167 dias, pouco mais ou menos, em torno do sol, a uma distancia média deste, de 1421 milhões de kilometros.

A' distancia média da terra ao sol, o diametro apparente de saturno subtenderia um angulo de  $162''$ ,32.

Por consequente, as distancias de saturno á terra, sãõ:

Distancia maxima = 1600000000 kilometros.

Distancia minima = 1200000000 kilometros.

As suas dimensões são:

$$r' = 9,15 r, \quad v' = 766 v,$$

em que  $r$  e  $v$  são o raio e o volume da terra.

**225. ROTAÇÃO DE SATURNO.** — Devido a certas manchas observadas por Herschell, este astrónomo reconheceu que saturno gira sobre si mesmo, do occidente para o oriente, em  $10^h 14^m$ ; seu achatamento é, segundo Hind, de  $-\frac{1}{10,3}$  e seu equador está inclinado sobre a ecliptica de quasi  $28^\circ 30'$ .

Nota-se uma grande depressão nos pólos de saturno, resultado, certamente, da rapidez do movimento de rotação.

**226. ANNEIS E SATELLITES DE SATURNO.** — Saturno apresenta-nos um phenomeno unico no systema planetario.

Em torno do planeta, por cima do seu equador e a pouca distancia d'elle, há um immenso annel achatado e relativamente muito delgado, formando um vasto cinto, invisível ou esbranquiçado durante o dia como uma aureola nébulosa, mas illuminado durante a noite.

Este annel é seguido de um segundo, que o cerca, e ainda de um terceiro.

Este systema de anneis é como um arco gigantesco lançado por cima do planeta e girando com uma velocidade variavel, porque cada annel tem seu movimento proprio; o que está mais proximo do globo caminha mais depressa; o que está mais longe caminha mais devagar.

Quando chega a noite para uma região qualquer do planeta, o céu illumina-se na vasta zona que comprehende os anneis, e em vez de um arco-iris de sete côres, vê-se brilhar um arco de luz, que dá a saturno um phantastico luar de anneis, a que vem ainda juntar-se a claridade de 10 luas, porque o mundo de saturno é a acompanhado de 10 satellites. Essa luz dos anneis saturnianos é a reflexão da luz do sol que os illumina, como illumina o proprio planeta e seus satellites.

Envolve saturno uma atmosphaera muito espessa. Re-

sulta de differentes e successivas observações e analyses, feitas desde a descoberta de saturno, que os anneis se vão approximando lenta, mas gradualmente, do planeta, o que leva a crêr, que n'um futuro pouco distante, talvez d'aqui a 300 ou 400 annos, os habitantes da terra assistam ao unico e grandioso espectaculo da quêda d'aquelle appendice extraordinario no corpo do astro.

Giram em torno de saturno 10 satellites, dos quaes um é major do que marte; 7 dentre elles teem uma orbita parallela ao equador do planeta.

Como a inclinação do eixo de saturno é quasi a mesma que a nossa, concluímos que as estações deste planeta são analogas ás nossas, em intensidade relativa. Cada estação desse mundo longinquo dura um pouco mais de sete annos dos nossos.

**227.** URANO. — Este planeta, descoberto por Herschell em 1781, é raramente visivel a olho nú; entretanto, apparece algumas vezes como uma estrella de 6.<sup>a</sup> grandeza. Observado com uma luneta, é facil distinguir-lhe os contornos, medir-lhe o diametro apparente, e por conseguinte, o real.

**228.** Orbita, distancias ao sol e á terra; dimensões. Urano gravita em torno do sol á distancia de 2858 milhões de kilometros, e gasta 84 annos e 7 dias para percorrer sua orbita em torno do sol.

Sua excentricidade é de 0,046, e seu achatamento é de

$\frac{1}{11}$   
Seu diametro apparente á distancia média do sol á terra, é de 78",4.

Portanto a distancia média de urano á terra é de 2760 milhões de kilometros. Tomando para unidade o raio terrestre, o do planeta será de 4,35; donde se deduz que seu volume é pouco mais ou menos 70 vezes maior do que o do nosso glôbo.

**229.** ROTAÇÃO DE URANO. — Este planeta tem um movimento de rotação em torno do eixo, do occidente para o oriente, o qual se effectua em 12 horas.

**230.** SATELLITES DE URANO. — Além da longa duração dos seus annos interminaveis, o calendario de urano é ainda complicado com 4 luas que o acompanham.

Estas 4 luas ou satellites apresentam uma particularidade notavel: movem-se em sentido inverso de todos os outros satellites e planetas.

O mais proximo do planeta effectua seu giro completo em dois dias e meio, e o mais distante em 13 dias e 11 horas.

**231.** NEPTUNO. — Chegámos ao ultimo dos planetas conhecidos de que se compõe o systema solar.

Urano foi descoberto pelo olho astronomico, isto é, pelo telescopio; neptuno foi descoberto pelo calculo.

Fóra da influencia solar, os planetas exercem uns sobre outros uma attracção mutua que perturba um pouco a harmonia regulada pelo sol.

Os mais fórtes actuam sobre os mais fracos, e o colossal jupiter, elle sómente, é causa de muitas perturbações no nosso systema planetario. Ora, a observação regular da posição de urano no espaço, denunciára irregularidades, que, em virtude da immutavel lei da attracção, não podiam ser attribuidas senão á influencia de um planeta desconhecido, situado para lá de urano.

Mas a que distancia?

O problema, comprehende-se, não era muito facil de solução. Todavia Leverrier resolveu-o. Depois de longos e laboriosos calculos, o sabio annunciou a posição do planeta ultra-uraniano, em 30 de Agosto de 1846, e logo depois, em 22 de Setembro do mesmo anno, o astronomo Galle, do observatorio de Berlim, que acabava de receber o calculo de Leverrier, apontndo um óculo para o ponto do céu indicado, constatou alli a presença do astro procurado.

**232.** Orbita, distancias ao sol e á terra, dimensões.

A orbita de neptuno tem uma inclinação de  $1^{\circ} 47'$ ; a sua excentricidade é de 0,009. A duração da revolução sideral em torno do sol se effectua em 164 annos e 280 dias. Elle percorre a orbita com uma velocidade de 464000 kilometros por hora.

A sua distancia média ao sol é de 4 bilhões e 478 milhões de kilometros.

A' distancia média da terra ao sol, o diametro appa-  
rente de neptuno é de  $76''{,}6$ , por conseguinte, conclue-se  
destes dados que a distancia média de neptuno á terra, é  
de 4188 milhões de kilometros, e que as suas dimensões  
são:

$$r' = 4,46 r, \quad v' = 88,62 v.$$

**233. ROTAÇÃO E SATELLITES DE NEPTUNO.** — Ainda  
não se conseguiu descobrir a rotação de neptuno. Conhece-se  
neste planeta apenas um satellite, que se move como os de  
urano, em sentido retrogrado.

A descoberta de neptuno por Leverrier, foi a mais  
cabal e brilhante demonstração da verdade das leis de  
Kepler e da gravitação universal.

#### 234. DENSIDADE DOS PLANETAS.

O conhecimento das densidades dos planetas suppõe o  
conhecimento de suas massas e de seus volumes, porquanto,  
já vimos que a massa de um corpo qualquer é igual ao pro-  
ducto do seu volume pela sua densidade; por conseguinte,  
a densidade vem a ser a relação entre a massa do corpo e  
seu volume.

A densidade média da terra, já vimos tambem que  
foi determinada por Cavendish; seu valor é de 5,48.

Se tomarmos para unidade a densidade da terra, a  
densidade média dos differentes planetas é a seguinte:

A	{	Mercurio .....	2,782
		Venus .....	0,943
		Terra .....	1
		Marte .....	0,130
		Jupiter .....	0,259
		Saturno .....	0,102
		Urano .....	0,280
Neptuno .....	0,222		

As massas dos planetas, segundo Newcomb, são as seguintes, tomando para unidade a massa do sol:

B	{	Mercurio .....	$\frac{1}{6000000}$
		Venus .....	$\frac{1}{408000}$
		Terra .....	$\frac{1}{333432}$
		Marte .....	$\frac{1}{3093500}$
		Jupiter .....	$\frac{1}{1047,355}$
		Saturno .....	$\frac{1}{3501,6}$
		Uraão .....	$\frac{1}{22869}$
		Neptuno .....	$\frac{1}{19314}$

235. A formula que nos dá a massa em funcção da densidade e do volume do corpo, é:

$$M = v D.$$

Chamando agora,  $m$  a massa da terra,  $r$ , seu raio,  $d$  sua densidade média,  $m'$ , a massa de um planeta,  $r'$ , seu raio,  $d'$  sua densidade, teremos, considerando os planetas esfericos:

$$m = \frac{4}{3} \pi r^3 d; \quad m' = \frac{4}{3} \pi r'^3 d';$$

donde, dividindo a primeira pela segunda, vem:

$$\frac{m}{m'} = \frac{\frac{4}{3} \pi r^3 d}{\frac{4}{3} \pi r'^3 d'},$$

ou,

$$(1) \quad \frac{m}{m'} = \frac{r^3 d}{r'^3 d'}.$$

Tirando em (1) o valor de  $d'$ , vem:

$$(2) \quad d' = \frac{m'}{m} \left( \frac{r}{r'} \right)^3 d.$$

Se a densidade da terra fôr igual a unidade, a formula (2), transforma-se em:

$$(3) \quad d' = \frac{m'}{m} \left( \frac{r}{r'} \right)^3,$$

formula que nos permite determinar a densidade de um planeta qualquer, conhecendo sua massa, a massa da terra e os respectivos raios.

Podemos, por conseguinte, por meio da formula (3), determinar as densidades do quadro *A*.

## 19.ª LICÇÃO

**Movimento dos planetas.—Orbita.—Perihelio.  
— Aphelio — Velocidade dos planetas**

**236.** Já vimos que as estrellas, não obstante o movimento de translação da terra, ficam sempre em uma mesma posição relativa na abobada celeste.

O mesmo já se não dá com os planetas.

Entre estes distinguimos dois que, em seu movimento sobre a esphera celeste, se afastam pouco do sol. Os outros se afastam até á distancia de  $180^\circ$  e fazem, em relação ao centro em torno do qual gravitam, uma volta inteira da esphera celeste. Os primeiros, que se afastam pouco do sol, são os planetas inferiores, os outros são os superiores.

Façamos, primeiramente, o estudo do movimento dos planetas inferiores, depois, então, faremos o dos superiores.

**237.** MOVIMENTO DOS PLANETAS INFERIORES. — Faremos seu estudo do mesmo modo que quando tratámos do sol, isto é, em relação a seus pontos de nascimento e occaso, em relação ao meridiano, em relação ao sol e ás estrellas, e finalmente, em relação a seu aspecto.

Tomemos venus, a bella estrella da manhã dos gregos. Algum tempo antes do nascimento do sol, se vê apparecer, de vez em quando, nos pontos do horisonte, um astro muito mais brilhante que as mais bellas estrellas da abobada celeste: é venus. Seus pontos de nascimento e occaso, oscillam, de uma maneira irregular, em torno da posição média dos pontos de nascimento e occaso do sol.

Venus, ora se levanta antes do sol, ora depois. Do mesmo modo se deita, ora antes, ora depois do occaso do sol.

Quando venus se deita algum tempo depois do sol, apparece ainda sob o aspecto de uma estrella brilhante, vindo-lhe d'ahi o nome de estrella da tarde ou do pastor.

Os antigos não dispoendo de meios precisos de observação, julgavam que a estrella da manhã e a da tarde eram astros differentes, e d'ahi as denominações de Lucifer e de Vesper.

Em relação ao meridiano, venus passa sempre no meridiano nas circumvisinhanças do momento em que o sol tambem passa, ora antes, ora depois deste astro. O intervallo de tempo maximo que decorre entre a passagem do sol e a do planeta, no mesmo meridiano, é de quasi 2<sup>h</sup> 50<sup>m</sup>.

A elevação maxima de venus acima do horisonte, oscilla em torno da elevação maxima do sol.

Relativamente ao sol e ás estrellas, se com o auxilio de uma luneta, nós observarmos em um certo dia o sol, interpondo um vidro colorido para enfraquecer seus raios, nós avistaremos venus, a leste, porém muito perto do sol. Se observarmos, agora, o planeta e o sol em relação a certas e determinadas estrellas, veremos os dois astros (sol e venus), caminharem no sentido do occidente para o oriente, notando ainda que a velocidade do planeta excede a do sol; por consequente, a distancia dos dois astros augmenta successivamente, isto é, venus parece afastar-se do sol.

Continuando nossas observações, notaremos que a velocidade do planeta em relação ás estrellas se retarda, não obstante ser ainda maior que a do sol.

A distancia dos dois astros augmenta sempre. Algum tempo depois, a velocidade do planeta em relação ás estrellas é a mesma que a do sol.

A distancia dos dois astros está no seu maximo. Nos dias seguintes a velocidade do planeta em relação ás estrellas é menor que a do sol. Os dois astros se approximam. A velocidade de venus em relação ás estrellas vae dia a dia diminuindo, e os dois astros se approximam ainda, se achando o planeta a leste do sol. Durante alguns dias o planeta parece estacionario em relação ás estrellas, não deixando o sol de approximar-se d'elle. Emfim, o movimento do planeta, em relação ás estrellas, se torna retrogrado; o sol se aproxima do astro mais sensivelmente, até que os

dois astros ficam logo em conjuncção inferior, e se observa algumas vezes, em intervallos geralmente muito afastados, o disco negro do planeta sobre a superficie solar, que elle atravessa de leste para oeste.

O movimento retrogado do planeta em relação ás estrellas continúa durante alguns dias, para tornar-se depois estacionario, voltando em seguida a ser directo, afastando-se do sol para depois approximar-se, e enfim ficar em conjuncção superior.

**238.** Quando o planeta se afasta do sol, diz-se que está em digressão.

Distinguem-se duas sortes de digressões: a oriental e a occidental. As de venus são maiores do que as de mercurio.

**239.** Um planeta inferior não conserva sempre o mesmo aspecto. Tem phases analogas ás da lua, e se observa, demais, que o diametro do planeta não é constante, e varia, periodicamente, entre dois limites em um intervallo de 3 mezes e 22 dias, pouco mais ou menos, para venus, e um mez e cerca de 14 dias para mercurio.

**240.** As mesmas considerações podiamos fazer em relação a mercurio, e veriamos então que como venus, seu movimento em relação ao sol e ás estrellas seria tambem directo para tornar-se depois retrogado, fazendo entre o movimento directo e o retrogado uma estação ou parada.

Como um planeta inferior nunca se afasta do sol e parece segui-lo no seu movimento, nunca a digressão attingirá a  $180^\circ$ , e como o aspecto do seu disco apresenta phases analogas ás da lua, podemos logicamente concluir que o planeta parece doptado de um movimento de translação em torno do sol, do qual elle recebe luz. O movimento estudado, em que o planeta apresenta retrogradações e estações, se denomina de movimento apparente do planeta.

A curva representativa deste movimento é muito sinuosa e se dirige, alternadamente, ora para leste, ora para oeste.

**241.** Tratemos agora do estudo do movimento apparente dos planetas superiores, o qual faremos de modo analogo ao dos planetas inferiores.

Consideremos um planeta superior qualquer. Se observarmos este planeta com o auxilio de uma luneta, nós notaremos que, em relação a seus nascimentos e occasos, os pontos respectivos do planeta oscillam, em um periodo proprio a cada um delles, em torno de uma posição média representada pelos verdadeiros pontos este e oeste; e que a amplitude dessa osillação não excede muito a amplitude de oscillação dos pontos de nascimento e occaso do sol.

Relativamente ao meridiano, notaremos que o ponto de elevação maxima do planeta parece oscillar, em um periodo de tempo particular a cada planeta, entre dois limites que o sol attinge em um periodo de seis mezes.

Em relação ao sol, que a distancia do planeta ao sol augmenta, não uniformemente, desde  $0^\circ$  até  $360^\circ$ .

Em relação ás estrellas, que seu movimento é primeiramente directo; antes, porém, de attingir a uma distancia de  $180^\circ$  do sol, o movimento do planeta se retarda, em seguida estaciona, totalmente, para tornar-se depois retrogrado. Este movimento retrogado o condúz a  $180^\circ$  de distancia do sol, e continúa um pouco além até a uma nova estação, a partir da qual elle retoma seu movimento directo entre as estrellas, do occidente para o oriente.

**242.** Da apreciação que acabámos de fazer relativamente ao movimento apparente dos planetas superiores, nós somos levados a crer que o sol tem uma grande influencia sobre esse movimento, pois, é quando o planeta está em opposição com o sol que se notam os phenomenos de estação e retrogradação.

**243.** As irregularidades que apresenta o movimento apparente dos planetas, as quaes não se notam nem no sol e nem na lua, são devidas á terra não ser o centro desses movimentos.

244. Além do movimento aparente, os planetas apresentam ainda os seguintes movimentos reaes:

1.º Revolução synodica, correspondente ao tempo decorrido entre duas de suas conjunções do mesmo nome.

A duração desta revolução se obtém dividindo o intervalo de tempo que separa duas conjunções ou duas oposições (quando se trata de planetas superiores porque os inferiores não tem opposição), sufficientemente afastadas, pelo numero de revoluções contidas nesse tempo.

A duração da revolução synodica de cada um dos planetas é a seguinte:

Venus .....	584 dias.
Mercurio .....	116 »
Marte .....	780 »
Jupiter .....	399 »
Saturno .....	388 »
Urano .....	369 »
Neptuno .....	367 »

2.º Revolução sideral, correspondente ao tempo decorrido entre duas passagens consecutivas do planeta no meridiano de uma mesma estrella.

Se designarmos por  $t$  a duração do anno sideral,  $t'$  a da revolução synodica do planeta, e  $x$  a de uma revolução sideral, a formula, tratando-se dos planetas inferiores, é:

$$(1) \quad x = \frac{t t'}{t + t'}$$

Se o planeta é superior, a formula é:

$$(2) \quad x = \frac{t t'}{t' - t}$$

onde vemos que em ambos os casos podemos determinar a revolução sideral de um planeta, conhecendo sua revolução synodica e a duração do nosso anno sideral.

3.<sup>o</sup> Revolução periodica, correspondente ao tempo que decorre entre duas passagens consecutivas do planeta pelo mesmo nó.

Por causa do deslocamento dos nós, as duas ultimas revoluções não tem a mesma duração, sendo a ultima um pouco menor que a primeira.

**245. ORBITA.** — Os planetas em seu movimento obedecem as leis de Kepler, isto é, descrevem orbitas ellipticas de que o sol occupa um dos fócios; as areas descriptas pelos raios vectores são proporcionaes aos tempos, e os quadrados dos tempos das revoluções de dois planetas quaesquer, estão entre si como os cubos dos semi-grandes eixos.

**246.** Elementos necessarios ao conhecimento da orbita de um planeta.

1.<sup>o</sup> A longitude do nó ascendente, ou o angulo da linha dos nós com a linha dos equinocios.

2.<sup>o</sup> A inclinação da orbita do planeta sobre o plano da ecliptica.

3.<sup>o</sup> A longitude do perihelio, que fixa a posição da orbita elliptica em seu plano, determinado pelos dois elementos precedentes.

4.<sup>o</sup> A distancia média ao sol, que dá o semi-grande eixo da ellipse.

5.<sup>o</sup> A excentricidade que determina, com o elemento precedente, a orbita elliptica do planeta.

6.<sup>o</sup> O instante da passagem do astro no perihelio.

7.<sup>o</sup> A revolução sideral do planeta.

Os seis primeiros elementos são sufficientes, porque a 3.<sup>a</sup> lei de Kepler nos permite calcular a duração da revolução sideral de um planeta.

O 1.<sup>o</sup>, 3.<sup>o</sup> e 6.<sup>o</sup> elementos variam com as épocas, os demais são fixos.

**247. PERIHELIO E APHELIO.** — Diz-se que um planeta está no perihelio quando a distancia do ponto da orbita em que se acha o planeta ao sol, é minima, e aphelio, quando a mesma distancia é maxima.

**248. VELOCIDADE DOS PLANETAS.**

Define-se velocidade, em geral, de um corpo qualquer em movimento, o espaço por elle percorrido na unidade de tempo; isto quando o movimento do corpo é uniforme, isto é, quando descreve espaços iguaes em tempos tambem iguaes.

Quando o movimento é variado, a velocidade do corpo em movimento é o espaço percorrido pelo corpo durante a unidade de tempo, suppondo que a partir desse momento, o corpo modificaria seu movimento, passando a mover-se uniformemente. Os movimentos de translação dos astros são, como sabemos, variados, isto é, elles não descrevem espaços iguaes na mesma unidade de tempo. Sua velocidade varia com a distancia do astro ao sol.

Praticamente se determina uma velocidade média, que se suppõe constante, dividindo o comprimento da orbita, ou o percurso de uma translação do astro, pelo numero de segundos que elle emprega para descrever sua orbita ou fazer o percurso de uma translação inteira. Obter-se-á desse modo uma velocidade média do astro na sua orbita. Assim, a velocidade média da terra na orbita é de 29.600 metros por segundo, que se obtem dividindo o comprimento da orbita pelo tempo gasto em percorrel-a, reduzido, previamente, a segundos.

---

## 20.<sup>a</sup> LICÇÃO

### **Satellites, cometas, aerolithos, bolidos e estrellas cadentes**

**249.** Chama-se satellite de um planeta, todo astro que parece circular em torno do planeta, do mesmo modo que este ultimo em torno do sol.

Segundo esta definição, a lua é satellite da terra; seu estudo já foi feito convenientemente; occupemo-nos, por consequente, dos satellites dos outros corpos celestes.

**250.** Observando jupiter, saturno, urano e neptuno com uma luneta, veremos um ou mais pontos brilhantes que se deslocam rapidamente em relação a cada um desses astros: são os seus satellites. No estudo do movimento destes satellites, não consideraremos senão os de jupiter, pela sua importancia, não só na determinação da velocidade da luz, como também no problema das longitudes.

Esses satellites são em numero de sete, dos quaes, quatro são perfeitamente visiveis, mesmo com uma luneta de pouco alcance. Designal-os-hemos pelos nomes de primeiro, segundo, terceiro e quarto. Se observarmos em um certo dia, um desses pontos brilhantes, se elle apparecer a leste de jupiter, pouco a pouco irá se afastando do seu centro de attracção, estacionando um instante em relação ao planeta para approximar-se d'elle, passando para oeste, se afastando durante algum tempo, ficando um momento estacionario para voltar, depois, a jupiter e assim seguidamente. No seu movimento, cuja velocidade é variavel, o satellite fica sensivelmente sobre uma linha recta dirigida pouco mais ou menos no plano da ecliptica. Verifica-se que os satellites de jupiter, pelo menos os quatro maiores e mais bem estudados, obedecem aos phenomenos seguintes:

1.º Elles mudam constantemente de logar, e relativamente a jupiter, ora estão a léste, ora a oeste.

2.º Cada satellite tem, em suas elongações, limites que nunca elle excede.

3.º Seus movimentos são mais sensiveis quando se approximam de jupiter, mais lentos e nullos, na apparencia, quando estão em suas digressões.

4.º As revoluções são mais longas para os satellites mais afastados.

5.º O centro de seus movimentos é jupiter, e com este astro, giram em torno do sol e não em torno da terra.

6.º Elles não apparecem sempre do mesmo tamanho. Uma observação importante que se póde fazer ainda, é que os tres primeiros satellites nunca são eclipsados ao mesmo tempo.

**251.** Pela analogia do movimento desses satellites com os movimentos de mercurio e venus, em torno do sol, conclue-se que esses pontos brilhantes são astros que teem um movimento de translação em torno do planeta.

**252.** Applicando a jupiter o que dissemos do cône de sombra da terra, quando tratámos dos eclipses, comprehende-se que jupiter deve projectar um cône de sombra muito largo e mais comprido. Donde concluímos que todos os satellites, em sua conjunção superior, deverão atravessar o cône de sombra, e, por consequente, eclipsar-se, a menos que suas latitudes não se afastem muito desse cône.

**253.** O intervallo de tempo que decorre entre duas immersões consecutivas de um mesmo satellite, toma o nome de revolução synodica do satellite.

Se o planeta ficasse immovel no espaço, a revolução synodica seria evidentemente igual á revolução sideral, isto é, ao intervallo de tempo que emprega o satellite para voltar á linha que une o centro do planeta a uma estrella particular. Porém, em virtude do deslocamento angular do planeta em torno do sol, a revolução synodica se comporá evidentemente, da revolução sideral augmentada do movimento do planeta em torno do sol.

Como se conhece este ultimo movimento, comprehende-se que quando se tiver determinado o tempo da revolução synodica, será facil obter-se o da revolução sideral.

Para determinação do tempo da revolução synodica de um satellite, conta-se o numero de immersões observadas durante uma grande numero de dias; dividindo este numero de dias pelo numero de immersões, tem-se a revolução synodica do satellite, da qual se poderá deduzir a revolução sideral.

**254.** Quanto aos satellites dos outros planetas, já vimos, não só o numero correspondente a cada um delles, como tambem as suas revoluções sideraes, quando tratámos do estudo dos planetas considerados em si mesmos.

**255.** COMETAS. — Foi Tycho-Brahe quem instituiu a verdadeira theoria dos cometas, considerando-os como ver-

dadeiros astros, e não segundo a opinião antiga, como meteoros atmosfericos.

Chamam-se cometas os astros que apparecem na abobada celeste e cujo aspecto, muito differente dos outros astros, apresenta tres partes distinctas: 1º o nucleo, que é um ponto luminoso mais ou menos brilhante que se observa no centro do astro; 2º a cabelleira, especie de aureola luminosa, cercando o nucleo e formando com elle o que se chama a cabeça do cometa; 3º enfim, a cauda, especie de traço luminoso mais ou menos longo, que acompanha o nucleo.

Os cometas se distinguem essencialmente dos planetas pela grandeza das excentricidades e inclinações de suas orbitas.

**256.** ORIGEM DOS COMETAS. — Lagrange notando que as grandes excentricidades e fortes inclinações constituem os verdadeiros caracteres desses astros, caracteres da mesma ordem dos que distinguem os efeitos de mudanças bruscas sobre o estado ordinario dos movimentos planetarios, foi conduzido a considerar os cometas como provenientes dos planetas em virtude de explosões interiores. Como faz ver A. Comte, se um astro, devido a uma explosão interior, se divide em dois fragmentos desiguaes, a principal massa, pouco affectada do impulso causado pela explosão, conservará quasi, sem alteração, o movimento anterior de seu conjuncto, em quanto a menor, recebendo um accrescimo de velocidade, poderá descrever uma ellipse muito excentrica e tambem muito inclinada, de maneira a tornar-se ou a transformar-se em um verdadeiro cometa. Esse acontecimento, accrescenta o grande philosopho, poderia mesmo sobrevir em nossos dias e escapar á nossa exploração, porque muitas massas planetarias nos são ainda conhecidas com pouca precisão, para que taes diminuições se tornassem apreciaveis.

Si, por exemplo, urano perdesse, assim, um centesimo de sua massa, nós não teriamos, sem duvida, nenhum meio de reconhecê-lo. De todas as conjecturas imaginadas até

aqui sobre a origem dos cometas, diz A. Comte, e de Lagrange é a que satisfaz melhor ao conjuncto dos caracteres que distinguem esses astros.

**257.** Observações sobre os cometas. — Um cometa não apparece, em geral, senão durante algum tempo; a observação de um cometa nos ensina, antes de tudo, que esses astros tem um movimento proprio sobre as estrellas; este movimento, muitas vezes do occidente para o oriente, tem lugar, para certos cometas, do oriente para o occidente. Determinando durante alguns dias, a ascensão recta e a declinação de um cometa, nós podemos traçar em um glóbo celeste uma pequena parte da curva sinuosa que o cometa parece descrever. Os cometas não sendo visiveis senão durante uma pequena parte da sua revolução, não se póde seguir, no estudo do seu movimento, a mesma marcha indicada pelos planetas. Admitte-se, por analogia, o movimento elliptico dos cometas em torno do sol. Com o auxilio de tres observações, podemos determinar os elementos ellipticos dos cometas; depois se prediz a posição do astro na sua orbita, para alguns dias após sua appareição, e se vê que a observação, quando bem feita, verifica a predição. Por conseguinte, a lei dos movimentos planetarios se applica tambem aos cometas.

Quasi sempre, quando se calcula a posição e a forma da orbita de um cometa, se acha que a excentricidade pouco differe da unidade.

Os astrónomos suppõem, então, que a orbita do cometa é uma parabola, e com esta hypothese calculam seus elementos. O calculo é evidentemente simplificado, e tres observações de ascensão recta e de declinação, são sufficientes para determinação dos elementos parabolicos de um cometa, elementos que são em numero de cinco: 1<sup>o</sup> a longitude do nó ascendente; 2<sup>o</sup> inclinação do plano da orbita; 3<sup>a</sup> o angulo que faz o eixo da parabola com a linha dos nós; 4<sup>o</sup> a distancia ao perihelio; 5<sup>a</sup> o sentido do movimento e a época da passagem do cometa no perihelio. Se admitirmos agora, que os elementos parabolicos de um cometa

tenham sido calculados com o auxilio de tres observações, poder-se-á, como para os planetas, predizer sua posição na abobada celeste para muitos dias depois; ver-se-á, então, que o cometa occupa, realmente, essa posição, donde podemos concluir que seu movimento está ainda submettido ás mesmas leis que os movimentos planetarios.

**258. PERIODICIDADE DOS COMETAS.** — Durante o tempo em que um cometa fica visivel, sua cauda e cabelleira mudam, geralmente, de forma; por conseguinte, quando um cometa se apresenta no céo, semelhante a um outro anteriormente observado, não se pôde affirmar que seja o mesmo astro.

Para ter-se a certeza se o cometa que apparece já foi observado se determinam, previamente, seus elementos parabolicos; se são identicos, ou mesmo approximados, aos de um outro cujos elementos já fôram observados, pôde-se concluir que é o mesmo cometa.

Pôde-se deduzir d'ahi, evidentemente, o tempo approximado da periodicidade desse astro, e por conseguinte a época da sua volta. Como para maior parte dos cometas, a hypothese parabolica é incompativel com toda idéa de volta periodica, a observação pode verificar certos phenomenos nos movimentos contrarios, porém o calculo não pôde predizer sua reaparição.

Os cometas que tem orbitas ellipticas devem apparecer periodicamente, caso não haja alguma modificação na sua marcha. Entre os cometas cuja periodicidade se tem podido determinar, contam-se pelo menos, 18, dentre os quaes citaremos o de Halley, cujo periodo de revolução é de quasi 76 annos.

O perihelio deste cometa se acha entre as orbitas de mercurio e de venus, e o seu aphelio estende-se para além da orbita de neptuno.

**COMETA DE EUCKE.** — O periodo de revolução deste cometa é de 3 annos e cerca de  $\frac{1}{3}$  do anno, ou 1200 dias.

Seu perihelio está mais proximo do sol do que mercurio, e seu aphelio não attinge á orbita de jupiter.

COMETA DE BIELA. — Este cometa foi descoberto por Biela, em Fevereiro de 1826.

Seu periodo de revolução é de 6 annos e  $\frac{3}{4}$ . No perihelio elle está mais proximo do sol do que a terra, mas, no aphelio, encontra-se além de jupiter.

Em 1846 este cometa desdobrou-se ou dividiu-se em dois que se afastam pouco a pouco um do outro.

COMETA DE FAYE. — Este cometa foi descoberto em 1843, por Faye, que annunciou sua reaparição para d'alli a 7 annos e meio; move-se no sentido directo.

No perihelio está mais proximo do sol do que mercurio, no aphelio, menos afastado do que saturno.

**259.** COMPOSIÇÃO DOS COMETAS. — Quando um cometa passa deante de uma estrella, não a eclipsa, nem tão pouco lhe diminue o brilho. Os cometas que devem ter milhares de kilometros de espessura, não diminuindo o brilho das estrellas, só poderão ser compostos de materia extremamente rarefeita, materia gazona excessivamente rara, cuja densidade deverá ser de uma pequenez extrema. Um sabio muito espirituoso, Babinet, sustentou que se podia metter toda materia de um cometa dentro de uma garrafa, onde não teria então maior densidade do que a agua.

**260.** CONCLUSÃO. — Os antigos acreditavam que os cometas eram annuncios da colera celeste. Esses temôres desapareceram depois que se aprendeu a calcular a marcha desses astros.

Mas essa mesma theoria fez nascer novos temôres, como o da quêda de um cometa sobre a terra, o que nunca será possivel. Admittindo a hypothese da quêda de um cometa, este cahiria sobre o sol, sem lhe causar grande damno. Outros pensaram em um encontro de um cometa com a terra, cujo chôque seria terrivel.

Em geral, essa idéa não tem nada de impossivel. No caso de possibilidade do chôque de um cometa com a terra, seria preciso que a terra e o cometa se achassem conjuncta-

mente, no mesmo instante, na mesma intersecção do ponto de encontro das duas orbitas, o que só por um acaso, tão singular como pouco provavel.

**261.** ESTRELLAS CADENTES, BOLIDOS E AEROLITHOS. — Designam-se sob o nome de estrellas cadentes, certos traços luminosos que fazem o mesmo effeito das estrellas, os quaes se destacam da abobada celeste e desaparecem no fim de alguns segundos.

De accôrdo com a opinião dos astrônomos, as estrellas cadentes devem ser corpos de diminutas dimensões, os quaes encontrando a nossa atmosphera, se aquecem em consequencia da resistencia do ar, até ao ponto de se tornarem luminosos. As estrellas cadentes não apparecem todas as noites em igual quantidade.

Perto de 10 de Agosto e de 13 de Novembro, são muito mais numerosas do que nas outras épocas do anno.

Algumas vezes esse phenomeno apresenta tão grandes proporções que se lhe dá o nome de chuva de estrellas. Alguns são de opinião que esses meteóros são restos de desagregamentos de cometas, verdadeiros fragmentos que a terra encontra em certas épocas, em sua trajectoria.

**262.** Bolidos são estrellas cadentes que atravessam a atmosphera terrestre, perto da superficie do nosso globo, não como simples pontos luminosos, mas como verdadeiros glóboes de fogo, algumas vezes enormes. Em certos casos o bolido córta a atmosphera e desaparece; em outros, cahe como um só blóco sobre a superficie da terra ou rebenta no ar como uma bomba, projectando, no sólo, seus fragmentos ardentes. Quando cahe sobre a superficie da terra toma o nome de aerolithos; estes conteem ferro, silica, magnesia, nickel, etc. O mais famoso aerolitho foi o encontrado nas margens do Bedengó, na Bahia, e transportado para o Museu Nacional do Rio de Janeiro.

---

21.<sup>a</sup> LICÇÃO**Nebulosas. — Via lactea. — Constellações ou asterismos, numero**

**263.** Dá-se o nome de nebulosas, aos clarões ou manchas diffusas que vemos por todas as partes do céu.

O numero destas manchas, cuja posição na esphera celeste parece, até hoje, tão immovel como as estrellas o pareciam outr'ora, é muito grande, por quanto, em 1802, William Herschell já tinha catalogado duas mil e quinhentas nebulosas.

**264.** Classificam-se as nebulosas em duas grandes divisões: 1.<sup>a</sup> as nebulosas resoluveis, que são compostas de estrellas distinctas; 2.<sup>a</sup> as nebulosas irreductiveis ou não resoluveis, formadas, ao que parece, de uma materia vaporosa, conhecida pelo nome de materia cosmica em via de organização; os pontos brilhantes que muitas apresentam, são centros de attracção, em que essa materia se concentra, destinados a formar, com o decorrer dos seculos, verdadeiras estrellas.

**265.** A forma das resoluveis é muito variada; nota-se que ellas teem a forma de um annel, outras apresentam a forma de espiraes, entretanto, a forma circular é a que ellas mais geralmente apresentam.

As nebulosas não se acham espalhadas uniformemente em todas as regiões do céu; as regiões que contem mais nebulosas são aquellas aonde se acham a Grande Ursa, a Cassiopéa, a Cabelleira de Berenice e a Virgem.

O numero de estrellas contidas em certas nebulosas é enorme; as observações de Herschell provam que em uma nebulosa, cujo diametro é de quasi dez minutos, não se contam menos de 20.000 estrellas. As nebulosas não resoluveis apresentam na esphera celeste espaços muito extensos. A forma das grandes nebulosas não resoluveis não

apresenta nenhuma regularidade; as nebulosas que mais se approximam da forma circular, são as que offerecem as menores dimensões.

**266. DAS NUVENS DE MAGELLAN.** — Um dos phe-nomenos mais curiosos do hemispherio sul, é o que apresen-tam as duas nuvens de Magellan, especies de nebulosas resoluveis, notaveis pelo seu brilho e pela sua grandeza.

Hercshell encontrou na grande nuvem de Magellan, 582 estrellas, 291 nebulosas não resoluveis e 46 nebulosas resoluveis; na pequena nuvem contou 200 estrellas, 57 nebulosas não resoluveis e 7 nebulosas resoluveis.

**267. VIA-LACTEA.** — A Via-latea é uma zona esbran-quificada, um pouco irregular, que se vê, á simples vista, na esphera celeste. Esta zona que abraça pouco mais ou menos um dos grandes circulos da esphera celeste, atra- vessa, nos dois hemispherios, um grande numero de con- stellações.

E' inteiramente resoluvel em muitos pontos, mas em muitos outros vê-se sempre uma luz esbranquiçada irreduc-tivel, através de uma multidão de estrellas, que observa- mos com o auxilio do telescopio. O centro do nosso sys- tema planetario deve provavelmente fazer parte della. A constituição da Via-lactea foi um assumpto de estudos pro- fundos de Hercshell, que avaliou o numero de estrellas nella contido em mais de cincoenta milhões. Quando se pensa que cada uma dessas estrellas é um sol analogo ao nosso; que, muito provavelmente, em torno de cada um desses sóes, como em torno do nosso, circulam planetas aos quaes elles distribuem luz e calor; que, muito provavel- mente ainda, sobre cada um desses planetas existem mul- tidões de seres vivos de especies diferentes; quando se tenta, em seguida, contar o numero de sóes que povôam o universo, o numero de seres vivos que nascem e morrem em todos esses mundos, — a nossa imaginação pára, con- fundida, deante de uma tal immensidade!

A Via-lactea passa perto de Sirius, entre Orion e os Gemeos, pela Cabra, Persen, Cassiopéa e Cysne. Chegada

a esta ultima constellação, divide-se em dois ramos que, depois de se conservarem separados num comprimento de  $120^\circ$ , pouco mais ou menos, se reúnem no hemispherio austral para lá do Scorpião.

**268.** DIMENSÕES DA VIA-LACTEA. — Herschell, comparando por meio de medidas photometricas as estrellas da 6<sup>a</sup> grandeza com a estrella  $\alpha$  do Centauro, achou que as estrellas de 6<sup>a</sup> grandeza estão 10 vezes mais distantes de nós do que a estrella  $\alpha$  do Centauro. Depois, comparando as estrellas de 6<sup>a</sup> grandeza com as de 13<sup>a</sup>, achou que estas estão em média a uma distancia 75 vezes maior; por conseguinte estão 750 vezes mais distantes de nós do que a estrella  $\alpha$  do Centauro.

Resulta d'ahi ser o diametro da Via-lactea 1500 vezes maior do que a distancia dessa estrella, gastando a luz mais de 4000 annos em percorrê-la.

**269.** Constellações ou asterismos, numero. Chamam-se constellações certos grupos determinados de estrellas, aos quaes se attribuem nomes especiaes, que na maioria dos casos nenhuma semelhança tem com os animaes ou os objectos que esses nomes representam.

O numero de constellações ainda hoje é arbitrario, e varia com os astrónomos.

Destes, alguns contam, 117 constellações. Os nomes destas são tirados, na maior parte, da mythologia grega.

Designam-se as estrellas de uma constellação pelas letras do alphabeto grego, ou pelas do alphabeto latino.

As primeiras letras do alphabeto grêgo servem para designar as estrellas mais brilhantes de cada constellação.

A algumas estrellas mais notaveis fôram dados nomes especiaes.

Por exemplo, a mais bella estrella da constellação do Cão Maior, tem o nome de Sirius; do Cão Menor, Procyon; a mais bella da constellação de Argus, considerada como o

centro do universo sideral, Canopus; a mais notavel da constellação da Lyra, Wega; a  $\alpha$  da constellação de Orion, Betelgeuse; da Constellação da Virgem, Espiga, etc.

**270.** Para encontrarmos as constellações no céu, empregam-se certos alinhamentos determinados por estrellas bem conhecidas. Precisamos, porém, notar, que as estrellas não apparecem no mesmo ponto do céu, á mesma hora da noite, em todo decurso do anno.

O aspecto da abobada celeste em uma determinada da noite, varia segundo as estações, devido ao deslocamento proprio do sol entre as estrellas.

Estudando o céu e os glóbulos celestes, o observador encontrará, para determinar a estrella que quizer, alinhamentos que lhe são proprios.

Para semelhante determinação, ha atlas uteis, como o do Dr. Cruls, que feito para o Rio de Janeiro, poderá ser applicado em todo Brasil.

**271.** CONSTRUÇÃO DOS GLÓBOS CELESTES. — Se com o auxilio de instrumentos apròpriados, nós determinarmos a ascensão recta e a declinação de cada estrella, podemos levar esta ascensão recta a esta declinação sobre uma esphera, sobre a qual traçaremos, previamente, dois grandes circulos perpendiculares, um representando o equador, outro passando pelo ponto vernal. Teremos, assim, uma primeira representação exacta da abobada celeste quanto ás estrellas.

Se determinarmos, durante algum tempo, as coordenadas das estrellas, sem levar muito longe o rigôr das observações, notaremos que quasi ellas conservam, constantemente, a mesma declinação e a mesma ascensão recta, salvo algumas irregularidades de que trataremos quando estudarmos o movimento das estrellas.

As observações tambem explicam porque as estrellas parecem conservar as mesmas posições relativas; porque se levantam e se deitam nos mesmos pontos do horisonte; enfim, porque teem sempre a mesma elevação maxima acima no horisonte.

**272.** PLANISPHERIOS OU CARTAS CELESTES. — Para o estudo da esphera celeste, o glôbo nem sempre é sufficiente, porquanto, teriamos de dar dimensões muito grandes, enormes mesmo, para que as posições relativas das estrellas podessem ser nelle referidas e representadas de um modo distincto. Por esta razão se prefere referir as posições das estrellas sobre um plano. A esphera não sendo uma superficie desenvolvivel, somos obrigados a adoptar um systema qualquer de projecção.

Dentre os differentes modos de projecção que podemos empregar, devemos preferir os que conservam, pouco mais ou menos, nas constellações, a fórma sob a qual nol-as vemos na abobada celeste. A ascensão recta e a declinação sendo duas coordenadas que servem para determinar a posição dos astros, quando se tomam para eixos coordenadas o equador e um plano horario, — basta, para formar as cartas celestes, uma vez o systema de projecção adoptado, determinar a posição do equador e a do meridiano, e collocar as estrellas de accôrdo comi as suas respectivas coordenadas.

---

## 22.<sup>a</sup> LICÇÃO

### **Estrellas fixas, numero, grandeza, estrellas varias, coloridas, duplas, triplas e multiplas**

**273.** Já vimos que as estrellas são astros que parecem conservar na abobada celeste suas posições relativas.

As estrellas não são igualmente brilhantes. Muitas das visiveis nos apresentam, na luz que nos enviam, todas as nuances de intensidade concebiveis para passar da mais brilhante a que tem menos brilho.

Diz-se então que uma estrella é de 1.<sup>a</sup>, 2.<sup>a</sup>, 3.<sup>a</sup> 4.<sup>a</sup>... grandeza, conforme é mais ou menos brilhante.

A olho nú, como já vimos, não se pôde geralmente perceber senão até á 6.<sup>a</sup> grandeza. Os astrônomos ainda não

estão muito de accôrdo, de uma maneira rigorosa, sobre o numero de estrellas de 1.<sup>a</sup> grandeza.

Todavia, está geralmente adoptado que se contam 20 estrellas de 1.<sup>a</sup> grandeza, das quaes, 11 pertencem ao hemispherio austral, e 9 ao boreal.

Estas estrellas são as seguintes :

Sirius.  
 Procyon.  
 Altair.  
 Canopus.  
 Betelgeuze.  
 A Espiga.  
 $\alpha$  do Centauro.  
 Achernar.  
 Fomalhant.  
 Arcturus.  
 Aldebaran.  
 $\alpha$   $\beta$  da Cruz do Sul.  
 Rigel.  
 $\beta$   $\gamma$  do Centauro.  
 Regulus.  
 A Cabra.  
 $\beta$  da Cruz do Sul.  
 Pollux.  
 Vega.  
 Antarés.

Estas estrellas são todas visiveis no Rio de Janeiro; seis dellas são invisiveis na Europa, a saber: Canopus,  $\alpha$  e  $\beta$  do Centauro, Achernar e  $\alpha$  e  $\beta$  do Cruzeiro.

A' medida que se consideram intensidades de mais a mais fracas, o numero de estrellas que contem cada uma das outras ordens de grandeza, augmenta rapidamente. Há uma regra empirica por meio da qual podemos determinar, com grande approximação, o numero de estrellas que contem todas as outras ordens de grandeza. Essa regra consiste em multiplicar por 3, para obter o numero de estrellas de uma

grandeza qualquer, o numero de estrellas da grandeza anterior. Assim, se multiplicarmos por 3 o numero de estrellas da 1.<sup>a</sup> grandeza, obteremos, com alguma approximação, o numero de estrellas de 2.<sup>a</sup> grandeza, (60); se multiplicarmos este numero por 3, obteremos o numero de estrellas de 3.<sup>a</sup> grandeza, (180); este numero multiplicado por 3, dar-nos-á o numero correspondente á 4.<sup>a</sup> grandeza, (540), e assim por diante. Admittindo que a lei tenha logar até a decima quarta grandeza, o numero total de estrellas que podemos ver por meio do telescópio, é a somma dos 14 termos de uma progressão geometrica, cujo 1.<sup>o</sup> termo é 20, numero total de estrellas de 1.<sup>o</sup> grandeza, e a razão 3, por consequente, peía arithmetica, teremos:

$$S = \frac{lr - a}{r - 1} = \frac{20 \cdot 3^{14} - 20}{2} = 47839700.$$

E' muito provavel que este numero péque por defeito, e que o numero total de estrellas até á 14.<sup>a</sup> grandeza seja muito superior.

**274. MOVIMENTO DAS ESTRELLAS.** — Emquanto os instrumentos de observação não chegaram ao gráo de perfeição que os distingue hoje, as estrellas fôram consideradas como permanecendo sempre nas mesmas posições relativas; d'ahi o nome de fixas que receberam.

Porém, depois que os progressos realizados nos instrumentos de optica e na graduação dos instrumentos de observação, permittiram determinar as posições dos astros com uma exactidão quasi mathematica, as estrellas perderam o nome de fixas.

Se determinarmos hoje com a maior precisão possível, a ascensão recta e a declinação das estrellas, acharemos que essas coordenadas não permanecem constantes.

As variações nas coordenadas desses astros provem de muitas causas: 1.<sup>a</sup> de um movimento particular do eixo de rotação da terra; 2.<sup>a</sup> da velocidade da luz que emana da estrella, combinada com a velocidade de rotação e de translação da terra em torno do sol; 3.<sup>a</sup> de um movimento geral

de todo systema planetario; 4<sup>a</sup> de um movimento proprio a cada estrella. Segundo a opinião de Arago, certas estrellas apresentando um movimento proprio angular apparente apreciavel, não guardarão as mesmas posições relativas, acabando por se deslocarem, em um futuro mais ou menos longinquo, das constellações onde se as vê hoje, produzindo, por conseguinte deformações nas referidas constellações. Os movimentos proprios das estrellas não se executam no mesmo sentido e em linha recta, nem com uma velocidade uniforme.

As estrellas mais brilhantes teem, na média, movimentos proprios mais consideraveis; e em grandezas iguaes, as estrellas duplas teem, geralmente, movimentos mais pronunciados.

**275.** DISTANCIAS DAS ESTRELLAS Á TERRA. — Para determinarmos as distancias das estrellas á terra, precisamos, como já vimos no estudo que fizemos do sol e da lua, determinar, previamente, suas parallaxes. Como as estrellas estão a distancias enormes da terra, o raio desta não póde mais servir para base do angulo que seria visto do centro da estrella. Como é facil comprehender, os raios visuaes dirigidos das duas extremidades do raio da terra, para uma estrella qualquer, mesmo a mais proxima da terra, como  $\alpha$  do Centauro, seriam parallelos e o angulo nullo.

Procurou-se, então, uma base maior: tomou-se a orbita da terra.

Podemos assim definir parallaxe de uma estrella, como sendo o angulo sob o qual o raio da orbita da terra seria visto do centro dessa estrella.

Seja  $ANB$ , a orbita quasi circular, que a terra descreve em volta do sol,  $S$ , fig. 57; sejam  $E$  uma estrella, e  $AB$  o diametro da orbita terrestre, perpendicular a  $ES$ . Ao angulo  $AEB$ , sob o qual se vê da estrella o diametro da orbita terrestre, chama-se parallaxe absoluta da estrella; e ao angulo  $AES$ , sob o qual se vê perpendicularmente da estrella o raio da orbita da terra, chama-se a sua parallaxe annual.

Designando por  $p$  esta parallaxe, teremos:

$$p = \frac{AEB}{2} = \frac{180^\circ - (A + B)}{2} = 90^\circ - \frac{A + B}{2}.$$

Por conseguinte, para determinarmos a parallaxe annual de uma estrella, medem-se com intervallo de seis mezes os angulos  $A$  e  $B$ , e tira-se a sua semi-somma de  $90^\circ$ .

**276. CALCULO DAS DISTANCIAS DAS ESTRELLAS Á TERRA.**

— Conhecida a parallaxe annual de uma estrella, é facil calcular a sua distancia á terra. Com effeito, designando por  $R$ , fig. 57, o raio  $AS$  da orbita terrestre, por  $d$  a distancia  $AE$  da estrella á terra, e por  $p$  a parallaxe annual da estrella, o triangulo  $AES$  dá

$$R = d \operatorname{sen} p,$$

donde

$$d = \frac{R}{\operatorname{sen} p}$$

Como a parallaxe de uma estrella é sempre muito pequena, e para arcos muito pequenos, estes são proporcionaes aos seus senos, temos:

$$\frac{1}{p} = \frac{\operatorname{sen} 1''}{\operatorname{sen} p},$$

donde  $\operatorname{sen} p = p \operatorname{sen} 1''$ , por conseguinte,

$$d = \frac{R}{p \operatorname{sen} 1''},$$

e como

$$\frac{1}{\operatorname{sen} 1''} = 206265,$$

teremos, finalmente:

$$(1) \quad d = \frac{206265 R}{p},$$

d'ahi a seguinte regra: para acharmos a distancia de uma estrella á terra, multiplica-se o raio da orbita terrestre por 206265, e divide-se o producto pela parallaxe da estrella.

Figuremos um exemplo.

Supponhamos que o valor da parallaxe de uma estrella seja de 1''; como a distancia média do sol á terra, ou o raio da orbita terrestre é de 149000000 de kilometros, teremos applicando a formula (1):

$$d = \frac{206265 \times 149000000}{1''} =$$

= 30.584.485.000.000 de kilometros.

A estrella mais proxima da terra, como já dissemos, é  $\alpha$  da constellação do Centauro; sua parallaxe é de 0'',91.

Sirius, da constellação do Cão Maior, a estrella mais brilhante do céu, tem para valor da sua parallaxe, 0'',23, gastando sua luz para chegar á terra, 14 annos.

**277.** Estrellas variaveis, estrellas coloridas, estrellas duplas, triplas e multiplas.

Quando se deseja estudar as estrellas fóra dos movimentos que ellas pódem ter, tudo se reduz em observar: 1.º a intensidade da luz; 2.º sua côr.

Em um e outro caso, tudo se reduz ainda em saber se há constancia ou não nos phenomenos correspondentes.

ESTRELLAS VARIAVEIS. — O brilho de certas estrellas diminue e o de outras augmenta, o que é facil demonstrar comparando os catalogos antigos com os modernos.

Assim, a estrella  $\eta$  de Argus, era de 4ª grandeza no seculo 17, de 2ª em 1752, e de 1ª em 1850; depois de 1863, deixou de ser visivel á simples vista.

Ha estrellas tambem cujo brilho muda periodicamente,  $\beta$  da Lyra, por exemplo, varia de 3ª á 5ª grandeza, no periodo de 6 dias e 9 horas;  $\sigma$  da Bahia varia entre a 2ª grandeza e o desaparecimento completo, no periodo de 334 dias.

**ESTRELLAS COLORIDAS.** — As estrellas não se apresentam todas com a mesma côr; umas são vermelhas, outras brancas, azues, amarellas ou verdes. Algumas estrellas teem mudado de côr desde os tempos antigos; assim, a estrella Pollux dos Gemeos, hoje amarella, é indicada pelos antigos como vermelha; Sirius do Cão Maior, passou da côr vermelha á côr branca.

Arcturus do Boeiro, Aldebaran do Touro, Antares do Scorpião, etc., são vermelhas; Altair da Grande Aguiã, a Cabra, etc., são amarellas; outras, mais raras, são azues ou verdes.

**ESTRELLAS DUPLAS, TRIPLAS E MULTIPLAS.**

Chamam-se estrellas duplas, triplas e multiplas, grupos de duas, tres, quatro, etc., estrellas, que se nos afiguram extremamente approximadas umas das outras.

Visando com lunetas poderosas estrellas que se nos afiguram simples, reconheceremos que são multiplas.

O numero de estrellas duplas assignaladas e catalogadas por Struve, excede já de 3057. O mesmo Struve registou cerca de 52 estrellas triplas, comprehendidas nos limites das distancias angulares que nós acabamos de dar para os elementos das estrellas duplas.

Entre as estrellas triplas, citaremos:  $\alpha$  de Andromeda,  $\zeta$  de Cancer,  $n$  do Lobo,  $\xi$  do Scorpião, etc.

As estrellas quadruplas são pouco numerosas; dentre estas estrellas a mais notavel é  $\epsilon$  da Lyra.

Além das estrellas quadruplas, podemos citar, como estrella multipla,  $\theta$  de Orion, que se compõe de quatro estrellas principaes, de 4<sup>a</sup>, 6<sup>a</sup>, 7<sup>a</sup> e 8<sup>a</sup> grandezas, dispostas nos quatro angulos de um trapezio, cuja maior diagonal tem quasi um comprimento de 21'.

**278.** A' excepção de  $\zeta$  do Cancer, que é uma estrella tripla, e cujo movimento já foi estudado, não se conhecem ainda senão o movimento das estrellas duplas. As duas estrellas distinctas de que as estrellas duplas se compõem, teem, em geral, intensidades muito differentes; de mais, a

estrella que tem menos intensidade se acha ora a léste, ora a oéste da maior, e sua distancia angular varia.

Determina-se a lei das variações desse movimento angular relativo, com o auxilio de dois instrumentos micrometricos. Estudado assim, o movimento das estrellas duplas, se reconheceu que a curva relativa que a menor estrella descreve em torno da maior, tem a forma de uma ellipse, e satisfaz ou obedece ás leis, ás quaes estão submettidos os astros em movimento.

Assim, a estrella  $\alpha$  do Centauro, a mais proxima de nós, é, como já vimos, uma estrella dupla.

A menor emprega 78 annos para fazer uma revolução inteira em torno da maior.

---

## 23.ª LICÇÃO

### Posição da esphera. — Recta, parallela e obliqua

279. Já vimos que, qualquer que seja a posição do observador no glôbo, as estrellas conservam sempre as mesmas posições relativas; mas, o aspecto do movimento dos astros em relação ao horisonte, muda com a posição do observador. Vimos tambem que dia de um astro, é o tempo que este astro gasta para percorrer o arco do seu parallelo situado acima do horisonte racional, e noite, o tempo que elle gasta ou emprega para percorrer o arco situado abaixo do mesmo horisonte. O comprimento desses arcos, cuja somma faz sempre  $360^\circ$ , depende da latitude do logar e da declinação do astro.

280. Theoricamente, o observador pôde occupar sobre o glôbo tres posições distinctas:

1ª Estar em um dos pólos, isto é, ter sua latitude igual a  $90^\circ$ ; sua vertical se confunde com o eixo de rotação da abobada celeste, e seu horizonte com o equador.

2ª Póde o observador estar sobre o equador, isto é, ter sua latitude igual a zero e seu horisonte racional perpendicular ao equador.

3ª Emfim, póde o observador estar em um ponto qualquer do glóbo, isto é, ter sua latitude comprehendida entre  $0^\circ$  e  $90^\circ$ , e seu horisonte inclinado sobre o equador.

Estas tres posições principaes determinam, no movimento da esphera celeste, tres aspectos correspondentes que se designam sob os nomes de esphera parallela, esphera recta e esphera obliqua.

**281. DA ESPHERA PARALLELA.** — Se o observador está situado no pólo, todos os astros cuja distancia polar não varia, descrevem parallelos ao horisonte.

O observador não perceberá senão os astros que se acham em um mesmo hemispherio que o delle; para esses astros ha constantemente dia, e o observador não avistará os astros do outro hemispherio.

Antolycus, astronomo grego, definia a esphera parallela, como sendo a que, girando em torno do seu eixo, nenhum dos pontos da superficie não se levantava nem se deitava, isto é, os astros na esphera parallela não tinham nascimento nem occaso, porque o equador se confundia com o horisonte e o pólo com o zenith.

**282. DA ESPHERA RECTA.** — Quando o observador está situado no equador, seu horisonte é perpendicular a este circulo, todos os parallelos descriptos pelos astros no movimento da esphera celeste teem seus planos perpendiculares ao horisonte, e são divididos em duas partes iguaes por este circulo. O observador verá, todos os astros da abobada celeste, e para cada um delles ha igualdade de dia e de noite.

Antolycus, já citado anteriormente, definia a esphera recta como sendo aquella em que todos os pontos se levantam e se deitam, e passam tanto tempo acima como abaixo do horisonte.

**283. DA ESPHERA OBLIQUA.** — Para um observador situado entre o equador e os pólos, os parallelos estão mais ou menos inclinados sobre o horisonte; algumas estrellas

serão circumpolares, outras nunca serão visíveis, outras, enfim, terão nascimento e occaso, mais o tempo que ficam acima do horisonte não é igual ao tempo que ficam abaixo do mesmo horisonte, salvo as que percorrerem o equador celeste.

Para Antolycus, a esphera obliqua era aquella que tinha o horisonte obliquo ao eixo, e tangente a dois parallelos iguaes. O parallelo visinho do pólo elevado era sempre apparente, o outro sempre invisivel.

Vê-se, assim, como os antigos tinham uma ideia nitida, perfeita, das espheras parallela, recta e obliqua.

---

## 24.ª LIÇÃO

### Zodiaco. — Constellações zodiacaes

284. O sol descrevendo a ecliptica, no seu movimento apparente, percorre dôze constellações principaes, situadas sobre uma zona da esphera parallela á ecliptica.

Essa zona, que comprehende 8° ao norte e 8° ao sul da ecliptica, tomou o nome de zodiaco. Ella é dividida em dôze partes iguaes, chamadas signos do zodiaco. As dôze constellações do zodiaco são:

Aries, Taurus, Gemini, Cancer, Leo, Virgo, Libra, Scorpio, Arciteneus, Caper, Amphora, Pisces.

Estes nomes conservam-se facilmente de memoria, por meio dos dois versos de Virgilio:

Sunt Aries, Taurus, Gemini, Caacer, Leo, Virgo  
Libraque, Scorpius, Arciteneus, Caper, Amphora, Pisces.

285. A ordem em que nós acabamos de enumerar essas constellações, é a mesma em que o sol as percorre.

Ora, no tempo de Hipparco, quando o sol se achava no ponto vernal, isto é, na passagem do hemispherio sul

para o hemispherio norte, elle estava na constellação de Aries, d'ahi foi que veio o nome de equinocio de Aries ou da primavera. Quando o sol se achava no solsticio do verão, ao norte, passava pela constellação de Cancer, então o paralelo que elle descrevia no solsticio, ao norte, tomou o nome de tropico de Cancer. Emfim, no outro equinocio, o sol se achava na constellação da Libra, donde lhe veio a denominação de equinocio da Libra ou do Outomno.

No solsticio, ao sul, o sol se achava na constellação de Caper, e d'ahi a denominação de tropico de Capricornio para o paralelo que elle descreve nesse dia.

A linha dos equinocios, como já vimos, não é fixa e tem um movimento retrogrado do oriente para o occidente, de modo que, actualmente, o equinocio da primavera não se acha mais na constellação de Aries, mas na de Pisces, porquanto, o ponto vernal retrograda de uma constellação em cerca de dois mil annos. Os astrônomos affectam com signaes particulares as constellações do zodiaco.

Assim, a constellação de:

Aries.....	se representa por	♈	
Taurus...	»	»	♉
Gemini...	»	»	♊
Cancer...	»	»	♋
Leo.....	»	»	♌
Virgem...	»	»	♍
Libra.....	»	»	♎
Scorpio...	»	»	♏
Arciteneus	»	»	♐
Caper....	»	»	♑
Amphora.	»	»	♒
Pisces....	»	»	♓

286. Chama-se signo do zodiaco ao arco de  $30^\circ$  ou a duodecima parte de  $360^\circ$ , que o sol percorre annualmente sobre a ecliptica. O primeiro signo teve sua origem no equinocio da primavera; como no tempo de Hipparco, a passagem por esse equinocio tinha lugar quando o sol entrava na constellação de Aries, foi por isto chamado signo de Aries; o segundo signo, isto é, o segundo arco de  $30^\circ$  tomou o nome, pelo mesmo motivo, de signo de Taurus, e assim por diante. Esses signos conservaram seus nomes, e se vê ainda hoje, escripto, nas ephemerides de Paris (Annuaire du Bureau des Longitudes), que a 21 de Março o sol entra no signo de Aries.

Isto faz ver que os signos são distinctos das constellações, e que taes signos teem conservado os nomes das constellações que lhes correspondiam ha dois mil annos, mas que lhes não correspondem mais actualmente.

Portanto não devemos confundir os signos do zodiaco com as constellações que lhes correspondem actualmente.

Assim, quando dizemos que o sol no dia 21 de Março entra no signo de Aries, devemos ter em vista que elle entra na constellação do Pisces.

Não se conhece, ao certo, a origem desses signos, não obstante alguns formarem verdadeiras imagens.

---

## 25.ª LICÇÃO

### Calendario Juliano e Gregoriano. — Epacta

287. O calendario é uma instituição que tem por fim tornar possivel assignalar a posição de qualquer acontecimento na serie dos tempos, de sorte que, dados muitos factos, possamos determinar a ordem em que se realizaram.

Para isso toma-se um acontecimento, que é a era, e suppõe-se todo o tempo decorrido antes e depois desta era como uma reunião indefinida de intervallos, cuja duração é

previamente conhecida. Cada um destes intervallos representa o tempo que dura certo phenomeno; para maior facilidade deve ser escolhido sempre o mesmo phenomeno e nas mesmas circumstancias, para que se possam considerar os intervallos iguaes entre si.

**288.** Cada intervallo representará, portanto, a unidade com que se avalia o tempò; e claro é que semelhante unidade pôde ser escolhida de tamanhos diversos. Desde então o momento de cada phenomeno fica sufficientemente conhecido, indicando-se o numero de unidades de tempo decorrido desde a éra até á realização delle. Este numero é o que se chama a data.

**289.** Para realização da determinação das datas cumpre escolher unidades de tempo. Mas o tempo que se deseja avaliar, podendo ser longo ou curto, importa que existam varias unidades á nossa disposição de tamanhos diversos. Torna-se ainda necessario que as unidades sejam grandezas susceptiveis de conservar-se indefinidamente, sem risco de perda.

Foi esta consideração que nos levou a tomar para base do systema metrico uma fracção determinada do meridiano terrestre.

A formulação do calendario exige, portanto, em primeiro logar a determinação das unidades de tempo.

**290.** Ora, nenhum phenomeno se apresenta mais espontaneo do que o dia, isto é, o tempo decorrido entre dois nascimentos do sol.

E' uma unidade accessivel a todos os grãos da evolução humana, e que deve ter existido desde o periodo fetichista, mas tem o inconveniente de ser uma unidade por demais pequena para avaliação de épocas consideraveis.

As phases da lua deviam ter fornecido uma nova unidade, chamada lunação, mas que ainda é curta.

Com a passagem da vida nomade para a vida sedentaria, appareceu o anno, tempo empregado para o sol nascer duas vezes no mesmo ponto.

Tinhamos assim as tres unidades: o dia, a lunação e o anno.

Tratou-se de estabelecer a subordinação dessas tres unidades, de modo que se pudesse converter umas nas outras, *ad libitum*.

**291.** As primeiras tentativas deram, no Egypto, 365 dias ao anno; a descoberta era de tal ordem, que o pôvo acreditava ser uma dadiua dos deuses, jurando cada Pharaó que subia ao throno, a manutenção do calendario.

Com o correr do tempo a classe sacerdotal reconheceu que o numero de dias do anno não era exacto: no fim de 365 dias o sol ainda não havia attingido ao ponto de partida; era preciso, para tanto, mais um quarto de dia approximadamente.

Resolveram os sacerdotes adoptar os 365 dias para valor do anno, mas, de quatro em quatro annos contavam 366 dias, e assim restabeleciam, periodicamente, o accôrdo entre o anno real e o anno subjectivo, como se costuma dizer em linguagem philosophica.

Guardaram porém o segredo sem duvida com receio de revoltar contra si o pôvo, que não deixaria de ver nisso uma offensa aos deuses.

Havia portanto dois annos no Egypto: um de 365 dias invariavelmente, que se denominava vago, por não concordar em geral com o anno real, e outro sacerdotal. Em Roma servia tambem o anno vago; de sorte que no tempo de Julio Cesar havia já uma differença consideravel entre os dois annos.

**292.** CALENDARIO JULIANO. — Julio Cesar, dictador e summo pontifice, comprehendendo a importancia e a necessidade de uma reforma conveniente do calendario, mandou vir da Alexandria o astronomo Sosigenes para guiá-lo nessa empreza. Nessa época, o anno era considerado, como já vimos, contendo 365 dias o anno vago, e 365 dias e 6 horas, o anno sacerdotal.

Julio Cesar deu um verdadeiro golpe de estado, e determinou que houvesse de 4 em 4 annos, 3 anno de 365

dias e um de 366 dias, e que este periodo quaternario se repetisse successivamente.

O excesso de um dia, de 4 em 4 annos, provinha então do producto de 4 pelas 6 horas restantes em cada anno.

Em virtude do uso consagrado na intercalação do Marcedonius, Julio Cesar quiz igualmente que o dia complementar, addicionado de 4 em 4 annos, fôsse tambem interposto entre 23 e 24 de Fevereiro. Este ultimo dia chamava-se então entre os romanos — *Sexto Calendas Martii* — o sexto dia antes das calendas de Março, ou antes de 1º de Março.

Quando a intercalação tinha logar, o dia 25 de Fevereiro tinha tambem esse mesmo qualificativo, isto é, nos annos de 366 dias, diziam-se duas vezes (bis) sexto calendas martii.

Dos dois termos latinos, *bis* e *sexto*, formou-se a palavra bissexto, que designa actualmente os annos em que o mez de Fevereiro tem 29 dias.

Na organização do seu calendario, Julio Cesar conservou convenientemente os nomes dos diversos mezes, tendo, porém, a necessidade de juntar um ou dois dias a alguns dentre elles.

O mez de Fevereiro, embóra de menor duração foi conservado com os seus 28 dias usuaes, afim de não causar alteração na ordem das praticas religiosas que nelle eram então celebradas.

Depois da sua morte, Marco Antonio ordenou que se dêsse o nome de Julius ao mez Quintilis, em homenagem a Cesar. Do mesmo modo, mais tarde, por um decreto do senado romano, o mez Sextillis tomou o nome de Augustus, em homenagem a Cesar Augusto.

• O calendario Juliano teve approvação de todas as auctoridades scientificas, e foi geralmente admittido entre todos os povos do dominio romano.

Foi posto em uso no dia 1º de Janeiro do anno 45 antes de Christo, e conservado sem alteração alguma durante mais de 15 seculos,

Em resumo, a reforma de Julio Cesar consistiu em dividir o anno em 365 dias e um quarto, havendo em cada periodo de quatro annos, tres de 365 dias e um de 366, que tomou o nome de bissexto, sendo o dia supplementar adicionado ao mez de Fevereiro.

Para corrigir os erros precedentes, Julio Cesar ordenou que o anno da reforma tivesse 445 dias, tomando então o nome de anno da confusão.

**293.** REFORMA GREGORIANA. — O anno médio do calendario Juliano era de 365 dias e 6 horas, ao passo que o anno tropico tem apenas 365 dias, 5 horas, 48 minutos e 47,5 segundos; essa pequena discordancia de 11 minutos e 12,5 segundos occasionou, embóra de um modo lento, o deslocamento geral das estações de uma para outra parte do anno. Assim, na época do concilio de Nicéa, que teve logar no anno de 325, a primavera começava em 21 de Março, e no fim de 16 seculos a entrada dessa estação realizava-se em 11 de Março, havendo por conseguinte uma differença de 10 dias entre o anno solar e o anno civil.

Foi para corrigir esse novo desaccôrdo que o Papa Gregorio XIII introduziu uma nova alteração e uma nova regra.

No anno 1582 fôram por sua ordem subtrahidos 10 dias do mez de Outubro, de sorte que o seu dia 5 foi bruscamente considerado 15.

O inicio da primavera foi assim novamente transportado para 21 de Março, como no tempo do concilio já citado. Para evitar o deslocamento das datas nos seculos futuros, ficou tambem determinado que, no intervallo de 4 seculos, supprimir-se-iam 3 annos bissextos, o que dá, 146097 dias, ao periodo de 400 annos, e fixa deste modo a duração do anno médio em,  $365^d 5^h 49^m 12^s$ .

No calendario Juliano todos os annos seculares são bissextos, visto serem elles multiplos de 4; no calendario ou reforma gregoriana há apenas um bissexto em 4 annos seculares consecutivos.

A reforma gregoriana não foi geralmente aceita por todos os povos christãos. Os gregos, os russos, os christãos orientaes usam ainda hoje o calendario Juliano.

**294.** Para saber-se se um anno dado é bissexto ou commum, na reforma gregoriana, divide-se por 4 a parte não secular do millesimo; o resto indicará um anno bissexto ou commum, conforme fôr elle nullo ou positivo. Se porém o anno proposto fôr secular, divide-se por 4 o numero secular do millesimo; o resto indicará então um anno, bissexto ou commum, correspondentes a uma divisão exacta ou inexacta. Exemplos. O anno gregoriano 1585 não é bissexto porque o resto da divisão de 85 por 4 é 1. O anno 1900 tambem não é bissexto porque o numero secular 19, não é divisivel por 4.

**295.** A reforma gregoriana conseguiu estabelecer uma relação, approximada é certo, mas tanto quanto o exigem as necessidades humanas entre as duas unidades, — dia e anno.

E' absolutamente impossivel estabelecer um accôrdo perfeito entre essas duas unidades, seja qual fôr o artificio empregado; só é possivel obter-se uma approximação sufficiente, e isto foi conseguido com a reforma alludida.

**296.** A unidade superior ao anno foi o seculo, reunião de cem annos, periodo completamente subjectivo, e que deve ser considerado como correspondente ao conjuncto de tres gerações.

**297.** Quanto ás lunações, unidade abaixo do anno, tornou-se necessario abandonal-as, por não ser possivel estabelecer sufficiente harmonia entre ellas, o dia e o anno.

Em compensação, porém, introduziram-se duas unidades novas, o mez e a semana. Destas duas unidades, a semana, periodo de sete dias, nenhuma relação tem com phenomenos objectivos; mas o numero de dias que a compõe nada tem de arbitrario, por ser o limite da contagem natural directa. O simples facto de estar adoptado em quasi todo o mundo, já demõstra, por si, que esse periodo

de sete dias prende-se a alguma cousa de fundamental em nossa constituição cerebral.

O mesmo não acontece com o mez, periodo sem regularidade alguma, e que a nada corresponde.

298. Para terminar essas considerações a respeito das unidades do calendario, devemos lembrar uma invenção complementær, o relógio, sem a qual o calendario falharia em parte ao seu destino.

Sem elle, verdadeira imagem do sol, a vida industrial seria impossivel: tal foi a lacuna que veio preencher o relógio.

299. Reducção de uma data gregoriana em uma data juliana correspondente.

Como vimos, o anno de 1582 foi diminuido de 10 dias e o 5 de Outubro passou a ser 15.

A partir do seculo 16, a reforma gregoriana não fez bissextos senão um anno sobre quatro; o calendario Juliano se acha, pois, successivamente em atrazo de 3 dias todos os quatro seculos, além dos 10 dias a partir de 1582.

Por conseguinte, designando por  $S$  o numero que assignala o seculo, a differença entre a data gregoriana e a data Juliana correspondente será dada pela formula:

$$C = 10 + \frac{3}{4}(S - 16) = 10 + (S - 16) - \frac{1}{4}(S - 16).$$

Nesta formula,  $C$  representa a correcção a fazer.

Exemplo. No seculo 22, isto é, a partir do anno 2100, ter-se-á para correcção:

$$C = 10 + 21 - 16 - \frac{1}{4}(21 - 16),$$

donde,

$$C = 10 + 5 - 1 = 14.$$

Isto é, que toda data gregoriana deverá ser diminuida de 14 dias para ser expressa em data juliana.

**300. EPACTA.** — Dá-se a denominação de idade da lua ao numero de dias decorridos desde que ella foi nova, isto é, depois da conjuncção.

Chama-se epacta de um anno a idade da lua em 31 de Dezembro do anno precedente. As ephemerides dos observatorios trazem tabellas para determinação da epacta todos os annos. Entretanto, podemos tambem determinar a epacta de um anno, conhecendo o cyclo lunar ou o aureo numero.

**301.** Ao periodo de 19 annos tropicos em que as phases da lua se reproduzem nas mesmas datas, dá-se o nome de aureo numero.

A descoberta do cyclo lunar é devida a Meton, astronomo grego, que viveu no seculo V antes da nossa éra.

Meton notou que 235 lunações correspondiam a 6939 dias e  $0^d,69$  do dia, e que 19 annos tropicos correspondiam a 6939 dias e  $0,60$  do dia; concluiu então que todos os 19 annos as mesmas phases da lua deviam apparecer nas mesmas datas. Os gregos entusiasmados com a descoberta do celebre astronomo, decidiram que ella fosse inscripta com letras d'ouro no templo de Minerva.

Os antigos astronomos fizeram começar o cyclo lunar um anno antes da éra christã; por conseguinte, se accrescentarmos ao anno considerado uma unidade e dividirmos a somma por 19, o resto da divisão será o cyclo lunar ou aureo numero.

**302.** Agora, se quizermos determinar a epacta por meio do cyclo lunar, devemos multiplicar por 11 o cyclo lunar diminuido de uma unidade, e dividir, se fôr possivel, o producto por 30; o resto da divisão, diminuido de uma unidade, será a epacta.

**303.** A justificação desta regra consiste no seguinte: quando os antigos começaram a contar o cyclo lunar, no primeiro anno a lua se achava em conjuncção (lua nova), no dia 1º de Janeiro, isto é, quando o cyclo lunar era um, a epacta era zero; mas, como já vimos, um anno tropico contem cerca de 12 lunações e 11 dias, e como uma revolução

synodica contem cerca de 30 dias, d'ahi a ligação entre os dois phenomenos e o estabelecimento da regra acima enunciada.

**304.** Exemplo. Os almanaches dão como valôr da epacta para o anno (1921), 21, e para valôr do aureo numero, 3.

Com effeito, de accôrdo com a regra para determinação do aureo numero, se accrescentarmos ao anno, 1921, uma unidade e dividirmos a somma por 19, encontraremos para resto, 3.

$$1921 + 1 = 1922 = 19 \times 101 + 3.$$

Agora, se multiplicarmos o aureo numero por 11, diminuido de uma unidade, teremos,  $(3 - 1) 11 = 22$ .

Deviamos, agora, de accôrdo com a regra dividir 22 por 30; como porém a divisão não é possivel, será 22 diminuido de uma unidade, ou o numero 21, o valor da epacta para o anno, 1921.

**305.** Outro exemplo. No anno de 1919, os almanaches dão para valôr do aureo numero, 1, e para valôr da epacta, 29.

Applicando a regra para o aureo numero, teremos:

$$\frac{1919 + 1}{19} = \frac{1920}{19},$$

donde,  $1920 = 101 \times 19 + 1$ .

Para a epacta, teremos:

$$\frac{(1 - 1) 11}{30} = \frac{0}{30} = 0.$$

Nesse caso excepcional, em que o quociente é zero, devemos tomar o divisor 30, o qual, diminuido de uma unidade, dará 29, que foi o valor da epacta em 1919.



## NOTAS

A compreensão nitida e perfeita destas lições de Cosmographia, exige, do leitor intelligente, os seguintes conhecimentos: — estudo completo da arithmetica, noções de algebra, pelo menos até ás equações do 2º gráo, noções de geometria a duas e tres dimensões e alguns rudimentos de trigonometria rectilinea e espherica, e de geometria analytica ou cartesiana.

---

Como applicação das leis e theorias expostas neste trabalho, daremos para cada lição tres questões referentes ao assumpto da lição correspondente.

---



# ERRATA

Pg.	N.	L.	ERRO	LEIA-SE
5		23	potuit, faciant metiora	potui, faciant, meliora
7	1	11	concepção	accepção
9	4	13	pensado	pensando
11	8	14	pontos fixos	pontos a dois pontos fixos
12	10	35	pelas geometrias	pelos geometras
31	34	14	periphelio	perihelio
31	34	29	restabelecer	estabelecer
33	36	20	das	dos
36	39	24	no novo	o novo.
37	40	24	Philodáo	Philoláo
42	46	23	se approxima	os approxima
47	49	2	senão venus,	senão mercurio, venus.
52	55	3	Se se	Si se
54	57	1	movimento proprio	movimento diurno, tem um movimento proprio
58	60	5	C. D.	A. D.
58	60	12	C. D.	A. D.
59	60	11	D.	A. D.
63	62	6	ao do Professor	a do Professor
63	62	19	occeano	oceano
67	65	11	kilometros	kilogrammas
67	65	18	760 de altura	760 milímetros de altura
72	69	25	Precisão	Precessão
84	92	26	supprimir "a"	
85	93	12	as quaes	os quaes.
86	94	8	longitude deverão	longitudes orientaes de- verão
97	105	13	desvio que	desvio a que.
98	107	23	das estrellas	de estrellas
107	120	3	Se se	Si se
122	143	16	so	no
128	149	18	20000	2000
136	162	13	supprimir "um"	
154	199	10	sol.	sol e á terra.
161	216	3	A segundo	A segunda
166	231	30	apontndo	apontando
283	262	29	quando cahem... toma	quando cahem... to- mam
193	277	32	Bahia	Baleia
211		22	que as estrellas	que em sua posição as estrellas



## 1.<sup>a</sup> LICÇÃO

1.<sup>a</sup> Questão. — Admittindo que a orbita terrestre seja circular, e que o valôr do seu raio (distancia do sol á terra), seja de 149 milhões de kilometros, determinar em myriametros o comprimento dessa orbita.

2.<sup>a</sup> — Suppondo de 500<sup>m</sup> o semi-diametro menor de uma ellipse, e de 600<sup>m</sup> o semi-diametro maior, determinar o achatamento e a excentricidade dessa ellipse.

3.<sup>a</sup> — Uma ellipse tem para semi-diametro menor, 80<sup>m</sup>, e para semi-distancia focal, 10<sup>m</sup>, determinar o semi-diametro maior.

---

## 2.<sup>a</sup> LICÇÃO

1.<sup>a</sup> Questão. — O que é que caracteriza a distincção entre planetas superiores e inferiores; o tamanho do planeta influirá para caracterisar essa distincção?

2.<sup>a</sup> — Qual a dependencia que existe entre as idéas de mundo e universo e as de astros interiores e exteriores? Se Jupiter em vez de girar em torno do sol girasse em torno de  $\alpha$  do Centauro, poderíamos consideral-o como astro interior?

3.<sup>a</sup> — O que é que caracteriza essa immobilidade apparente que as estrellas nos apresentam? Será possivel em futuro muito longinguo qualquer deformação na configuração das constellações?

---

3.<sup>a</sup> LICÇÃO

1<sup>a</sup> Questão. — Sabendo-se que a revolução sideral da terra é de 365<sup>d</sup>,256, sua distancia média ao sol de 149 milhões de kilometros, — determinar, pela applicação da 3<sup>a</sup> lei de Kepler, a distancia média de Mercurio ao sol, sabendo que sua revolução sideral é de 87<sup>d</sup>,969.

2<sup>a</sup> — Sabendo-se que a intensidade ou força da gravidade, á superficie da terra, é de 9,8, qual será o valôr dessa mesma força a uma altura da superficie terrestre igual ao raio da terra?

Qual o valôr dessa intensidade no centro da terra?

3<sup>a</sup> — A velocidade de rotação de um ponto da superficie da terra no equador, é de 465<sup>m</sup> por segundo, qual seria o valôr da força centrifuga no equador, se a velocidade fôsse dupla, isto é, se o ponto tivesse uma velocidade de 930<sup>m</sup> por segundo?

4.<sup>a</sup> LICÇÃO

1<sup>a</sup> Questão. — Quaes eram os planetas conhecidos pelos antigos?

2<sup>a</sup> — Quaes as razões que preponderaram para admisão do systema de Ptolomeu por tão longo tempo?

3<sup>a</sup> — Sob o ponto de vista logico e philosophico havia necessidade do systema transitorio de Tycho-Brahe para se chegar ao definitivo ou de Copernico?

5.<sup>a</sup> LICÇÃO

1<sup>a</sup> Questão. — Determinar as distancias maxima e minima do sol á terra, sabendo que sua distancia média é de 149 milhões de kilometros e que o valôr da excentricidade da orbita terrestre é de 0,016775.

2<sup>a</sup> — Determinar a parallaxe do sol que corresponde á sua distancia minima á terra.

3<sup>a</sup> — Sabendo-se que uma rotaçãõ completa do sol se effectua em 25<sup>d</sup> e 8<sup>h</sup>, determinar a velocidade de um ponto do equador solar e a de um outro na latitude de 30°.

---

### 6.<sup>a</sup> LICÇÃO

1<sup>a</sup> Questão. — Sabendo-se que a densidade da terra é de 5,48, seu raio médio de 6366700<sup>m</sup>, a intensidade da gravidade, de 9,88, qual será o peso do nosso planeta em toneladas de mil kilogrammas? A formula a applicar é:  $P = v \times d \times g$ .

2<sup>a</sup> Qual a pressãõ que exerce a atmospherã em uma superficie de 3 metros quadrados, sabendo-se que a pressãõ por centimetro quadrado é de 1<sup>kg</sup>,033?

3<sup>a</sup> — Em quêda livre um corpo percorreu 50 metros, que tempo gastou para percorrer este espaço? O movimento é uniformemente accelerado, e a accelleraçãõ da gravidade é de 9,8.

---

### 7.<sup>a</sup> LICÇÃO

1<sup>a</sup> Questão. — Por que ponto notavel, relativamente ao observador, passará uma estrella no meridiano, tendo para declinaçãõ nm arco do meridiano celeste igual á latitude do observador?

2<sup>a</sup> — Qual a declinaçãõ que deve ter o sol para passar pelo zenith de um observador que tem para latitude 25° 42'?

3<sup>a</sup> — A latitude de Natal é de 5° 46' 41''5; qual a declinaçãõ que deve ter uma estrella para passar pelo zenith de um observador em Natal?

---

## 8.ª LICÇÃO

1ª Questão. — Sabendo-se que um litro de ar sêcco pesa 1<sup>gr</sup>,29, qual será o peso em kilogramma de 5<sup>m3</sup> de ar sêcco?

2ª — Qual a pressão que exerce o vento sobre uma placa de 10<sup>m2</sup>, sendo a velocidade do vento de 5<sup>m</sup> por segundo, e o peso de um metro cubico de ar em movimento de 1<sup>kg</sup>,231, na temperatura de 12° e pressão de 755<sup>mm</sup>?

3ª — Qual o numero de calorías que recebe, em uma hora, a superficie de um terreno medindo 10<sup>m2</sup>, na hypothese de receber 1763 calorías por centimetro quadrado em um minuto?

## 9.ª LICÇÃO

1ª Questão. — Qual o effeito da refração sobre a altura e distancia zenithal dos astros, sabendo-se que uma é complemento da outra?

2ª — Qual o effeito da refração sobre o nascimento e occaso dos astros?

3ª — Qual o effeito da refração sobre os astros no horisonte e no zenith?

## 10.ª LICÇÃO

1ª Questão. — Determinar a velocidade de rotação de um ponto da terra na latitude de 45°.

2ª — Se no paralelo de 30° a velocidade de rotação fôsse igual á de um ponto no equador, qual seria a velocidade de rotação no equador?

3ª — Aonde é maior o comprimento do pendulo que bate segundos, no equador ou nos pólos? A formula do pendulo para oscillações não superiores a 4° é:  $t = \pi \sqrt{\frac{l}{g}}$

11.<sup>a</sup> LICÇÃO

1<sup>a</sup> Questão. — Sendo a distancia média do sol á terra de 149 milhões de kilometros, e sua velocidade média de translação de 30 kilometros por segundo, qual será a velocidade de translação no perihelio, sabendo-se que nesse ponto notavel a distancia do sol á terra é de 146 milhões de kilometros?

Admitte-se que as velocidades variam na rasão inversa dos quadrados das distancias.

2<sup>a</sup> — Suppondo que a excentricidade da orbita terrestre fôsse nulla, qual seria seu comprimento na distancia média de 149 milhões de kilometros?

3<sup>a</sup> — Admittindo ainda a mesma hypothese de annullar-se a excentricidade, haveria ainda distincção entre aphelio e periphelio?

---

12.<sup>a</sup> LICÇÃO

1<sup>a</sup> Questão. — Em que dia do anno um observador no paralelo de  $16^{\circ}30'$  tem o sol no zenith? Suppõe-se que o observador dispõe das ephemerides.

2<sup>a</sup> — Quaes as maxima e minima declinações do sol, no movimento annual?

3<sup>a</sup> — Por que circulos passa o sol no seu movimento annual apparente, nas declinações maxima e minima?

---

13.<sup>a</sup> LICÇÃO

1<sup>a</sup> Questão. — Se a velocidade do sol no movimento annual apparente fôsse uniforme, haveria necessidade do artificio do dia medio?

2<sup>a</sup> — Calcular quantos annos serão necessarios para que o ponto vernal retrograde de um gráo.

3.<sup>a</sup> Actualmente, quando o sol chega ao ponto vernal está na constellação de Pisces, quantos seculos serão necessarios para entrar na constellação de Caper?

---

#### 14.<sup>a</sup> LICÇÃO

1<sup>a</sup> Questão. — Avaliar a superficie da lua, sabendo-se que a da terra é de 510 milhões e 82 mil kilometros quadrados e que o raio da lua é igual a  $\frac{3}{11}$  do raio da terra.

2<sup>a</sup> — Avaliar a distancia minima da lua á terra, sabendo-se que a distancia média é de 60 raios terrestres, e a excentricidade de 0,0568.

3<sup>a</sup> — Sabendo-se que o raio da lua méde 1740 kilometros, e que a sua rotação se effectua ao mesmo tempo que a sua traslação, — realisando-se esta em 27<sup>d</sup> 7<sup>h</sup> 43<sup>m</sup> 11<sup>s</sup>, calcular a velocidade em um segundo, de um ponto do equador lunar.

---

#### 15.<sup>a</sup> LICÇÃO

1<sup>a</sup> Questão. — Por que a revolução synodica é maior do que a sideral?

2<sup>a</sup> — Por que a revolução tropica da lua é menor do que a sideral?

3<sup>a</sup> — Por que a maré lunar é maior do que a solar?

---

16.<sup>a</sup> LICÇÃO

1<sup>a</sup> Questão. — Qual a velocidade de translação da lua na sua orbita, sabendo-se que esta méde 2.400.000 kilometros, e que ella percorre em 27<sup>d</sup> 7<sup>h</sup> 43<sup>m</sup> 11<sup>s</sup>? Suppõe-se a orbita circular.

2<sup>a</sup> — Se a inclinação da orbita lunar sobre a ecliptica fôsse nulla o que aconteceria?

3<sup>a</sup> — Por que a revolução draconitica da lua (em relação ao mesmo nó), é menor do que a sideral e mesmo do que a tropica?

17.<sup>a</sup> LICÇÃO

1<sup>a</sup> Questão. — O que distingue um eclipse do sol de de um eclipse da lua?

2<sup>a</sup> — Por que os eclipses da lua são mais raros que os do sol?

3<sup>a</sup> — Para termos um eclipse do sol em cada conjuncção e um da lua em cada opposição, o que seria necessario?

18.<sup>a</sup> LICÇÃO

1<sup>a</sup> Questão. — O que distingue um planeta superior de um inferior?

2<sup>a</sup> — Por que os planetas inferiores não teem opposição?

3<sup>a</sup> — Por que um planeta inferior tem velocidade de translação maior do que a terra e os superiores menor?

19.<sup>a</sup> LICÇÃO

1<sup>a</sup> Questão. — Como se determina a velocidade média de um planeta na sua orbita?

2<sup>a</sup> — Qual a velocidade de Venus no perihelio, admitindo-se que as velocidades dos planetas são inversamente proporcionaes aos quadrados das distancias? Suppõe-se conhecida a velocidade do planeta á distancia média do sol.

3<sup>a</sup> — Por que no movimento apparente os planetas apresentam irregularidades como sejam, paradas, retrogradações, etc.?

---

20.<sup>a</sup> LICÇÃO

1<sup>a</sup> Questão. — Qual a distincção entre um cometa e um planeta?

2<sup>a</sup> — O que distingue uma estrella cadente de um bolido, e um bolido de um aerolitho?

3<sup>a</sup> — Qual a importancia que teem os satellites de Jupiter?

---

21.<sup>a</sup> LICÇÃO

1<sup>a</sup> Questão. — Qual a differença entre as nebulosas resoluveis e as irreductiveis?

2<sup>a</sup> — Qual a maior de todas as nebulosas?

3<sup>a</sup> — Quaes os meios que se empregam para encontrar-se uma constellação no céu?

---

## 22.ª LICÇÃO

1ª Questão. — Qual a distancia a que deve estar uma estrella da terra cuja parallaxe méde meio segundo?

2ª — Determinar o numero approximado de estrellas de 3ª grandeza.

3ª — Determinar a parallaxe de uma estrella cuja distancia á terra é de 360 trilhões de kilometros.

## 23.ª LICÇÃO

1ª Questão. — Qual o aspecto da esphera celeste para um observador situado no paralelo de 25°?

2ª — Em que circulo da esphera terrestre deve collocar-se um observador para que haja igualdade de dia e de noite para todos os astros visiveis da abobada celeste?

3ª — Qual o ponto da terra em que deve collocar-se um observador para que seu horisonte se confunda com o equador terrestre?

## 24.ª LICÇÃO

1ª Questão. — Actualmente, em que mez do anno o sol entra na constellação da Virgem?

2ª — Em que seculo, no equinocio da primavera, o sol estará na constellação do Aquario?

3ª — Qual o phenomeno que determinou a falta de correspondencia entre os signaes do zodiaco e as constellações zodiacaes?

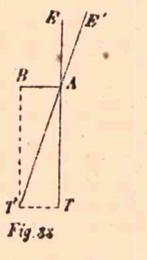
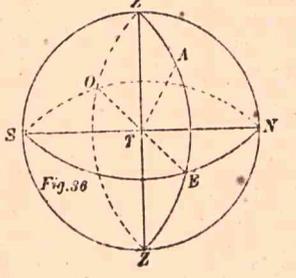
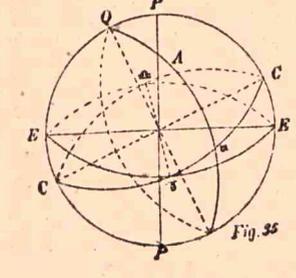
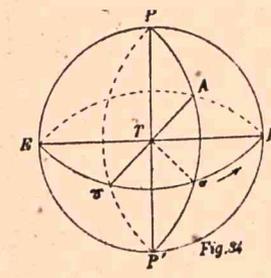
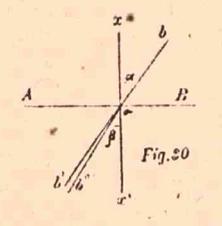
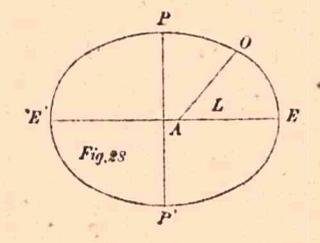
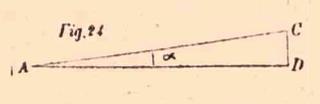
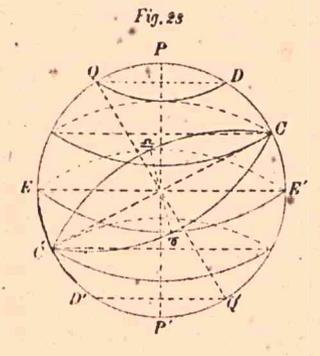
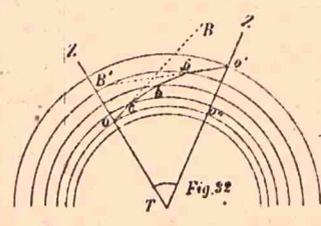
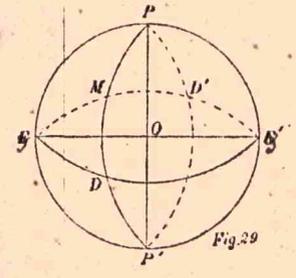
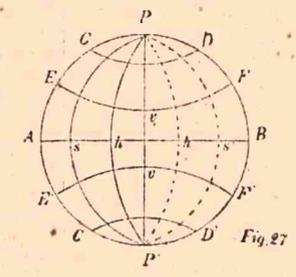
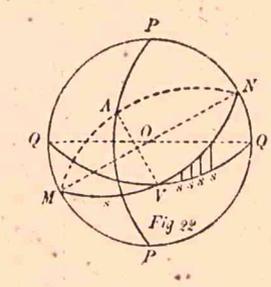
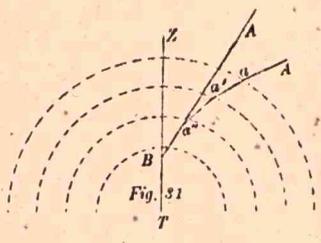
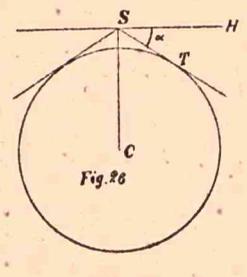
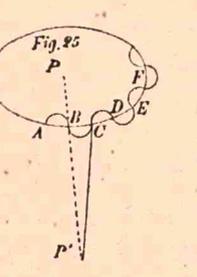
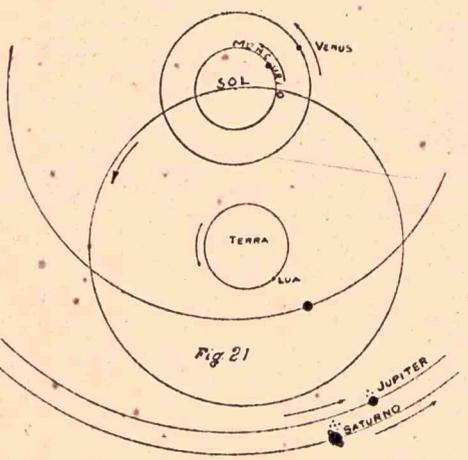
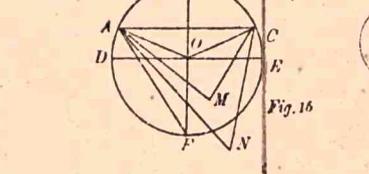
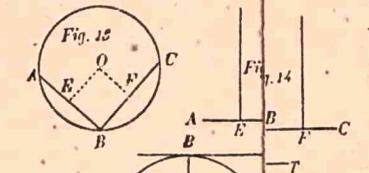
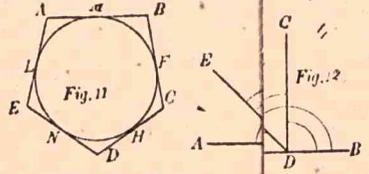
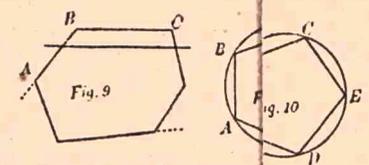
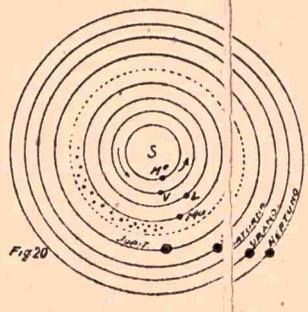
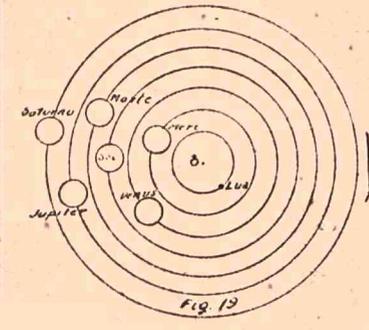
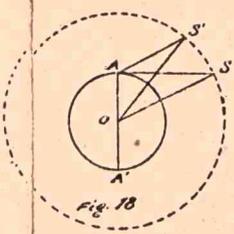
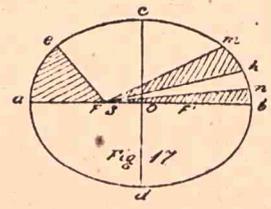
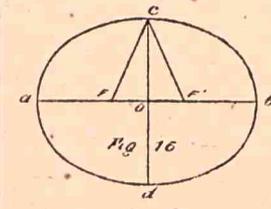
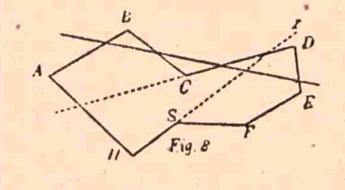
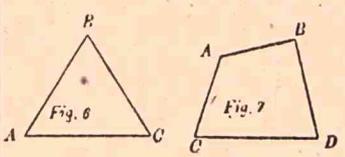
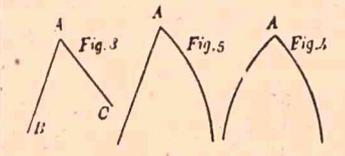
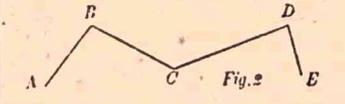
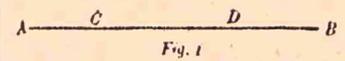
25.<sup>a</sup> LICÇÃO

1<sup>a</sup> Questão. — Qual a correcção a fazer-se no seculo 25 em toda data gregoriana, para ser expressa em data juliana?

2<sup>a</sup> — Determinar o aureo numero para o anno de 1922.

3<sup>a</sup> — Determinar a epacta para o mesmo anno.

---



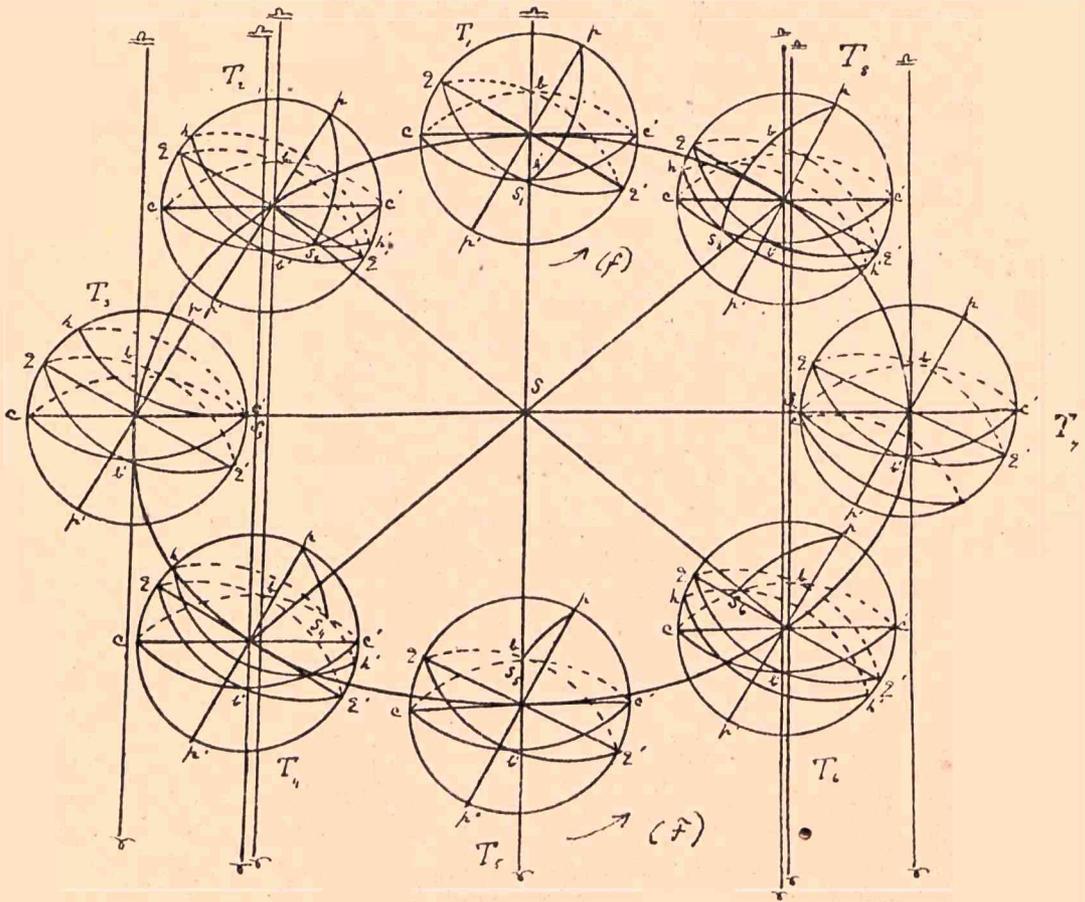


Fig. 37

