Verslag vergadering Vendelinus 8 april 2017

Op deze zonnige namiddag trakteerde Rosa voor haar verjaardag. Proficiat! We verwelkomden ook voor het eerst Beatrice Heinze.

Emergente gravitatie volgens Verlinde

Bart Buelens

In het najaar van 2016 publiceerde prof. Eric Verlinde van de Universiteit van Amsterdam een artikel waarin hij een nieuwe theorie over zwaartekracht uit de doeken doet. In 2010 had hij de aanzet daartoe al gegeven in een ander artikel. Zijn theorie is bekend onder de naam “emergent gravity”, wat ik hier maar vertaal als “emergente gravitatie”. In deze presentatie heb ik een poging gedaan deze theorie uit te leggen, zonder daarom alle details ervan zelf volledig te doorgronden.

Verlinde bouwt voort op ideeën die de laatste decennia door anderen zijn ontwikkeld, in verschillende deelgebieden van de fysica. Ten eerste, het werk van Hawking en Bekenstein over de entropie van zwarte gaten, en het inzicht dat die entropie verband houdt met de waarnemingshorizon, die op zijn beurt weer bepaald wordt door de massa van een zwart gat. De massa bepaalt echter ook de zwaartekracht in de buurt van een zwart gat. Later is aangetoond dat de vergelijkingen van de algemene relativiteitstheorie afgeleid kunnen worden in termen van entropie. Ten tweede baseert Verlinde zich op de snaartheorie, waar in de jaren 1990 kwantummechanische beschrijvingen van zwarte gaten zijn opgesteld en waarbij zwaartekracht als het ware ontstaat, of tevoorschijn komt, op macroscopische schaal: gravitatie als emergent fenomeen. Ten derde is er het holografisch principe van Gerard ’t Hooft, dat stelt dat alle informatie in een ruimte, en bij uitbreiding in het heelal, beschreven kan worden op een schil eromheen, een beetje zoals een hologram.

Door het combineren, aanpassen en vervolledigen van deze ideeën komt Verlinde tot zijn theorie. Volgens hem is gravitatie een fenomeen dat ontstaat uit de kwantumentropie van de ruimte, die beschreven wordt in termen van

kwantumbits. En dat niet alleen bij zwarte gaten, maar overal en universeel. Elke aanwezige massa vergroot de entropie en daarmee de gravitatie. Bovendien formuleert hij een uitbreiding van het holografisch principe, waarbij een rol is weggelegd voor donkere energie: de onbekende kracht die het heelal versneld doet uitdijen. Donkere energie vergroot de entropie en levert daardoor een bijdrage aan de gravitatie.

Deze theorie is tamelijk alomvattend en lost meerdere mysteries in de natuurkunde tegelijk op. Een belangrijk aspect is dat deze theorie donkere materie overbodig maakt. Donkere materie is ingevoerd als idee om rotatiecurves van sterrenstelsels te verklaren, maar het bestaan van donkere materie is nog niet experimenteel bevestigd. Volgens Verlinde bestaat donkere materie niet en is de zoektocht ernaar nodeloos. Daarnaast verenigt Verlinde het concept van gravitatie met de kwantummechanica. Algemeen werd (of wordt…) gravitatie beschouwd als een van de vier fundamentele krachten, naast sterke en zwakke kernkracht, en elektromagnetisme. Doordat gravitatie geen fundamentele kracht is volgens Verlinde, maar ontstaat uit andere verschijnselen, zijn er nog maar drie fundamentele krachten over, en die blijken in staat gravitatie te doen ontstaan als bijkomend verschijnsel. Tenslotte heeft in de nieuwe theorie donkere energie een rol, namelijk het leveren van een bijdrage aan de entropie en daardoor aan de grootte van de zwaartekracht.

Elke goede theorie moet zich in de praktijk bewijzen. De theorie van Verlinde verklaart de rotatiecurves van sterrenstelsels, het effect van gravitatielenzen, en wie weet nog wel andere observaties, zoals de recente vaststelling dat oude sterrenstelsels langzamer roteren dan jongere. Er zijn echter ook waarnemingen die door de concurrent donkere materie wel goed beschreven worden, maar nog niet zijn uitgewerkt door Verlinde. Bijvoorbeeld bepaalde patronen in de kosmische achtergrondstraling, of gevallen met een complexe massaverdeling die niet sferisch-symmetrisch is, zoals in ons eigen zonnestelsel, of in de bekende bullet-cluster.

Het laatste woord hierover is nog niet gezegd. Momenteel lopen er experimenten die tientallen miljoenen euro’s kosten, om donkere materie te detecteren. Een futiele zaak? Of gaan ze toch iets vinden en daarmee Verlinde’s artikelen naar de prullenmand verwijzen? Afwachten maar.

De presentatie die ik heb gehouden is hier terug te vinden:

https://speakerdeck.com/bbuelens

Tony wist nog mee te delen dat Erik Verlinde komt spreken bij Studium Generale in Maastricht, in oktober 2017.



Sterrenkundereis Chili

23 februari - 6 maart 2017

Met Govert Schilling en Marieke Baan

Deel 1**: Martin Bas**

Atacama woestijn in het noorden van Chili

- 970 km lange, droge woestijn met een oppervlakte van 105.000 km^2
- Er valt gemiddeld minder dan 5 mm neerslag per jaar.
- Quillagua zou de droogste plek op aarde zijn (sinds 1970 slechts 3x regen).

- Dit klimaat is een gevolg van:

de koude Humboldtstroom en het hoge kustgebergte langs de westkust
de natuurlijke barrière van het Andesgebergte in het oosten





San Pedro de Atacama



- Oase in de Atacama woestijn
- 2.500 m boven zeeniveau

- ca. 6.000 inwoners
- oorspronkelijke bewoners waren de atacameños waarvan de oorsprong teruggaat tot het jaar 500 n.c.
- nu een toeristische trekpleister en startpunt van vele excursies



Omgeving van San Pedro de Atacama



de Atacama zoutvlakte (3.000 km^2 groot)





Valle de Marte





Kristallisatie door de regenval



Valle De La Luna



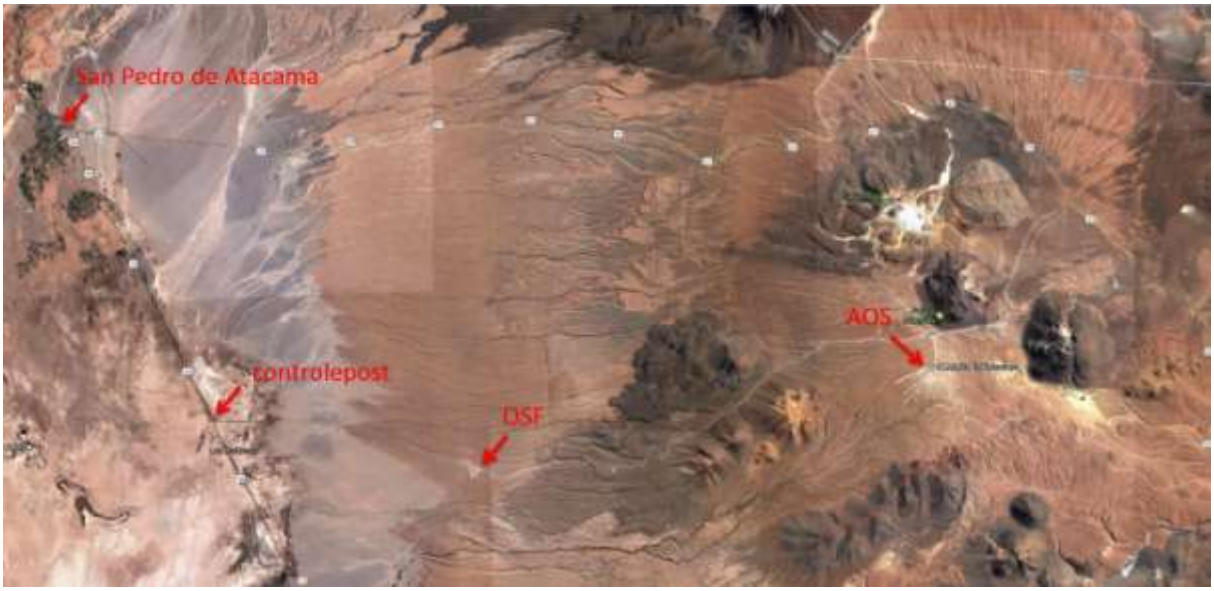
Chili landschap





Bezoek ALMA

Atacama Large Millimeter Array



OSF = Operations Support Facility

AOS = Array Operations Site





Aanmelden + Paspoortcontrole



Medische verklaring

Instructiefilm

Chajnantor hoogvlakte gehuld in de wolken (5.000 m hoogte)

Het OSF op 2.900 m hoogte.





Medische controle

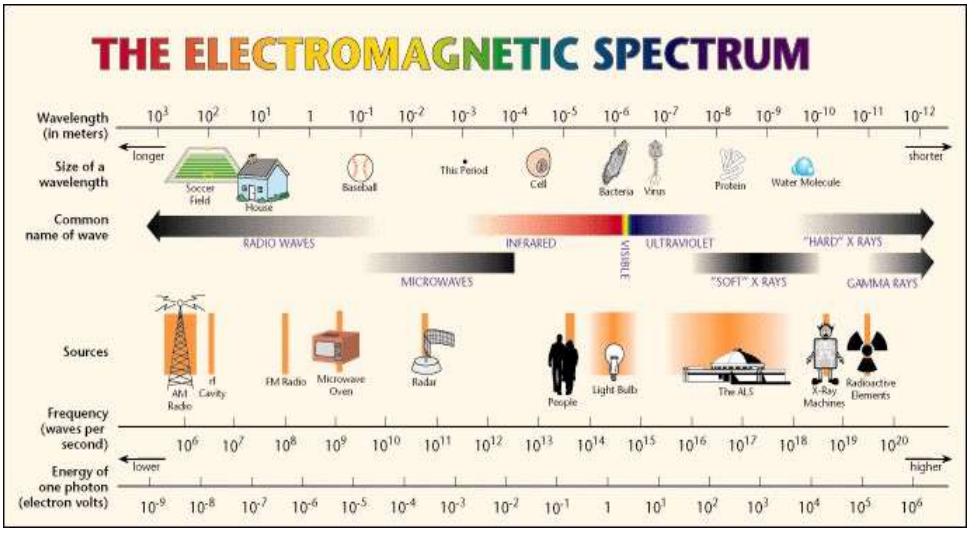
- bloeddruk
- hartslag
- zuurstofopname

Gevaren van werken op 5.000 m hoogte.



- schadelijke UV-straling
  Daarom:
    - tal van dispensers met zonnebrandcrème factor 50+
    - beschermende zonnebrillen ter beschikking
    - slechts beperkte tijd blootgesteld aan UV
    -
- 50% lagere luchtdruk
  waardoor het bloed minder zuurstof opneemt
- 50% minder zuurstof in de lucht
  dit verhoogt het gevaar op hoogteziekte
    - hoofdpijn
    - duizeligheid
    - misselijkheid
    - futloosheid
    - verlies van coördinatie
    - hallucinaties

  Daarom: extra zuurstof (draagbare zuurstoffles)



Met de ALMA kan men de straling van de koudste objecten in het heelal waarnemen.

Die straling heeft een golflengte van ongeveer één millimeter en wordt mm- of submillimeter straling genoemd (0,3 – 3,6 mm).

Dit is het gebied tussen IR en microgolfstraling, met frequenties tussen 84 GHz en 950 GHz.

Astronomen kunnen zo de chemische en fysische omstandigheden in moleculaire wolken onderzoeken (stervomingsgebieden, protoplanetaire schijven, enz.).

Men kan er echter ook jets bij zwarte gaten of onze eigen zon mee onder de loep nemen.

Omdat deze straling sterk geabsorbeerd wordt door de waterdamp in de aardatmosfeer, heeft men ALMA hier op deze hoge en droge locatie gebouwd.

Kostprijs: 1,4 à 1,5 miljard $

Voorbeeld





Centaurus A stelsel in zichtbaar licht (La Silla) en gezien door ALMA

De resolutie (oplossend vermogen) van een telescoop wordt bepaald door de golflengte van het signaal en de diameter van de telescoop.

Zo heeft bv. de Hubble telescoop (zichtbaar licht) een resolutie van:

$$\theta \approx 1.22\frac{\lambda}{D} \approx 1.22 \times \frac{500\,\text{nm}}{2.4\,\text{m}} \approx 0{,}000014^\circ \approx 0{,}05''$$

De golflengte van submillimeter golven zijn echter veel groter (ca. factor 2.000).

Om dezelfde resolutie te behouden als die van de Hubble, heeft men bijgevolg een

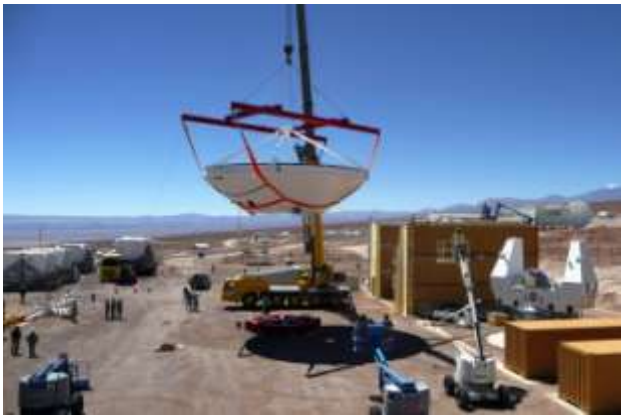
radioantenne nodig van 2,4 x 2.000 = 4.800 m ! Hetgeen onmogelijk is natuurlijk.

Om deze reden gaat men met meerdere antennes werken, waarvan men de “beelden” samenvoegt d.m.v. interferometrie. Hiermee is een resolutie van 0,01” mogelijk.

ALMA bestaat uit 66 verplaatsbare antennes.

- 25 antennes (diameter 12 m) gebouwd door het Europees consortium
- 25 antennes (diameter 12 m) gebouwd door Noord Amerika
- 4 antennes (12 m) en 12 antennes (7m) door een Aziatisch consortium.

Deze laatsten vormen het ACA (Atacama Compact Array), een vaste configuratie, waarmee grote-schaal structuren worden geobserveerd.



De schotels werden allemaal in het basisstation geassembleerd (bouwpakket) over een periode van 5 jaar (2008 - 2013).

Elke schotel weegt ca. 115 Ton.

Per schotel waren 2 weken nodig voor de bouw, waarna men nog eens een maand nodig had voor het testen van de elektronische apparatuur.





De basis van de schotel is vervaardigd uit met koolstofvezel versterkte kunststof (carbon fiber).



De hoofdreflector bestaat uit afzonderlijke panelen van met rhodium gecoated nikkel.

De AEM (Europese schotel) bestaat uit 120 panelen van elk ca. 1 m^2 oppervlakte, verdeeld over 5 cirkels.

De nauwkeurigheid van de parabool bedraagt 20 μm over het hele oppervlak.







Voor het transport van de antennes maakt men gebruik van 2 transporters: Otto en Lore.

Gewicht: 130 Ton

Lengte: 20 m; Breedte: 10 m; Hoogte: 6 m

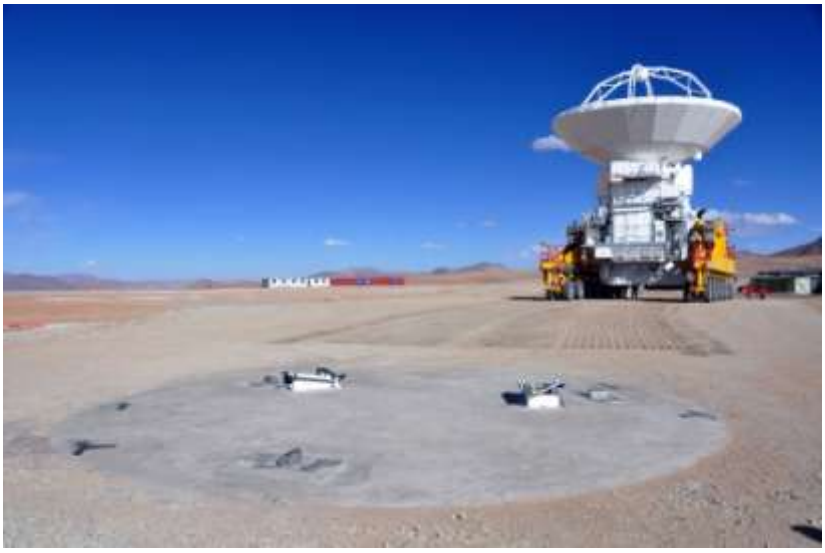
Aangedreven door 2 dieselmotoren van 500 kW

Uitgerust met 14 paar onafhankelijke wielen

Max. snelheid 20 km/u

Snelheid tijdens transport 5 km/u







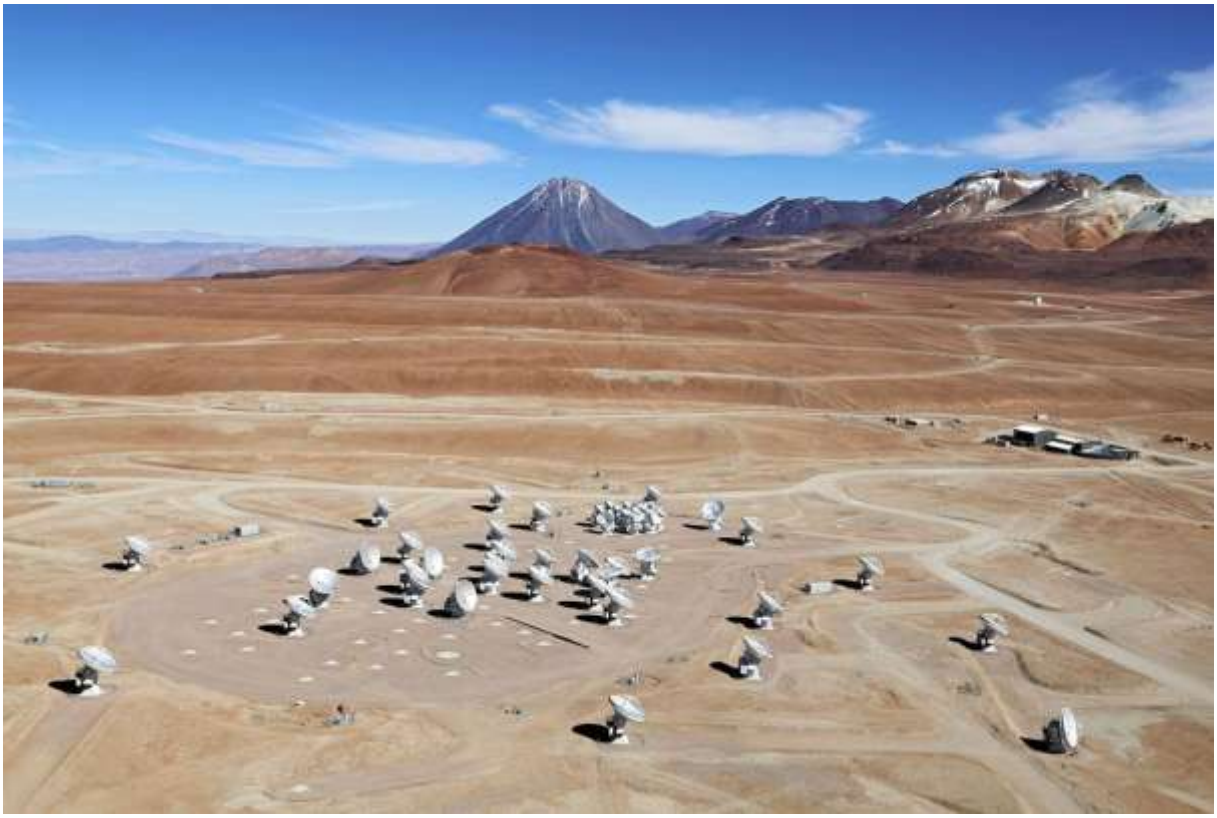


De antennes worden met de transporters naar de Chajnantor hoogvlakte gereden en kunnen daar verspreid opgesteld worden, gaande van zéér dicht bij elkaar (150 m) tot heel ver uit elkaar (18 km).

Daarvoor zijn er 192 betonnen funderingen, voorzien van aansluitpunten voor energie, sturing en datatransport.

Om de informatie van al deze antennes te kunnen samenvoegen, moet de positie van elke antenne en de lengte van de aangesloten glasvezelkabel met een nauwkeurigheid kleiner dan de golflengte van het ontvangen sub-mm signaal gekend zijn.

Door de antennes op verschillende gekende heldere bronnen aan de hemel te richten en de verschuivingen tussen de signalen van elke antenne te meten, kan men het geheel toch exact callibreren



Signaalverwerking



Het radiosignaal komt via de parabolische schotel en de secundaire spiegel op één van de ontvangers achter de schotel terecht.

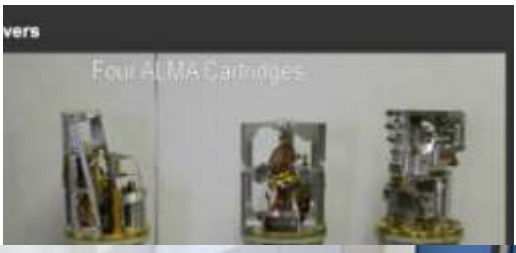
Deze ontvangers bevinden zich in wat men de cryostaat noemt en die gekoeld wordt tot 4 K.

De cryostaat kan max. 10 ontvangers bevatten (elk voor een andere frequentieband).

The 10 Frequency Bands of the ALMA antennas

ALMA Band	Frequency Range (GHz)	Receiver Noise (K) over 80% of the RF band	Temperature (K) at any RF Frequency	To be produced by	Receiver Technology
1	31 - 45	17	26	tbd	HEMT
2	67 - 90	30	47	tbd	HEMT
3	84 - 116	37	60	HIA	SIS
4	125 - 163	51	82	NAOJ	SIS
5*	162 - 211	65	105	OSO	SIS
6	211 - 275	83	136	NRAO	SIS
7	275 - 373	147	219	IRAM	
8	385 - 500	196	292	NAOJ	
9	602 - 720	175	261	NOVA	
10	787 - 950	230	344	NAOJ	

tbd: to be decided
IRAM: Institut de Radio Astronomie Millimétrique (Grenoble, France)
HIA: Herzberg Institute of Astrophysics (Victoria, Canada)
NAOJ: National Astronomical Observatory of Japan (Mitaka, Japan)
NOVA: Nederlandse Onderzoekschool voor Astronomie (Groningen, the Netherlands)
NRAO: National Radio Astronomy Observatory (Charlottesville, USA)
OSO: Onsala Space Observatory/Chalmers University (Onsala, Sweden)
* EU FP6 receivers from Onsala



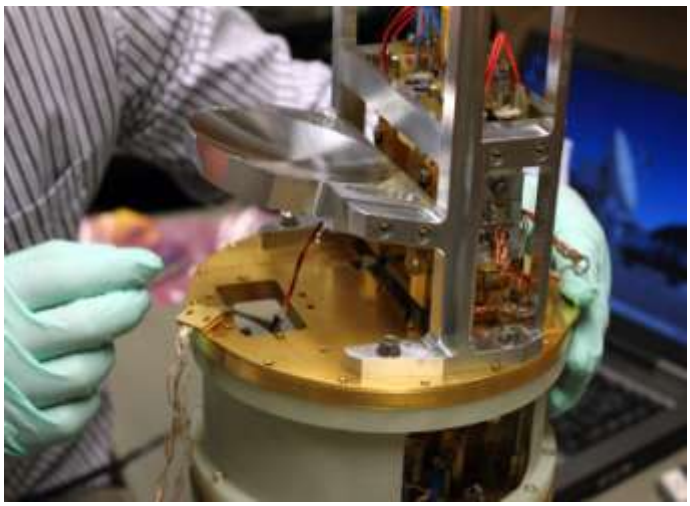


- Men kan maar 1 frequentieband tegelijkertijd ontvangen (deze wordt via de secundaire spiegel op de juiste ontvanger gericht).
- Ook al is de lucht hier zeer droog toch moet men met behulp van waterdamp radiometers (WVRs) de fluctuaties van de atmosferische waterdamp nauwkeurig meten en corrigeren om afwijkingen tussen de verschillende antennes te vermijden.
- Beste waarnemingsperiode is van mei tot september.
- Het signaal wordt vervolgens in de “back end” omgezet naar een lagere frequentie (<15 GHz) en geconverteerd naar een digitaal signaal dat via glasvezels kan worden verstuurd naar de centrale verwerkingseenheid (correlator).

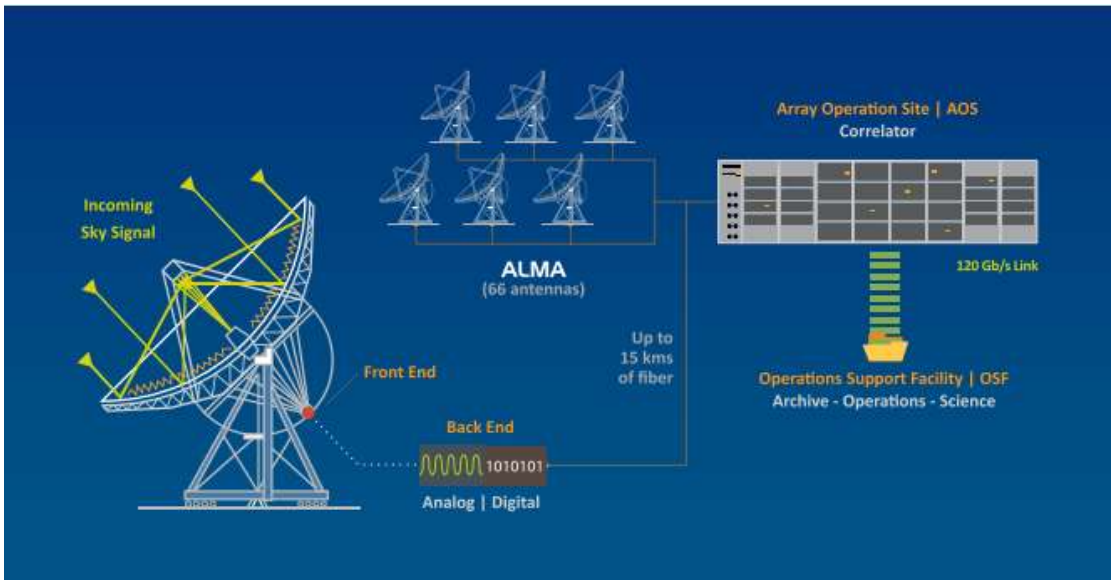
In het labo (clean room) wordt alles nauwkeurig afgesteld.







Overzicht signaaltransport



Op 5.000 m bevindt zich ook de technische ruimte die de correlator huisvest.



Deze supercomputer verzamelt de informatie van elke antenne en combineert die met die van elke andere antenne.

- 134 miljoen processors
- 17 biljard bewerkingen per seconde
- totaal energieverbruik 130 kW
- lucht is zo ijl dat er een 2x zo sterke luchtstroom nodig is voor de koeling
- kan geen gebruik maken van draaiende harde schijven (onvoldoende luchtkussen tussen de schijf en lees/schrijfkop)

Bestaat eigenlijk uit 2 sub-correlators die zowel apart als simultaan kunnen werken:

- BLC (baseline correlator) van het hoofd-array, waarop 64 antennes aangesloten kunnen worden met 2.016 antennepaar combinaties.
- ACA correlator van het compact-array (16 antennes en 120 combinaties).

De Controlekamer





Astronomen, operatoren en programmeurs werken hier de klok rond.

In 2016 werd hier 50 TB aan data verzameld.

De data wordt via snelle glasvezelverbindingen naar de drie regionale centra (ARC's) in Europa, Amerika en Japan verstuurd.

Men verwacht dat de hoeveelheid data de komende jaren zal toenemen tot 200 TB/Y.

Toekomst ?

Momenteel zijn er testen om de ALMA telescoop in te passen in een wereldwijd netwerk van radiotelescopen (Global mm-VLBI Array), met ALMA als grootste en meest gevoelige instrument, om zo een virtuele telescoop met de omvang van de aarde te bekomen.

VLBI = Very Long Baseline Interferometry

De eerste testen zijn veelbelovend, zo kon men samen met de 30-meter radiotelescoop in Sierra Nevada Spanje de quasar 3C 273 simultaan waarnemen en combineren in één enkel beeld met een resolutie van 34 microboogseconden (komt overeen met een scheiding van 10 cm op de maan gezien vanaf de aarde).

