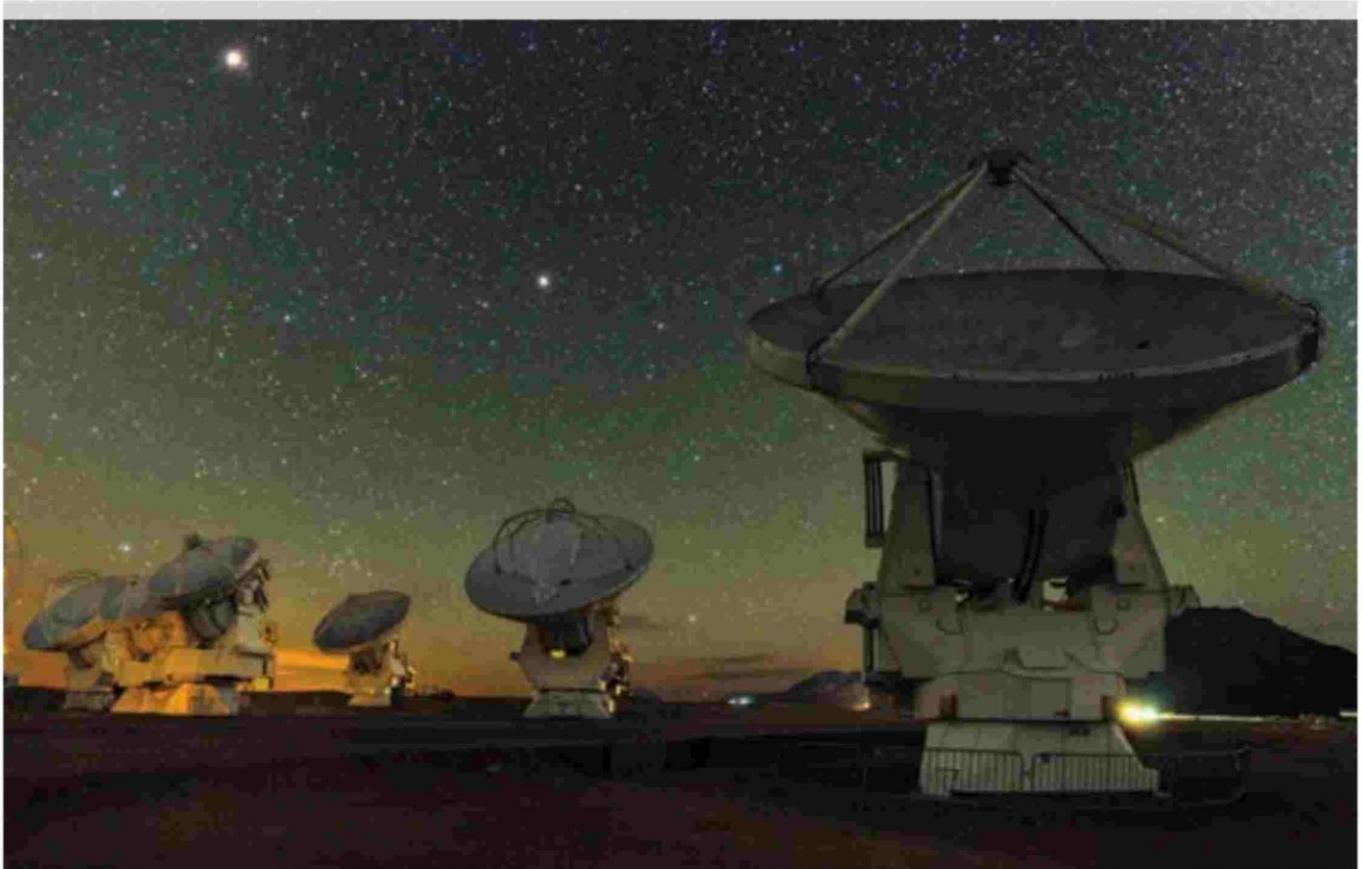


MANUAL DE RADIOASTRONOMIA
ALMA NA ESCOLA



Conteúdo

1. De Jansky ao ALMA

- 1.1. Observações de Jansky
- 1.2. O Primeiro Radiotelescópio
- 1.3. Elementos Básicos do Radiotelescópio ALMA
- 1.4. Como Imagens são Formadas nos Radiotelescópios
- 1.5. Um telescópio, Muitas antenas

2. A Física da Radioastronomia

- 2.1. Radiação Eletromagnético
- 2.2. Radiação em nossa vida diária
- 2.3. A Origem da Radiação Eletromagnética
- 2.4. Como as Ondas se Propagam no Espaço
- 2.5. Trabalhando em Altas Altitudes

3. Explorando Nossa Origem Cósmica

- 3.1. O Big Bang
- 3.2. A Química do Universo
- 3.3. Formação das Estrelas e Planetas
- 3.4. Estudando o Sol
- 3.5. O Sol e seu Ambiente

4. Atividades

5. Glossário

As palavras destacadas no texto estão definidas no glossário no final do manual.

6. Slides

Imagem da capa

Composição: Visão colorida do ALMA. Crédito: ESO/B. Tafreshi; visão tridimensional do escoamento de gás da NGC 253 como visto pelo ALMA. Crédito: ALMA (ESO/NAOJ/NRAO)/Erik Rosolowsky

Editoração : Valeria Foncea, ALMA Education and Public Outreach Officer
Design: Alejandro Peredo, ALMA Graphic Designer
Assessoria Científica: José Gallardo and Ignacio Toledo, ALMA Astronomers
Assessoria Pedagógica: Pablo Torres, Sparktalents Foundation
Baseado em : “The Invisible Universe” from Universe Awareness (UNAWE)

Introdução

Desde os primórdios dos tempos, os seres humanos se encantam pelo céu e pelas estrelas. Porém, somente com a invenção do telescópio em 1609 que os humanos puderam começar a estudar os objetos astronômicos em detalhes, transformando a astronomia e levando a **descoberta a níveis inimagináveis graças ao progresso tecnológico**.

Hoje em dia podemos estudar o Universo ao observar tipos de radiação diferentes da [luz visível](#). Ondas de rádio - incluindo o infravermelho, [raios gama](#), ultravioleta e [raios X](#) - fornecem aos astrônomos pistas de um mundo completamente novo: o Universo "invisível".

Serão necessárias muitas gerações de astrônomos para revelar todos os segredos do Universo. Por isso é muito importante para o futuro da astronomia, e da ciências em geral, despertar o interesse das crianças e auxiliar os professores em orientá-las em seus aprendizados.

Este manual foi primeiramente projetado para professores que desejam ampliar seus conhecimentos sobre a radioastronomia em geral e sobre o Observatório ALMA em particular. Ele também contém atividades que podem ser utilizadas em sala de aula ou em partes como trabalhos extraclasse. Embora o manual contenha recomendações para utilizá-lo em cursos ou ensino regular, os professores devem avaliar como inseri-lo em seus planejamentos de trabalho, baseando-se no conhecimento dos estudantes e na grade curricular da escola.

O texto está organizado em quatro capítulos. O primeiro descreve uma breve história da radioastronomia e aspectos gerais das propriedades físicas associadas, em comparação com os [telescópios](#) ópticos. O segundo capítulo realiza um exame mais aprofundado das concepções físicas subjacentes a radioastronomia, como refração, reflexão, poder de resolução e outros, com o objetivo de auxiliar os estudantes a compreender as implicações das observações. O terceiro capítulo explora áreas da investigação radioastrônômica a que o ALMA se dedica e algumas previsões que esperamos que sejam verificadas. Em outras palavras, este capítulo contém uma breve descrição do estado da arte na pesquisa radioastrônômica.

Finalmente, o quarto capítulo contém uma série de atividades de trabalho com os estudantes. As atividades são organizadas em níveis de dificuldade, iniciando com as mais simples e terminando com as mais complexas, todas elas relacionadas com as ideias descritas nos capítulos anteriores. O manual também indica recomendações no uso das atividades para os cursos de ciências naturais e em diferentes níveis de ensino.

O manual assume que o professor tenha os conhecimentos básicos de física, química e álgebra, e conseqüentemente não descreve conceitos elementares que podem ser encontrados em livros de ciência. Mesmo assim, alguns destes conceitos foram incluídos no glossário para uma referência rápida.

Não é objetivo do manual cobrir tópicos em profundidade, detalhar aspectos técnicos complexos ou modelos teóricos. Ao contrário, ele foi projetado para introduzir estes tópicos e contribuir como um conjunto de atividades de ensino como uma primeira etapa. Ao final de cada capítulo existem uma série de questões que auxiliam os estudantes a refletir sobre o que leram.

1. De Jansky ao ALMA

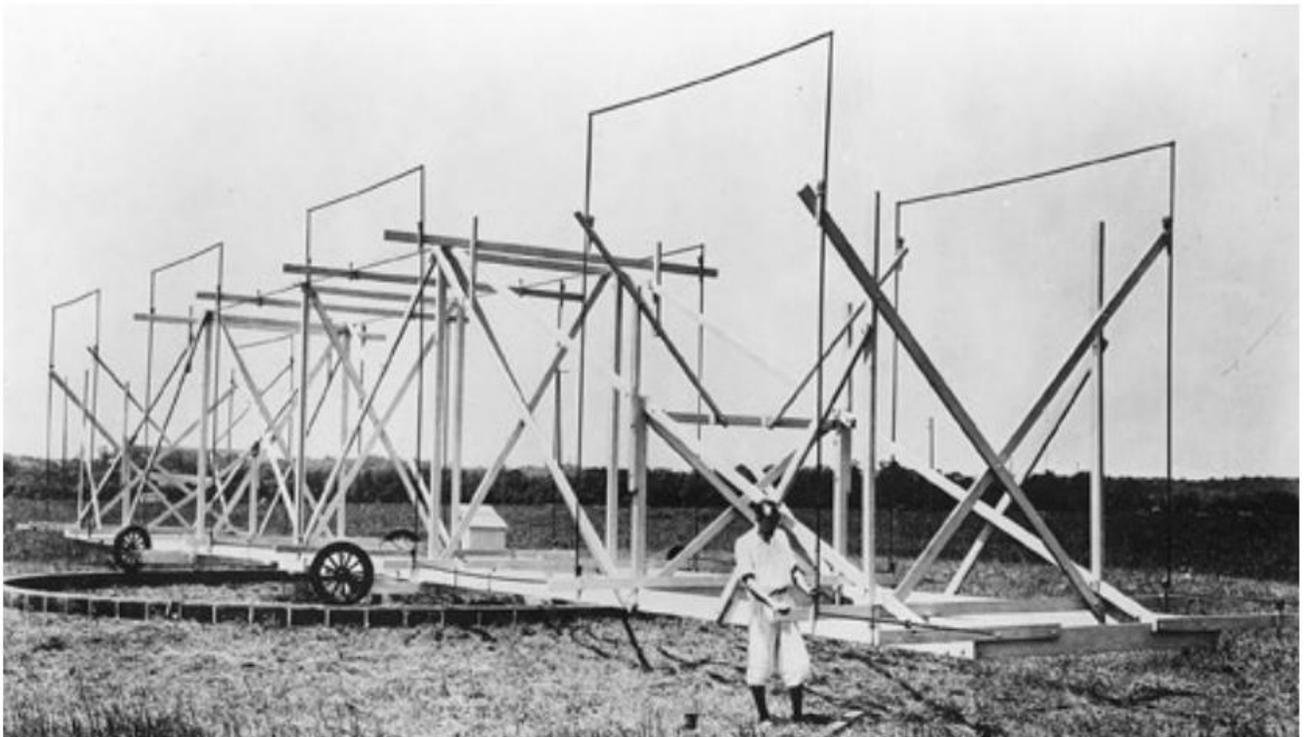
Antenna at the array's operations site. Photograph by Dave Yoder/National Geographic

O ALMA - Grande Matriz Milimétrica/Submilimétrica do Atacama - está localizado no Platô de Chajnantor nos andes chilenos, a 5.000 m acima do nível do mar. Desenvolvido mais de 80 anos após que as primeiras ondas de rádio foram captadas vindas espaço, o ALMA é um observatório de ponta que estuda a luz emitida de alguns objetos mais frios do Universo.

1.1 As observações de Jansky

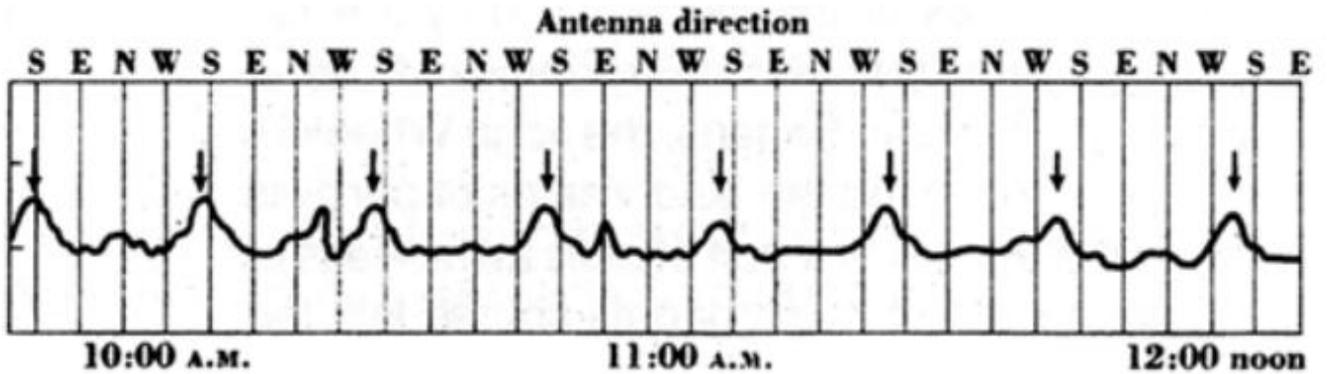
Muito tempo se passou até se concluir o ALMA, não somente pelo fato de sua localização ser quase inacessível ao ser humano - 5.000 m acima do nível do mar e no meio de um dos desertos mais secos do mundo - mas também porque ele representa um enorme avanço na área da astronomia. Ele é um marco histórico na [radioastronomia](#).

Esta jornada começou de maneira quase acidental em 1931, quando Karl G. Jansky, um engenheiro dos Estados Unidos fez a primeira observação de uma [fonte de rádio](#) extraterrestre. Durante este ano, o Laboratório Bell contratou Jansky para estudar as possíveis utilizações das ondas da [banda de curtas](#) na comunicação, e precisavam avaliar as possíveis interferências provenientes da atmosfera. Utilizando uma antena que ele mesmo projetou, Jansky começou a captar ondas de rádio criadas por fontes naturais como tempestades elétricas e raios.



A antena foi montada em uma plataforma giratória que poderia detectar sinais de qualquer direção. Perto da estrutura da antena tinha um galpão no qual Jansky tinha um sistema de registro similar a um sismógrafo no qual eram registrados os sinais de tempestades próximas, tempestades elétricas distantes e um persistente sinal fraco de origem desconhecida. Por vários meses de gravação dos sinais registrados, o sinal desconhecido estava sempre presente. O processo de Jansky consistia dar uma volta completa na antena (360°) a cada 20 minutos. Com isso, em uma hora a antena estaria apontando três vezes para a mesma direção geográfica. A imagem 2 mostra um dos registros do sinal feito em um período de 2 horas.

Figura 1: Antena carrossel de Jansky. As rodas eram utilizadas para girar a estrutura e apontá-la para diferentes direções. A antena foi projetada para receber ondas de frequência de 20,5 MHz ($1 \text{ MHz} = 10^6 \text{ Hz}$) e comprimento de onda de aproximadamente 14,6m, localizada na faixa das ondas curtas (SW). Em comparação, um rádio FM pode sintonizar em ondas de 88,0 a 107,0 MHz (3,4 a 2,8 metros, respectivamente). Créditos: NRAO-Green Bank.



que os dias passaram, ele observou que a posição da crista estava atrasada de quase 4 minutos a cada dia (veja a nota sobre a diferença entre o dia solar e o dia sideral). A diferença levou Jansky a concluir que a fonte de emissão daquelas ondas de rádio estavam localizadas na [Via Láctea](#), cuja maior intensidade estava localizada na zona central, na direção da [constelação](#) de Sagitários.

Essa descoberta foi amplamente divulgada na imprensa, incluindo uma reportagem do jornal New York Times, publicado no dia 05 de maio de 1933. Jansky pretendia continuar com suas medições para investigar estas fontes no espaço sideral, mas o Laboratório Bell não considerou o sinal registrado como um problema e ele foi designado para outro projeto, deixando seus trabalhos para futuros astrônomos. A unidade de densidade de fluxo espectral, no Sistema Internacional, é agora conhecido como [Jansky](#).

Figura 2. Parte do que Jansky gravou em fevereiro de 1932. A direção geográfica está indicada no alto: sul (S), norte(N), leste (E), oeste (W).O tempo está indicado abaixo. Cada divisão vertical marca o tempo de 5 minutos. A seta indica as cristas ou máximo observado a cada 20 minutos, a medida que a antena cruzava o plano da galáxia.

Observe a diferença entre o dia solar e o dia sideral

A definição de dia pode parecer simples: É o tempo gasto por um satélite, planeta ou outro objeto celestial para completar uma rotação em volta de seu eixo. Entretanto, para descrever o movimento de um corpo nós precisamos de um sistema de referência, isto é, algo em relação ao qual o nós podemos dizer que certo objeto celeste realizou uma rotação completa, ou de modo mais geral, em relação ao qual se moveu. Se nós dizemos que a Terra gira em torno de seu eixo, em relação a qual ponto nós afirmamos que ela girou completamente?

Isso nos conduz a duas definições: o dia solar e o dia sideral. A primeira é baseada na medida de tempo da rotação da Terra em relação ao Sol e a última é em relação às estrelas.

O dia solar é o intervalo de tempo entre o meio-dia de um dia e o meio-dia do dia seguinte. Quando dizemos "meio-dia" estamos nos referindo especificamente ao instante naquele dia em que o Sol atinge sua altura máxima no céu. Isto é também expresso com o instante no qual o Sol passa pelo [meridiano](#) celeste (a.m. e p.m. no sistema de 12 horas: ante meridian e post meridian)

Mas a órbita da Terra ao redor do Sol é uma elipse, cuja velocidade varia ao longo do ano. Como resultado, o intervalo de tempo entre dois meios-dias nunca é o mesmo. Para simplificar esta situação, vamos assumir que existe um Sol imaginário ao redor do qual a Terra orbita em uma trajetória circular e com velocidade constante. O valor da velocidade é o valor médio da velocidade com a órbita elíptica, resultando em um dia solar de 24 horas.

A revolução da Terra ao redor do Sol é também a razão pela qual o dia sideral (o qual é medido em relação às estrelas) é aproximadamente 4 minutos mais curto que o dia solar, resultando em um dia sideral de 23 horas e 56 minutos. A imagem a seguir mostra a comparação das duas definições.

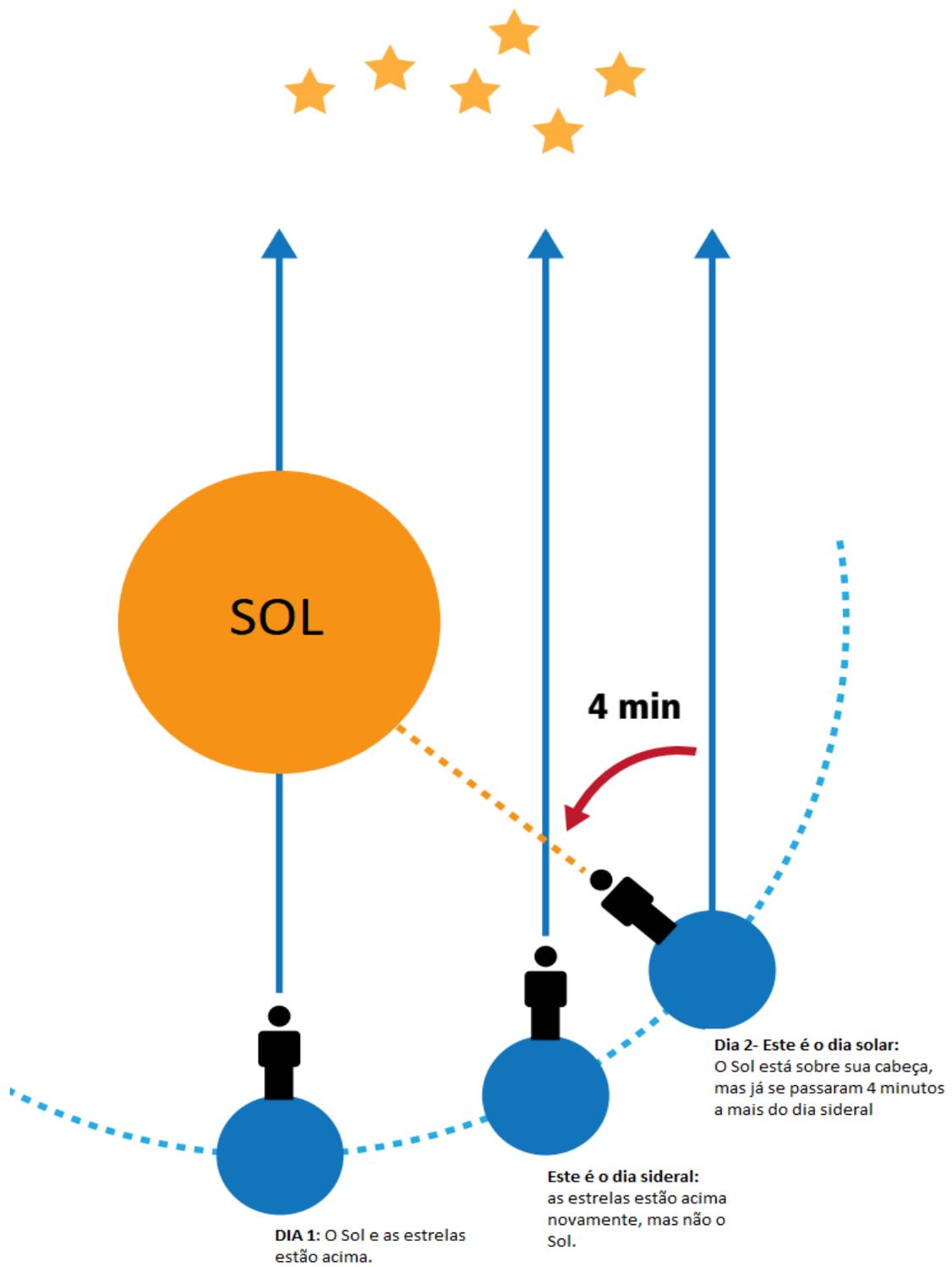


Figura 3 : Representação da diferença entre o dia sideral e o dia solar

1.2 O primeiro radiotelescópio



Figura 4 - O primeiro radiotelescópio construído por Grote Beber em 1937 (Créditos: NRAO Green Bank)

Por sorte, existiam muitos cientistas interessados em continuar o trabalho que Jansky iniciara, notadamente Grote Reber, um engenheiro dos Estados Unidos que em 1937 construiu um [radiotelescópio](#) caseiro em seu jardim (veja Figura 4).

No início dos anos de 60 do século passado, o maior radiotelescópio era o Jodrell Bank Observatory, com 76 m de diâmetro. Este foi mais tarde ultrapassado pelo gigantesco RATAM 600, um radiotelescópio russo, com diâmetro de 576 m e o telescópio de Arecibo, em Porto Rico, com diâmetro de 305 m.

Anos mais tarde o astrônomo britânico Martin Ryle desenvolveu uma técnica denominada interferometria, que utilizava vários radiotelescópios separados para capturar as ondas de rádio, como se eles fossem um enorme telescópio. Este procedimento conduziu a descoberta do primeiro [pulsar](#), em 1968.

Com o passar do tempo e os novos progressos tecnológicos, os radio telescópios gigantes foram substituídos por uma rede de radiotelescópios complementados por um sistema de interferometria, como o Very Large Array (VLA) no Novo México com 27 antenas e o ALMA que foi inaugurado em 2013 e agora é o maior e a mais moderna rede no mundo.

1.3 Elementos básicos do Radiotelescópio

A parte mais visível de um radiotelescópio é o disco [refletor](#) (veja Figura 5). No ALMA, a maioria dos refletores tem diâmetro de 12 metros. Cada refletor desempenha a mesma função que um espelho em um telescópio óptico: capturar radiação de um objeto astronômico distante e redirecioná-la em direção a um receptor que mede a intensidade da radiação.

O que diferencia dois telescópios é o comprimento de onda da radiação absorvida: Um telescópio óptico captura a luz visível enquanto que um radiotelescópio como o ALMA captura ondas de rádio.



Figura 5: Arranjo de 13 antenas na Platô Chajnantor. Credit: ESO

Como veremos mais tarde, a luz visível é apenas uma pequena parte do espectro eletromagnético e pode ser observado pelo olho humano. Ondas de rádio, por outro lado, pertencem a um grupo de bandas de ondas, como aquelas capturadas pelos rádio FM. No ALMA, as ondas detectadas são as radiações de ondas milimétricas e submilimétricas, pois os comprimentos de ondas estão compreendidos nesta faixa de medidas (de milímetros a milhares de milímetros).

A figura 6 mostra uma das muitas diferenças entre uma antena de radiotelescópio e o espelho primário de um telescópio óptico.

Tanto o telescópio óptico quanto o a antena do ALMA tem uma superfície parabólica para refletir que serão estudadas (ondas visíveis e ondas de rádio, respectivamente). As diferenças aparecem no material que cobrem as superfícies parabólicas: em um telescópio óptico, componentes parecidos com espelhos são utilizados, enquanto que na antena do ALMA são utilizados painéis que refletem as ondas de rádio com grande eficiência.



Figura 6: Detalhe do prato da antena do ALMA (esquerda) e o espelho primário de um dos telescópios ópticos do VLT (esquerda). Créditos: ALMA (ESO/NAOJ/NRAO (esquerda), Pablo A. Torres (direita))

Em ambos casos, a superfície refletora deve ser praticamente perfeita, pois qualquer imperfeição impedirá do telescópio de obter os dados da forma correta. Além do mais, o mecanismo motorizado que move a antena precisa ser extremamente preciso para focalizar os objetos celestes que serão estudados. Por exemplo, o ALMA pode ser apontado para os dois extremos de uma bola de golf situada a 15 km de distância.

1.4 Como as imagens são formadas em um radiotelescópio

Quando você pensa em um telescópio óptico, é fácil imaginar como ele forma uma imagem. Tanto no telescópio refletor quanto no refrator, a luz é conduzida por vários elementos ópticos (lentes no início e espelhos no final) para as lentes, que é para onde olhamos com nossos olhos ou com câmeras fotográficas.

Mas como se forma uma imagem pelas ondas de rádio que nossos olhos não podem ver? O processo é um pouco mais complicado. Em primeiro lugar, radiotelescópios captam ondas de rádio vindas do Cosmos, que são refletidas no prato, que graças ao seu formato parabólico concentram as ondas no [ponto focal](#). É neste ponto focal que se localiza o receptor que captura, amplifica e digitaliza as ondas de rádio, deste modo as informações que é obtida - o que inclui a intensidade da onda e a posição exata do ponto do Universo do qual ele veio, podem ser convertidos em imagem.

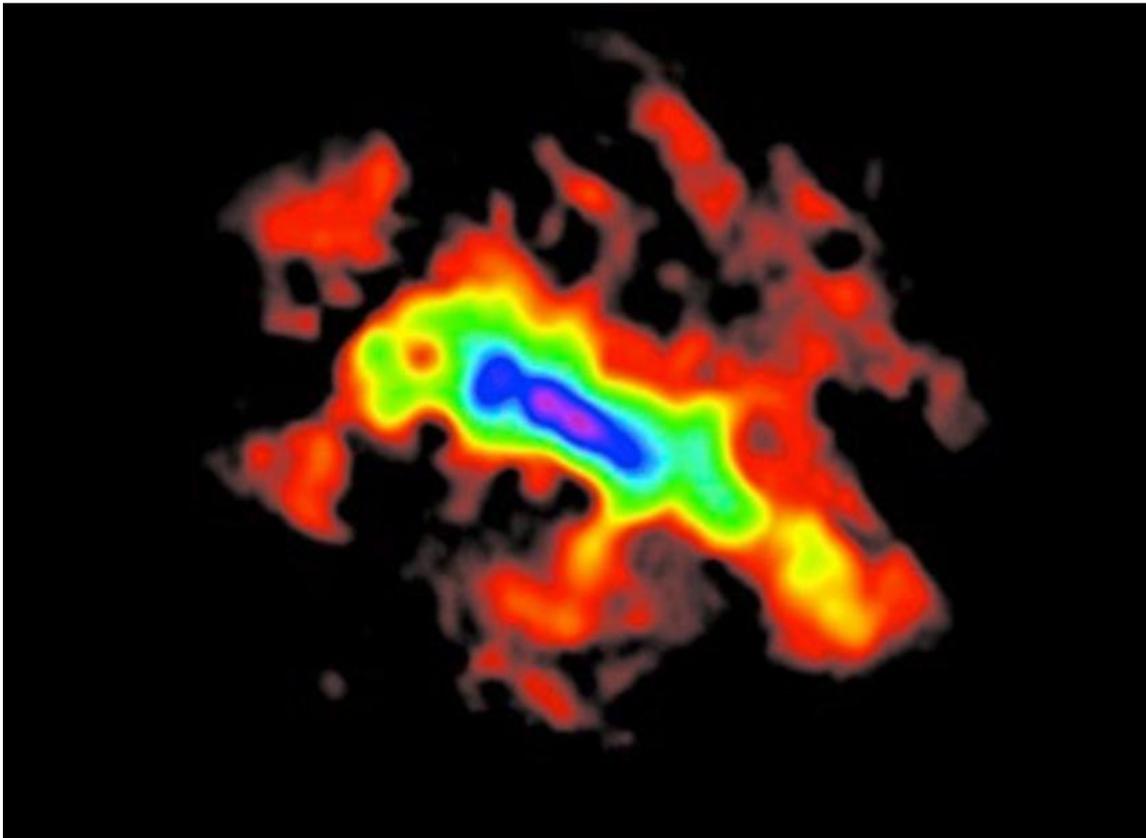


Figura 7: Galáxia do Escultor. Crédito: ALMA (ESO/NAOJ/NRAO)

Então, após gravar o sinal de rádio de um ponto específico do Universo, a antena do radiotelescópio move para mirar em um ponto adjacente, onde ele grava o sinal novamente. Desta maneira ele faz uma "varredura" sequencial de uma área do céu.

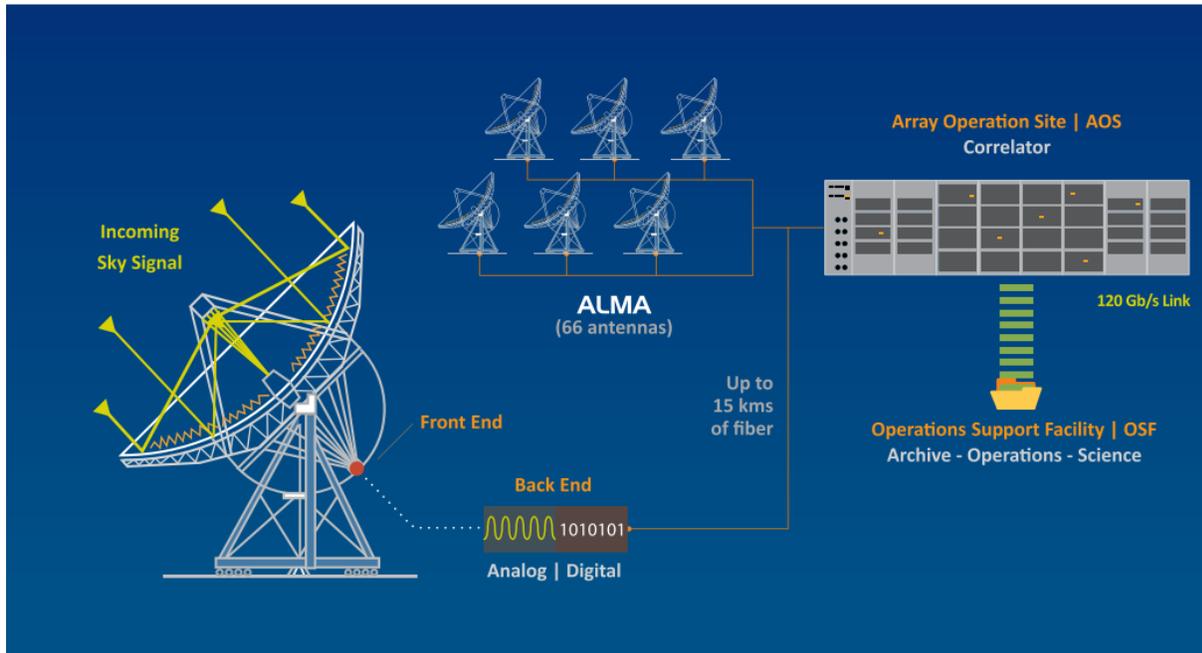
Todas as informações sobre a intensidade das ondas de rádio que chegam de uma determinada área do Universo é analisada e associada a uma respectiva posição. Com ferramentas matemáticas, astrônomos podem utilizar esta informações para construir imagens de um objeto celestial que estão estudando, como a galáxia do Escultor da figura 7.

Os astrônomos despendem horas ou mesmo dias escaneando um objeto no céu com o objetivo de obter todas as informações que necessitam. E o processamento dos dados desta coleta pode levar semanas.

No ALMA, os sinais recebidos por cada antena são combinados utilizando-se a tecnologia conhecida como interferometria, que é o que faz do ALMA, o mais poderoso radiotelescópio hoje em dia. Isto representa um verdadeiro desafio técnico, pois é necessário combinar sinais de todas as antenas e dos componentes eletrônicos para produzir uma imagem de alta resolução do objeto que está em observação, com uma precisão de 1 milionésimo do milionésimo de segundo do arco (distância angular). Em outras palavras, o ALMA é um antena com diâmetro de 16 km.

Figura 8

Diagrama da operação do ALMA
Creditos: ALMA
(ESO/NAOJ/NRAO)



Auto Avaliação

1. Qual foi a contribuição de Karl Jansky para a radioastronomia?
2. Por que uma diferença de quatro minutos na posição da crista do sinal levou Jansky a acreditar que o sinal vinha da Via-Láctea?
3. Qual foi o ponto principal da ideia de Martin Ryle que se tornou a base da interferometria?
4. Qual é a principal diferença entre um telescópio óptico e um radiotelescópio?
5. Em termos gerais, como é obtida a imagem de um radiotelescópio?
6. Por que nos referimos ao ALMA como um único observatório se ele tem 66 antenas?

1.5 Um Telescópio, Muitas Antenas

Cada uma das 66 antenas do ALMA - entre 7 a 12 metros de diâmetro - representam a realização de um projeto de engenharia e tecnologia. Além do mais, estas antenas precisam suportar as condições extremas do local onde estão instaladas: o Platô Chajnantor, com ventos fortes, luz intensa e temperaturas que variam de 20 a -20°C. Embora seja um lugares mais secos do planeta, ocasionalmente pode nevar.

Mas as antenas do ALMA tem mais uma notável característica. Como a potência de um interferômetro depende da localização de cada antena em relação às outras, as antenas podem ser reposicionadas de acordo com o que está se observando no Universo. Isso significa que ao contrário de um telescópio que é construído e permanece no mesmo lugar, as antenas do ALMA são robustas o suficiente para se moverem em plataformas de concreto sem que ocorra danos aos mecanismos de alta precisão. Isto é feito com o uso de dois caminhões transportadores, Otto e Lore, especificamente projetados para este objetivo (Figura 9).

Por causa de suas múltiplas antenas móveis, a área total do interferômetro ALMA é um pouco maior que 6.500 m², equivalente a um campo de futebol. As antenas podem ser distribuídas no Platô de modo que as distâncias entre elas pode variar de 150 m até 16 km. Em outras palavras, graças às técnicas de interferometria e reposicionamento, o ALMA tem uma poderosa e variável lente de aumento para perscrutar o Universo.

Quanto mais afastadas as antenas se encontram uma das outras, mais detalhes do objeto observado podem ser capturadas. Portanto, o ALMA pode sondar o Universo com comprimentos de onda da ordem de milímetros e submilímetros com uma sensibilidade e resolução jamais vistos, e com imagens que são até 10 vezes mais precisas que o telescópio Hubble.



Figura 9: Otto e Lore, os transportadores de antena do ALMA em ação.
Créditos: ALMA (ESO/NAOJ/NRAO)

2. The Physics of Radio Astronomy



Aerial view of the OSF. Credit: ALMA (ESO/NAOJ/NRAO).

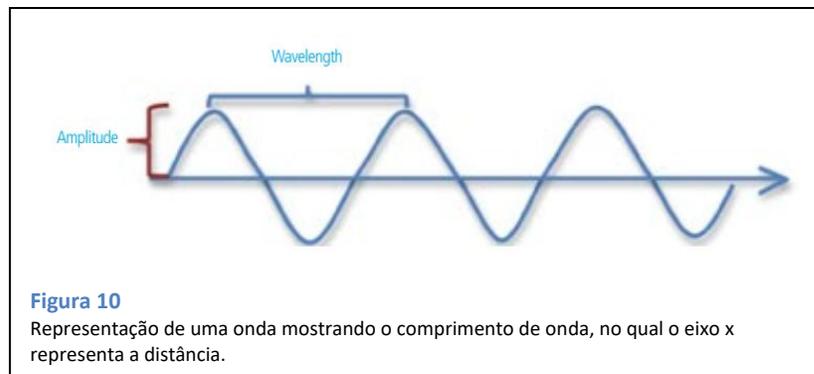
Sem nossos olhos ou sem um telescópio óptico nós podemos capturar apenas uma pequena fração do toda informação que o Universo nos envia. A luz visível é apenas uma diminuta parcela de todo o espectro de radiação eletromagnética a qual, em sua totalidade, vai das ondas de rádio (baixas frequências e grandes comprimentos de onda) até os raios gama (altas frequências e comprimentos de onda muito curtos)

2.1 Radiação Eletromagnética

A captura de ondas eletromagnéticas do Universo nos possibilita aprender mais sobre os objetos que as geraram. Mas por quê e como uma [onda eletromagnética](#) é gerada?

Ondas são fenômenos que experimentamos no dia a dia: som, luz, ondas do oceano ou ao atirmos uma pedra em um lago calmo são alguns exemplos que nos permitem observar o mesmo padrão. Em todos os exemplos, existe uma perturbação em um meio, como a pressão no ar (som), uma onda no oceano (água), ou a luz no vácuo¹. Em todos os casos a energia é transportada sem que ocorra o transporte da matéria.

No geral, ondas são caracterizadas pelo seu comprimento de onda, [frequência](#) e amplitude (veja imagem 10). Comprimento de onda é a distância entre duas cristas consecutivas em uma onda, ela é medida em metros e seus múltiplos e submúltiplos (cm, mm, nm, etc). A frequência, ao contrário, é o número de vezes que uma oscilação ou um ciclo ocorre em uma unidade de tempo. A frequência é medida em [Hertz](#) (Hz), no qual 1 Hz é igual a 1 ciclo por segundo.



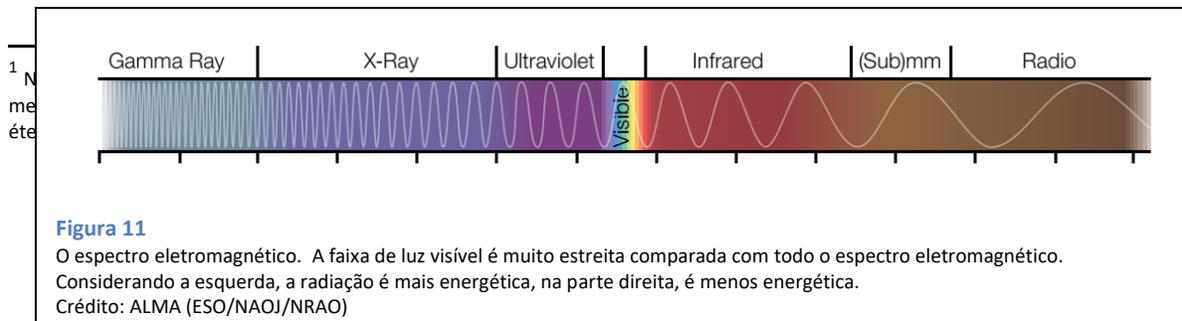
Comprimento de onda (λ) e frequência (f) estão relacionados um com o outro pela velocidade (v) com que a onda se propaga. No caso das ondas sonoras, a velocidade do som, no ar, tem um valor de 321 m/s; Entretanto, a velocidade de uma onda eletromagnética, no vácuo, é representada pela letra "c", conhecida como velocidade da luz, cujo valor é $c = 300.000 \text{ km/s}$.

A equação que relaciona estas variáveis é: $v = \lambda \cdot f$ ou $c = \lambda \cdot f$

Em outras palavras, o valor da velocidade de propagação da onda pode ser encontrado multiplicando-se o comprimento de onda pela frequência.

Por outro lado, a amplitude da onda (A) corresponde a "altura" da crista (ou vale) medida a partir da linha base (ponto de equilíbrio). A amplitude está relacionada à energia transportada pela onda.

O céu é um permanente espetáculo de fogos de artifício que nós não podemos ver! Esta radiação



invisível tem diferentes propriedades de acordo com os comprimentos de onda; e de certo modo, como se eles tivessem diferentes [cores](#). O espectro eletromagnético é dividido em categorias de acordo com o comprimento de onda: rádio, [micro-ondas](#), infravermelho, visível, ultravioleta, raios-X, raios gama.

Ao observar o espaço com telescópios que são capazes de detectar diferentes tipos de luz, isto é, diferentes tipos de radiação eletromagnética (imagem 11), os astrônomos podem expandir e aprofundar as maneiras como eles estudam o Universo. Sem estes telescópios, alguns objetos celestes permaneceriam completamente invisíveis. Por exemplo, quando uma estrela está atrás de uma nuvem de poeira espacial, a luz visível que ela emite não pode nos alcançar, mas ondas de rádio podem passar pela nuvem e então a estrela pode ser detectada.

Além do mais, ao observar a radiação eletromagnética de um objeto em diferentes comprimentos de onda, podemos aprender sobre os diferentes processos físicos que ocorrem nele. Cada conjunto de observações, em cada região do espectro eletromagnético, contribui com uma informação complementar, como pode ser percebido na imagem 12.

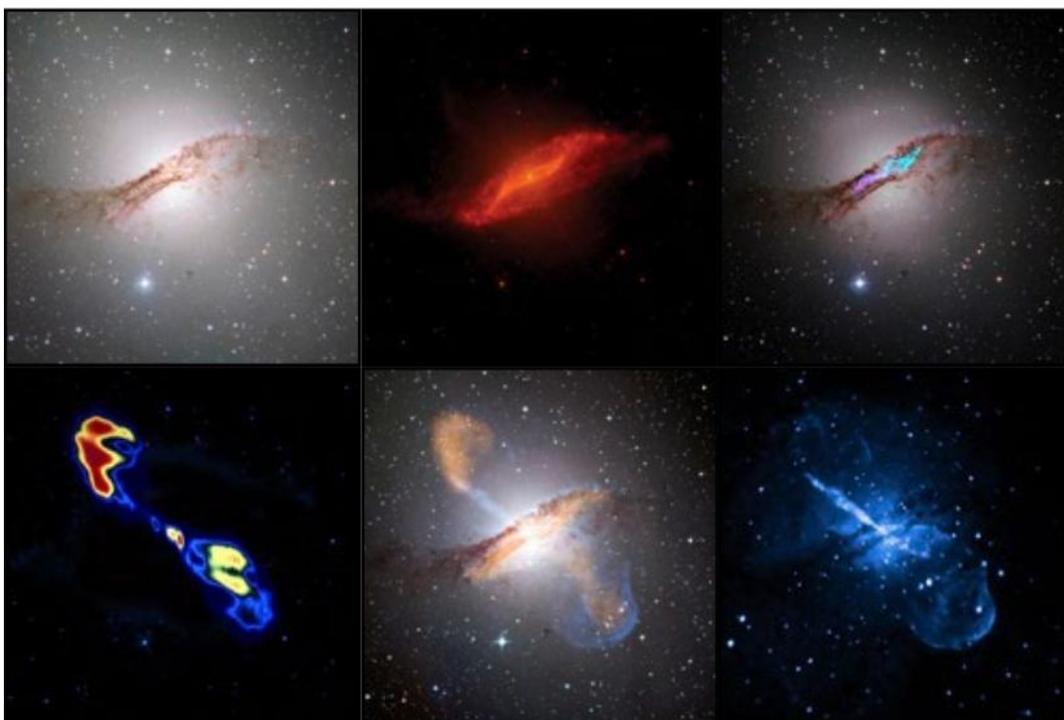


Figura 12
Seis imagens tiradas de um mesmo objeto em diferentes comprimentos de onda.
Crédito: ALMA (ESO/NAOJ/NRAO)

2.2 Radiação no dia a dia

Com a exceção da luz visível, toda radiação eletromagnética é um tipo de luz invisível que não pode ser detectada pelo olho humano. Mas embora não possamos vê-lo, nós a utilizamos diariamente (veja imagem 13): quando escutamos uma música no rádio (ondas de rádio), quando cozinhamos uma comida no micro-ondas (micro-ondas), quando mudamos o canal de TV com o controle remoto (infravermelho), quando bronzeamos nossa pele ao sol (ondas ultravioleta) e quando tiramos chapas de raios X no hospital (ondas de raio X).

A única radiação da qual não fazemos uso diário são as ondas de raios gama, que se originam em processos radioativos e que nos são prejudiciais devido à alta energia transportada por elas - possuem alta frequência (sabemos que quanto menor o comprimento de onda maior a energia associada). Esta relação entre a energia² e a frequência de um fóton foi descoberta pelo físico alemão Max Planck, que postulou que a energia não é emitida ou absorvida de modo contínuo, discreto, mas em "pacotes de energia" conhecido como [quanta](#).

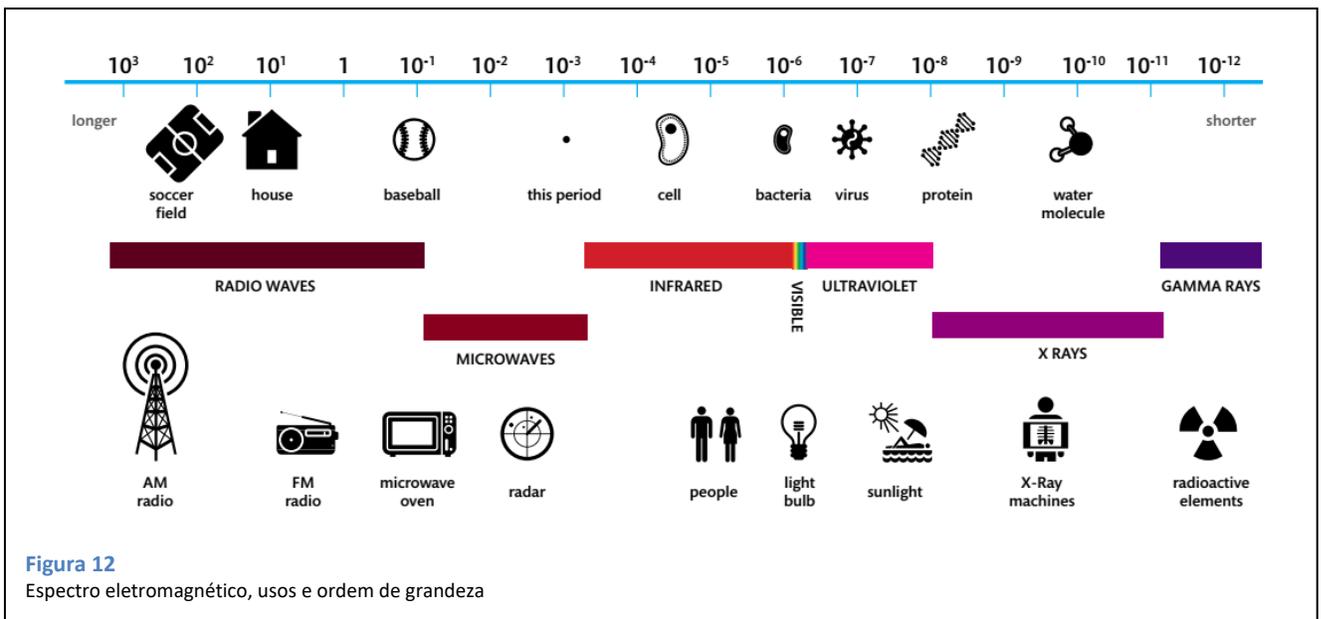


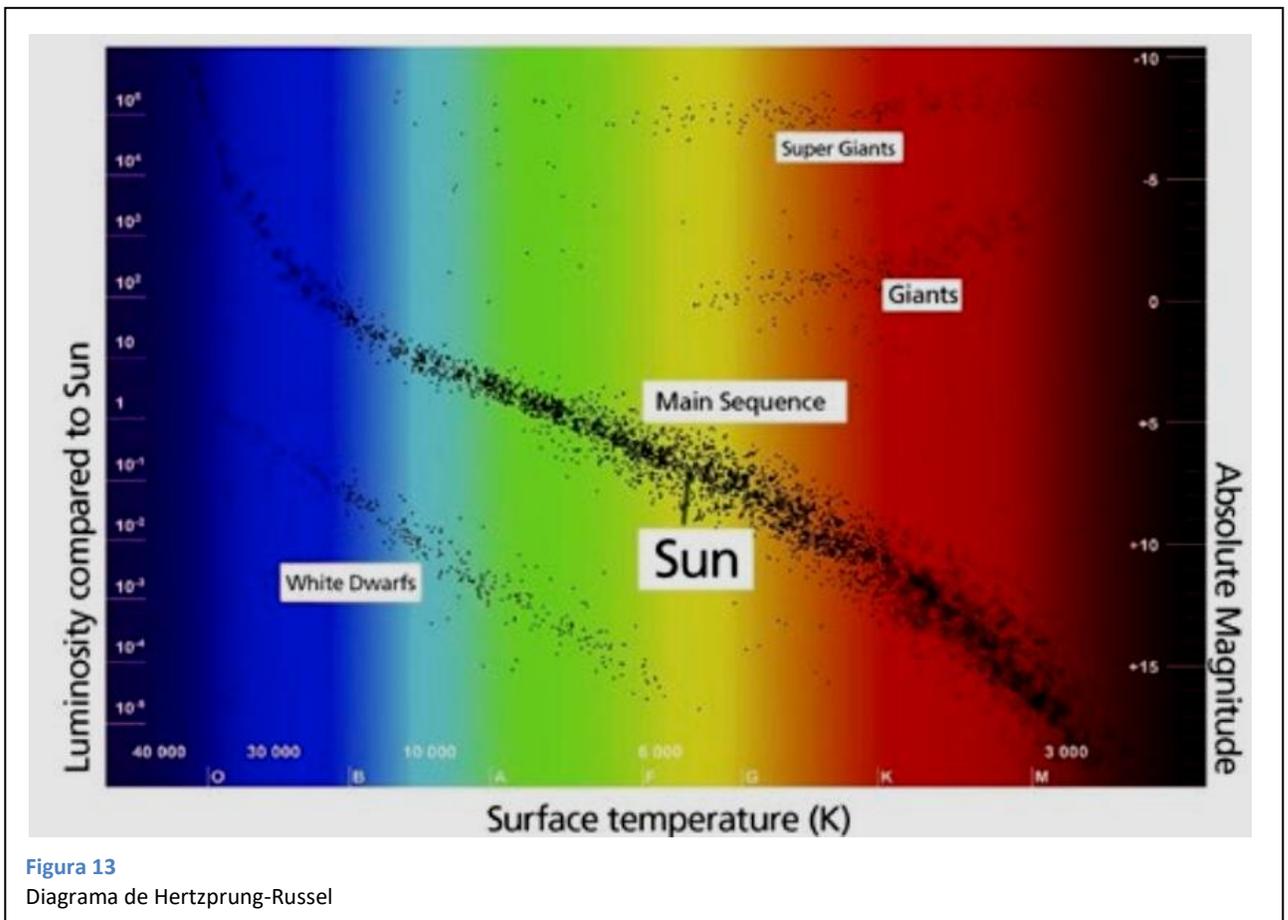
Figura 12
Espectro eletromagnético, usos e ordem de grandeza

² Nota do tradutor: inicialmente texto associou a energia transportada por uma onda à amplitude (penúltimo parágrafo da p. 15), isto é, distância entre a posição de equilíbrio e uma crista (ou vale). Neste ponto do texto os autores associam a energia de uma onda à sua frequência. Devemos ter em conta que a primeira associação está ligada à visão da onda descrita pela Física Clássica, enquanto que a posterior, de Plank, refere-se ao da Física Quântica.

2.3 A Origem da Radiação Eletromagnética

A [radiação eletromagnética](#) é gerada em diversos processos físicos, logo aos estudá-los teremos acesso a importantes informações sobre a fonte. Por exemplo, objetos frios situados no espaço emitem luz invisível próximo ao vermelho do espectro. Luz visível pode ser gerada em diversos processos e seu comprimento de onda determina sua cor. As cores que podemos ver com nossos olhos apresentam comprimento de onda entre 400 e 700 [nanômetros](#), situando-se entre a luz azul e vermelha. Radiações com comprimento de onda menores que 400 nanômetros ou maiores que 700 nanômetros são invisíveis aos olhos humanos.

O [diagrama de Hertzsprung-Russel](#) (figura 14) sintetiza muito do conhecimento que temos hoje sobre as estrelas. Uma das coisas que podemos ver é precisamente a relação entre a temperatura e a cor de uma estrela: é por causa disso que a superfície do Sol, com temperatura de 5.778 [Kelvin](#) (5.050°C), brilha de maneira mais intensa naqueles comprimentos de onda que nossos olhos veem ou interpretam com amarelo-verde, ao qual corresponde 502 nanômetros. As estrelas mais frias parecem avermelhadas e as mais quentes, azuis.



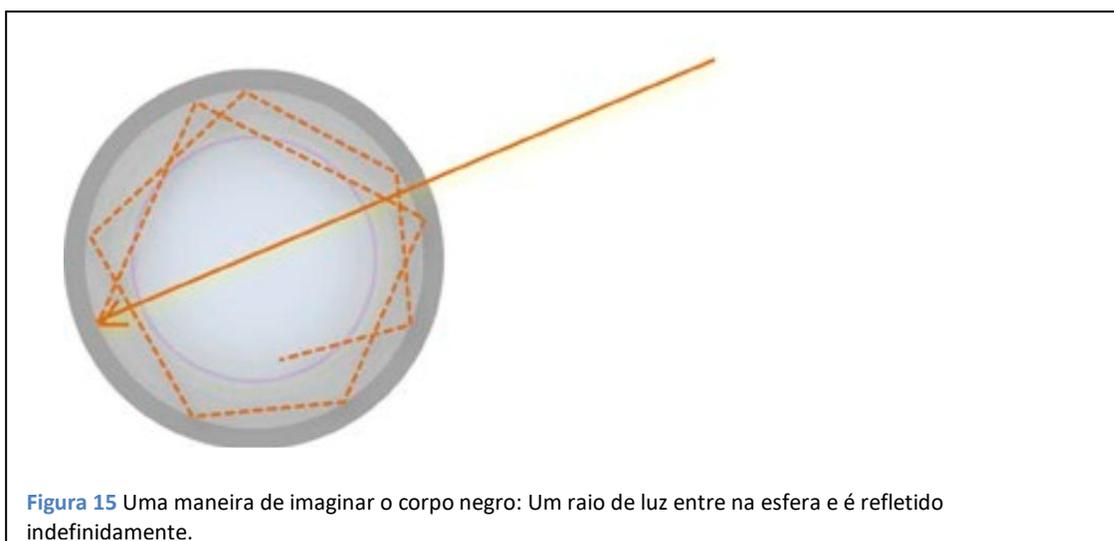
2.3.1 Radiação Térmica

Um dos mais comuns processos que geram radiação eletromagnética é a radiação térmica, que pode facilmente ser percebida ao mover sua mão próxima a um objeto quente ou ao observar um pedaço de ferro quente brilhando no escuro. A radiação térmica não pode ser vista pelo olho humano, mas pode ser vista com uma câmera de infravermelho (veja figura 15).



Para explicar este processo, em 1862, o físico Gustav Kirchhoff supôs um objeto teórico ou ideal ao denominou *corpo negro*. O corpo negro absorve toda a luz incidente e radiação térmica sem refletir ou transmitir qualquer parte desta radiação.

Embora o corpo negro seja uma idealização, uma analogia é útil para imaginá-lo: Suponha que você tenha uma esfera metálica oca, com uma superfície interna altamente polida. Você faz um pequeno buraco em sua superfície. É fácil imaginar um raio de luz que entra e sofre sucessivas reflexões no interior; em outras palavras, toda a luz que entra pelo buraco é refletida indefinidamente no interior sem a possibilidade de escapar (veja imagem 16). Um corpo negro não deve ser confundido com um buraco negro, que é outro objeto teórico.



Embora ele seja chamado de corpo negro, isto não significa que ele seja negro; ao contrário, ele emite luz que é conhecida como **radiação de corpo negro**. A radiação emitida pelo corpo negro tem diferentes comprimentos de onda que se estendem continuamente, como pode ser visto na figura 17.

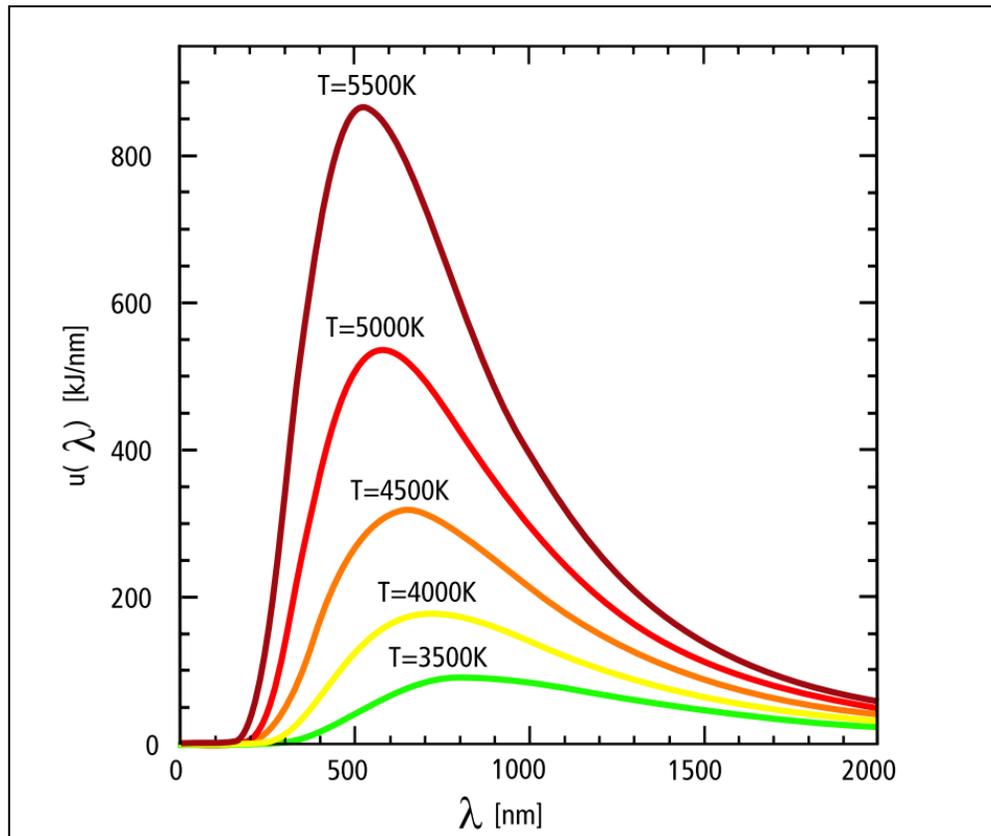


Figura 16
Gráfico da radiação de corpo negro, mostrando várias curvas e temperaturas do corpo negro (3.500 K = 3.227 °C). É evidente que existe um máximo de emissão, por exemplo para 5.500K, o máximo é encontrado para o comprimento de onda de 500 nanômetros (1nm = 10⁻⁹ m).
Crédito: Wikipedia GPL

A medida que a temperatura do corpo negro aumenta, ele absorve energia, logo o ponto de máxima emissão é deslocado para comprimentos de onda menores do espectro. Por exemplo, na figura 17 você pode ver que a 3.500 K o comprimento de onda tem um máximo próximo a 800 nm. Se a temperatura aumenta para 4.000K, o comprimento de onda no qual a emissão máxima ocorre desloca-se para 700 nm. Se lembrarmos que o comprimento de onda é inversamente proporcional a frequência ($\lambda \propto \frac{1}{f}$), a medida que o comprimento de onda diminui, a frequência aumenta, indo do infravermelho ao visível.

Isto explica porque um pedaço de metal incandescente se torna vermelho (com comprimentos de onda predominantemente próximo do vermelho) quando ele se aquece, e se a temperatura continua a subir, ele eventualmente se torna branco (comprimento de onda próximo a faixa intermediária da luz visível).

A radiação de corpo negro tem o espectro característico que depende somente da temperatura do objeto. Vários objetos astronômicos irradiam com um espectro similar ao de um corpo negro, a uma temperatura específica.

Relação entre temperatura e comprimento de onda

A emissão máxima do comprimento de onda, λ_{MAX} da distribuição de um corpo negro a uma temperatura T, é dada pela [Lei de Deslocamento de Wien](#):

$$\lambda_{MAX} = bT$$
$$(b = 2,897769 \times 10^{-3} \text{ m.K})$$

no qual b é conhecido com constante de deslocamento de Wien.

Relação entre a energia emitida e a temperatura

De modo similar, a energia total emitida a cada segundo por cada seção do objeto é diretamente proporcional a quarta potência da temperatura do objeto. A relação é conhecida como [Lei de Stefan-Boltzmann](#):

$$E = \sigma T^4$$

no qual T é a temperatura efetiva, ou em outras palavras, a temperatura absoluta da superfície (medida em Kelvin) e sigma (σ) é a constante de Stefan-Boltzmann, $\sigma = 5,67 \times 10^{-8} \text{ W/m}^2\text{K}^4$

Para sintetizar, algumas das características da radiação térmica são:

- Objetos quentes emitem luz em comprimentos de onda pequenos e altas frequências;
- Os objetos mais quentes emitem luz mais intensa.

Logo, a luz que vem das vastas nuvens frias do espaço interestelar cuja temperatura é poucas dezenas de Kelvin acima do zero absoluto ou a luz que vem das galáxias mais remotas e antigas do nosso Universo, ambas tem comprimentos de onda na faixa do milímetro ou submilímetro, situando ambas entre o infravermelho e as ondas de rádio no espectro eletromagnético, mais precisamente, onde o ALMA está observando.

Astrônomos podem utilizar esta radiação para estudar as condições químicas e físicas nas nuvens moleculares, que são regiões densas de gás e poeira onde novas estrelas estão sendo formadas. Estas regiões do Universo estão quase sempre ocultas da luz visível, mas eles brilham intensamente na parte do espectro correspondente às ondas milimétricas e submilimétricas.

2.2.2 Radiação não-térmica

Existem outros mecanismos, não associados com a temperatura do objeto, que geram radiação. Estes serão brevemente expostos devido aos nossos objetivos.

A maior parte da radiação em nossa galáxia e particularmente a radiação descoberta por Jansky é originária principalmente da interação de partículas carregadas com forças magnéticas.

Quando uma partícula carregada está se movendo a uma certa velocidade em um campo magnético, uma força é exercida nela que a força a se mover em uma trajetória denominada hélice helicoidal. Isto é conhecido como [força de Lorentz](#). Como a partícula está acelerada, ela emite luz, e em condições não relativísticas - isto é, sua velocidade é bem menor que a velocidade da luz - ela é conhecida como radiação de cíclotron. Mas quando a sua velocidade é próxima da velocidade da luz, ela emite uma radiação muito mais forte, denominada radiação síncrotron. Um exemplo disso são os quasares, que emitem radiação síncrotron além da luz visível e dos raios X.

Uma importante diferença entre estes mecanismos é que enquanto a intensidade da radiação térmica cresce com a frequência, a intensidade da radiação não térmica usualmente decresce com a frequência.

Figura 17
Partícula carregada em um campo magnético perpendicular ao plano do papel. O campo magnético cria uma força que é sempre perpendicular ao plano formado pelo vetor velocidade e pelo vetor campo magnético

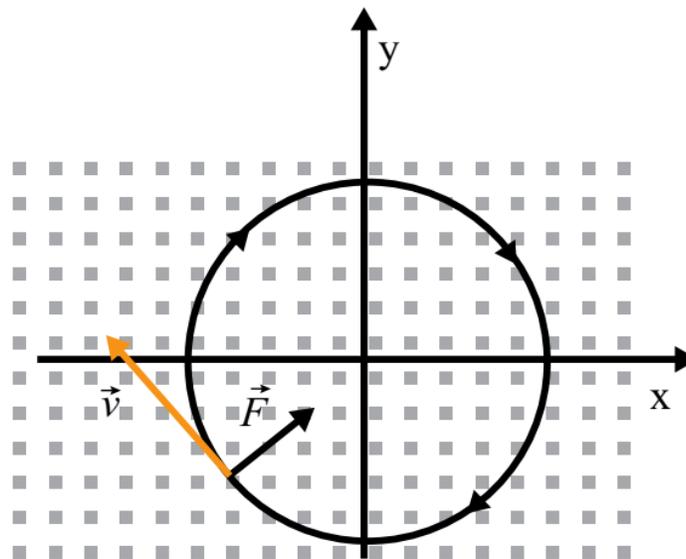
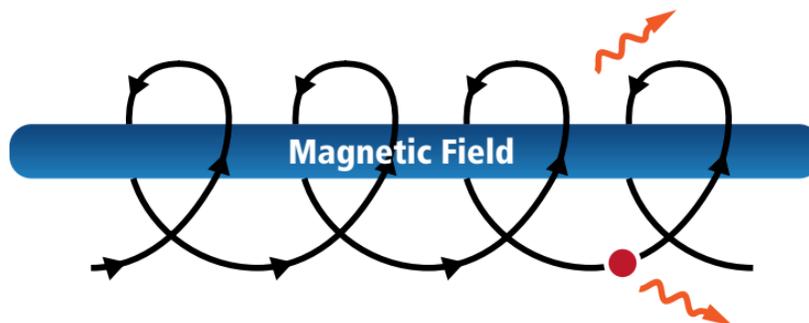


Figura 18
Uma partícula que se move em um campo magnético: sua aceleração gera uma radiação cíclotron. Crédito: NRAO



2.4 Como as ondas viagem pelo espaço

Quando ondas eletromagnéticas são emitidas, elas viajam no espaço em linha reta. Em seu trajeto, elas podem encontrar diferentes substâncias químicas como aquelas presentes nas nuvens de poeira ou gás. Elas interagem de modo diverso: elas podem ser absorvidas, refletidas ou passar direto por elas sem sofrer alteração alguma.

Quando uma onda encontra uma mudança no meio, os seguintes fenômenos podem ser observados:

2.4.1 Reflexão

A reflexão ocorre quando as ondas mudam de direção depois de colidir com uma superfície (veja a figura 20). Este fenômeno é observado claramente em um espelho, onde as ondas luminosas mudam a direção de seu movimento. Um fenômeno similar é utilizado em telescópios, no qual um espelho com um formato parabólico desvia a luz incidente, paralela ao eixo óptico, em direção a um ponto, conhecido como foco. As antenas dos radiotelescópios concentram as ondas eletromagnéticas em um receptor.

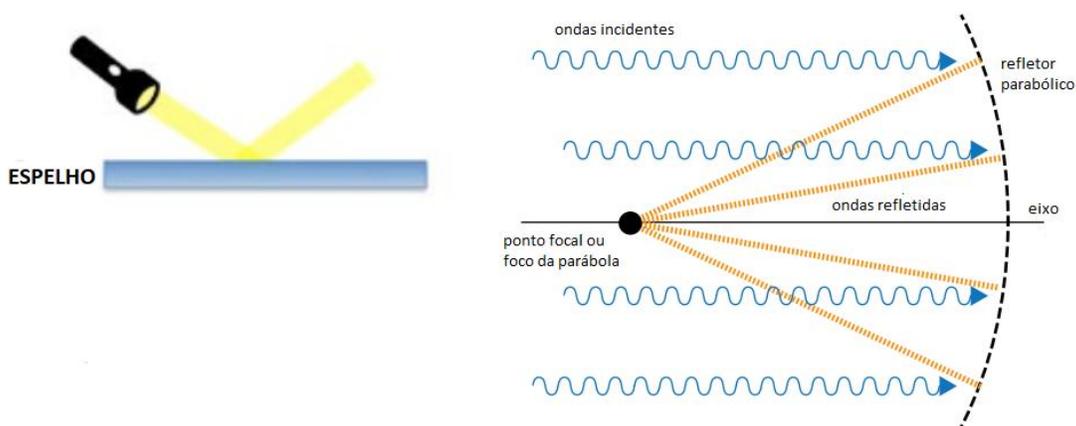


Figura 19

2.4.2 Refração

A refração acontece quando uma onda passa de meio material para outro e experimenta uma mudança na direção e na velocidade de propagação. A alteração desses parâmetros dependerá do índice de refração dos meios materiais envolvidos. Este fenômeno é observado quando a luz atravessa a água ou quando passa por uma lente de vidro (veja figura 21)

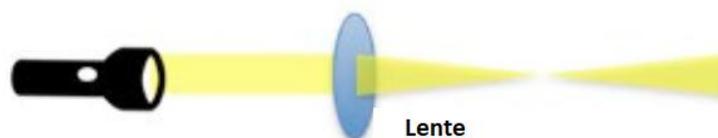


Figura 20

2.4.3 Difração

A difração é um fenômeno característico das ondas que ocorrem quando uma onda é desviada por um obstáculo ou pela passagem por uma fenda (Figura 22). Vivenciamos este fenômeno todos os dias quando escutamos os sons vindo de salas adjacentes. Ele também pode ser observado no caso de uma fonte de ondas de rádio que está oculto pela Lua, que apresenta oscilações em seu brilho ao invés de uma queda abrupta.

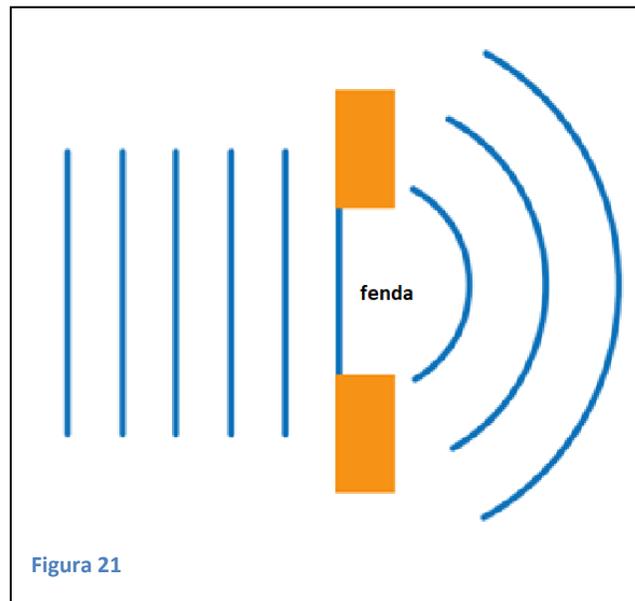


Figura 21

A difração depende da relação entre o comprimento de onda e o tamanho do objeto. Isto explica por que ele não é observado para a luz visível pois o comprimento de onda é muito pequeno. Observar este fenômeno exige uma fenda que tem o mesmo tamanho do comprimento de onda da luz; por exemplo, para a luz verde, uma fenda de abertura de 5.500 nanômetros seria suficiente. É o que ocorre em um telescópio refletor, no qual a difração no suporte do espelho secundário pode alterar a imagem das estrelas.

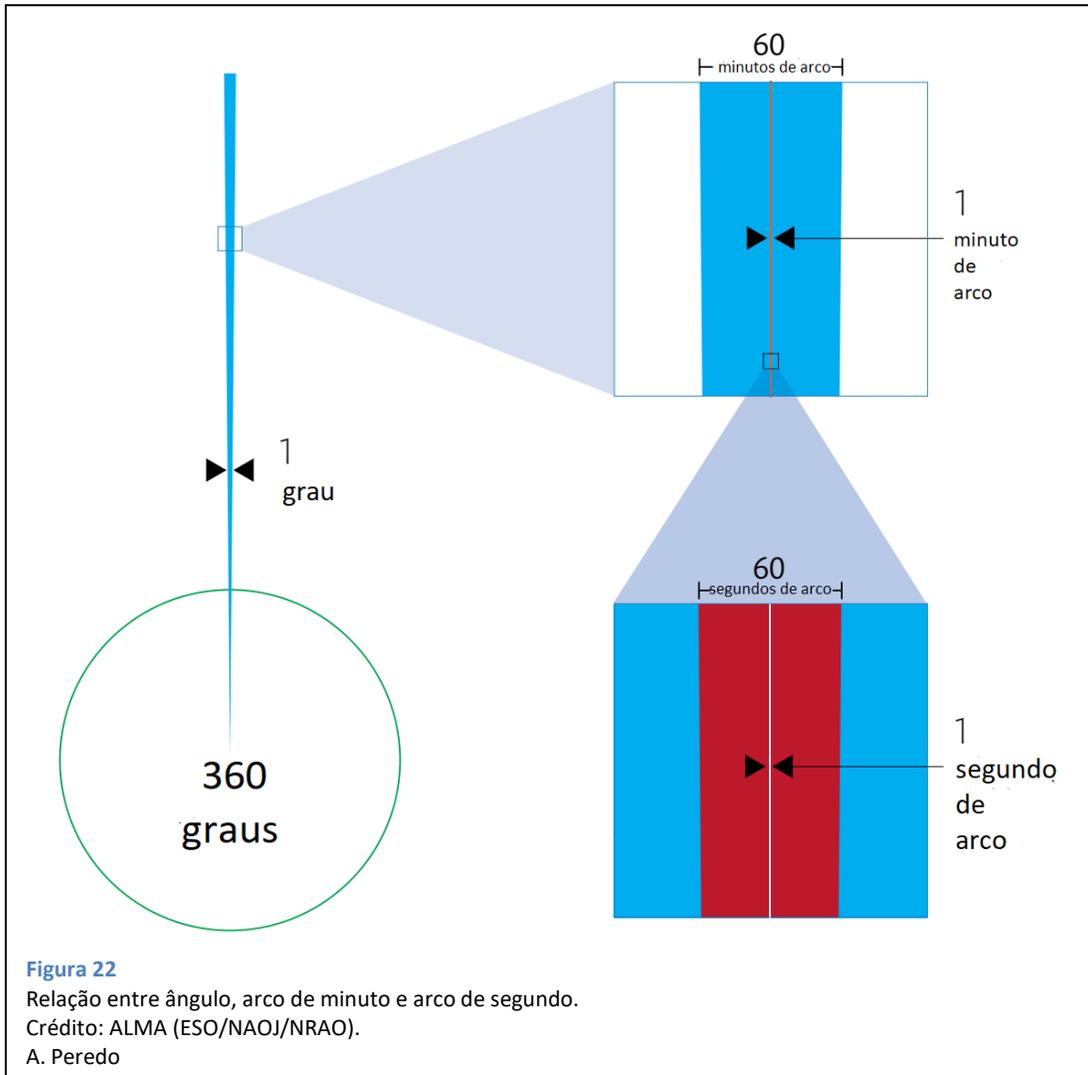
O desvio de ondas eletromagnéticas causadas pela difração ao colidir com um espelho, o prato de uma antena ou uma lente, cria um limite fundamental nos detalhes que podem ser detectados pelo telescópio que é conhecido como poder de resolução.

No caso de um telescópio, seja ele óptico ou de rádio, a resolução depende, respectivamente, do diâmetro do espelho primário ou do prato da antena, e do comprimento de onda do que está sendo observado. Por exemplo, se o prato de uma antena tem diâmetro D (medida em metros), e opera para um comprimento de onda λ (também medida em metros), então a resolução máxima é expressada por um ângulo θ (medido em [radianos](#)) que vale aproximadamente:

$$\theta \approx \frac{\lambda}{D}$$

Na equação acima, o ângulo θ é medido em radianos e não em graus. Existem 2π radianos em uma circunferência, correspondente a 360° . Consequentemente, para converter radianos em graus, é necessário multiplicar por $360/2\pi$. Como observado na expressão, o radiano não é uma unidade de medida como o metro ou o segundo.

Os astrônomos frequentemente medem ângulos menores que o grau em arcominuto e arcosegundo. Os termos "minuto de arco" e "segundo de arco" também são utilizados. Existem 60 minutos de arco em um grau e 60 segundos de arco em um minuto de arco (e conseqüentemente, 3.600 segundos de arco em um grau).



Quando nos referimos a distâncias muito grandes em relação ao tamanho do objeto observado, podemos utilizar uma razão simples para converter ângulos em distâncias. Deste modo, o lado de um dado ângulo pode ser considerado igual a distância do objeto e muito maior que o ângulo (x) associado, então podemos aplicar a aproximação para pequenos ângulos que é:

$$x \approx r \theta$$

no qual θ é o ângulo (expresso em radianos) associado ao arco de comprimento x a uma distância r .

2.4.4 Comprimentos de onda associados à resolução do ALMA

Vamos aplicar este resultado ao ALMA, que observa o Universo no comprimento de onda próximo a 1mm, em comparação a luz visível, que possui um comprimento de onda próximo a 500 nm.

$$\theta \approx \frac{\lambda}{D}$$

Para o radiotelescópio:

$$\theta \approx \frac{1 \times 10^{-3} \text{ m}}{12 \text{ m}} \approx 10^{-4} \text{ rad} \approx 0,057^\circ$$

Para um telescópio óptico de mesmo tamanho:

$$\theta \approx \frac{5 \times 10^{-9} \text{ m}}{12 \text{ m}} \approx 10^{-10} \text{ rad} \approx 2,4 \times 10^{-7^\circ}$$

O resultado mostra que o poder de resolução é menor para as ondas de rádio que para o espectro visível. Por isso telescópios milimétricos ou submilimétricos como o ALMA tem que ser muito maiores que os telescópios para luz visível de maneira a capturar esses comprimentos de onda. É necessário também utilizar a técnica de interferência.

2.4.5 Interferência

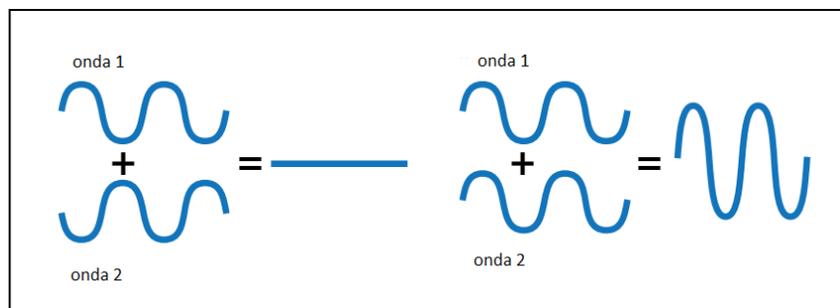
O termo interferência está associada à captura de um inesperado sinal de rádio, como na situação na qual um radiotelescópio captura um sinal de rádio criado pela atividade humana, ao invés de capturar sinais oriundos de fontes naturais.

Outro significado, aplicado ao fenômeno das ondas propriamente dito, consiste na combinação de dois ou mais ondas de um mesmo ponto do espaço, resultando em uma maior intensidade (interferência construtiva) ou menor intensidade (interferência destrutiva). Para que isso ocorra, as ondas devem estar alinhadas, isto é, as cristas e vales das ondas devem estar em fase. A interferência destrutiva acontece quando, em um certo ponto do espaço, um vale se sobrepõe a uma crista, enquanto que a interferência construtiva ocorre quando uma crista e um vale coincidem.

Este mesmo princípio é utilizado em uma técnica conhecida como interferometria, no qual múltiplos telescópios individuais podem ser conectados e seus sinais combinados para simular o efeito de um único, mas gigantesco telescópio.

Figura 23

Interferência construtiva e destrutiva. Na imagem da esquerda, a crista da onda 1 coincide com o vale da onda 2. Na imagem da direita, a crista da onda 1 coincide com a crista da onda 2.



A resolução de um interferômetro não depende do diâmetro de um refletor individual mas sim da máxima separação entre as antenas, ou linha-base, logo ao mover as antenas o mais afastado uma da outra, a resolução aumenta. O sinal da antena é combinado e processado por um supercomputador - O Correlator ALMA - que simula o trabalho de um único telescópio. Em outras palavras, um interferômetro trabalha como um único telescópio do tamanho de toda a rede de antenas.

Ao aumentar a distância entre as antenas aumenta o poder de resolução do interferômetro, capturando detalhes mais sutis. A possibilidade de combinar os sinais da antena separadas por uma linha base de vários quilômetros é crucial para obter uma resolução extremamente acurada e imagens bem detalhadas.

O principal arranjo do ALMA tem 50 antenas com um diâmetro de 12 metros cada, organizadas em uma configuração específica com separação que varia de 150 metros a 16 quilômetros de distância entre as antenas. Conseqüentemente, o arranjo simula um telescópio gigante, que é muito maior que qualquer telescópio refletivo simples que poderia ser construído.

Quatro outras antenas com diâmetro de 12 metros e 12 antenas com diâmetro de 7 metros completam o Atacama Compact Array (ACA), também conhecido como Morita Array. As antenas de 7 metros de diâmetro podem se concentrar em uma menor área sem que uma interfira com a outra. Devido ao modo como os interferômetros operam, este arranjo permite obter uma imagem mais geral dos objetos astronômicos observados, como se fosse uma lente grande angular de uma câmera fotográfica. Por outro lado, as quatro antenas de 12 metros do ACA podem ser utilizadas separadamente para medir o brilho absoluto dos objetos observados, o que não pode ser medido por um interferômetro.

Logo, as diferentes configurações do radiotelescópio permitem aos astrônomos estudarem a estrutura geral de uma fonte astronômica tanto quanto os pequenos detalhes. Entretanto, as antenas devem ser movidas ao mudar de uma configuração compacta para uma configuração mais dispersa. Para realizar isso, o ALMA utiliza transportadores construídos especialmente para estes propósitos. Os transportadores podem erguer as antenas (cada uma pesa mais de 100 toneladas), movê-las vários quilômetros nas altas montanhas planas do deserto de Atacama e então, posicioná-las com plataformas de concreto com precisão milimétrica.

2.4.6. Transparência e Opacidade

As luzes emitidas pelas estrelas e outros objetos no espaço precisam atravessar muitas regiões antes de alcançarem a Terra. Sua capacidade de se mover através de regiões com diferentes graus de transparência depende de seu comprimento de onda. Isso significa que enquanto a luz visível pode ser bloqueada por uma nuvem ou poeira, outros tipos de radiação podem passar por elas sem que ocorra perda de energia.

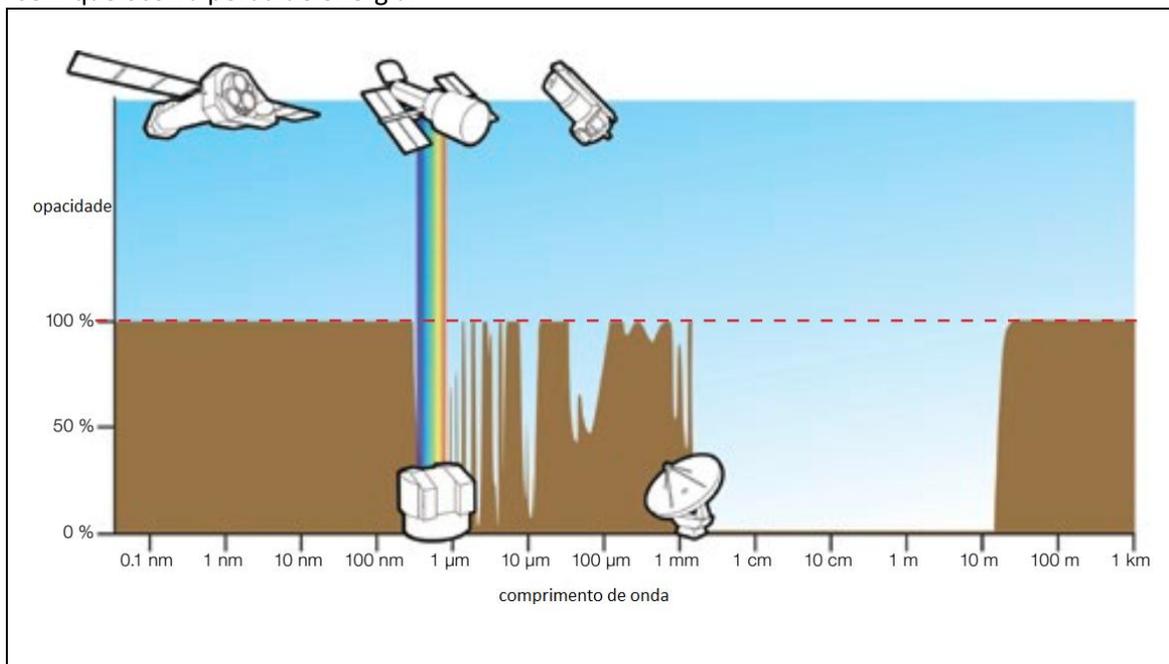


Figura 24

Opacidade atmosférica. A opacidade está representada no eixo vertical e o comprimento de onda no eixo horizontal. A linha horizontal superior corresponde a 100% de opacidade. Para a luz visível, que está associada ao telescópio, é igualmente transparente para as ondas de rádio.

O mesmo ocorre quando a luz atinge a atmosfera da Terra; isto é definido como transparência da atmosfera ou opacidade. Uma opacidade de 100% corresponde a 0% de transparência e vice-versa. A figura 25 mostra como a opacidade da atmosfera varia em relação ao comprimento de onda. Com uma opacidade de 100%, a radiação é completamente bloqueada, enquanto que com um opacidade de 0%, a radiação é completamente transmitida (o que os astrônomos chamam de "janela de observação").

A atmosfera não apenas absorve os fracos sinais do espaço que os astrônomos se esforçam para capturar utilizando o ALMA, mas ela também emite radiação. O principal fator de que define a transparência, no caso dos comprimentos de onda observados pelo ALMA é o vapor d'água. Por isso é tão importante que o ALMA esteja localizado em uma região seca em altas altitudes. E é por isso também que, depois de analisar diferentes localidades ao redor do mundo, o consórcio que construiu o ALMA escolheu o Platô Chajnantor, a uma altitude de 5.000 metros acima do nível do oceano, no deserto de Atacama no norte do Chile. É precisamente isso: um local muito seco a uma altitude muito grande.

A quantidade de vapor de água é usualmente medida em milímetros de "precipitação de vapor d'água (PWM)", que corresponde a profundidade de um tanque que seria enchido no local caso toda a água fosse precipitada na forma de chuva. A média de valor do PWM em nosso planeta é de

2,5 cm, mas ambientes secos extremos são necessários para a astronomia sub-milimétrica. No Platô Chajnantor, de abril a dezembro, a média de precipitação de vapor d'água é de aproximadamente 1 mm, pode ser de 0,5 mm sob certas condições. A figura 26 mostra como a opacidade varia com o comprimento de onda e com a presença de vapor d'água na atmosfera.

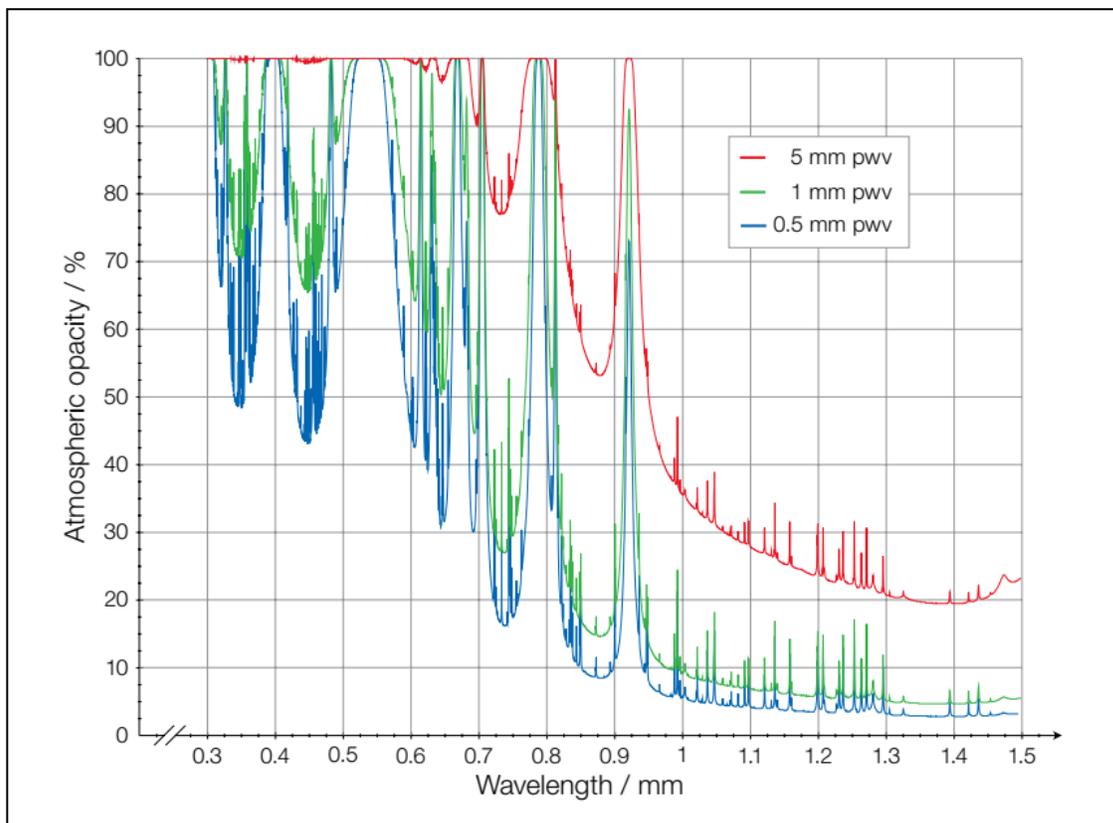


Figura 25
Diagrama de opacidade atmosférica em função do comprimento de onda, no qual linhas de diferentes cores representam diferentes níveis de precipitação de vapor d'água.
Crédito: ESO/APEX

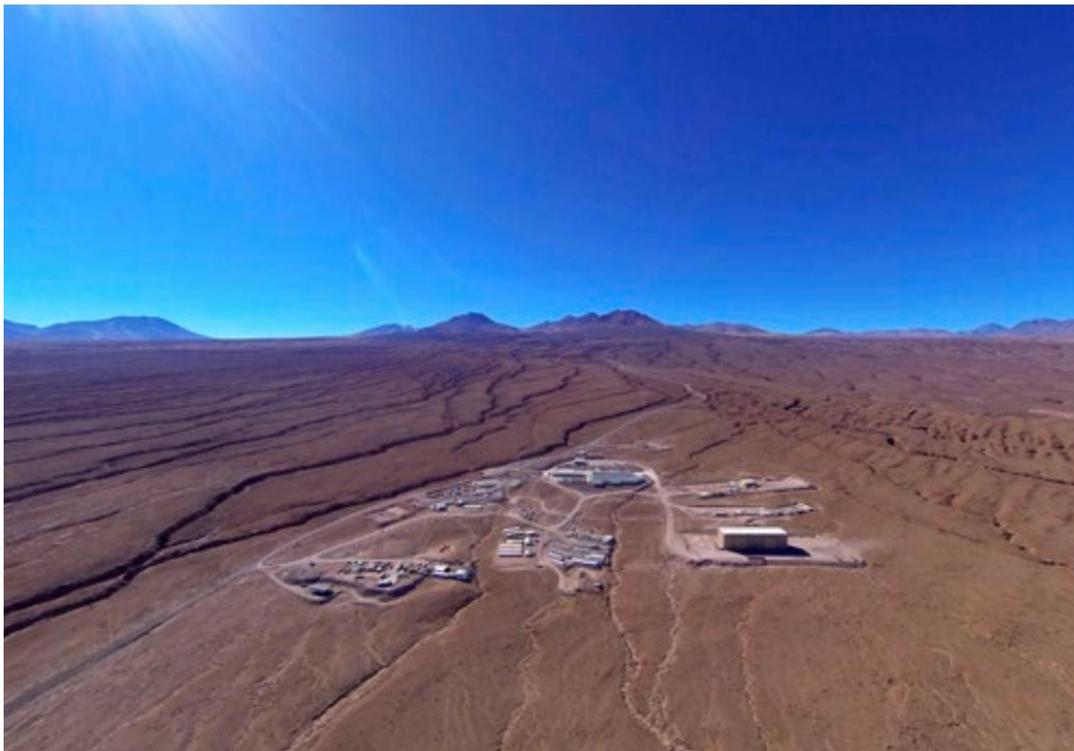
2.5 Trabalhando nas altas altitudes

O local onde as antenas do ALMA estão localizadas é conhecido como *Array Operations Site (AOS)*. A uma altitude de 5.000 m acima do nível do mar, as condições do local são excelentes para a astronomia submilimétrica mas muito difíceis para se viver e trabalhar. Por causa disso, as operações diárias são conduzidas na *Operations Support Facility (OSF)*, a uma altitude de 2.900 metros.

A altitudes muito altas, a pressão atmosférica é menor que no nível do mar, assim como a quantidade de oxigênio disponível. No exercício mais a frente, nós verificaremos como a pressão atmosférica nos locais do ALMA se comparam com a pressão ao nível do mar e outros locais de elevadas altitudes.

Figura 26

ALMA Operations Support Facility
Credit: Ariel Marinkovic / X-Cam.



2.5.1. Pressão atmosférica a altas altitudes: A atmosfera isotérmica

Podemos utilizar um modelo simples para estudar a maneira como a pressão atmosférica decresce com a altitude, pressupondo que a pressão reduz exponencialmente a medida que a altitude cresce. Este modelo é chamado "isotermal" pois assume que a temperatura do ar permanece constante. Isto não é totalmente correto mas é uma aproximação razoável. Em outras palavras,

$$p(h) = p_0 \cdot e^{-(hH)}$$

no qual p é a pressão em função da altitude h acima do nível do mar. Existem duas constantes na equação: p_0 é a pressão ao nível do mar (em outras palavras, $h = 0$ metro) e H é a altitude no qual a pressão reduziu de um fator igual a $1/e$; isto é conhecido como altura de escala.

Figura 27

ALMA Operations Support Facility.
Credit: ALMA (ESO/NAOJ/NRAO)/
Erik Rosolowsky.



Auto Avaliação

1. Para uma onda eletromagnética, qual a relação entre frequência e comprimento de onda?
2. Em termos do comprimento de onda, quais são as categorias do espectro eletromagnético?
3. Quais são as principais características da radiação térmica?
4. Quais são as diferenças entre radiação cíclotron e síncrotron?
5. Como é determinada a resolução de um interferômetro?
6. Qual é o principal fator que influencia a opacidade da atmosfera na faixa do comprimento de onda do milímetro/submilímetro?
7. Quais são os riscos de trabalhar no Array Operations Site do ALMA?

3. Explorando nossas origens cósmicas



O ALMA é o mais potente telescópio para observar o Universo frio, incluindo tanto gases moleculares e poeira e resquícios de radiação do Big Bang. O ALMA estuda os componentes básicos das estrelas, sistemas planetários, galáxias e a própria vida. Ao fornecer imagens detalhadas aos cientistas do nascimento de estrelas e planetas em nuvens de gás perto de nosso Sistema Solar, e ao detectar distantes galáxias formando nos limites do Universo observável, como elas existiam a 10 bilhões de anos atrás, o ALMA permite aos astrônomos a responder algumas das mais instigantes questões sobre nossas origens cósmicas.

3.1. O BIG BANG

À medida que o brilho das luzes do Big Bang esmaeceram, o jovem Universo se tornou incrivelmente escuro. Não existiam estrelas, apenas gases, prioritariamente o hidrogênio, algum hélio e traços de lítio e berílio de onde as primeiras estrelas eventualmente se fariam. Ninguém sabe ao certo quanto tempo durou essa Era da Escuridão, mas em algum ponto nas primeiras centenas de milhões de anos, algumas estrelas se condensaram daquele gás e começaram a brilhar.

A teoria prevê que essas primeiras estrelas tinham uma enorme massa e eram muito mais brilhantes que as que vemos hoje. Elas viveram apenas 1 milhão de anos antes de explodirem espetacularmente, dispersando pelo espaço os elementos químicos acumulados nas partes mais internas delas.

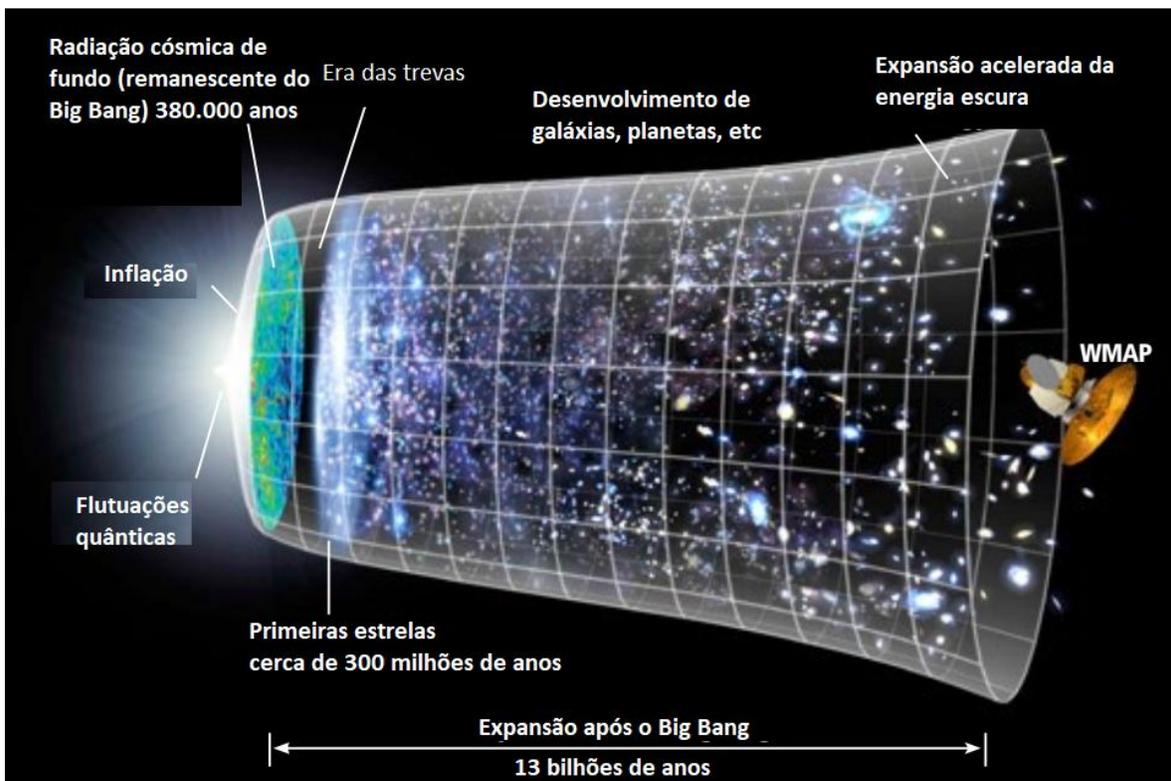


Figura 28 . Expansão do Universo desde o Big Bang. Crédito: Nasa-WMAP

Mesmo hoje, os mais poderosos telescópios não podem captar a luz vinda da primeira geração de estrelas individuais. Os observatórios espaciais do futuro serão tecnicamente capazes de registrar as enormes quantidades de luzes emitidas por esses tipos de estrelas ao explodirem, mas são

escassas as oportunidades de alcançar estes objetivos mesmo no tempo de vida de um observatório.

Paradoxalmente, nossa melhor esperança de detectar a era das primeiras estrelas se apoia em um dos elementos mais tênues do Universo. Dentre os materiais expelidos no espaço por essas estrelas estava a poeira formada pela fusão termonuclear dos elementos leves que a continham. Então, os primeiros sinais de poeira devem se tornar nossa melhor evidência sobre a vida e morte das primeiras estrelas.

O ALMA é projetado para detectar a poeira do Universo primordial. Ao esmiuçar o espaço profundo - lembre-se que mais distante vemos, mais distante viajamos no tempo - o ALMA detecta o brilho da poeira aquecida das mais distantes e conseqüentemente, antigas galáxias. Isto é muito mais do que podemos capturar ao observar a luz visível ou o infravermelho.

3.2. A Química do Universo

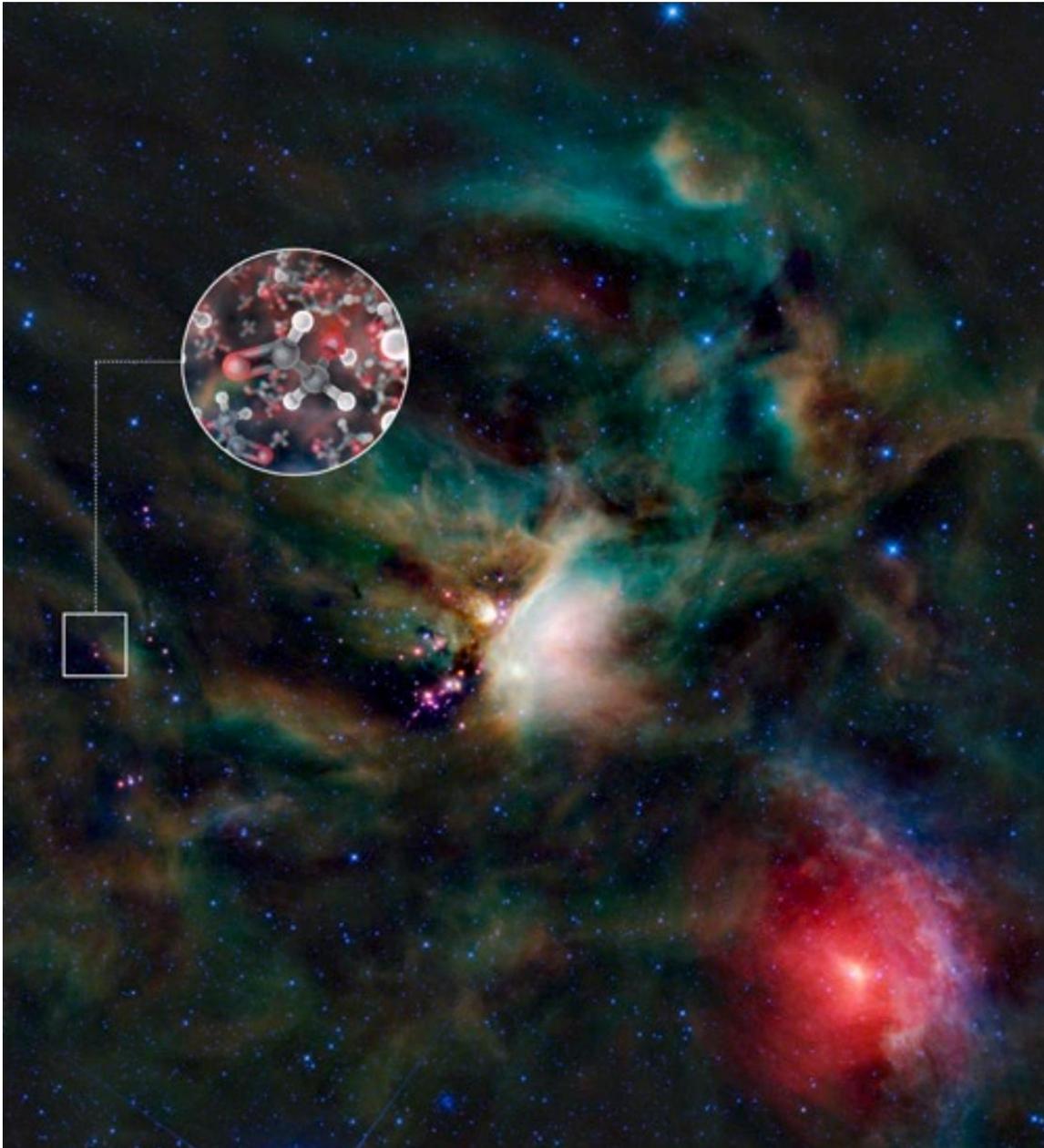


Figura 29.

Moléculas de glicolaldeído ao redor da estrela IRAS 16293-2422.
Créditos: ALMA (NAOJ/NRAO)

No nível microscópico, as paisagens espaciais nos apresentam fábricas químicas de incrível complexidade. Elementos químicos combinam para formar moléculas, um processo contínuo que diversifica, pois a medida que as moléculas se aquecem elas se transformam em moléculas gasosas no espaço, como pode ser visto na imagem 30. Essas moléculas constituem o pilar fundamental da vida e "alimentam" os planetas mais jovens.

Se os elementos químicos fossem letras em um alfabeto, as moléculas seriam as palavras. As moléculas são mais diversas, complexas e interessantes que os elementos, mas não sobrevivem muito em temperaturas altas (milhares de graus) na qual os telescópios ópticos estão sintonizados. Por isso que os radiotelescópios como o ALMA são necessários.

O ALMA tem uma habilidade ainda não vista em descobrir e medir a presença de moléculas e sua distribuição no espaço. Ele tem feito um enorme progresso na compreensão da química interestelar - que não pode ser reproduzida em laboratórios na Terra - e as mudanças que os afetam. Por exemplo, os astrônomos que utilizam o ALMA já detectaram moléculas de açúcar em gases ao redor de estrelas similares ao Sol (imagem 31). Esta é a primeira vez que o açúcar foi encontrado no espaço ao redor de uma estrela como aquela. A descoberta mostra que os componentes básicos da vida são encontrados no momento e lugar certos para se tornarem parte dos planetas que se formam ao redor de estrelas.

Figura 30

Estrutura espiral ao redor da estrela R Sculptoris.

Crédito: ALMA (ESO/NAOJ/NRAO)/ M. Maercker et al.



3.3. A formação de Estrelas e Planetas

As estrelas brilham por milhões ou bilhões de anos, mas sua formação - que leva em torno de poucos milhares de anos - continua a ser um mistério. Isso ocorre porque os telescópios que operam com a luz visível não podem ver dentro do gás concentrado de poeira da qual as estrelas nascem. Um telescópio infravermelho, que pode nos mostrar estrelas recém-formadas antes que elas emergem completamente de seus casulos empoeirados, nos permite visualizar o processo de desenvolvimento de uma estrela em pré-ignição.

Sabemos que o gigantesco colapso sofrido pelas nuvens de gás devido a força da gravidade formam as estrelas. Mas como ela se fragmenta em nuvens menores de modo a formar uma mistura de estrelas grandes e pequenas? Como a gravidade se sobrepõe a turbulência, correntes e forças magnéticas que resistem ao colapso de continuam a acumular gás uma vez que ocorreu a ignição? Como é que o vento que flui dessas estrelas não impedem sua expansão?

O ALMA ajudará a revelar esses mistérios ao observar em detalhes as nuvens se aquecer e até mesmo mapear o movimento dessa matéria.

De acordo com o que sabemos agora, os planetas se formam ao redor de novas estrelas pela condensação de um disco de poeira e gás molecular em uma grande nuvem molecular. A condensação aumenta e formam os planetas gigantes que se aquecem, varrendo o disco em sua órbita, o que pode levar a dobrá-lo de tamanho.

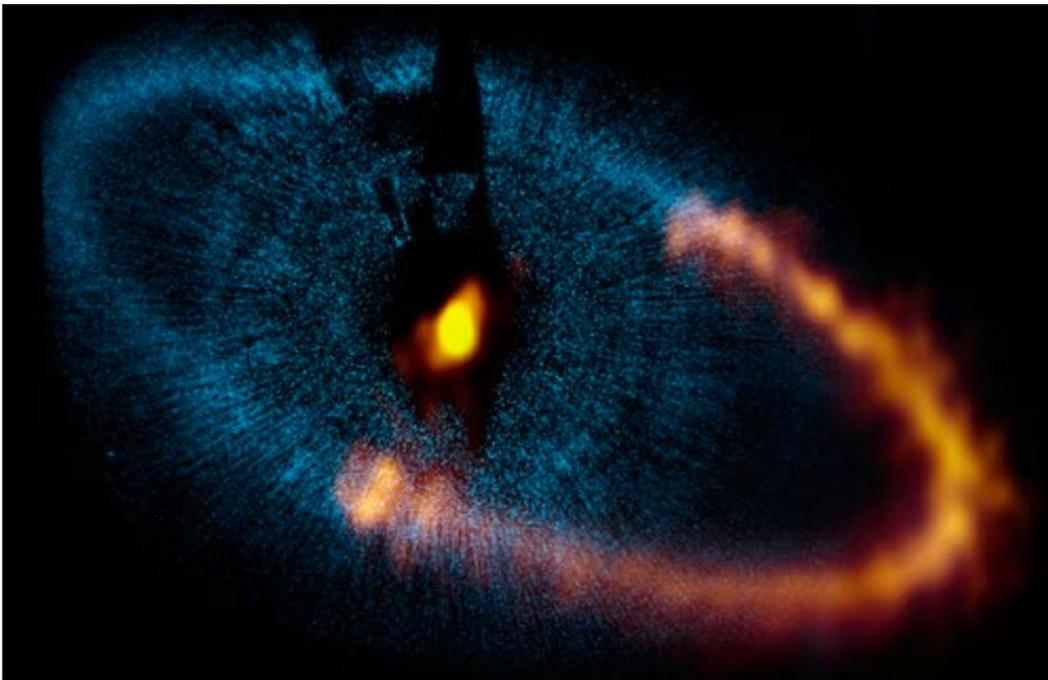


Figura 31 . Visão combinada de um anel de poeira ao redor da estrela de Formalhaut capturado pelo telescópio espacial Hubble (em azul) e pelo ALMA (em laranja) . Crédito: ALMA(ESO/NAOJ/NRAO) e Telescópio Espacial Hubble, NASA/ESA

O ALMA estuda todas as fases da formação planetárias. Ele investiga discos protoplanetários - embriões de planetas - em alta resolução; ele pode registrar o aumento no brilho e na temperatura de planetas em formação e detectar diretamente como os planetas gigantes limpam suas órbitas no disco. O ALMA pode encontrar planetas ao medir os incríveis mínimos efeitos que estes planetas tem nas estrelas nas quais orbitam e isso pode nos ajudar a medir a massa de alguns planetas que acabam de ser descobertos. Ao mesmo tempo, o ALMA pode examinar disco de poeira e detritos que permanecem ao redor das estrelas quando o gás já desapareceu. Utilizando o telescópio do ALMA, um grupo de astrônomos descobriu que os planetas descobertos ao redor da estrela Fomalhaut são bem menores que o acreditam anteriormente.

3.4. Estudando o Sol

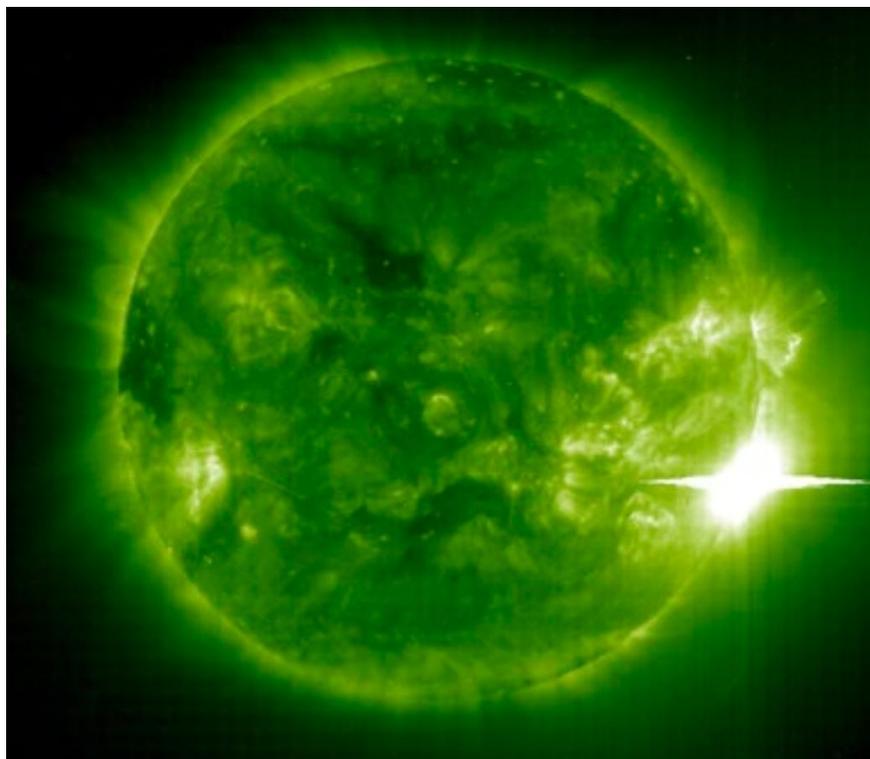
Sabidamente, a maioria dos telescópios não está apontada para o Sol. No entanto, o ALMA pode facilmente estudar nossa estrela porque a superfície de suas antenas dissipam o calor, e focaliza as ondas milimétricas do espectro de luz sem queimar as antenas ou receptores.

O ALMA investiga as enormes erupções no Sol e sua emissão de partículas a grandes velocidades. Ele estuda a estrutura e evolução das proeminências e filamentos solares, com colunas de gases a temperatura de 6.000°C suspensas na atmosfera solar (corona) a 3.000.000 °C.

Mesmo hoje permanece o mistério do porquê a atmosfera solar é tão quente. O ALMA investiga a atmosfera solar a partir do ponto onde a temperatura aumenta drasticamente, nos ajudando a compreender áreas da atmosfera solar que são impossíveis de estudar de outra forma.

Figura 32.

Possivelmente uma das mais intensas erupções solares já registradas, em 2003, como observado pelo satélite SOHO. Crédito: ESA/NASA



3.5. O Sol e seu ambiente

O Sistema Solar constitui uma parte muito pequena do Universo que pode ser visitado por sondas robóticas. Mas devido aos seus altos custos somente algumas poucas sondas podem ser lançadas, e existem milhares de planetas, asteroides e cometas para explorar. Além do mais, a maior parte das observações devem ser feitas da Terra.

O ALMA observa planetas e seus movimentos. Ele analisa as moléculas emitidas pelos cometas e asteroides, mesmo quando eles se encontram mais ativos ao se aproximarem do Sol, uma posição da qual outros telescópios não conseguem observá-los.



Figura 33: Cometa C/2001 Q4

Credito: T.A. Rector

O estudo da composição dos cometas nos fornece uma nova perspectiva das etapas iniciais de formação do Sistema Solar, através da análise das moléculas espalhadas no espaço.

O ALMA descobrirá milhares de novos objetos no cinturão de Kuiper (onde se encontra Plutão), ao observar a luz emitida pelos próprios objetos, ao invés de estudar a luz refletida do Sol por eles, como tem sido até então. Isso permite que se avalie o tamanho verdadeiro dos objetos.

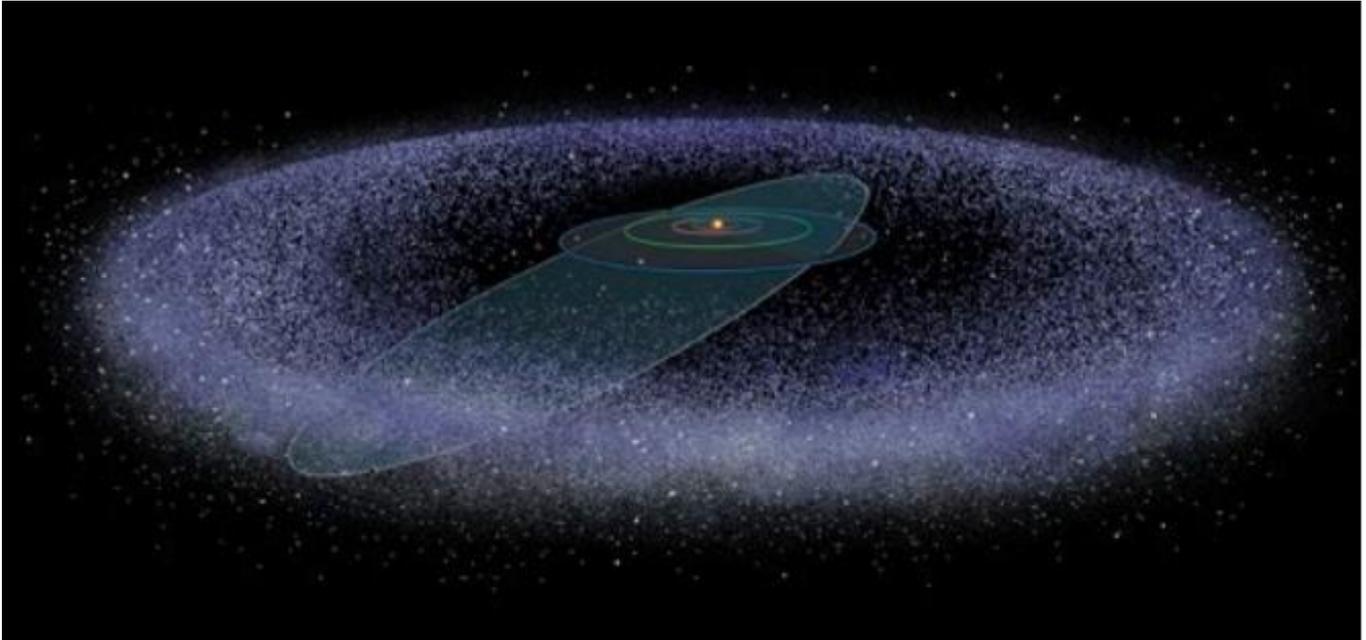


Figura 34: Concepção artística do cinturão de Kuiper. Crédito:Don Dixon / Cosmographica.com

Auto Avaliação

1. É muito difícil estudar as primeiras estrelas com a tecnologia de hoje. Qual é a vantagem tem o ALMA nesse estudo e por que é tão importante estudar a poeira no espaço.
2. Quais são as vantagens dos recursos do ALMA para estudar as moléculas para compreender o Universo?
3. De acordo com a teoria atual, como os planetas se formaram?
4. Que questão sobre o Sol o ALMA pode ter um papel central na resposta?
5. Por que é importante estudar os cometas?

4. Activities



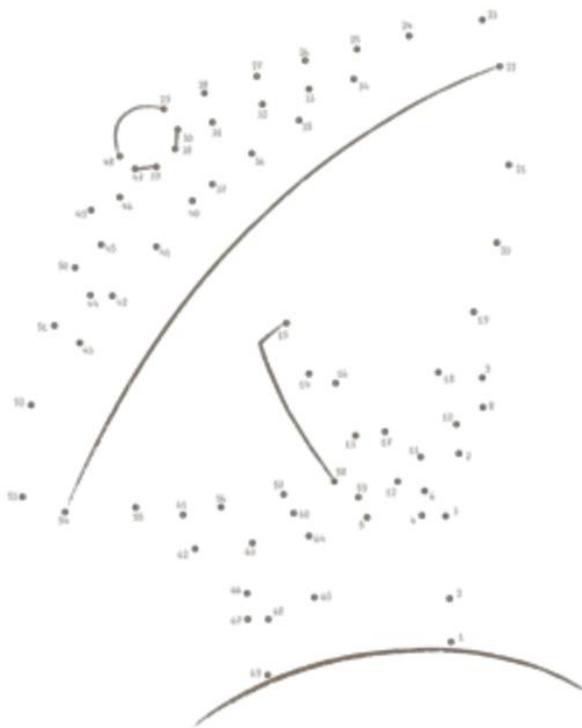
Antennas at the ALMA Array Operations Site. Photograph by Dave Yoder/National Geographic

Atividade 1

Capturando o invisível!

Como conseguimos acesso a internet utilizando o Wi-Fi? Como sua voz viaja em um telefone celular. A resposta para ambos casos é o fato de enviarmos e recebermos informações utilizando radiação eletromagnética. Um rádio telescópio também capta este tipo de onda, mas de modo oposto a estes dispositivos (fontes artificiais de onda), ele capta as ondas geradas pelas estrelas e outros objetos estelares (fontes naturais de ondas).

OBJETIVO: Identificar as partes principais de um radio telescópio e suas funções

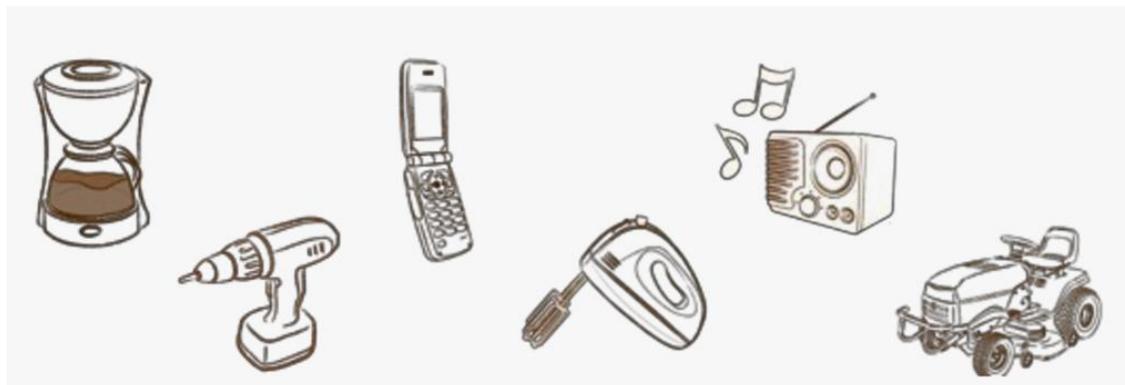


DESENHO

1. Com um lápis, conecte os pontos na ordem correta.
2. Identifique as seguintes partes do desenho:
 - Disco: reflete as ondas de rádio no refletor
 - Receptor: capta as ondas de rádio.
 - Suporte: mantém o receptor na posição do ponto focal do prato.
3. Liste 3 similaridades entre um radio telescópio e a antena de TV por satélite - como as instaladas em muitas casas.

4. Circule os dispositivos que utilizam ondas eletromagnéticas.

Atividade 1



Atividade 1

Capturando o invisível! / Notas para o professor

Esta atividade permite aos estudantes identificar aspectos básicos da radioastronomia, uma ciência que analisa as ondas de rádio capturas por um radiotelescópio. A antena do radiotelescópio é composta por uma série de partes.

INFORMAÇÃO PRELIMINAR

Os radiotelescópios funcionam de modo muito parecido aos rádios, mas devido ao tamanho de seus refletores, os radiotelescópios podem captar ondas de rádio muito fracas. Este efeito é comparável à maneira como um espelho comum reflete a luz visível. Nos telescópios ópticos, que detectam luz visível, usualmente tem um espelho cujo objetivo é o mesmo do refletor no radiotelescópio.

Os astrônomos podem "concentrar" em um objeto celeste para coletar muito mais radiação deste objeto do que poderia ser captado sem um refletor, usando apenas uma antena. Mesmo uma onda de rádio muito fraca é possível de ser captada por eles.

Rádios, sinais de Wi-Fi, telefones celulares e televisões, dentre outros, utilizam ondas de rádio de diferentes frequências. Essas ondas de rádio são invisíveis aos olhos humanos.

PREPARAÇÃO

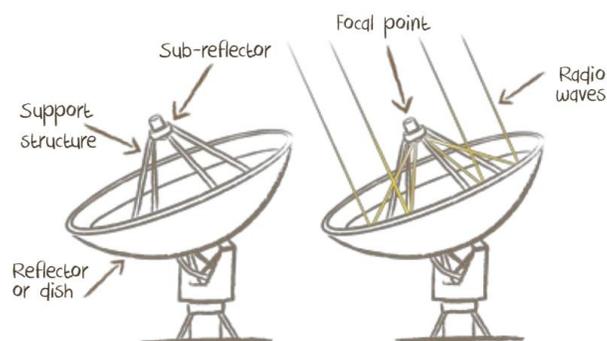
Imprima e entregue uma folha de trabalho da atividade para cada estudante.

Identifique as imagens relacionadas a esta atividade. (Slides 1, 2 e 3)

IMPLEMENTAÇÃO

- Peça aos estudantes para ligar os pontos do desenho.
- Pergunte a eles se reconhecem o que se formou.
- Explique que isto é um radiotelescópio e escreva cada termo chave no quadro.
- Peça a eles que completem o restante do desenho.
- Peça aos estudantes para descreverem o que associam ao radiotelescópio e escreva as respostas no quadro de maneira a construir um mapa conceitual. Peça aos estudantes que copiem este mapa em suas anotações. Isto é uma ótima oportunidade para mostrar aos estudantes como um mapa conceitual pode ajudar em seu processo de aprendizagem.
- Antenas de televisão captam sinais de fontes artificiais (satélites) e sua estrutura é similar à dos radiotelescópios.

Você pode solicitar aos seus estudantes que nomeiem outros dispositivos que utilizem ondas de rádio.



Atividade 2

Você escuta isso? - Amplifique o som com um cone de papel

Os pratos (discos) dos radiotelescópios funcionam ao refletir as ondas de rádio em um único ponto, conhecido como ponto focal ou foco. Faça o experimento seguinte e anote os resultados em seu caderno de anotações.

OBJETIVO: Compreender como a antena do radiotelescópio funciona

AUMENTANDO O VOLUME

Materiais

- uma folha de papel

Procedimento

- Faça a atividade com um parceiro.
- Pegue uma folha de papel e dobre-a no formato de um cone. Fique 2 metros afastado de seu parceiro e diga algo para ele através do cone.
- Agora repita o procedimento sem o cone.

Notou algo diferente?

AMPLIFICANDO O SINAL

Procedimento

- Escolha uma parceira e sente-se a 2 metros dela. Uma das duas deve ler o texto a seguir para a outra, em voz de intensidade moderada:

"Você pode escutar sons altos e baixos. Algumas vezes você não pode escutar claramente alguém e outras vezes você pode escutá-los perfeitamente."

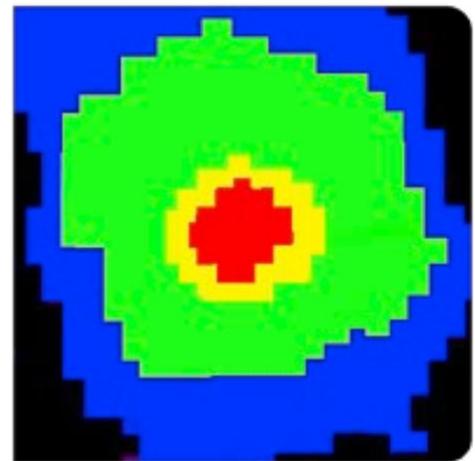
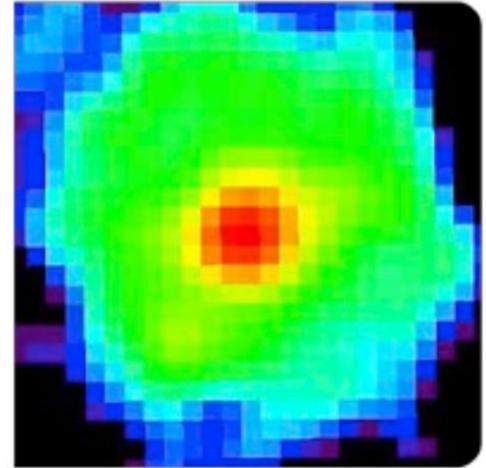
- Troquem de papéis
- Agora repita o experimento. Uma pessoa fará a leitura para outra, mas agora quem escuta deve colocar as mãos nas orelhas. Procure ler o texto no mesmo volume que leu antes.
- Agora troquem de funções novamente.

Notaram a diferença?

ANTENAS PARABÓLICAS

Por que os radiotelescópios tem este formato?





AUMENTANDO O VOLUME

Analise

- Observe a figura acima.
- A primeira mostra o radiotelescópio de Arecibo, em Porto Rico, que tem um diâmetro de 305 m.
- O segundo mostra um disco de 20 m de uma antena.
- À direita, temos imagens do mesmo objeto celeste capturado por cada um dos radiotelescópios.

Responda:

- Qual é a diferença entre as imagens dos radiotelescópios?
- Qual radiotelescópio produziu uma imagem melhor?
- Explique a sua resposta utilizando as seguintes palavras: superfície, sensibilidade, ponto focal e refletor.

Atividade 2

Você escuta isto? / Nota do professor

Esta atividade permite aos estudantes o efeito de utilizar um refletor para aumentar tanto o volume de suas vozes quanto o volume dos som que eles escutam.

OBJETIVO: Compreender como a antena parabólica de um radiotelescópio funciona.

INFORMAÇÃO NECESSÁRIA

Nossos ouvidos são também um tipo de refletor. Eles auxiliam na captura de ondas sonoras e as dirigem em direção ao tímpano, no qual neste caso seria nossas antenas. Se colocarmos nossas mãos nos ouvidos, podemos expandir estes "refletores", consequentemente, aumentando nossa capacidade auditiva.

IMPLEMENTAÇÃO

1. Localize a seção para esta atividade. Discuta as maneiras pelas quais podemos emitir sons a diferentes volumes. (Slide 4)
2. Pergunte aos estudantes o que eles veem na imagem. Explique a eles que o som pode ser desviado para uma direção específica com a ajuda de um cone, de modo que a pessoa que esteja bem posicionada ouvirá um som amplificado.
3. Mencione que antes do fone de ouvido e alto falantes existirem os gramofones eram utilizados. Mostre a eles a imagem. (Slide 5)
4. Peça aos estudantes para descrever o que eles veem no slide 5. Explique a eles que isto é um gramofone que é utilizado para amplificar o som, assim como faz um cone.
5. Discuta este princípio básico: Quanto maior o cone, mais forte é o volume do som.
6. Explique por que suas orelhas são como cones invertidos.
7. Explique por que escutamos melhor quando colocamos as mãos atrás de nossas orelhas.

8. Relacione o formato do refletor do rádio telescópio com o de suas orelhas.
9. Discuta os exercícios e o fato dos rádios telescópios usarem o mesmo princípios: quanto maior o refletor, maior o número de ondas de rádio captadas.

RESPOSTAS

1. Você percebeu a diferenças?
O volume aumenta.
2. Você percebeu a diferenças?
O som melhorou.
3. Por que os radiotelescópios tem este formato?
Para capturar uma maior quantidade de ondas de rádio.
4. Qual é a diferença entre as duas imagens de rádio?
A primeira imagem é mais detalhada.
5. Qual radiotelescópio você acha que produz uma imagem mais detalhada?
Aquela com maior refletor.
6. Explique sua resposta utilizando os seguintes conceitos: refletor, superfície, sensibilidade, ponto focal.
Quanto maior o refletor, mais sensível o radiotelescópio é para a radiação que vem do espaço. Isto se deve à grande superfície do refletor que pode refletir mais radiação no ponto focal da antena. O aumento da sensibilidade permite ao radiotelescópio capturar objetos escuros do Universo.

Atividade 3

Criando uma imagem de rádio

As informações recebidas por um radiotelescópio são gravadas e convertidas em uma série de números que então são processadas e convertidas em imagens.

OBJETIVO: Compreender como as imagens dos radiotelescópios são formadas.

MATERIAIS

- lápis coloridos

INFORMAÇÕES NECESSÁRIAS

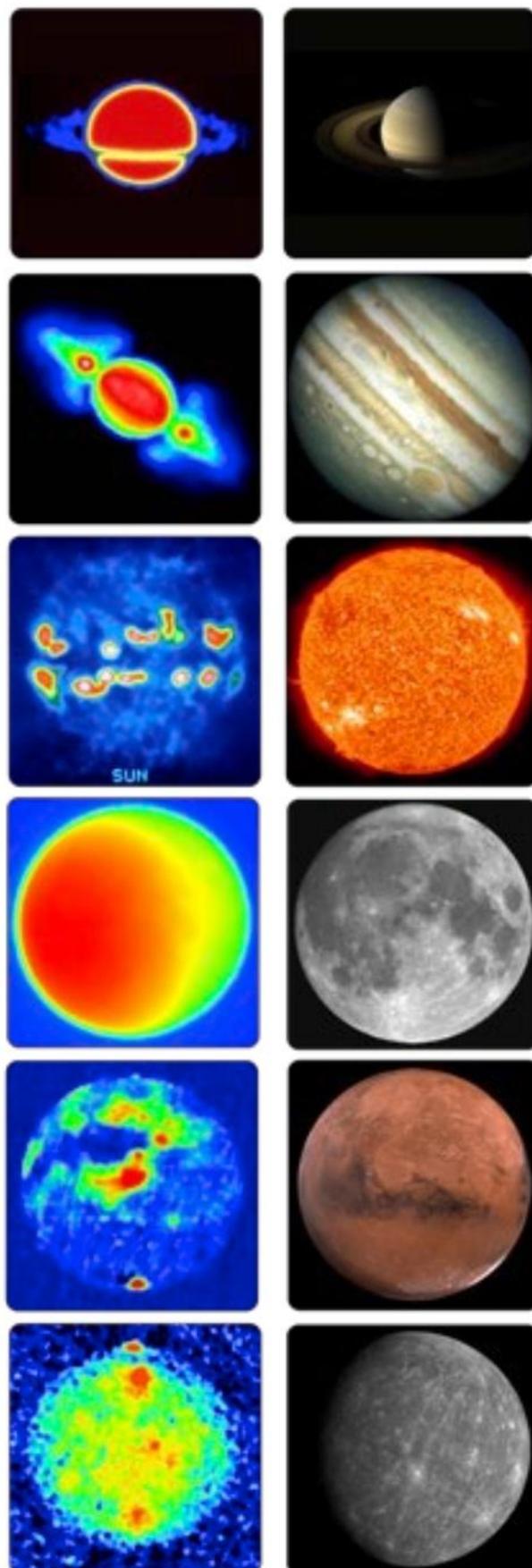
É impossível mostrar diretamente, em uma fotografia, as ondas de rádio capturadas pelas ondas de radiotelescópios. Por isso os astrônomos colorem suas imagens de rádio com cores que são visíveis para nós.

Em geral, o processo consiste em apontar o radiotelescópio em direção a ponto preciso do céu e gravar o sinal que vem de lá. Então aponta-se para um ponto imediatamente adjacente, armazenando a respectiva informação. É desta maneira que um arquivo é obtido como o mostrado na página seguinte.

O radiotelescópio digitaliza um objeto celestial de modo sequencial, recebendo as ondas de rádio de cada pequena parte do espaço ao redor do objeto. Algumas áreas podem apresentar sinais de rádio mais fortes do que outras. Todas as informações sobre a intensidade é numericamente associada com sua respectiva posição. Por exemplo, se as ondas de rádio são fracas em uma posição particular, um valor numérico pequeno será registrado. Se não houver sinais de rádio vindos de uma posição, o computador associa zero a esta posição.

OBSERVE

As imagens mostram imagens de objetos espaciais feitas na luz visível e invisíveis, respectivamente, aos olhos humanos, (ondas de rádio). Na Lua, por exemplo, o cinza mais escuro pode ser vista com a luz visível, mas não podem ser observadas com ondas de rádio. Luzes invisíveis (de rádio) pode ser utilizada para visualizar o campo magnético de Júpiter, que por sua vez não aparece na imagem à direita.



Os anéis de Saturno, em compensação, são visíveis nos dois tipos de luz.

1. Identifique os objetos mostrados na imagem
2. Discuta quais objetos os estudantes mostram mais interesse.

Atividade 3

Criando uma imagem de rádio

Colora a imagem de acordo com o valor do pixel

Exercício 1. Colora cada "pixel" com a cor correspondente:

0 = roxo

1 = preto

2 = azul claro

4 = azul escuro

5 = amarelo

6 = vermelho

0	0	0	4	4	4	4	5	5	5	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4	4	4	5	4	4	0	0	0	0				
0	0	4	4	4	4	5	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4	4	4	5	4	4	0	0	0				
0	4	4	4	4	4	5	5	0	0	0	0	0	0	4	4	4	0	0	0	0	0	0	4	4	5	4	0	0	0				
0	4	4	4	4	4	0	0	0	0	4	4	4	4	4	5	5	4	4	0	0	0	0	0	4	4	5	4	0	0				
4	4	4	4	0	0	0	0	4	4	4	4	5	5	4	6	6	5	0	4	0	0	0	0	0	4	4	5	0	0				
4	4	4	0	0	0	0	4	4	4	5	5	4	4	5	6	6	5	5	4	4	0	0	0	0	0	4	4	5	5				
4	4	4	0	0	0	0	4	4	5	5	4	4	4	4	4	4	4	4	5	4	4	4	0	0	0	0	0	0	0				
4	4	0	0	0	0	4	5	4	4	0	0	0	0	0	0	0	4	4	4	5	4	4	0	0	0	0	0	0	0				
4	4	0	0	0	0	4	5	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4	4	4	5	5	4	0	0	0	0	0				
4	4	0	0	0	4	5	5	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4	4	4	6	6	4	4	4	0	0	0				
4	4	0	0	4	5	5	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4	5	4	4	4	4	4	0	0	0				
4	4	0	0	5	4	5	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4	5	4	4	4	4	0	0	0				
4	4	0	0	4	4	5	0	0	0	0	0	0	3	3	3	3	0	0	0	0	0	0	0	4	5	6	4	4	0	0			
4	0	0	4	5	4	5	0	0	0	0	0	0	3	2	2	3	3	3	0	0	0	0	0	4	6	4	4	4	0				
4	0	4	4	5	5	0	0	0	0	0	3	3	2	0	2	3	4	4	4	4	4	4	0	0	0	4	6	6	4	0			
4	0	4	4	5	5	0	0	0	0	0	2	2	2	0	0	2	3	4	4	4	4	4	4	0	0	0	4	4	4	4			
4	4	0	4	5	5	0	0	0	0	0	2	2	0	0	0	0	2	3	4	4	4	4	0	0	0	0	0	4	4	4			
4	4	0	0	4	4	5	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	2	2	0	4	4	4	4	0	0	0	0	4	4	4			
4	4	0	0	4	4	0	0	0	0	2	2	2	0	4	4	0	2	2	0	0	0	4	4	5	0	0	0	4	4	4			
4	4	0	0	4	4	4	0	0	0	3	3	2	0	4	4	0	0	2	0	0	0	0	4	5	4	0	0	4	4	4			
4	4	0	0	0	4	4	4	0	0	0	3	2	0	0	0	2	2	2	0	0	0	0	5	4	4	0	0	4	4	4			
4	4	4	0	0	4	4	4	0	0	0	2	2	2	0	2	2	0	0	0	4	5	4	4	0	0	0	0	4	4	4			
4	4	4	0	0	0	4	4	0	0	0	0	3	3	2	2	2	0	0	0	0	5	4	4	4	0	0	0	4	4	4			
4	4	4	0	0	0	4	4	4	0	0	0	0	0	0	2	2	3	3	0	0	0	0	5	5	4	4	0	0	4	4	4		
4	4	4	0	0	0	0	0	4	4	0	0	0	0	0	2	2	3	3	0	0	0	0	4	4	5	4	0	0	4	4	4		
4	4	4	4	0	0	0	0	4	4	0	0	0	0	0	5	5	4	4	0	0	0	0	4	4	4	4	0	4	4	4	4		
4	4	4	4	0	0	0	5	4	4	4	4	4	4	4	5	5	4	4	0	0	0	0	4	4	4	4	0	0	4	4	4		
4	4	4	4	0	0	0	0	4	5	5	5	4	4	4	5	4	5	0	0	0	0	6	5	4	0	0	0	5	5	4			
0	5	4	4	4	0	0	0	0	4	4	5	5	5	4	0	0	0	0	0	4	6	5	4	0	0	0	4	5	4	4			
0	5	5	4	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4	5	6	6	5	0	0	0	0	4	5	4	4			
0	5	6	5	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4	4	6	5	5	4	0	0	0	0	4	5	6	4	4		
0	4	6	5	4	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4	4	6	5	5	0	0	0	0	4	4	5	6	4	4		
0	0	6	6	5	5	4	4	4	4	4	4	5	4	4	4	0	0	4	4	4	5	5	0	0	0	0	4	4	6	6	4	4	
0	0	0	6	4	5	4	4	4	4	4	4	4	5	5	4	4	4	4	4	4	4	0	0	0	0	4	4	4	5	0	0		
0	0	0	0	6	5	4	4	5	4	4	4	4	5	5	4	4	4	0	0	0	0	0	0	0	5	5	4	4	0	0	0		
0	0	0	0	0	5	4	4	5	5	4	4	4	4	4	4	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5	5	6	4	0	0	0	
0	0	0	0	0	0	0	0	4	5	4	0	0	4	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5	6	6	4	0	0	0	0	
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5	5	5	6	6	4	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4	4	4	4	4	4	5	6	6	4	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4	4	4	4	4	4	4	5	5	5	4	4	4	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	5	5	4	4	4	4	0	0	0	0	0	0	0	0

Atividade 3

Criando uma imagem de rádio / Nota para o professor

O propósito desta atividade é fazer com que os estudantes compreendam como radiotelescópios obtêm informação que são utilizadas para formação da imagem. O processo é explicado de uma forma simples, negligenciando vários outros aspectos técnicos.

MATERIAIS

- lápis colorido
- uma cópia da folha de trabalho para cada estudante
-

IMPLEMENTAÇÃO

Explique aos estudantes a existência da luz visível e invisível.

Explique a eles que os astrônomos observam o céu utilizando radiotelescópios.

Uma vez que eles tenham finalizado, discuta o exercício. Explique a eles que eles desenharam uma rádio imagem. Explique que os radiotelescópios observam o Universo utilizando uma luz diferente da qual vemos, produzindo diferentes tipos de imagem.

Com a ajuda do Slide 7, explique aos estudantes que existem diferentes "tipos de luz" no espectro eletromagnético, como o infravermelho, raios-X ou luz visível.

Mostre o slide 8 e explique que isso é uma rádio imagem.

Explique a eles por que os astrônomos criam imagens com radiotelescópios ao invés de utilizar telescópios ópticos.

Peça a eles para descrever a diferença e similaridades entre os dois tipos de imagens do mesmo objeto.

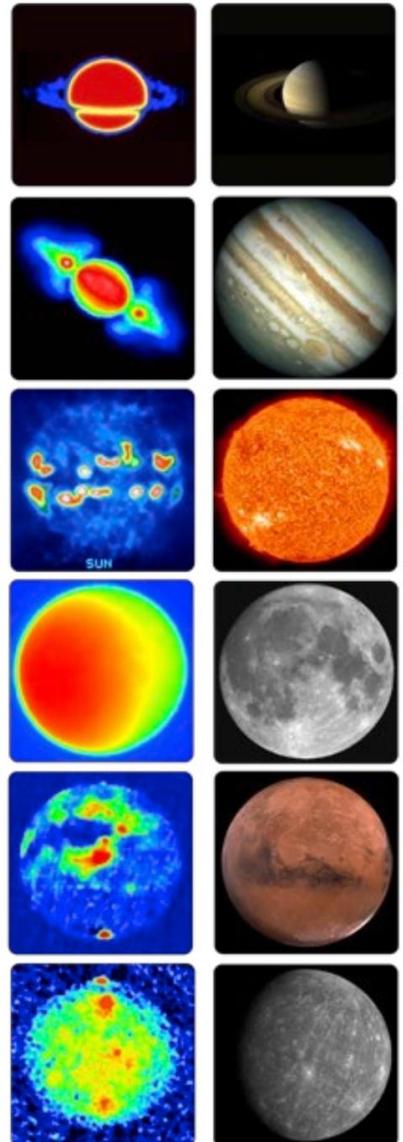
OBSERVE

Na ordem decrescente, os objetos que aparecem na fotografia são: Saturno, Júpiter, Sol, Lua, Marte e Mercúrio.

Os anéis de Saturno são visíveis nos dois tipos de luz. Entretanto, em Júpiter é possível observar as emissões de rádio emitidas por intensas correntes em sua magnetosfera.

COR EM CADA PIXEL

A imagem resultante é similar ao mostrado na imagem ao lado. Peça aos estudantes para dizer a que estrutura eles associam a imagem representada, que é similar a uma galáxia espiral.



Atividade 4

Radiotelescópio de papel / Faça um radiotelescópio

Radiotelescópios são como rádios gigantes, mas diferentemente de rádios, eles podem focar ou apontar para fontes de rádio. Radiotelescópios podem mudar de direção para observar diferentes objetos no Universo. Nós fazemos o mesmo com nossos ouvidos: A melhor maneira de ouvir um som é virar nossa cabeça, logo, nosso ouvido estará voltado para a fonte do som. Enquanto corpos celestiais emitem radiação à medida que sua temperatura (nível de agitação molecular) modifica, objetos na Terra emitem sons porque eles vibram. Estes objetos então fazem o ar vibrar e nós capturamos a vibração com nossos ouvidos.

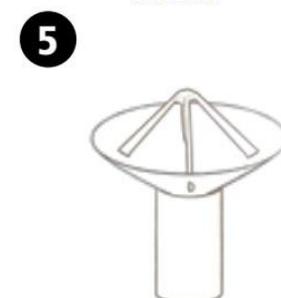
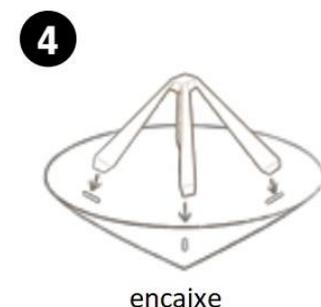
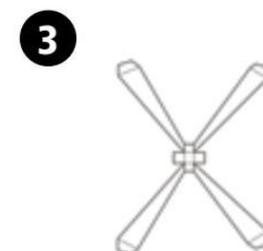
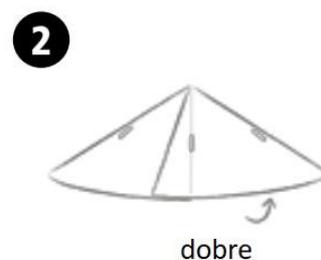
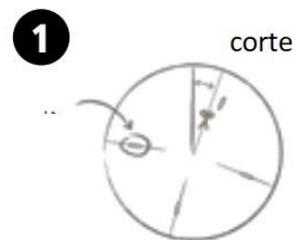
OBJETIVO: Identificar as principais partes de um radiotelescópio e suas funções. Relacionar as ondas sonoras e eletromagnéticas por suas propriedades básicas.

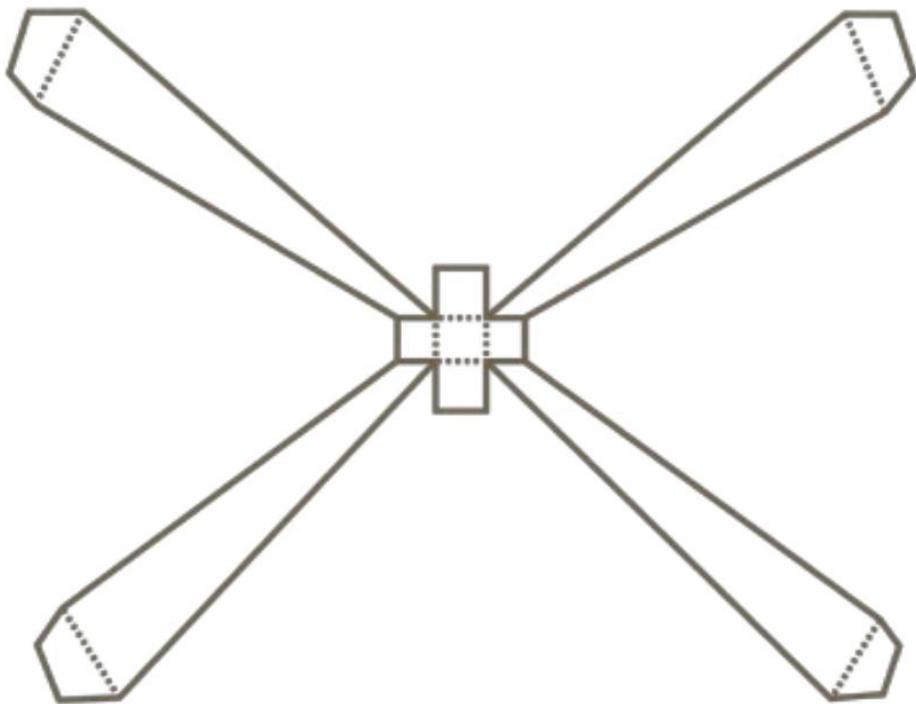
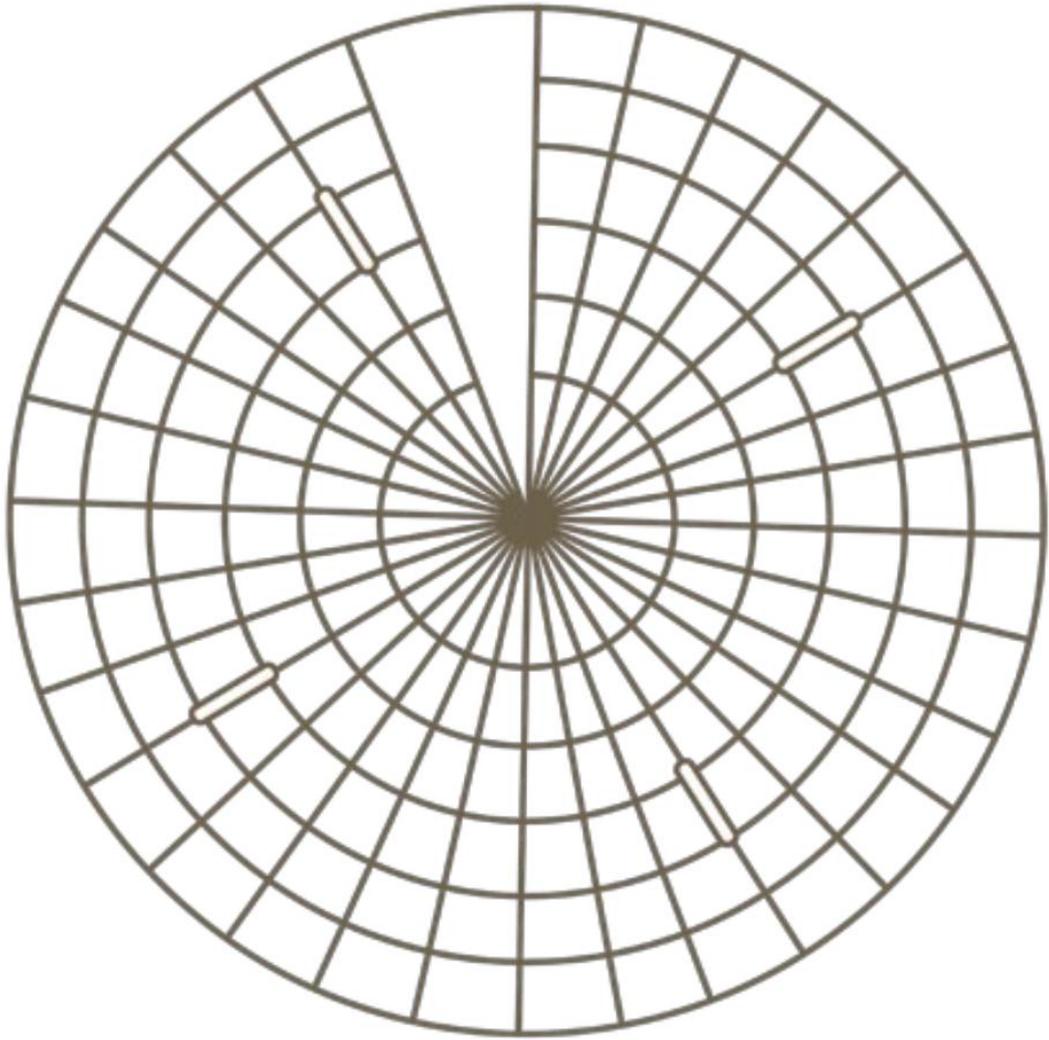
MATERIAIS (para cada par de estudantes)

- tesoura
- cola
- 2 tubos de papel toalha
- caneta
- papel

PROCEDIMENTO

1. Cuidadosamente corte o disco que se encontra na folha ao final desta atividade. Não se esqueça de cortar as fendas. Siga o exemplo.
2. Corte ao longo da linha que contém o desenho de uma tesoura como na ilustração a direita. Aplique um pouco de cola à tira branca e cole as duas tiras pelo final, dobrando-as.
3. Certifique-se que as linhas estão na parte de dentro do refletor.
4. Para montar a antena: Corte a figura abaixo do disco.
5. Dobre as partes do item anterior ao longo das linhas tracejadas.
6. Aplique cola nos suportes da antena.
7. Insira os suportes da antena nas fendas e as cole do outro lado do refletor.
8. Cole o refletor no tubo de papel toalha e está pronto. Você acaba de fazer o seu radiotelescópio.





Atividade 4

Radiotelescópio de papel / Faça um telefone por fio

Trabalhe em duplas para fazer um telefone por fio.

MATERIAIS (por dupla)

- 2 copos de plástico rígido
- 4 metros de corda de pipa.
- 2 cliques de papel
- canetas

PROCEDIMENTO

1. Use a caneta para fazer um pequeno furo na parte inferior de cada copo.
2. Enfie o final das cordas em cada um dos furos. Amarre o final da corda em um clipe de papel de modo a evitar que o mesmo saia do copo.
3. Utilize os copos como um telefone para conversar com um colega de classe.
4. Certifique-se que a corda esteja esticada e tensionada.

PREVISÃO

O que você acha que ocorrerá quando você falar em um dos copos?

.....
.....

VERIFIQUE

Qual é o volume de som mais baixo que pode ser transmitido?

.....
.....

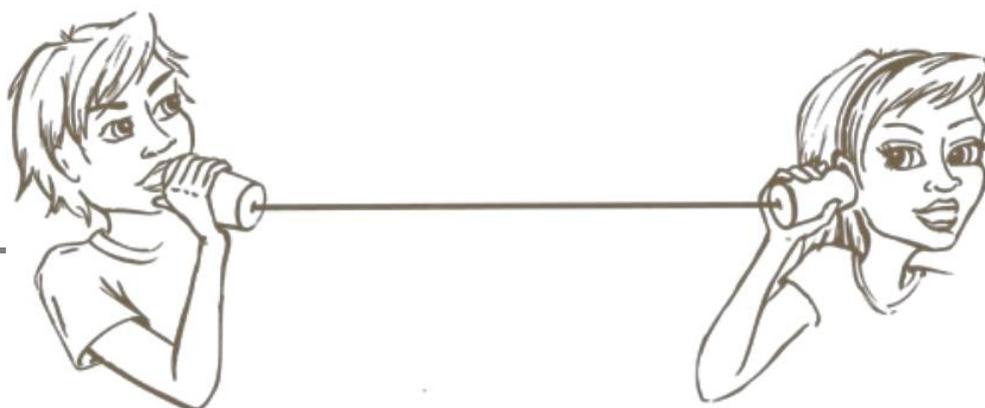
Qual é o efeito da tensão na corda?

.....
.....

Para que serve o copo?

.....
.....

Embora o comportamento de diferentes tipos de ondas sejam similar, neste experimento nós utilizamos ondas sonoras, enquanto o ALMA trabalha apenas com receptores de ondas eletromagnéticas.



Atividade 4

Radiotelescópio de papel / Nota para o professor

Esta atividade familiariza os estudantes com o formato dos radiotelescópios. Eles também aprendem que não é somente o ar que pode transmitir o som.

INFORMAÇÕES NECESSÁRIAS

Esta atividade oferece ao estudante a oportunidade de relacionar de modo concreto com elementos básicos dos radiotelescópios.

A turma pode discutir de modo mais detalhado a diferença entre a forma do cone como as que ele estão utilizando e a parábola como o disco da antena do ALMA. Por exemplo, se o cone da antena for coberto com papel alumínio, os raios solares poderão concentrar-se no seu eixo, ao contrário do refletor parabólico, que concentra todos os raios em um ponto. Neste aspecto, o cone não é um bom refletor.

Quando o som é emitido dentro do copo, o som provoca a vibração do fundo do copo, transmitindo a onda para a corda. Essa onda é transmitida pela corda até o outro copo, onde o processo inverso ocorre: o fundo do copo transmite a vibração para o ar que a transmite aos nossos ouvidos.

PREPARAÇÃO

- Cada estudante deve ter uma cópia da folha da atividade e a folha com as peças do radiotelescópio.
- Peça aos estudantes para trazer os materiais com antecedência.
- Será útil furar os orifícios nos copos antes de começar a atividade.
- Mostre-lhes os slides 4 e 5 da atividade.

IMPLEMENTAÇÃO

- Peça aos estudantes para começarem a atividade; aqueles que terminarem primeiro podem ajudar aos demais.
- Quando todos os estudantes tiverem terminado, solicite que descrevam o que fizeram. Ajude-os, perguntando se sabem por que tem uma construção semelhante a uma teia no disco da antena e qual a sua função. Explique para eles que isto é um sub-refletor, que redireciona o sinal capturado pelo disco em direção ao receptor de cada antena.
- O som consiste em uma onda de pressão que faz o ar vibrar. Mostre-lhes segurando um pedaço de papel e sobrando na borda, produzindo deste modo, um som agudo. Explique a folha de papel vibra rapidamente, provocando a oscilação do ar ao redor. Esta vibração atinge nossos ouvidos, possibilitando-nos ouvir os sons.
- Peça que façam a seguinte atividade.
- Discuta a atividade. Explique-lhes que o som se propaga não apenas pelo ar mas também por outros elementos como água ou corda.
- Pergunte-lhes sobre a tensão na corda e nos copos.
- Se houver tempo, pergunte aos estudantes se é possível combinar dois telefones juntos. Antes de fazer o experimento, peça aos estudantes para fazer a previsão do que deve acontecer.

Atividade 5

Relação entre temperatura e comprimento de onda

Explorando a lei de deslocamento de Wien

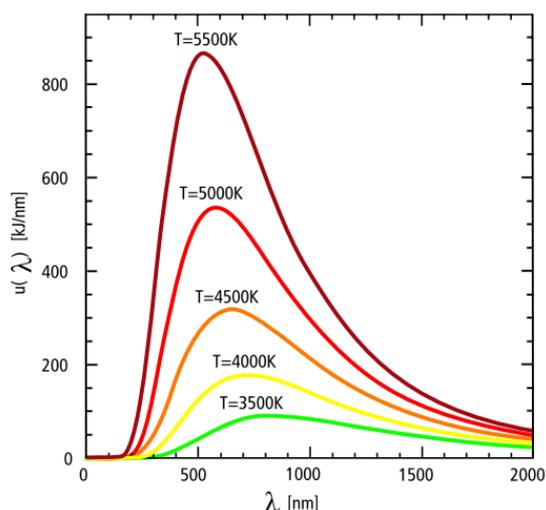
Um dos processos mais comuns de gerar radiação eletromagnética é pela radiação térmica, que pode ser facilmente percebida ao colocar as mãos perto de um objeto quente. Mas esta radiação não pode ser vista pelos olhos. O comprimento de onda depende da temperatura do objeto.

OBJETIVO: Compreender a relação entre a temperatura e o comprimento de onda da radiação emitida.

RADIAÇÃO DE CORPO NEGRO

A radiação de corpo negro é um objeto imaginário que absorve toda radiação incidente em todos comprimentos de onda e também emite toda radiação. Seu ponto máximo de emissão é dado pelo comprimento de onda que depende somente da temperatura do corpo.

À medida que a temperatura do corpo negro aumenta, o ponto de emissão máxima é deslocado em direção aos menores comprimentos de onda no espectro (frequências mais altas). Isto explica por que um pedaço de metal se torna incandescente de cor vermelha (comprimento de onda próximo do vermelho) quando ele se aquece. Se a temperatura aumenta, ele pode ficar branco (comprimento de onda na região intermediária do espectro visível).



A LEI DE WIEN

O comprimento de onda máximo, $\lambda_{\text{máx}}$, de distribuição do corpo negro na temperatura T , é dado pela Lei de Deslocamento de Wien:

$$\lambda_{\text{máx}} = \frac{b}{T}$$

No qual $b = 2,897769 \times 10^{-3} \text{ m.K}$ é conhecida constante de deslocamento de Wien.

APLICAÇÃO

1. Como o comprimento de onda máximo varia com a temperatura?
2. O comprimento de onda máximo para a radiação solar encontra-se na faixa da luz visível para o olho humano. Isto é uma coincidência?
3. Podemos utilizar a Lei de Deslocamento de Wien para calcular o comprimento de onda de emissão máxima para a emissão de corpos negros a diferentes temperaturas. Preencha os espaços vazios no quadro abaixo:

Objeto	Temperatura	Máximo comprimento de onda
Uma estrela como o Sol (superfície)	5.500 K	
Temperatura ambiente	300 K	
Nuvens de poeira no espaço interestelar		0,15 mm

Atividade 5

Relação entre temperatura e comprimento de onda

Nota para o professor

Esta atividade ajuda os estudantes a relação entre a radiação emitida por um objeto a uma dada temperatura e sua cor característica (comprimento de onda)

INFORMAÇÃO NECESSÁRIAS

A radiação de corpo negro é a radiação térmica de um objeto ideal, chamado de corpo negro, que absorve toda a radiação que ele recebe antes de reemitir-la. Vários objetos astronômicos irradiam com um espectro similar a de um corpo negro a uma dada temperatura.

A figura mostra o diagrama de Hertzsprung-Russell, que sintetiza todo o conhecimento atual sobre as estrelas. Uma das coisas que podemos ver é a relação entre a temperatura e a cor da estrela. Portanto, a superfície do Sol, com uma temperatura de 5,778 K, brilha mais intensamente naqueles comprimentos de onda que nossos olhos podem ver ou interpretar como amarelo-verde, ao qual correspondem ao comprimento de onda aproximadamente de 502 nanômetros (algo como 2.000 vezes menor que o milímetro). As estrelas mais frias são vermelhas e as mais quentes são azuis.

PREPARAÇÃO

Imprima e distribua a folha de atividade para cada estudante.

Você pode apresentar ao estudante o diagrama Hertzsprung-Russell a partir do Slide 9

IMPLEMENTAÇÃO

- Explique os principais aspectos do diagrama Hertzsprung-Russell mostrado no documento.
- Observe que a medida que a temperatura do objeto que desejamos estudar diminui de poucos décimos de Kelvin, o comprimento de onda máxima emissão se encontra na faixa submilimétrica/milimétrica.

- Alguns dos objetos mais frios no Universo, como as gigantes nuvens de poeira e gás molecular nos quais as novas estrelas se formam, tem temperatura nesta faixa. Isto explica por que a astronomia submilimétrica é vital para o estudo do comprimento de onda de máxima emissão no qual estas nuvens emitem a maior parte de sua radiação térmica.
- O radiotelescópio ALMA permitem astrônomos estudar os comprimentos de onda milimétrico e submilimétrico. Peça aos estudantes que estimem a temperatura dos objetos que podem ser observados.

RESPOSTAS

- Como o comprimento de onda varia com a temperatura?
Ela é inversamente proporcional à temperatura. Quando a temperatura aumenta, o comprimento de onda de máxima emissão diminui.
- O comprimento de onda de emissão máxima da radiação do Sol está na faixa da luz visível para os olhos humanos. Isso é uma coincidência?
Não, a evolução natural capacitou os seres humanos a se adaptarem a um ambiente com abundância de luz visível.
- Calcule os valores que faltam na tabela.
527 nm, 10 micrometros, 0,15 mm

Atividade 6

Resolução Angular e Limite de Difração

Qual o detalhamento fino que pode ser detectado?

O diâmetro de um telescópio determina seu poder de resolução. A luz, se passa por uma abertura, uma lente ou seja passar por um espelho, espalha devido a difração. Este espalhamento determina um limite fundamental para os detalhes finos (pequenos ângulos) que pode ser determinado por um telescópio.

RESOLUÇÃO

O diâmetro de um telescópio determina seu poder de resolução. No caso de um telescópio com espelho primário de diâmetro D , operando com um comprimento de onda λ , sua resolução máxima (expressa como um ângulo em radianos) é dado aproximadamente por:

$$\theta \approx \frac{\lambda}{D}$$

No qual o ângulo deve ser medido em radianos ao invés de graus. Em um círculo temos 2π radianos ou 360° . Logo, para converter radianos em graus, você deve multiplicar por $360/2\pi$.

APLICAÇÃO

1. Como a resolução do telescópio muda à medida que o comprimento de onda aumenta? O que muda quando o tamanho do telescópio aumenta?
2. Se a distância da Terra à Lua é aproximadamente 380.000 km e o diâmetro da Lua é 3 500 km, qual é seu tamanho angular no céu, em minutos de arco?
3. Determine o limite (resolução) de alguns telescópios ópticos modernos, para o olho humano e para o telescópio original de Galileu. Utilize o comprimento de onda da luz visível igual a 500 nm. Expresse seu resultado em segundos de arco (arcseg) na tabela à direita.

4. Qual é o menor detalhe que Galileu foi capaz de distinguir da Lua utilizando seu telescópio de 1609, pressupondo que a parte óptica estivesse perfeita? E qual seria estes detalhes no caso do telescópio espacial Hubble?
5. Que resolução angular teria o telescópio espacial Hubble se ele observasse no comprimento de onda de 1 mm?
6. Além do ALMA, a planície de Chajnantor é também o lar do APEX - Atacama Pathfinder Experiment Telescope. Seu disco tem um diâmetro de 12 m, similar a uma antena do ALMA, e ele recebe sinais milimétricos e submilimétricos. Qual a sua resolução angular para o comprimento de onda de 1 mm?
7. Quão grande uma antena como a do APEX deveria ser para ter a mesma resolução do telescópio espacial Hubble para a luz visível, se o APEX observasse comprimentos de onda de 1 mm? Isto seria possível?

Objeto	Diâmetro	Resolução
Olho humano	5 mm	
Telescópio de Galileu	1,5 cm	
Telescópio Espacial Hubble	2,4m	
VLT, ESO (um espelho)	8,2 m	

Atividade 6

Resolução Angular e Limite de Difração

Observações para o professor

Esta atividade ajuda os estudantes a compreender o conceito da resolução em telescópios e possibilita o cálculo em alguns dispositivos.

PREPARAÇÃO

Veja o documento destinado aos professores que acompanha este material e identifique as imagens relacionadas a esta atividade (slide 10)

IMPLEMENTAÇÃO

- Explique o que é a difração
- Explique como a difração afeta a resolução do telescópio
- Apresente outros exemplos nos quais a difração pode ser observada, como as ondas sonoras.
- Explique como os ângulos são transformados em distâncias; explique as unidades correspondentes.
- É útil solicitar aos estudantes que apresentem seus cálculos à classe.

RESPOSTAS DAS QUESTÕES DA PÁGINA ANTERIOR

1. A resolução piora à medida que o comprimento de onda aumenta, e melhora com o aumento do tamanho do telescópio.
2. 32 minutos de arco.
- 3.

Objeto	Diâmetro	Resolução
Olho humano	5 mm	21 arcseg
Telescópio de Galileo	1,5 cm	6,9 arcsec
Telescópio Espacial Hubble	2,4m	0,04 arcseg
VLT, ESO (um espelho)	8,2 m	0,01 arcseg

4. Galileo: aproximadamente 13 km
Telescópio Espacial Hubble: perto de 80 m
5. 1,4 arcminuto
6. 17 arcsegundo
7. 4,8 km, o que seria impossível de construir

Atividade 7

Uso da interferometria nos radiotelescópios

Como várias antenas podem se combinar para formar uma imagem?

Interferometria é uma técnica na qual múltiplos telescópios individuais são agrupados e seus sinais combinados para simular o efeito de um único e gigante telescópio.

OBJETIVO: Compreender como é um interferômetro como o ALMA.

INTERFERÊNCIA

A interferência é um fenômeno típico de ondas e consiste na combinação de duas ou mais ondas no mesmo ponto do espaço, resultando em um aumento (interferência construtiva) ou redução (interferência destrutiva) da intensidade.

Para que isso ocorra as ondas devem estar alinhadas, suas cristas e seus vales devem estar em fase. Interferência destrutiva ocorre quando em certo ponto do espaço um vale se encontra com uma crista, enquanto que a interferência construtiva ocorre quando cristas e vales se encontram.

O ALMA É UM INTERFERÔMETRO

A resolução de um interferômetro como o ALMA não depende do diâmetro individual de cada refletor mas sim da separação máxima entre as antenas ou linhas de base. Os sinais das antenas são combinados e processados por um supercomputador - O Correlator ALMA - que simula o funcionamento de um único telescópio.

Então, a resolução real do telescópio é dada por:

$$\theta = \frac{\lambda}{B}$$

No qual B é a máxima separação (ou linha base) entre cada telescópio do grupo. No caso da ALMA, nos referimos a cada disco como uma "antena" e a todo o conjunto como "telescópio".

O ALMA possui 66 antenas gigantes com o diâmetro de 12 e 7 metros distribuídas ao longo do Platô Chajnantor (altitude de 5 000 m). A maior a distância ou linha de base, entre cada uma das antenas é de 16 km.

APLICAÇÃO

1. Se as antenas do ALMA fossem distribuídas ao longo de 16 km, qual a resolução quando são realizadas observações com o comprimento de onda de 1mm?
2. Como isso se compara com a resolução do telescópio espacial Hubble no comprimento de onda da luz visível?
3. Pesquise como as antenas são movidas para as posições de diferentes configurações (www.almaobservatory.org)



ALMA antennas on the Chajnantor Plateau. Credit: ALMA (ESO/NAOJ/NRAO), O. Dessibourg

Atividade 7

Uso da interferometria nos radiotelescópios

Observações para o professor

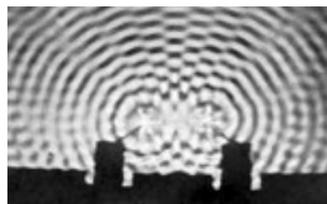
Esta atividade introduzirá os estudantes à técnica da interferometria e os ajudarão a compreender uma das características mais importantes do ALMA.

PREPARAÇÃO

Identifique a imagem relacionada com esta atividade (Slides 11 a 14)

MATERIAIS

- radio portátil
- controle remoto
- telefone celular



DEMONSTRAÇÃO

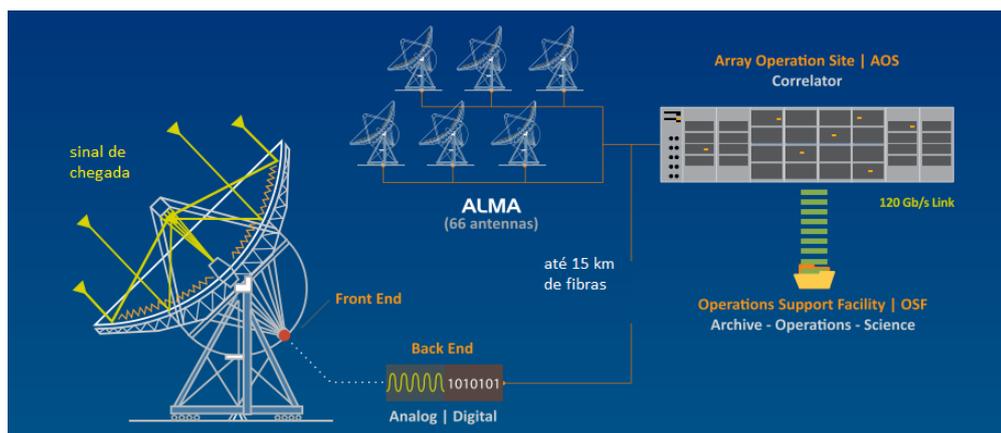
- Pergunte aos estudantes para nomear alguns dispositivos que utilizam ondas de rádio.
- Explique-lhes que os astrônomos utilizam radiotelescópios para capturar ondas de rádio vindas do espaço.
- Mostre que alguns dispositivos utilizam os mesmos tipos de radiação que os rádios, mostrando como gerar interferência em um sinal de rádio.
- Ligue um rádio portátil e peça que eles escutem atentamente ao que acontece quando você aperta o botão do controle remoto.
- Devido ao fato do controle remoto utilizar radiação infravermelho (ao invés de ondas de rádio), não há interferência.

IMPLEMENTAÇÃO

- Explique o que é interferência. Considere as duas definições do texto. Você pode fazer as seguintes atividades:
- Utilize uma bacia com água ou a luz de um laser para passar por uma fenda dupla (Slides 11 e 12)
- Tão logo os estudantes tenham completado a atividade, se aconselhável discutir as respostas com eles.

RESPOSTAS ÀS QUESTÕES DA PÁGINA ANTERIOR

- 0,013 arcsegundo
- A resolução do telescópio espacial Hubble é melhor no comprimento de onda visível.
- Utilizando dois tratores especialmente projetados para esta função. Seus nomes são Otto e Lore.



Atividade 8

Variação da pressão atmosférica com a altitude

Aprendendo a utilizar a escala de altitude

A altitudes muito altas, a pressão atmosférica é menor que a do nível do mar, tanto quanto a quantidade de oxigênio disponível. Nesta atividade, verificaremos como a pressão atmosférica nos sítios do ALMA se compara com o nível do mar e em outras lugares.

OBJETIVO: Utilizar um modelo simples para estudar a variação da pressão atmosférica a altas altitudes.

PLATÔ DE CHAJNANTOR

O Sítio de Operação do Arranjo (AOS) ALMA está localizado a 5000m acima do nível do mar, no platô de Chajnantor. As condições lá são excelentes para a astronomia sub-milimétrica, mas são duras para viver e trabalhar. Por causa disso, as atividades diárias são conduzidas em um local a 2900m acima do nível do mar, onde a Facilidade de Suporte de Operações (OSF) está localizada.

PRESSÃO ATMOSFÉRICA: MODELO ISOTÉRMICO

Podemos utilizar um modelo simples para estudar como a pressão atmosférica diminuiu com a altitude, assumindo que ela reduz exponencialmente à medida que a altitude aumenta. Este modelo é chamado "ISOTÉRMICO" pois assume que a temperatura permanece constante. Isto não é inteiramente correto mas é uma boa aproximação.

Se p representa a pressão em função da altitude h acima do nível do mar e p_0 é a pressão atmosférica ao nível do mar ($h = 0$ m), então,

$$p(h) = p_0 e^{-h/H}$$

No qual H é local no qual a altitude cai de um fator de $1/e$ (aproximadamente 37%) e isto é conhecido como altura de escala da atmosfera.

Ao nível do mar a pressão atmosférica é de aproximadamente 100 kPa e a altura de escala é próxima de 8.400m.

APLICAÇÃO

- A altura de escala pode ser calculada para diferentes lugares que não correspondem necessariamente a 8.400m. Por exemplo, no cume do Everest, a 8848 metros, a pressão atmosférica é de aproximadamente 33 kPa. Qual é a altura de escala neste local?
- Considerando a altura de escala de 8400 m, estime a pressão atmosférica na altitude dos sítios da AOS e OSF do ALMA e ao nível do mar.
- A quantidade de oxigênio disponível está relacionada à pressão atmosférica. Qual é a quantidade aproximada de oxigênio ao nível do mar que é encontrada no AOS do ALMA? Investigue quais são os perigos de se trabalhar em um local com pouco oxigênio.



Atividade 8

Variação da pressão atmosférica com a altitude

Notas para o professor

Nesta atividade os estudantes utilizam um modelo simples para determinar a variação da pressão atmosférica com a altitude. A atividade introduz o conceito de altura de escala e sua dependência com o local no qual a medida é realizada.

PREPARAÇÃO

Identifique as imagens relacionadas a esta atividade (Slides 15, 16 e 17)

Visite a seção de LOCALIZAÇÃO no site do ALMA (www.almaobservatory.org) e utilize o Google Maps para localizar os sítios do ALMA - AOS e OSF)

IMPLEMENTAÇÃO

- Explique o que é o AOS e o OSF do telescópio ALMA, mostre a localização deles no GoogleMaps ou peça aos estudantes que localizem a latitude, longitude e altitude.
- Junto com os estudantes, resuma as principais características da atmosfera. Defina a unidade de pressão $\text{Pa} = 1 \text{ N/m}^2$.
- Explique as equações para os modelos. Enfatize a importância do número na matemática e ciência e porque ele aparece frequentemente em vários processos naturais.
- Explique o significado de $1/e$ como 37% do valor inicial.
- Discuta com os estudantes quais pontos são razoáveis para considerar um modelo isotérmico.
- Peça aos estudantes para realizarem as atividades. Defina os limites da pesquisa, mas declare expressamente quais fontes confiáveis devem utilizar e peça aos alunos que listem essas fontes em seu trabalho..

A ATMOSFERA TERRESTRE

A atmosfera é a camada de gás que circunda a Terra e é retida pela gravidade. É constituída de diferentes gases, mas principalmente nitrogênio, oxigênio, dióxido de carbono e vapor de água.

A atmosfera tem várias camadas. A troposfera, que contém a maior parte da massa da atmosfera (75%), está localizada abaixo dos 11.000 metros. Nessa camada, a temperatura diminui com a altitude.

Em geral, a pressão depende da temperatura e altitude. Os dados obtidos para a pressão podem ser adequadamente representados com um modelo isotérmico. Em um modelo isotérmico, a temperatura média considerada é de 300 K, o que é consistente com várias observações. Definitivamente, este modelo não explica variação de temperatura de $-6.5^\circ\text{C} / \text{km}$ na troposfera, então o modelo precisa ser aprimorado.

RESPOSTAS

1. O que é a escala de altura neste caso?

Neste caso, a altura de escala para o Monte Everest é de 7.980 m.

2. Estime a pressão atmosférica em cada local.

A pressão no OSF é de 71kPa e de 55 kPa no AOS. A pressão atmosférica no AOS é quase metade da pressão atmosférica ao nível do mar.

3. Qual é a porcentagem de oxigênio?

É quase a metade de todo oxigênio disponível ao nível do mar. Em altitudes elevadas existe o risco de doenças relacionadas à altitude e mesmo risco de morte. Devido a isso, os funcionários do ALMA somente vão ao AOS (5.000m acima do nível do mar) quando estritamente necessário.

Atividade 9

Observando através da atmosfera

Identifique os fatores que influenciam na opacidade/transparência

Alma foi construído em uma altitude de 5.000m no Platô Chajnantor, nos andes chilenos. A localização do ALMA na região do Atacama tem a altitude e aridez necessárias para a astronomia sub-milimétrica.

OBJETIVO: Identificar os fatores que afetam a opacidade da atmosfera para alguns comprimentos de onda.

OBSERVANDO ATRAVÉS DA ATMOSFERA

A capacidade da radiação eletromagnética de passar pela atmosfera terrestre depende em grande parte do comprimento de onda. Isso cria um critério para medir a transparência da atmosfera ou sua opacidade. Uma opacidade de 100% corresponde a 0% de transparência e vice-versa. Em uma opacidade de 100% , radiação que é completamente bloqueada, enquanto que uma opacidade de 0%, a radiação é completamente transmitida.

A atmosfera não apenas absorve os sinais fracos provenientes do espaço que os astrônomos tentam capturar utilizando o ALMA; mas ela própria também emite radiação.

O principal fator para o ALMA é o comprimento de onda do vapor d'água. Por isso os locais secos e a altas altitudes é tão importante. A quantidade de vapor d'água é usualmente medida em milímetros de vapor d'água precipitável (PWV), que é a profundidade de uma poça que se forma em um local se toda a água se precipitasse pela chuva.

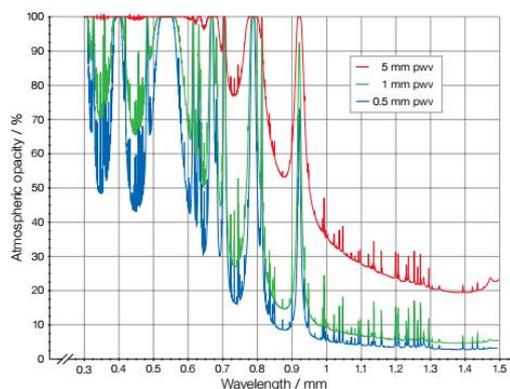
A média PWV em nosso planeta é aproximadamente igual a 2,5 cm, mas condições extremamente secas são necessárias para a astronomia sub-milimétrica.

No Platô de Chajnantor, de abril a dezembro, a média de precipitação de vapor d'água é aproximadamente 1mm, e pode até mesmo cair para abaixo de 0,5 mm em certas condições.

APLICAÇÃO

Utilize o gráfico para responder as questões:

1. Como a opacidade muda com o aumento da quantidade de vapor d'água?
2. Como a opacidade muda, em termos gerais, à medida que o comprimento de onda diminui?
3. Os comprimento de onda maiores, como 1,2 mm, por que é tão crítico que tenhamos baixos níveis de vapor d'água? Pode ser útil comparar que porcentagem de luz é transmitida (use 100% e subtraia a porcentagem de opacidade) com o PWV a 5mm e a 0,5mm. O que acontece com comprimentos de onda menores, como 0,35 mm?



Atividade 9

Observando através da atmosfera

Notas para o professor

Nesta atividade, os estudantes reconhecerão a importância do vapor d'água na opacidade da atmosfera e sua relação ao comprimento de onda da radiação observada de um objeto do Universo.

PREPARAÇÃO

Identifique a imagem relacionada a esta atividade (slides 18 e 19)

IMPLEMENTAÇÃO

Mostre aos estudantes a imagem do slide 18. Analise a informação contida: comprimento de onda e opacidade. Elabore questões como: Para qual comprimento de onda a atmosfera é mais opaca ou transparente? Em qual intervalo ela é mais transparente?

Discuta a segunda ilustração e peça aos estudantes para identificar as variáveis.

Os estudantes deverão então fazer os exercícios e discutir os resultados.

RESPOSTAS

1. Como a opacidade se altera à medida que a quantidade de vapor d'água aumenta?

A opacidade aumenta.

2. Como a opacidade muda, em termos gerais, à medida que o comprimento de onda se torna menor?

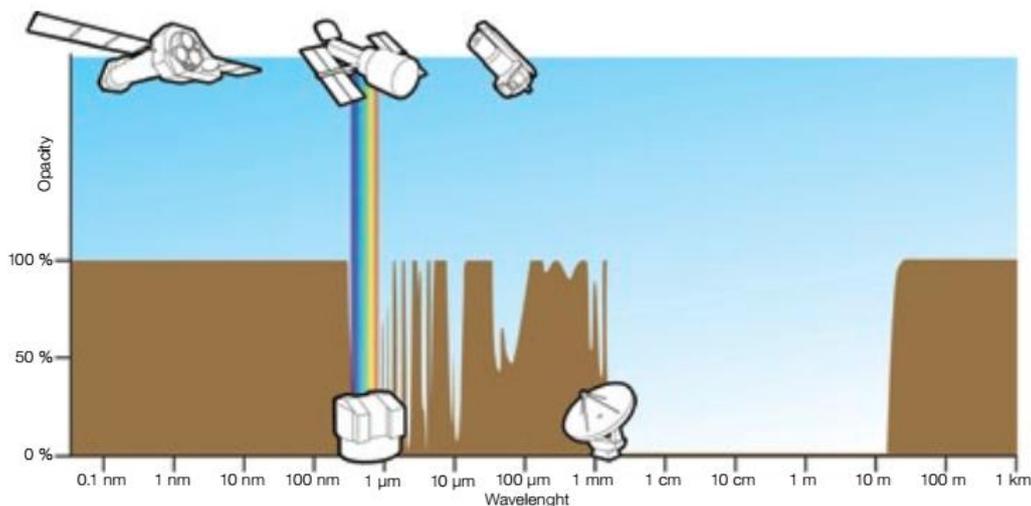
A opacidade aumenta (embora existam "janelas" ou zonas do espectro nas quais a opacidade não é tão alta).

3. Por que é tão importante termos baixos níveis de vapor d'água? O que acontece para comprimento de onda menores, como por exemplo 0,35 mm?

Para comprimentos de onda menores é crucial ter baixos níveis de vapor d'água. Para comprimentos de onda maiores, a opacidade é relativamente baixa, mesmo para altos níveis de vapor de água.

OPACIDADE ATMOSFÉRICA

Na imagem abaixo, o nível da curva marrom representa a opacidade da atmosfera para certo comprimento de onda. A maior janela é para a faixa visível do comprimento de onda (indicada por um arco-íris) e para comprimentos de onda do rádio de aproximadamente 1mm até 10m. O ALMA opera em uma região extrema, na qual a opacidade depende muito da altitude e da aridez do local.



Atividade 10

Leis da reflexão

O disco dos radiotelescópios tem determinado formato que faz com que as ondas capturadas sejam direcionadas para um ponto específico.

OBJETIVO: Aplicar a lei da reflexão para espelhos planos para explicar a existência de pontos focais em espelhos parabólicos.

ESPELHOS PLANOS

Nos espelhos planos, o ângulo de incidência é igual ao ângulo de reflexão, medido a partir da normal, que é a linha perpendicular ao plano do espelho (veja imagem superior a direita).

MATERIAIS

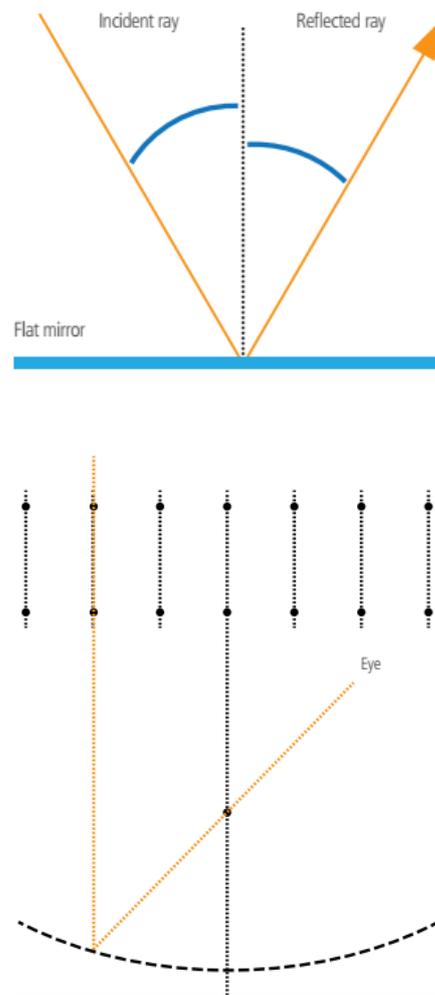
- 7 pequenos espelhos (2 x 3 cm)
- uma peça de isopor, tamanho A4
- fita adesiva
- 15 alfinetes
- massa de modelar

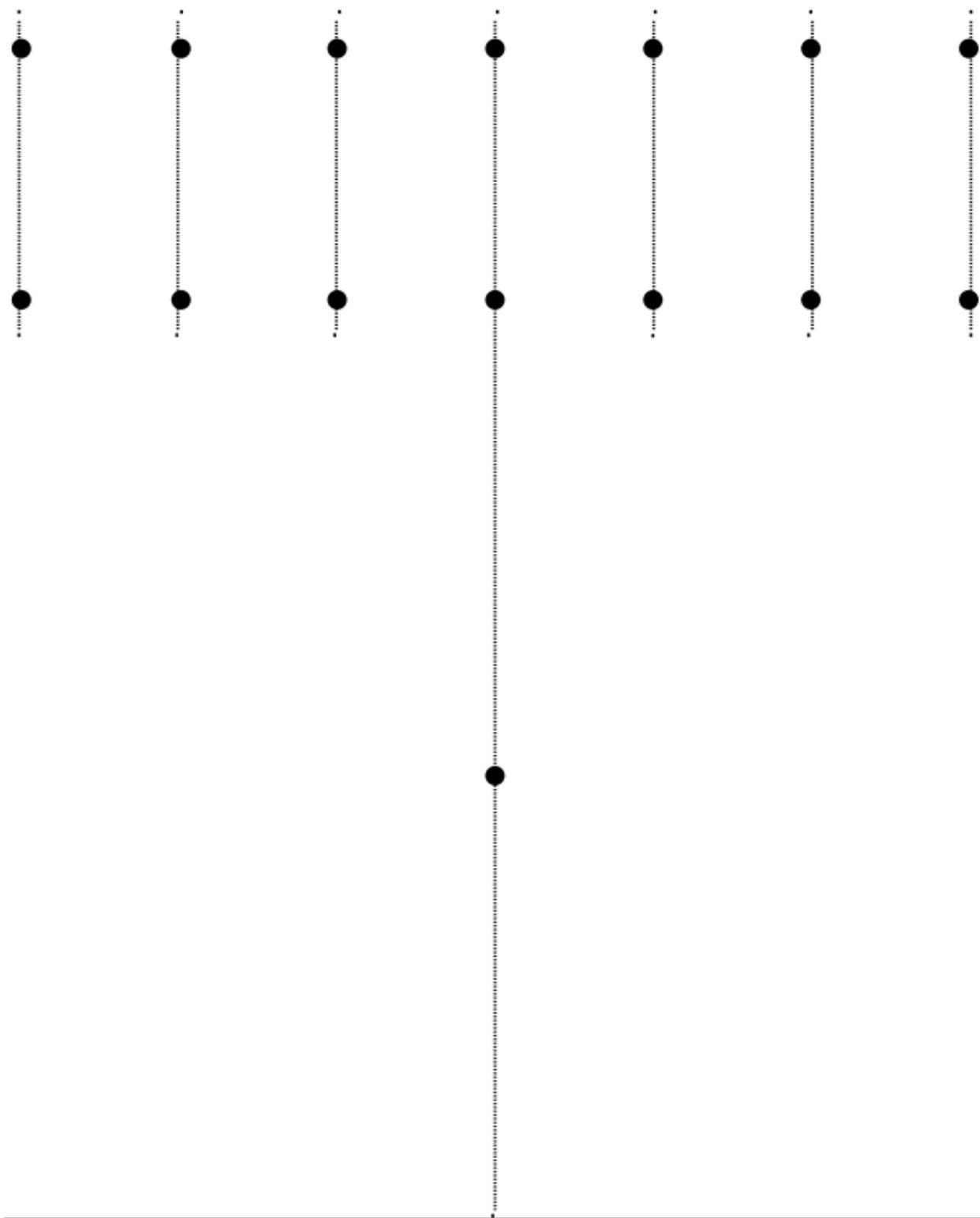
PROCEDIMENTO

1. Faça cópias da imagem abaixo, a direita (utilize a que está na próxima página) e distribua aos estudantes. Peça aos estudantes para prender a folha no isopor para servir de base.
2. Insira os alfinetes nos pontos marcados no papel.
3. Utilize um pedaço de fita adesiva do lado opaco do espelho, e junte-os.
4. Ponha um pouco de massa de modelar nos espelhos, de maneira que eles fiquem na vertical.
5. Cuidadosamente trace uma linha no papel que passa pelos espelhos.

RESPONDA

1. Onde é o ponto focal?
2. Verifique que a linha traçada é uma parábola.
3. Qual é a diferença entre ter vários espelhos planos e um único espelho parabólico?
4. Discuta um procedimento para projetar uma parábola que pode ser utilizada para uma antena de diâmetro de 2 metros.





Atividade 10

Leis da reflexão | Notas para o professor

Nesta atividade, os estudantes aplicarão a lei da reflexão para compreender como funciona um espelho parabólico.

PREPARAÇÃO

Separe todo o material necessário. O tamanho recomendado do espelho é 2 x 3 cm; se esse tamanho não estiver disponível, o modelo impresso deverá ser adaptado. Os estudantes podem fazer esta atividade individualmente ou em pares.

IMPLEMENTAÇÃO

- Tenha em mãos o guia de trabalho e os materiais)
- Demonstre a lei da reflexão; uma caneta laser poderá ser útil para isso.
- Certifique-se que os estudantes realizaram todas as etapas; ajude-os para assegurar que a curva obtida é a mais suave possível.
- Discuta as respostas com a turma. Motive-os para encontrar soluções práticas e criativas para as questões na questão 4.

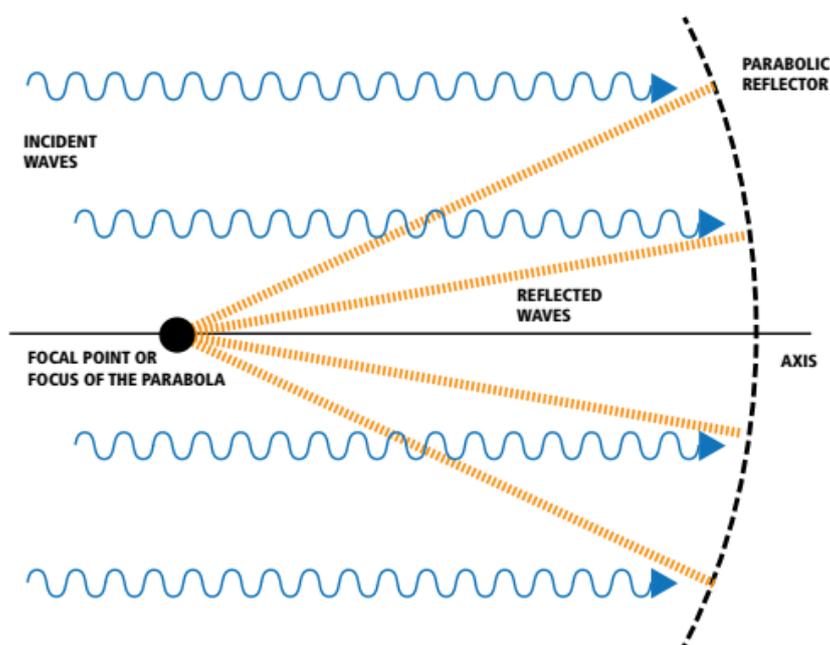
RESPOSTAS

1. Onde está o ponto focal?
No pino central

2. Verifique que a linha traçada é uma parábola. A distância de um certo ponto (o foco) é igual à sua distância de uma determinada reta (a diretriz).
3. Qual é a diferença entre ter vários espelhos planos e um único espelho parabólico? Espelhos planos refletem luz na mesma direção do feixe da luz incidente³. No caso do espelho parabólico, a luz incidente converge em um único ponto, cuja direção é diferente daquela da luz incidente.
4. Discuta um procedimento para projetar uma parábola que pode ser utilizada para uma antena de diâmetro de 2 metros. O processo é baseado na definição de parábola; deseja-se que os estudantes sejam capazes de definir aspectos técnicos da construção da parábola.

PARÁBOLA

É o lugar geométrico cujos pontos de um plano são equidistantes de uma reta, a diretriz, e de um ponto externo a ela, conhecido como ponto focal. (slide 20)



³ Desde que o ângulo de ir

5. GLOSSÁRIO



An ALMA antenna on the road to the Chajnantor Plateau. Credit: ALMA (ESO/NAOJ/NRAO), L. Benneft.

Antena

Dispositivo metálico utilizado para emitir ou capturar ondas de rádio. Antenas para radiotelescópios como o do ALMA capturam apenas ondas de rádio. Elas existem em diferentes formatos e são utilizadas em uma variedade de dispositivos como telefones celulares, rádios, televisão, internet sem fio e outros.

Banda de frequência

Estes são os intervalos de espectro eletromagnético que são determinados por suas frequências. Elas tem um uso específico para a comunicação de rádio, e isto é regulado pela União Internacional de Telecomunicação, que define os usos para as faixas como emisoras de televisão e telefones móveis. Por exemplo, a faixa VHF (frequência muito alta) de 30 a 300 MHz é utilizada pela rádio FM, televisão, telefones celulares e também por rádio amador. Outra faixa é UHF (frequência ultra rápida), de 300 a 3000 MHz, na qual você encontram os fornos de micro-ondas, radioastronomia, comunicação sem fio e Bluetooth, dentre outros. O ALMA funciona no EHF (frequência extremamente alta) e na faixa do THz (Terahertz). No ALMA, as observações são conduzidas em 10 bandas de frequências diferentes.

Cinturão de Kuiper

Esse é o nome do conjunto de corpos que orbitam ao redor do Sol a uma distância entre 30 e 50 unidades astronômicas. Sua existência foi prevista por Gerard Kuiper em 1960 e os objetos que o compõem tem diâmetro entre 1 e 3.000 quilômetros.

Comprimento de Onda

Comprimento de onda é a distância entre duas cristas de uma onda eletromagnética. Seu valor está relacionado à frequência: quanto maior a frequência, menor o comprimento de onda. A seguinte fórmula é utilizada para calcular o comprimento de onda: comprimento de onda = velocidade da luz/frequência.

Constelação

Em astronomia, uma constelação é um agrupamento de estrelas que é formado por uma convenção arbitrária ou cultural. Muitas civilizações tem agrupado estrelas e deram a elas nomes baseados em suas crenças e mitos. As mais conhecidas constelações vieram da Grécia antiga e representam vários mitos.

Cor

É a percepção visual gerada no cérebro humano após interpretar impulsos nervosos dos fotorreceptores localizados na retina, os quais detectam e distinguem diferentes comprimentos de onda do espectro visível.

Diagrama de Hertzsprung-Russell

Usualmente abreviado por diagrama H-R, ele descreve a relação entre a magnitude absoluta e a temperatura de uma estrela. Desenvolvida pelo astrônomo Ejnar Hertzsprung em 1905 e independentemente por Henry Russell em 1913, o diagrama é utilizado para estudar a evolução estelar.

Eclíptica

A eclíptica é o aparente caminho do Sol na esfera celeste. É um movimento aparente, pois é a Terra que se move ao redor do Sol. Seu nome vem do grego, *ἑκλειπτική* (ekleiptiké), relacionado aos eclipses.

Faixa de Ondas Curtas

A faixa de ondas curtas tem uma frequência de 3 a 30 MHz. É utilizada principalmente por estações de rádio que realizam transmissões internacionais, essas ondas são refletidas na ionosfera.

Fontes de Rádio

Um objeto no espaço exterior (como estrelas, galáxias ou poeira) que emitem radiação eletromagnética na região das ondas de rádio. Esses objetos são estudados na radioastronomia. Em 1931, Jansky foi o primeiro a detectar essas ondas vindas do centro da galáxia.

Força de Lorentz

Essa é a força exercida por um campo magnético B em uma partícula carregada que se move com uma velocidade v . A força é perpendicular ao plano formado pelo vetor campo magnético e velocidade, cujo módulo é determinado pela seguinte expressão: $F = qvB \sin(\theta)$, no qual θ é o ângulo entre a velocidade e o campo B . Isso implica que a força magnética em uma carga estacionária ou que se move paralela ao campo magnético é zero. A direção da força é obtida pela regra da mão direita: utilizando a mão direita, os dedos devem fechar no sentido da velocidade, e o polegar indica a direção da força.

Hertz

Essa é a unidade de frequência no Sistema Internacional de Unidades e equivale a um ciclo por segundo.

$1\text{GHz} = 10^9$ e $1\text{MHz} = 10^6$ ciclos por segundo.

Isotermal

Refere-se a um corpo cuja temperatura é estável e uniforme.

Jansky (Jy)

Essa é a unidade de densidade de fluxo espectral, em homenagem a Karl G. Jansky e é equivalente a 10^{-26} W/m².Hz. Essa unidade não é a unidade do Sistema Internacional. Ela é utilizada para medir a radiação eletromagnética de uma fonte no campo da radioastronomia. Para ter uma noção dessa unidade, a fonte de rádio mais brilhante no céu tem densidade de 1 a 100 Jy.

Kelvin (K)

Unidade absoluta de temperatura. O variação da unidade é equivalente a variação de 1 grau Celsius, enquanto que o 0K é equivalente a $-273,5^{\circ}\text{C}$. Com a unidade Kelvin não é utilizada o símbolo $^{\circ}$ não é utilizado, e também não muda ao utilizar no plural, por exemplo: 100 K.

Lei de Stefan-Boltzmann

A lei que relaciona a temperatura da superfície de um corpo com a energia que ele emite.

Lei de Wien

Lei que relaciona a temperatura com o comprimento de onda emitido por um corpo negro em sua frequência máxima.

Luz Visível

Luz visível é a parte do espectro eletromagnético que pode ser visto pelo olho humano. Ele contém todas as cores do arco-íris.

Meridiano

Meridianos são semi-círculos máximos na superfície da Terra que passam pelo polo Norte e Sul. Eles são linhas imaginárias para encontrar localidades na superfície da Terra e determinar o fuso horário. Como são utilizados como referências, é necessário que se estabeleça o primeiro meridiano, e desde 1884, o primeiro meridiano é o que passa pelo Observatório de Greenwich, perto de Londres. O meridiano local é o meridiano que passa no lugar em que o observador se encontra.

Micro-ondas

Micro-ondas são ondas eletromagnéticas na faixa de 300MHz a 300 GHz. Ele engloba as faixas de frequência de rádio do UHF, SHF, e EHF. Além das comunicações, as micro-ondas são utilizadas rotineiramente para aquecer alimentos que contenham água, pois o micro-ondas com frequência de 2,45 GHz pode estimular estas moléculas, aumentando a temperatura desses alimentos **Frequência**

Frequência é o número de vezes que a onda oscila por unidade de tempo. Isto está relacionado ao comprimento de onda pela seguinte fórmula: frequência = comprimento de onda/osciloscópio. Em outras palavras, quanto maior é o comprimento de onda, menor é a frequência ou vice-versa.

Nanômetro

É a unidade de comprimento equivalente a um bilionésimo do metro ($1\text{ nm} = 10^{-9}\text{ m}$)

Ondas Eletromagnéticas

Ondas eletromagnéticas são ondas que não precisam de um meio material para se propagar. No vácuo, todas ondas eletromagnéticas se propagam com velocidade constante de 300.000 km/h, independentemente da velocidade com que a fonte da onda esteja se propagando. Dentre as ondas eletromagnéticas podemos citar a luz visível, as ondas de rádio, raios X, raios gama, dentre outros. As ondas são produzidas por cargas elétricas aceleradas, que geram campos elétricos que se propagam no espaço.

Plano da Eclíptica

O plano da eclíptica é o plano médio formado pela órbita da Terra ao redor do Sol. O plano do equador da Terra é inclinado em 23° 27' em relação ao plano da eclíptica.

Ponto Focal

As ondas de rádio de um objeto celestial específico são redirecionadas pelo refletor do radiotelescópio em direção ao ponto focal, onde o receptor captura as ondas ali localizadas.

Pressão (Pascal, kPa)

Essa é a grandeza física que mede a força aplicada por unidade de área. No Sistema Internacional, a pressão é medida em pascal (pa), uma unidade que é equivalente a 1 newton por metro quadrado. O kPa, que é equivalente a 1.000 Pa, também é comumente utilizado.

Pulsar

Um pulsar ou estrela pulsante é uma estrela de nêutron que gira, emitindo um feixe de radiação eletromagnética. Esta radiação pode ser observada apenas quando o feixe está apontado na direção da Terra, do mesmo modo que o feixe de um farol somente pode ser observado se estiver na direção do observador. É isso que faz a radiação emitida parecer um pulso. O primeiro pulsar foi descoberto por Bell e Hewish em 1967 e o sinal detectado tinha um período de 1,33 segundos. Esses cientistas acreditavam inicialmente que eles tinham descoberto a existência de seres extraterrestres, logo eles denominaram essa fonte de LGM (de Pequenos Homens Verdes)

Quantum

Termo originário do latim “quantum”: porção de algo, ele corresponde a mínima quantidade de uma grandeza ou mínima variação no início da teoria quântica. De acordo com esta teoria, a carga elétrica é quantizada, desde que a medida de todas as cargas elétricas correspondem a um múltiplo da carga do elétron.

Radiação Eletromagnética

Veja a definição em Ondas Eletromagnéticas

Radiação Óptica

Veja a definição de Luz Visível

Radiano

Essa é a unidade utilizada para medir ângulos no Sistema Internacional de Unidades. Ele é calculado como o ângulo que está subtendido em um arco de circunferência igual ao raio do mesmo.

Radioastronomia

O estudo do Universo pela análise das ondas de rádio ao invés da luz visível. A radioastronomia utiliza radiotelescópios, que podem detectar ondas de rádio.

Raios Gama

São radiações eletromagnéticas de altíssima penetração e comprimentos de onda menores que a da luz visível. Os raios gama são geralmente produzidos pela desintegração de elementos radioativos, mas também em processos subatômicos. Os raios gama são considerados uma radiação ionizante, porque podem causar sérios danos às células e particularmente aos seus núcleos. A maioria dos raios gama produzidos no espaço são absorvidos pela atmosfera superior antes de atingir a superfície da Terra.

Radiotelescópio

Radiotelescópios capturam ondas de rádio do Universo. Enquanto telescópios ópticos (projetados para estudar a luz visível) são equipados com lentes, radiotelescópios tem um refletor. O refletor direciona as ondas de rádio provenientes do espaço em direção a um receptor localizado no centro do radiotelescópio.

Raios X

Radiação similar à radiação gama, mas com um comprimento de onda maior. Os raios X também são consideradas radiações ionizantes porque apresentam alto poder de penetração que pode causar dano sério em tecidos vivos.

Refletor

O refletor é parte do radiotelescópio que reflete as ondas de rádio do Universo para o receptor localizado no seu centro.

Telescópio

Instrumento óptico que observa objetos distantes, particularmente objetos no céu.

Unidades Astronômicas (UA)

Unidade de comprimento que corresponde a distância média da Terra ao Sol. Ela vale aproximadamente 150 milhões de quilômetros.

Via Láctea

A galáxia espiral contendo o Sistema Solar. É estimado que ela tenha perto de 300 bilhões de estrelas e um diâmetro de 100.000 anos-luz. De acordo com diversas observações, sua morfologia corresponde a uma galáxia barrada espiral. A Via Láctea é parte do Grupo Local, um grupo de galáxias e outros objetos presos pela força da gravidade e que inclui, dentre outros, a Galáxia de Andrômeda, a Galáxia Triângulo, a Nuvem de Magalhães, as galáxias de M32 e M110, e outros pequenos sistemas.

6. Slides





Slide 1 | Refletor

A parte mais visível da antena é o refletor (também conhecido como disco ou prato). No ALMA, a maioria dos refletores tem um diâmetro de 12 metros. A função dos refletores é a mesma dos espelhos nos telescópios ópticos: capturar radiação de distantes objetos celestes e direcioná-las para o receptor que medirá o nível de radiação.

Credit: ALMA (ESO/NAOJ/NRAO).





Slide 2 | Refletor

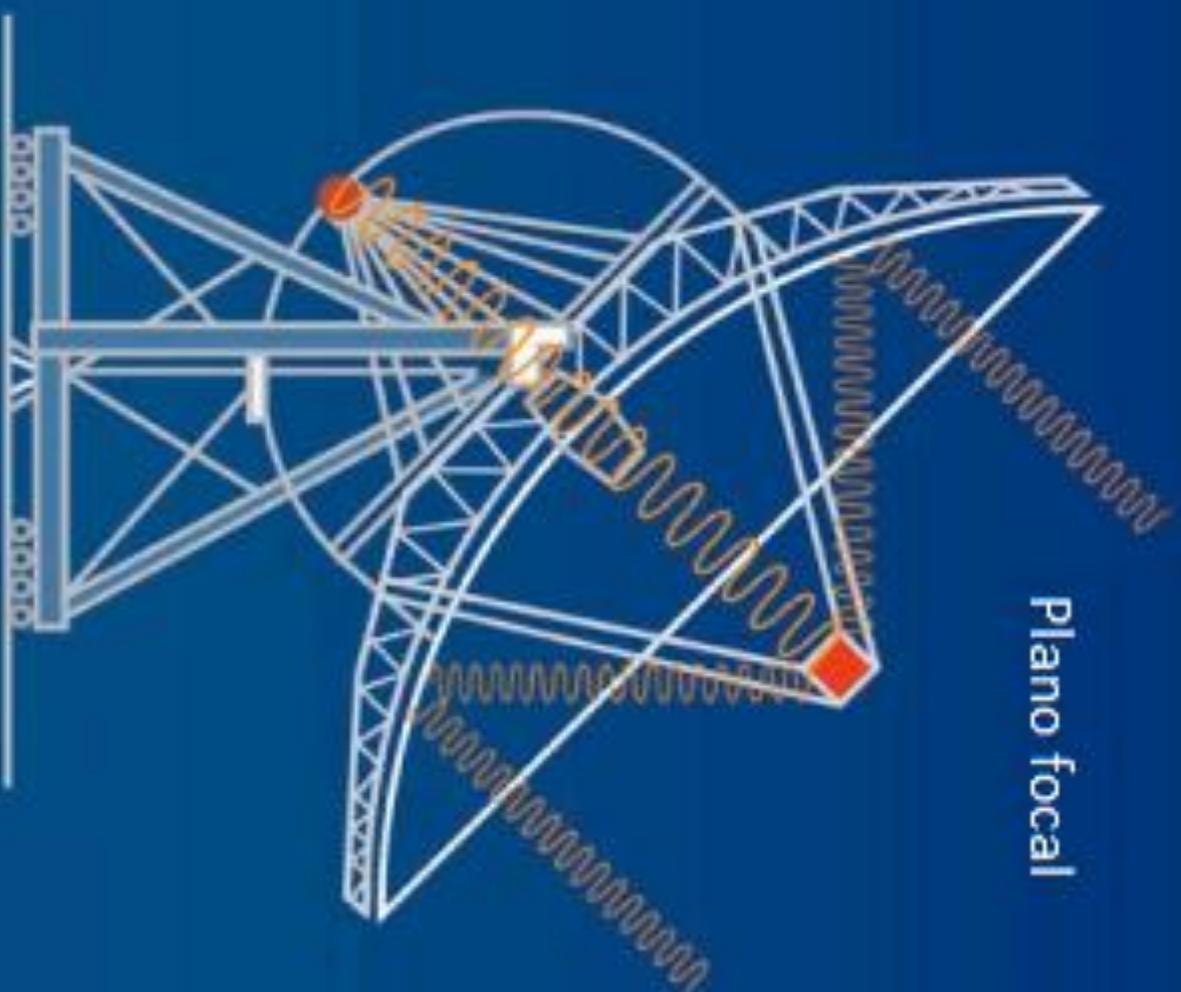
Os refletores do ALMA são painéis de metal ao invés de espelhos, devido ao comprimento de onda para o qual foram projetados. A superfície refletora de qualquer telescópio precisa ser praticamente perfeita, pois qualquer ligeira imperfeição maior que o comprimento de onda a ser capturada, impede o telescópio de obter os dados corretos. Logo as antenas do ALMA detectam comprimentos de onda maiores que o da luz visível, tendo uma precisão em torno de 25 micrômetros (menor que a espessura de uma folha de papel), por isso não precisam de refletores espelhados. Além do mais, embora os refletores do ALMA pareçam receptores de satélites gigantes, para um fóton de comprimento de onda submilimétrico (partícula de luz) eles são quase perfeitos e uma superfície refletora muito precisa.

Crédito: ALMA (ESO/NAOJ/NRAO)





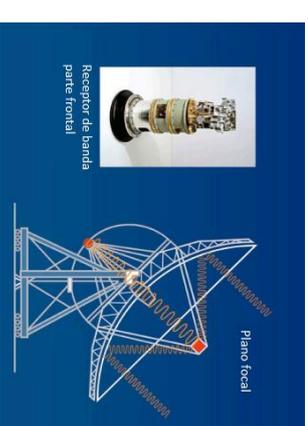
Receptor de banda
parte frontal



Slide 3 | Parte frontal

A parte frontal do sistema do ALMA é o primeiro elemento em uma complexa cadeia de recepção de sinal, conversão, processamento e gravação. A parte frontal é projetada para capturar sinais de 10 diferentes faixas de frequência. A parte frontal do ALMA é superior a todo sistema que existe. Na realidade, produtos desenvolvidos dos protótipos do ALMA estão promovendo melhoras na sensibilidade de observatórios milimétricos e submilimétricos ao redor do mundo. A unidade frontal é formada por numerosos elementos de diferentes partes da Europa, América do Norte, Ásia ocidental e Chile.

Crédito: ALMA (ESO/NAOJ/NRAO)





Slide 4

Crédito: Wikimedia Commons







Slide 5 Gramofone

Crédito: Wikimedia Commons

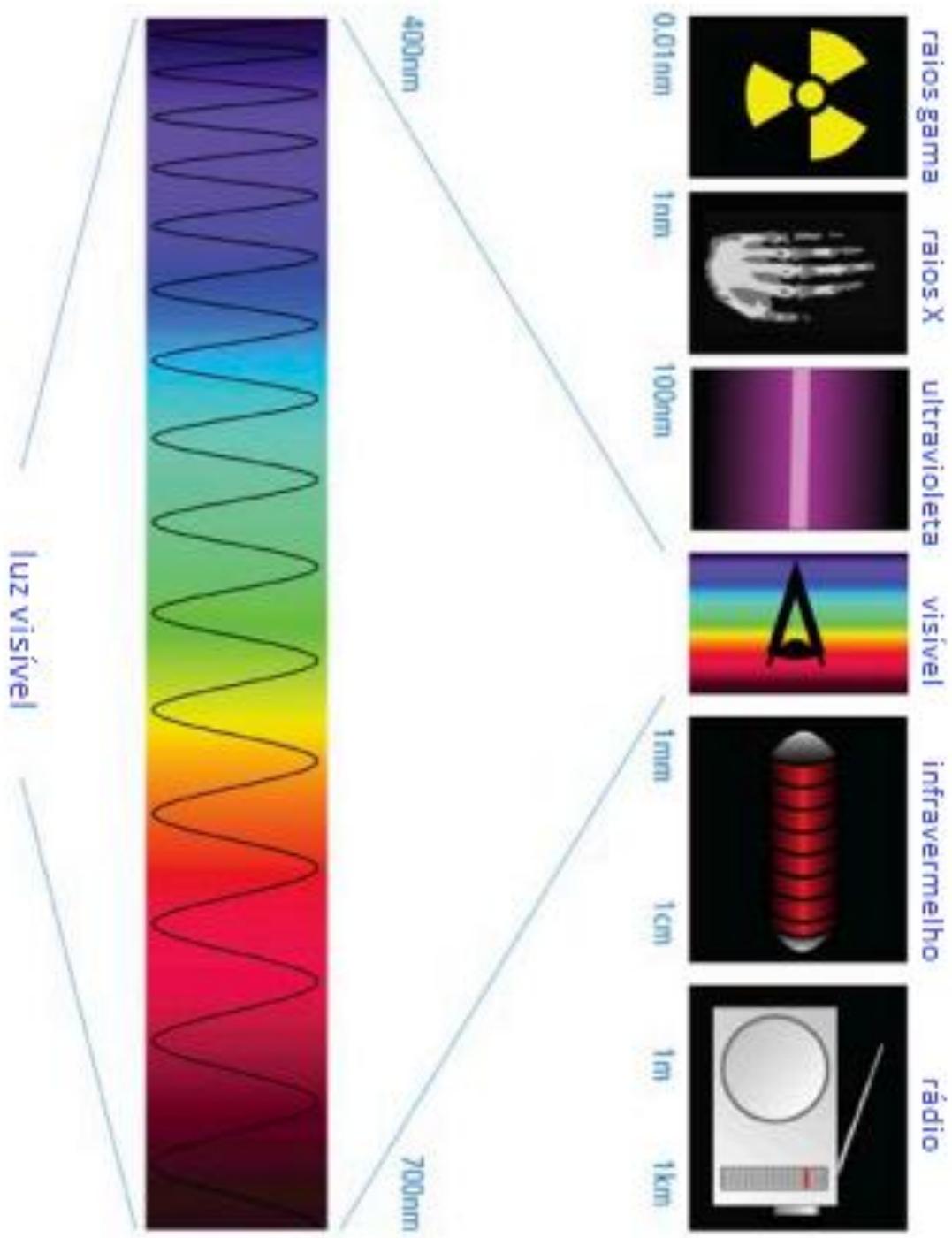




Slide 6 | Antenas do ALMA

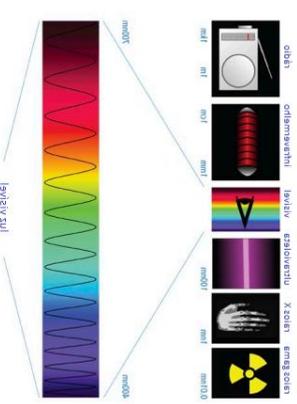
Crédito: ALMA (ESO/NAOJ/NRAO)



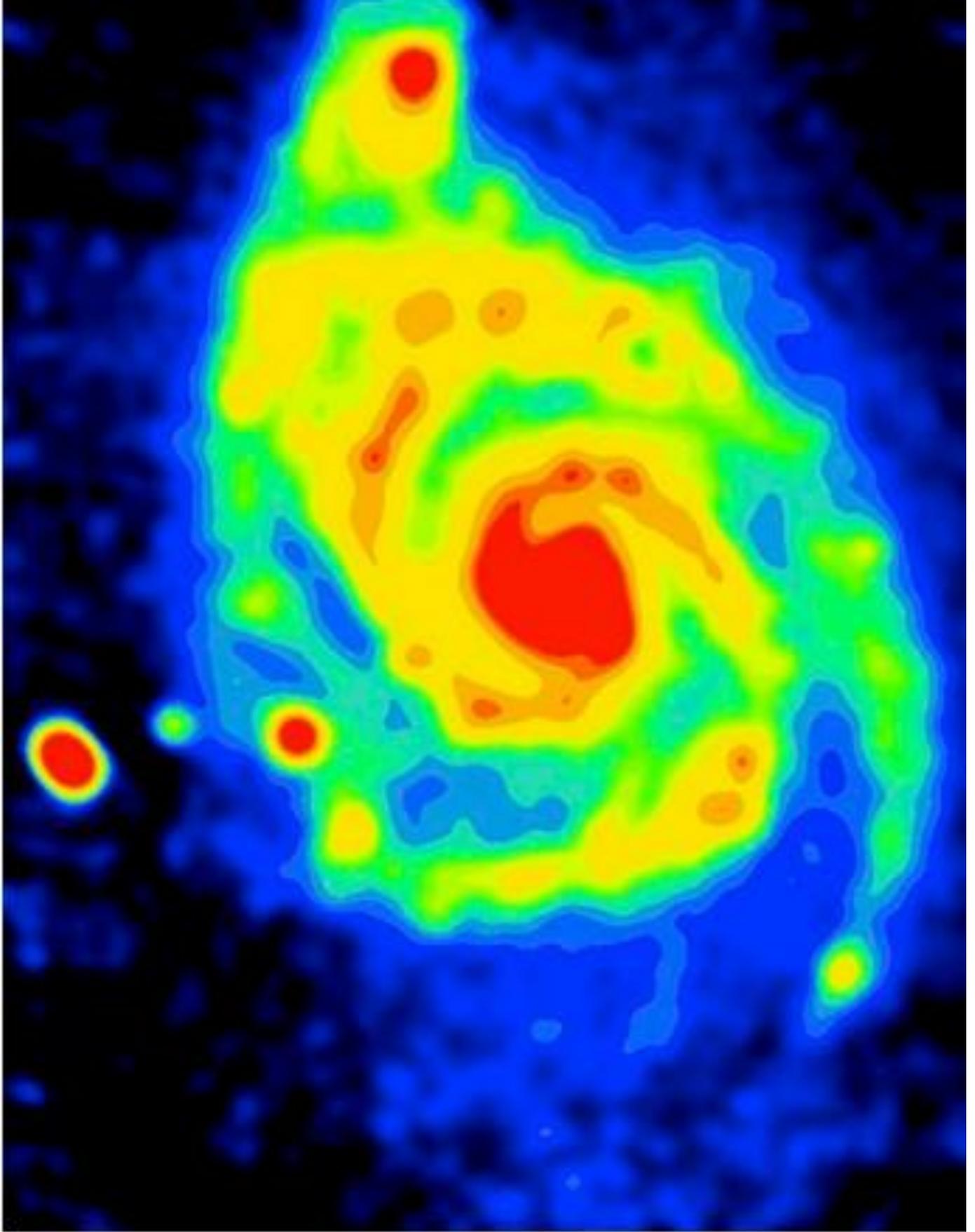


Slide 7 | Espectro Eletromagnético

Espectro eletromagnético mostrando a faixa óptica ou visível e aplicações para os vários comprimentos de onda



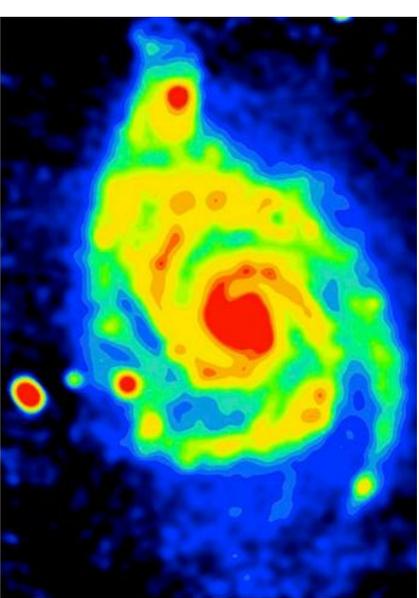
Credito: Tatoute. License: GNU.



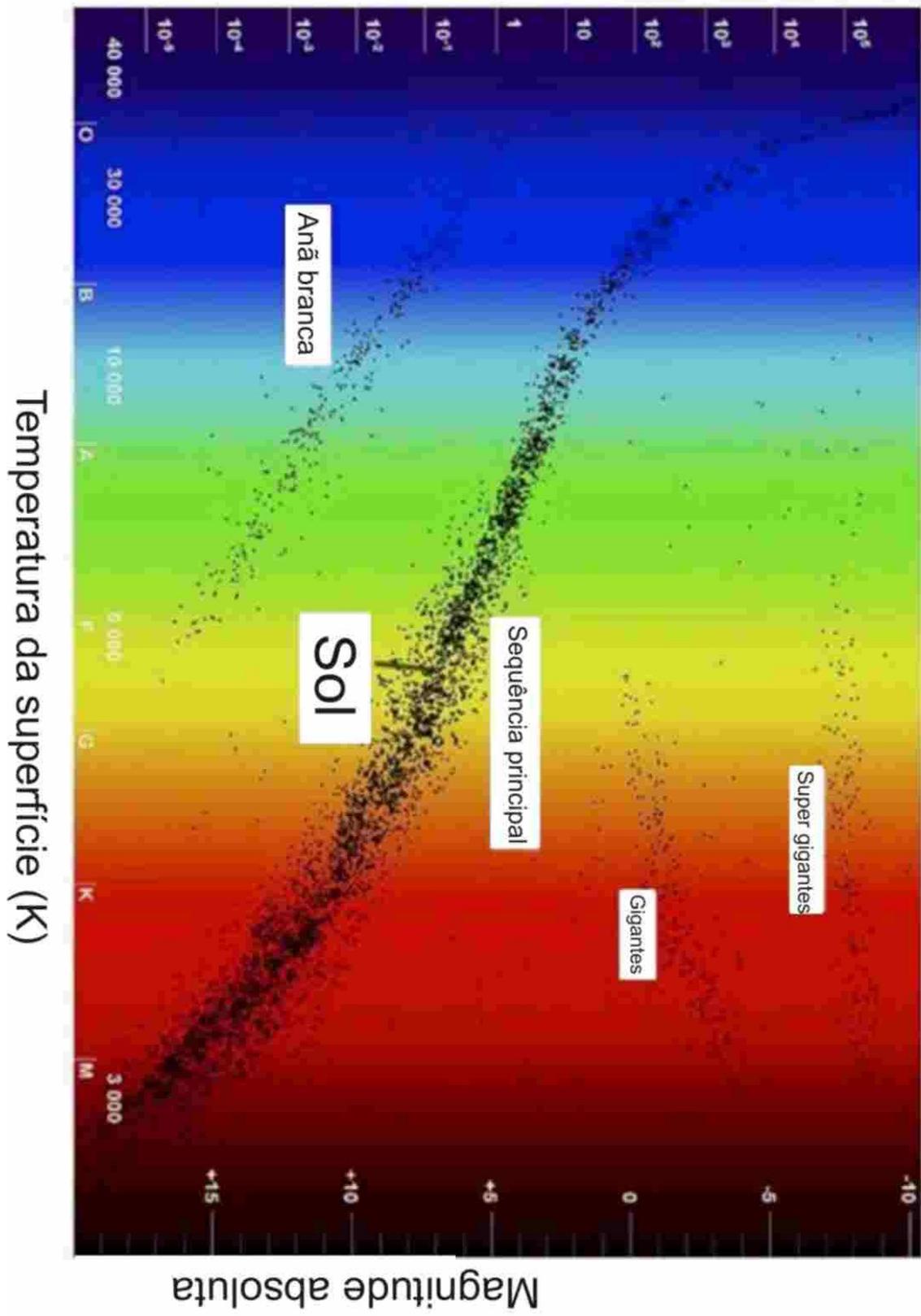
Slide 8 | Galáxia Espiralada

Imagem de Galáxia Espiralada feita na faixa em raio-X

Crédito: NASA/Chandra



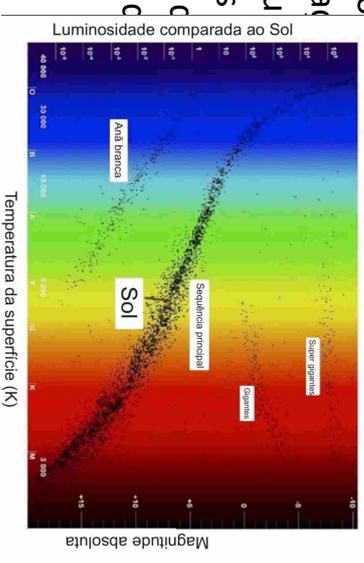
Luminosidade comparada ao Sol

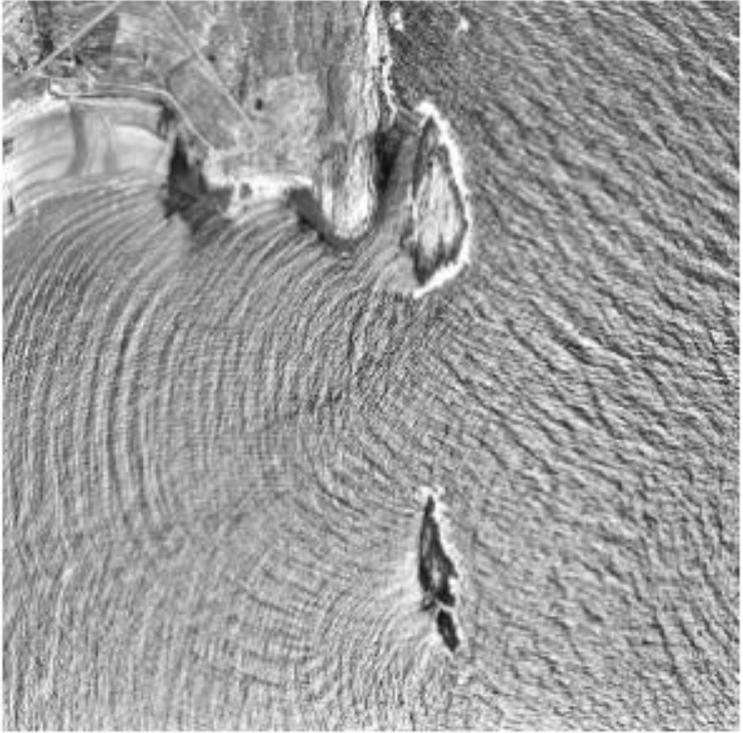


Slide 9 | Diagrama Hertzsprung Russell

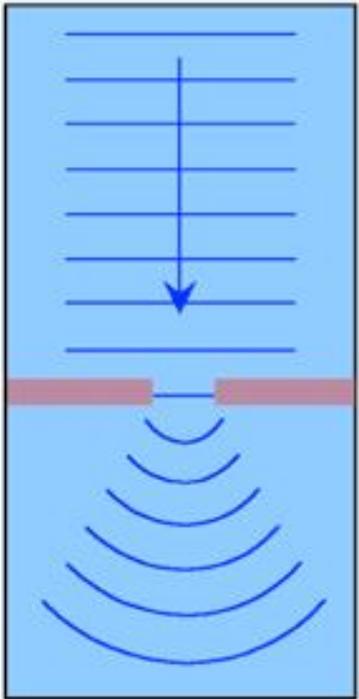
A figura mostra o diagrama de Hertzsprung Russell, que sintetiza todo conhecimento atual sobre as estrelas. Uma das coisas que podemos ver é a relação entre a temperatura e cor de uma estrela. Portanto, a superfície do Sol, a temperatura de 5.778 kelvin, brilha mais intensamente naqueles comprimentos de onda que nossos olhos podem ver ou interpretar como verde-amarelo, e corresponde aproximadamente a 502 nanômetros (um valor 2.000 vezes menor do que o milímetro). A estrela mais fria se apresenta vermelha e a mais quente, azul.

Crédito: ALMA (ESO/NAOJ/NRAO).





1



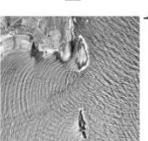
2



3

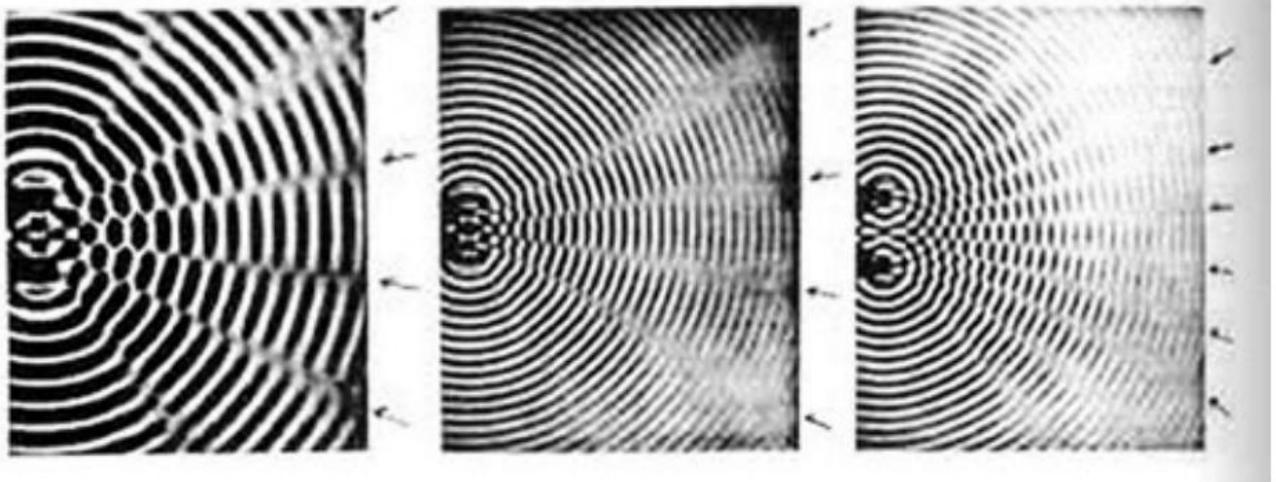
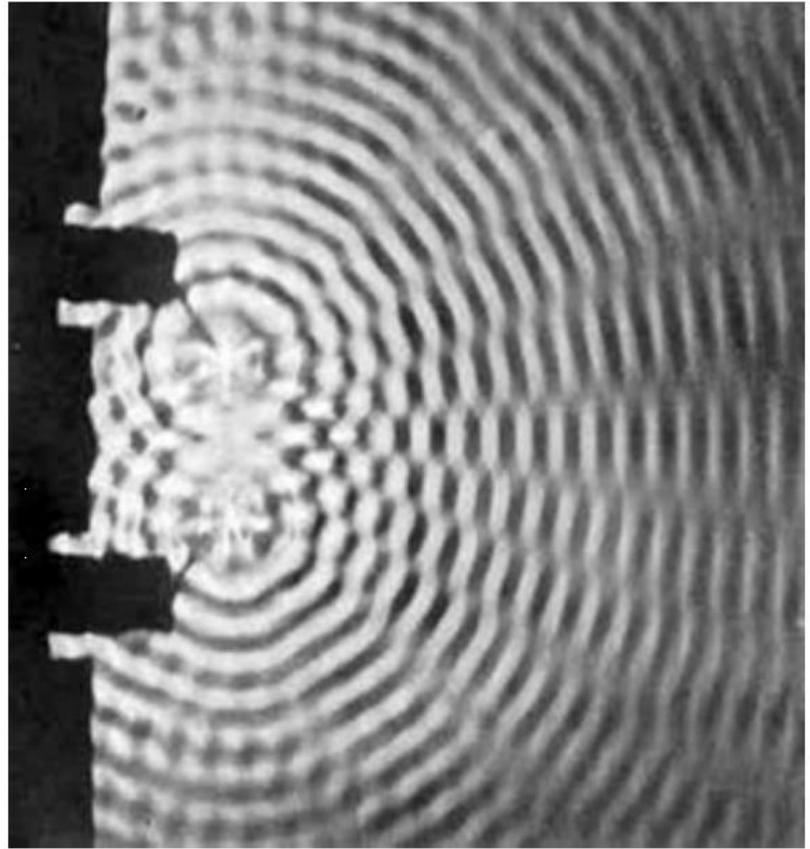
Slide 10 | Difração de ondas

1. Imagens aéreas das ondas do mar contornando um obstáculo.
2. Difração de uma frente de onda plana por uma fenda, mostrando como a onda muda de formato
3. Variações de combinação de frentes de onda contornando colidindo em um obstáculo, mostrando efeito do tamanho da fenda no efeito da difração.



Crédito:

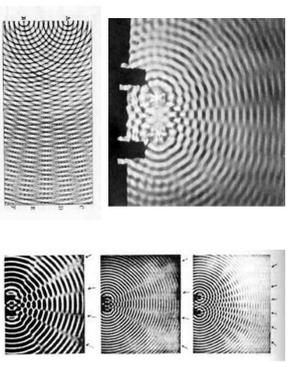
1. <http://www.gcscience.com/Diffraction-Water-Waves.gif>
2. <http://johnvagabondscience.files.wordpress.com/2009/03/diffraction.jpg>



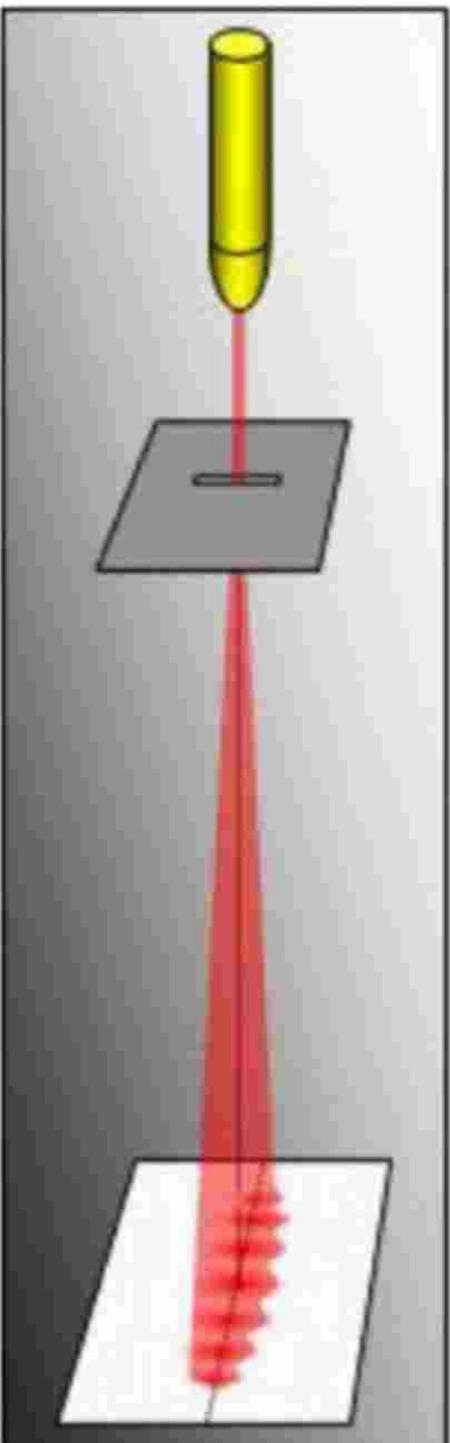
Slide 11 | Interferência em uma cuba de ondas

Imagens obtidas de uma cuba de ondas com nível baixo de água no qual as ondas são geradas simultaneamente por dois pinos que tocam a água.

Crédito: <http://www.aoc.nrao.edu/~myun/bob/tutorial.html>

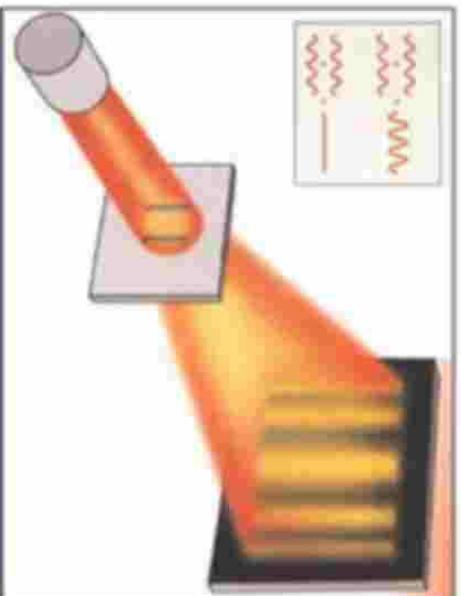


1



Luz de um feixe de laser
passa por uma fenda e
produz um padrão de difração

2



Experimento de Young:
Feixe de luz laser passa
por duas fendas estreitas
e paralelas, produzindo um
padrão de interferência

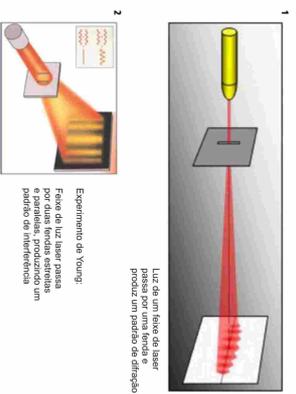
Slide 12 | Interferência da luz

O feixe de laser passa por uma estreita fenda gerando um padrão de interferência
O mesmo feixe passa por duas fendas estreitas e próximas. Os feixes interferem na mesma maneira que as ondas na cuba.

Crédito:

<http://www.educarchile.cl/ech/pro/app/detalle?ID=133072>

http://www.nobelprize.org/nobel_prizes/themes/physics/ekspong/



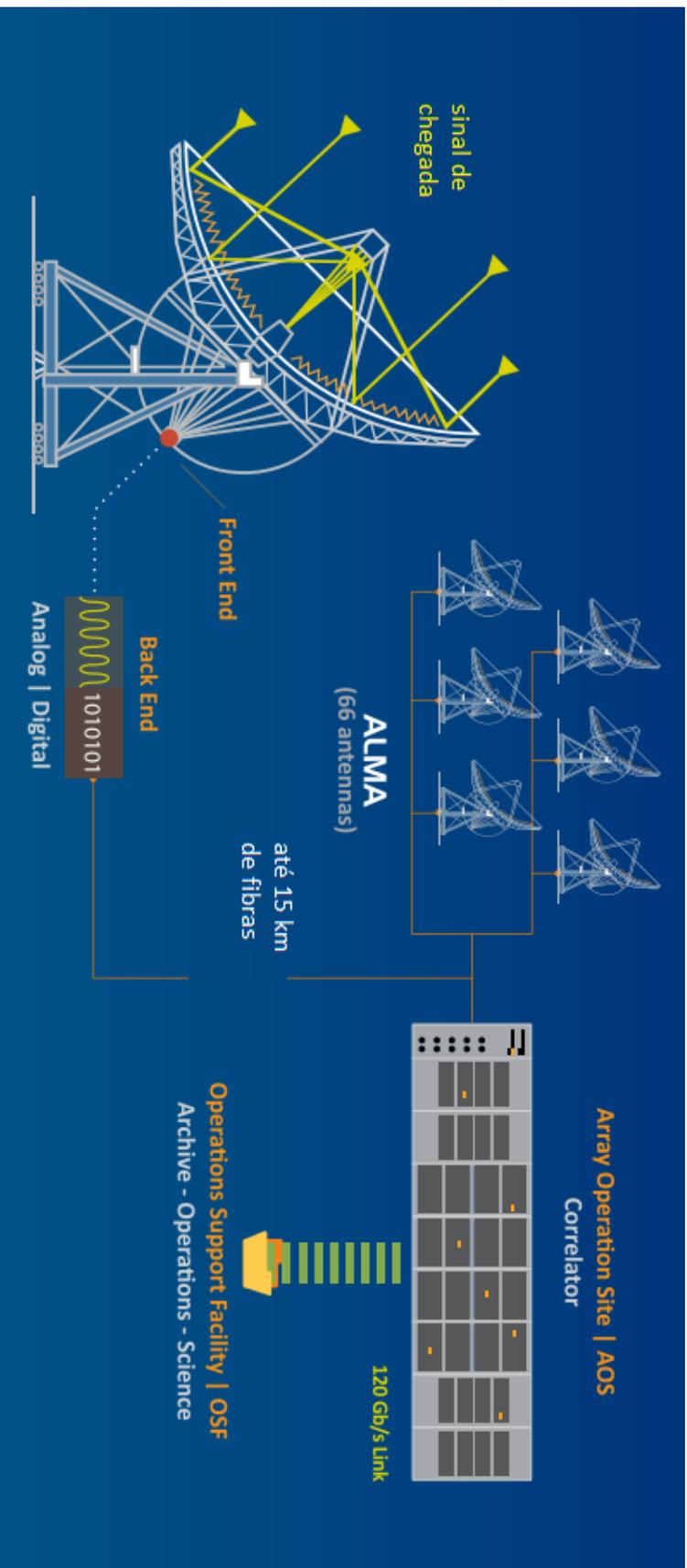


Slide 13 | Transportador da Antena

Um dos dois transportadores de antenas do ALMA, Otto e Lore. Eles têm 20 m de comprimento, 10 metros de largura e 6 m de altura. Cada um tem 28 rodas.

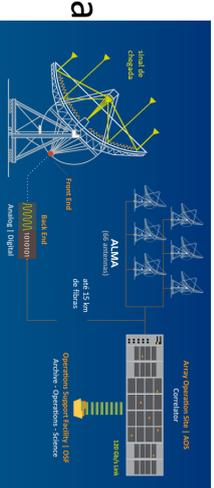
Crédito: ALMA (ESO/NAOJ/NRAO).

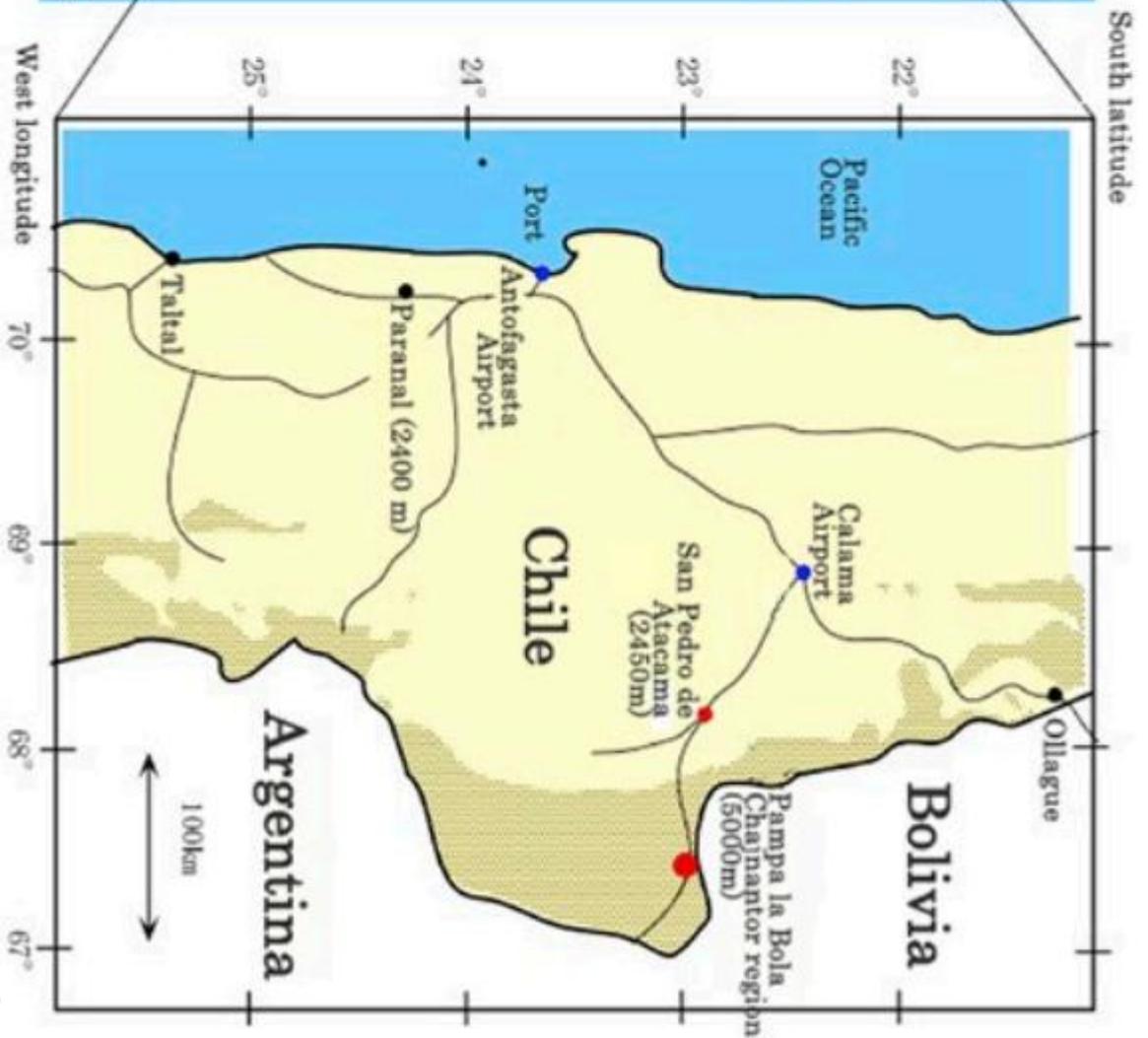




Slide 14 | Como o ALMA trabalha?

O sistema da parte frontal do ALMA é o primeiro elemento em uma complexa cadeia de recepção de sinal, conversão, processamento e gravação. A informação é repassada para a parte posterior, onde é digitalizada e processada pelo Correlator, gerando a informação utilizada pelos astrónomos. Crédito: ALMA (ESO/NAOJ/NRAO).

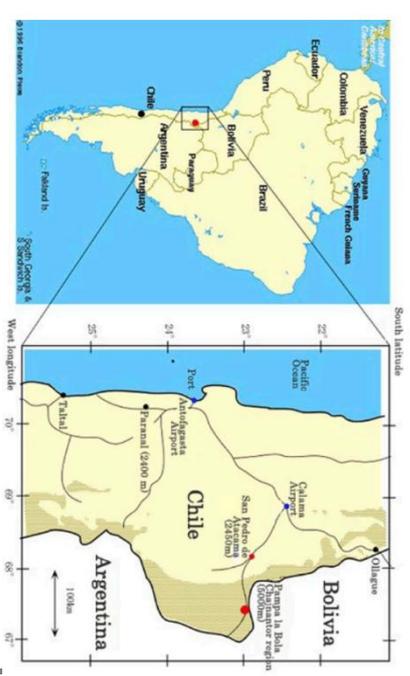


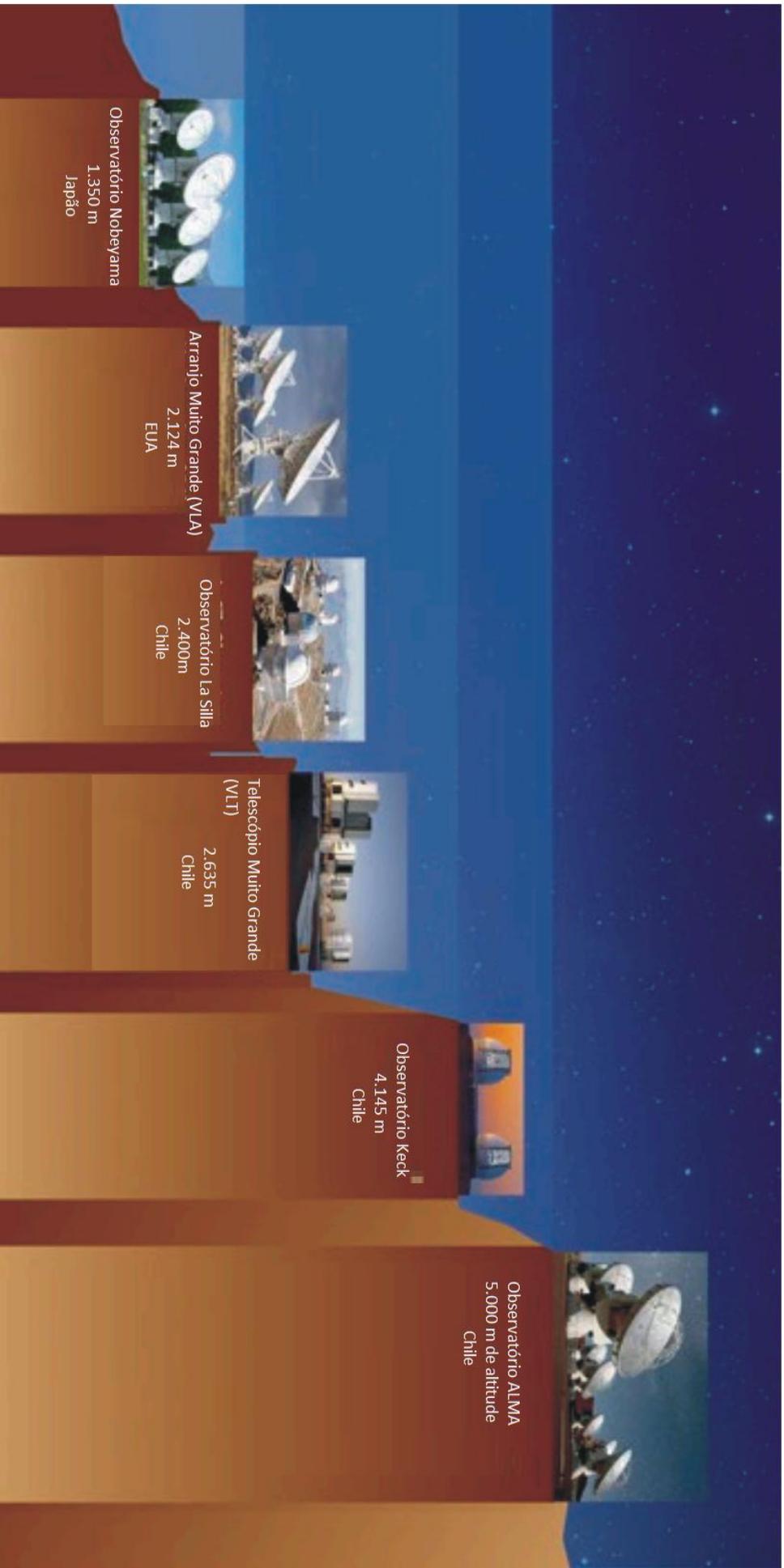


Slide 15 | Geographic Location

Sítio do ALMA no Platô de Chajnantor, região de Antofagasta, Chile.

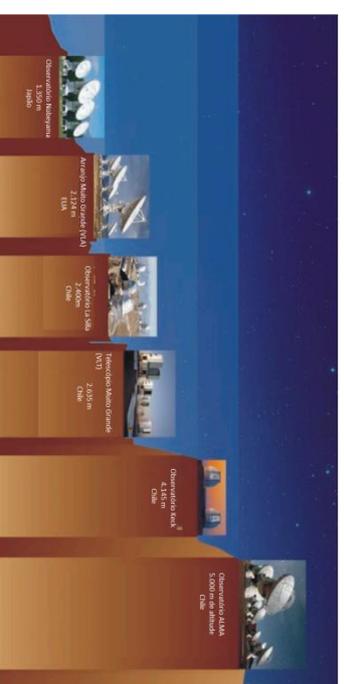
Crédito: ALMA (ESO/NAOJ/NRAO)

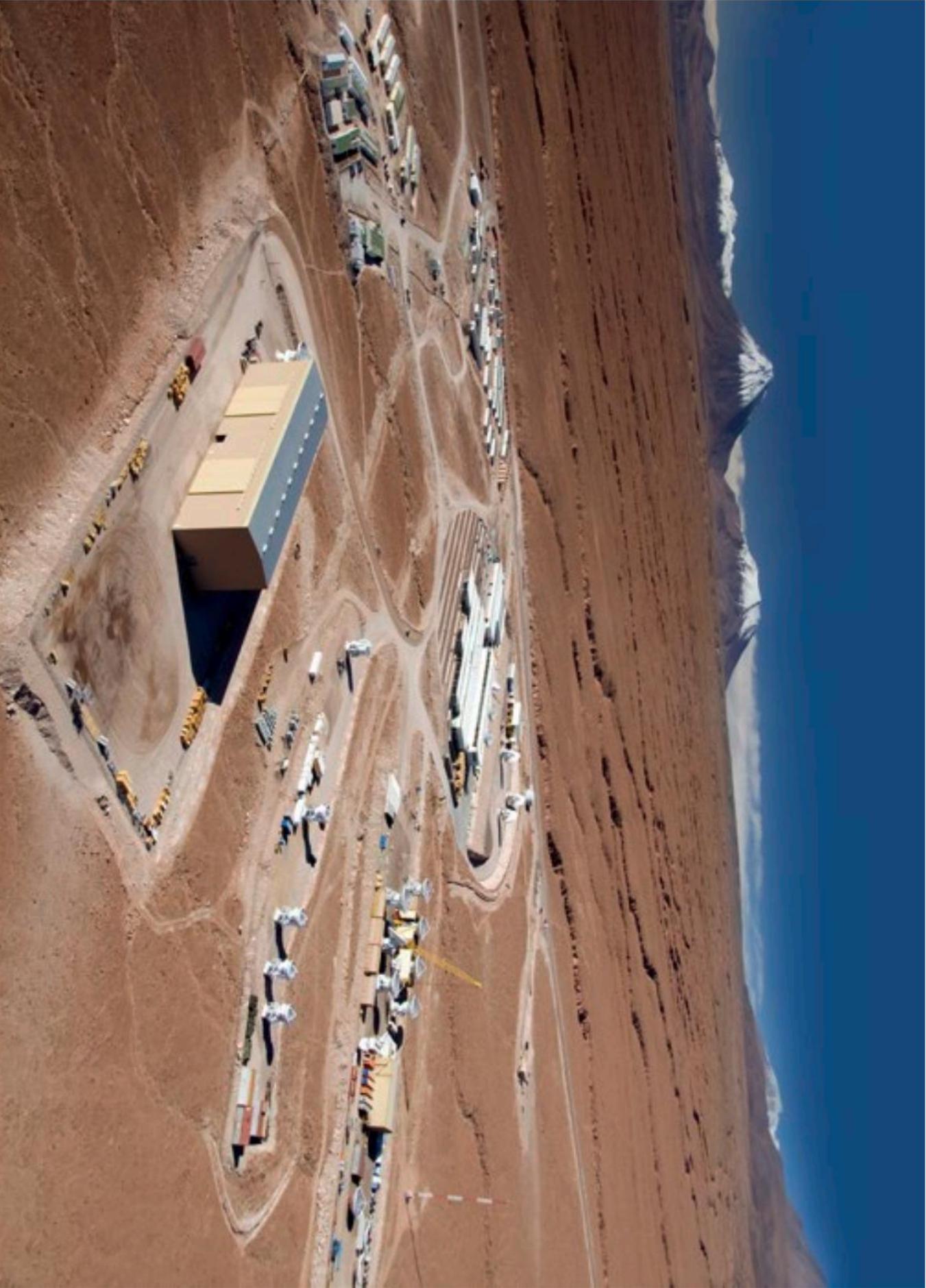




Slide 16 | Observatórios

Comparação da altitude da localização de alguns observatórios
Crédito: ALMA (ESO/NAOJ/NRAO)



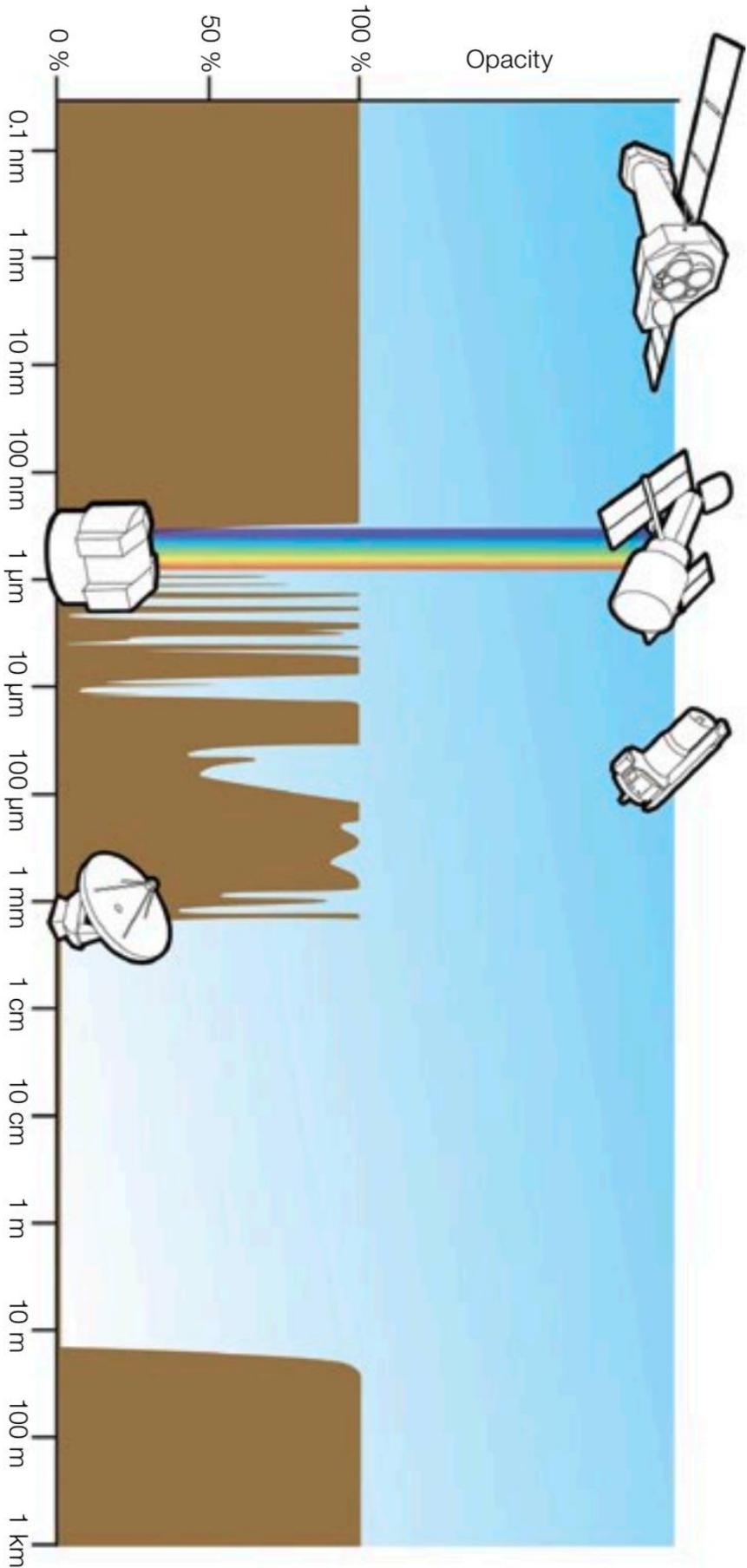


Slide 17 | OSF

O Suporte de Operações do ALMA (OSF) na altitude de 2.900 m.

Crédito: ALMA (ESO/NAOJ/NRAO), W. Garnier. Acknowledgments: General Dynamics C4 Systems.

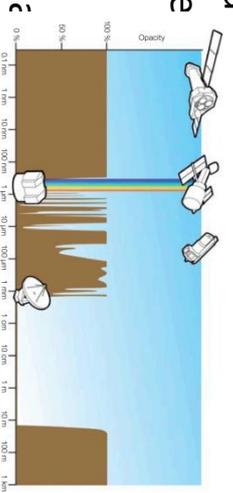


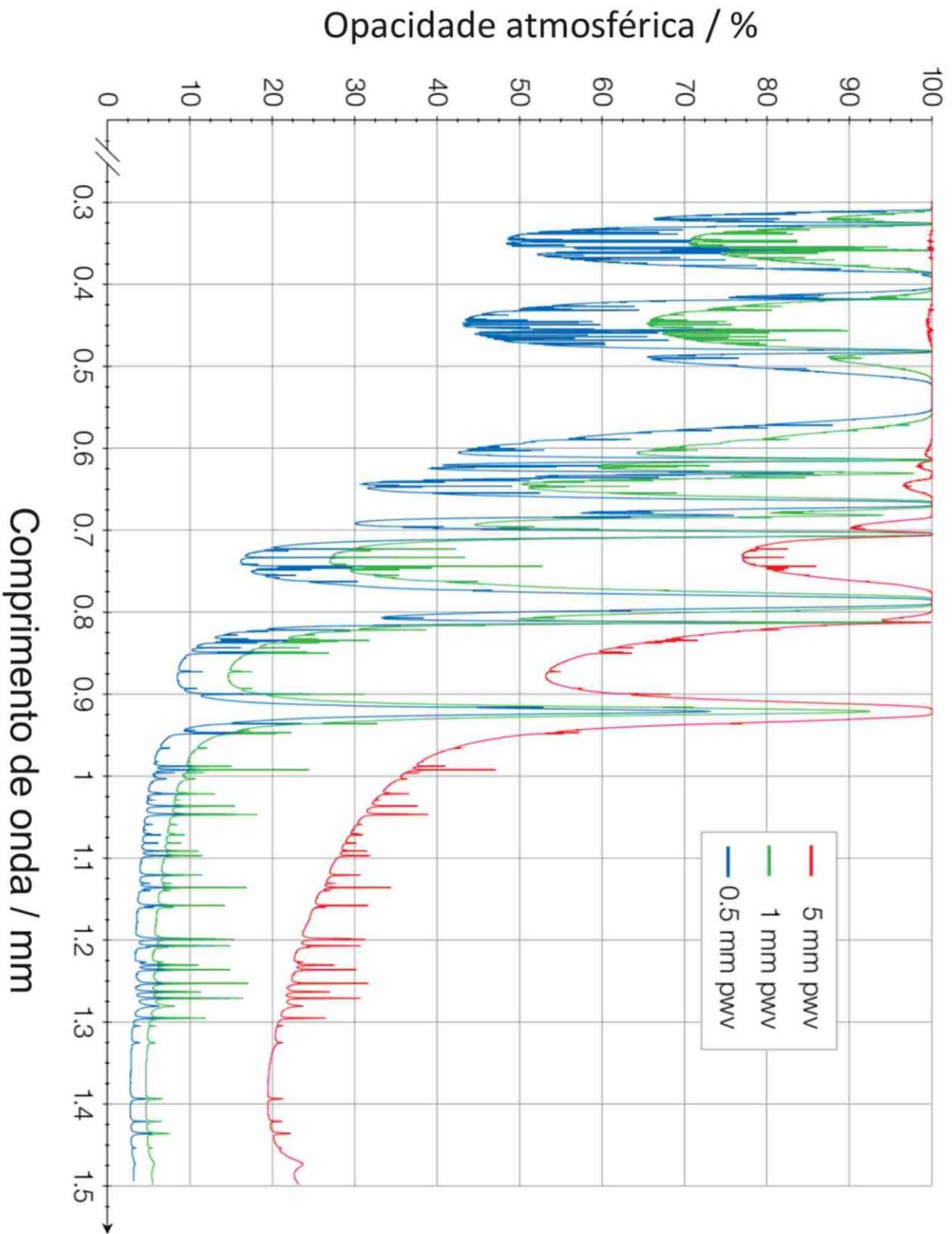


Slide 18 | Opacidade Atmosférica

Ilustração e descrição da opacidade atmosférica. Nessa ilustração, o nível da curva marrom representa a opacidade da atmosfera para um determinado comprimento de onda. A maior janela se encontra no comprimento de onda da luz visível (indicada por um arco-íris) e no comprimento de onda de rádio de aproximadamente 1 mm a 10 m. O ALMA opera em uma região extrema no qual a opacidade depende diretamente da altitude e aridez do local.

Crédito: ESA/Hubble (F. Granato).

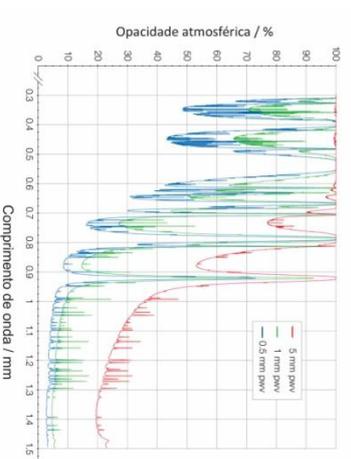


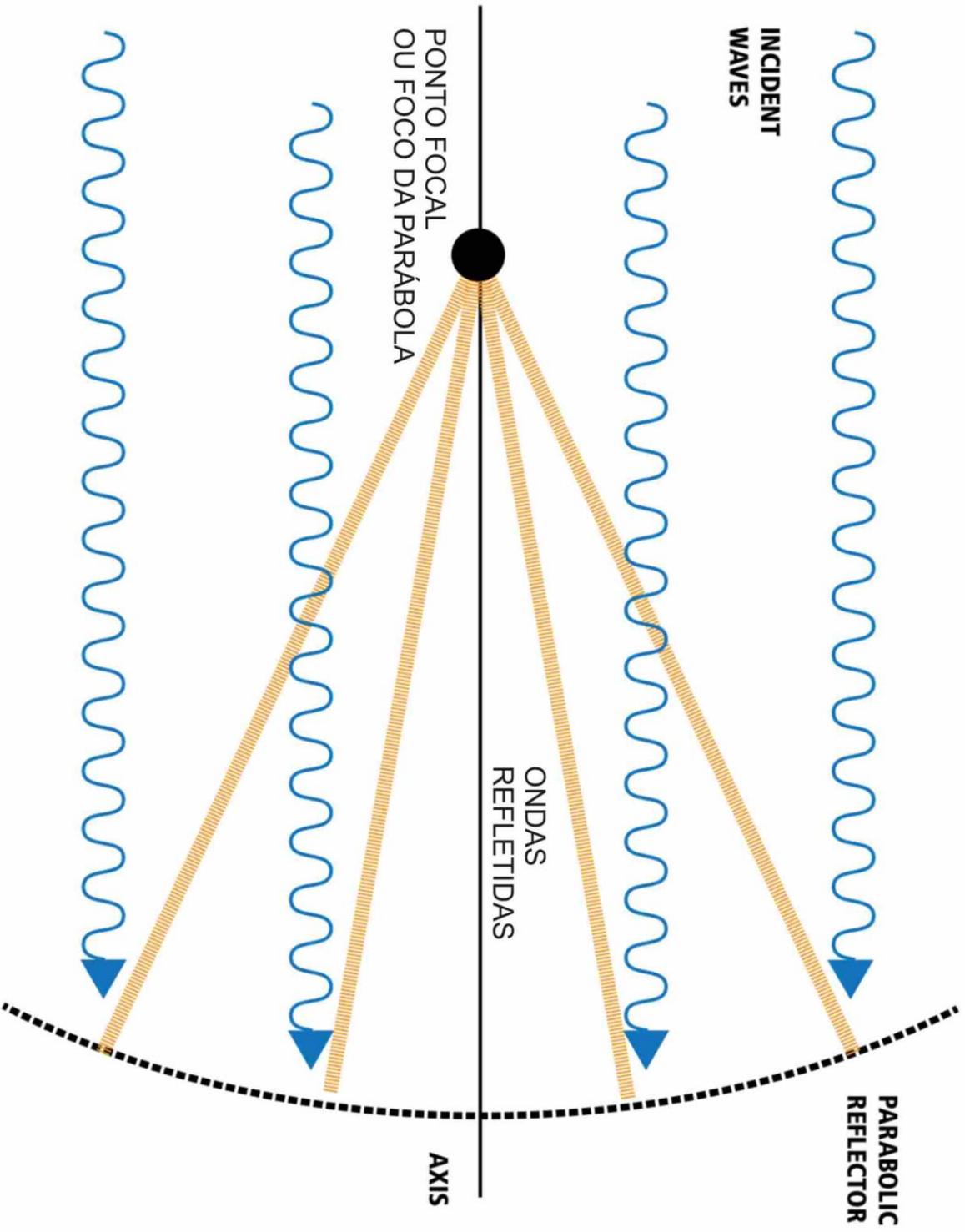


Slide 19 | Regiões do Comprimento de onda

Esta ilustração mostra aproximadamente a região milimétrica e submilimétrica do comprimento de onda, com as linhas diferentes mostrando como a opacidade depende de forma enfática com a quantidade de vapor de água precipitável (PWV) do ar.

Crédito: ESO/APEX.

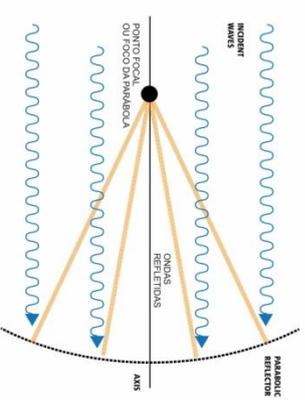




Slide 20 | Parábola

Imagem de um refletor parabólico no qual incide ondas paralelas. Estas refletem e concentram-se no ponto focal.

Crédito: ALMA(ESO/NAOJ/NRAO).





High and dry, the Chajnantor Plateau. Credit: ESO/Sergio Otárola



The Atacama Large Millimeter/sub-millimeter Array (ALMA), an international partnership of Europe, North America and East Asia in cooperation with the Republic of Chile, is the largest astronomical project in existence. ALMA is a single telescope of revolutionary design, composed of 66 high precision antennas located on the Chajnantor Plateau at an altitude of 5,000 meters in northern Chile.

