

ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับ **ดาราศาสตร์วิทยุ** และ

กล้องโทรทรรศน์วิทยุ



: ปวีณ โชคนุญล

ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับ ดาราศาสตร์วิทยุ และ
กล้องโทรทรรศน์วิทยุ

ปวีณ โชคนุกูล

คำนำ

หนังสือเล่มนี้จัดทำขึ้นเพื่อเป็นแหล่งข้อมูลความรู้ภาษาไทยเกี่ยวกับ ดาราศาสตร์วิทยุ ที่ เป็นความรู้แขนงหนึ่งที่ศึกษาเกี่ยวกับปรากฏการณ์ วัตถุ และสิ่งต่าง ๆ ในอวกาศ ที่แผ่คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าย่านความถี่วิทยุ และกล้องโทรทรรศน์วิทยุที่เป็นเครื่องมือสำคัญสำหรับใช้สังเกตการณ์ ดาราศาสตร์วิทยุ ให้แก่ นักเรียน นิสิต นักศึกษา และผู้สนใจโดยทั่วไป ที่สามารถอ่านศึกษาทำความเข้าใจและเรียนรู้ด้วยตนเองได้ เพื่อสร้างพื้นฐานความรู้ความเข้าใจเกี่ยวกับ กล้องโทรทรรศน์วิทยุ และดาราศาสตร์วิทยุ เพื่อเป็นประโยชน์ต่อการค้นคว้าเพิ่มเติม หรือเพื่อนำไปประยุกต์ใช้พัฒนาที่เกี่ยวข้องกับ กล้องโทรทรรศน์วิทยุ และการสังเกตการณ์ ดาราศาสตร์วิทยุ ได้

ปวิณ โชคนุกูล

สารบัญ

บทที่	เรื่อง	หน้า
	ปกใน	ii
	คำนำ	iii
1.	บทนำ	1
	1.1 การค้นพบ การกำเนิด และประวัติ ของดาราศาสตร์วิทยุ	2
	1.2 ดาราศาสตร์วิทยุและกล้องโทรทรรศน์วิทยุ ในปัจจุบัน	8
	1.3 กล้องโทรทรรศน์อวกาศ	34
	1.4 ภาพที่รับได้จากกล้องโทรทรรศน์	40
	1.5 หน่วยเบื้องต้นที่ใช้ในทางดาราศาสตร์วิทยุ	43
2.	คุณสมบัติทั่วไปของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า และการแผ่รังสี	44
	2.1 สมการคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า และโพลาไรเซชันของคลื่น	44
	2.2 การแผ่รังสีของวัตถุดำ	56
	2.3 ความเข้มและความสว่าง จำเพาะ	61
	2.4 การถ่ายโอนรังสี	64
	2.5 การแผ่รังสี แบบฟรี-ฟรี และ แบบซินโครตรอน	72
	2.6 การกระเจิงของคอมป์ตันแบบผกผัน	99
3.	การแพร่กระจายคลื่นวิทยุ	101
	3.1 ดัชนีการหักเหของตัวกลาง	101
	3.2 การหมุนของฟาราเดย์	104
	3.3 การเป็นปรายกระยับ	108
	3.4 การแพร่กระจายคลื่นวิทยุในชั้นบรรยากาศโลก	113

สารบัญ (ต่อ 1)

บทที่	เรื่อง	หน้า
4.	การรับสัญญาณวิทยุจากอวกาศ	122
4.1	สัญญาณรบกวนแบบสุ่มเกาส์เซียน	122
4.2	อุณหภูมิความสว่าง และ ความหนาแน่นฟลักซ์	125
4.3	อุณหภูมิ สายอากาศ	132
5.	เครื่องวัดคลื่นวิทยุ	144
5.1	พื้นฐานเครื่องวัดคลื่นวิทยุ	144
5.2	การตรวจจับและรวม สัญญาณ	149
5.3	สัญญาณหลังการตรวจจับ	152
5.4	อุณหภูมิสัญญาณรบกวนของระบบ	161
5.5	เครื่องรับสัญญาณแบบเฮเทอโรไดน์	166
5.6	การแปรผันของอัตราขยายและการแกว่ง	171
6.	เครื่องวัดสเปกตรัม และเครื่องวัดโฟลาไรซ์	174
6.1	เครื่องวัดสเปกตรัม	174
6.2	เครื่องวัดสเปกตรัม แบบสหสัมพันธ์อัตโนมัติ	178
6.3	เครื่องวัดสเปกตรัม แบบสหสัมพันธ์อัตโนมัติ ดิจิตอล	186
6.4	การวัดการหมุนของระนาบโพลาไรเซชันของคลื่นวิทยุ	191
6.5	ตัวแปรของสโตกส์	191
6.6	โพลาไรซ์ของการป้อนด้วยท่อนำคลื่น	202
6.7	พื้นฐานเครื่องวัดโพลาไรซ์	205

สารบัญ (ต่อ 2)

บทที่	เรื่อง	หน้า
7.	พื้นฐานสายอากาศ ของกล้องโทรทรรศน์วิทยุ	207
7.1	พื้นฐาน สายอากาศไดโพล สายอากาศโมโนโพล สายอากาศปากแตร และสายอากาศแถบความถี่กว้าง	207
7.2	สายอากาศเฟสอาร์เรย์	225
7.3	ลำคลื่นของสายอากาศ	227
7.4	กล้องโทรทรรศน์ที่ปรับทิศทางการรับสัญญาณได้บางส่วน	241
7.5	กล้องโทรทรรศน์ที่ปรับทิศทางการรับสัญญาณได้	241
7.6	อาร์เรย์ของระนาบโฟกัส	243
8.	การรับสัญญาณวิทยุด้วยเทคนิคการแทรกสอด	244
8.1	พื้นฐานอินเตอร์เฟอโรมิเตอร์สององค์ประกอบ	248
8.2	แบนด์วิดท์ที่จำกัด	265
8.3	พื้นฐานของตำแหน่งการวัด	270
8.4	การจัดการกับขนาดของแหล่งกำเนิดที่จำกัด	274
8.5	การมองเห็น ฟังก์ชันการมองเห็น และคุณสมบัติพื้นฐานของฟังก์ชันการมองเห็น	288
8.6	อินเตอร์เฟอโรมิทรี่ ในสองมิติ	295
8.7	ความสอดคล้องกันของสัญญาณ	304
8.8	อินเตอร์เฟอโรมิเตอร์หลายองค์ประกอบ	310
8.9	เทคนิคอินเตอร์เฟอโรมิทรืกรอื่น ๆ	348
9.	ดวงอาทิตย์และดาวเคราะห์ในระบบสุริยะ	354

สารบัญ (ต่อ 3)

บทที่	เรื่อง	หน้า
10.	ดาวฤกษ์ ดาวเคราะห์ ดาว โนวา โนวาซ้ำ ซูเปอร์โนวา ซากซูเปอร์ โนวา ระบบดาวคู่ ดาวแปรแสง บริเวณเอช 2 เคอซาร์ ไมโครเคอซาร์ หลุมดำ เบลซาร์ กาแล็กซีเซย์เฟิร์ต กาแล็กซีวิทยุ ดาวหาง และเนบิวลา	359
11.	พัลซาร์	401
12.	แอ็กทิฟกาแล็กซี	413
13.	กาแล็กซีทางช้างเผือก	416
14.	ประเด็นทางดาราศาสตร์อื่น ๆ : คลื่นความโน้มถ่วง เลนส์ความโน้มถ่วง สสารมืด การขยายตัวของจักรวาล รังสีไมโครเวฟพื้นหลังของเอกภพ	421
15.	บทสรุป	438
	รายการอ้างอิง	440

บทที่ 1 บทนำ

ดาราศาสตร์วิทยุ เป็นความรู้แขนงหนึ่งของฟิสิกส์สาขาดาราศาสตร์ ที่ศึกษาเกี่ยวกับ ปรากฏการณ์ วัตถุ และสิ่งต่าง ๆ ในอวกาศ ที่แผ่คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าในย่านความถี่วิทยุ โดยใช้กล้องโทรทรรศน์วิทยุเป็นเครื่องมือสำคัญในการสังเกตการณ์

ซึ่งกล้องโทรทรรศน์วิทยุแบบจานสะท้อนจะประกอบด้วย (1) จานสะท้อนสัญญาณ (2) อุปกรณ์รับสัญญาณ เป็นส่วนที่ทำหน้าที่รับสัญญาณวิทยุจากจานสะท้อนที่มาจากอวกาศ ซึ่งจะแปลงคลื่นวิทยุที่รับได้ไปเป็นสัญญาณแรงดันไฟฟ้าด้วยสายอากาศประเภทต่าง ๆ ตามความถี่ของคลื่นวิทยุที่จะทำการรับ โดยจะระบุความเข้มอ่อนของสัญญาณวิทยุที่รับได้ได้ อุปกรณ์นี้มีหลายประเภทตามช่วงความถี่ที่ทำการตรวจวัดรับสัญญาณ ทั้งนี้ส่วนรับสัญญาณนี้อาจประกอบด้วยสายอากาศจำนวนหลายอันเพื่อให้สามารถรับสัญญาณได้ช่วงความถี่กว้างก็ได้ (3) เครื่องขยายสัญญาณ ทำหน้าที่ขยายขนาดของสัญญาณที่รับได้ให้มีค่าสูงขึ้นเพื่อให้ง่ายต่อการแสดงผลที่จอภาพ (4) ส่วนแปลงสัญญาณ เป็นส่วนที่ทำหน้าที่แปลงคลื่นวิทยุที่รับได้นี้เป็นข้อมูลดิจิทัล ด้วยการเข้ารหัส โดยจะแปลงข้อมูลดิจิทัลที่ได้เป็นภาพที่เกิดจากตารางสีเหลี่ยมของข้อมูลพิกเซลเพื่อแสดงผล ซึ่งอาจเป็นภาพขาวดำหรือสเกลสีเทาที่มีความเข้มอ่อนในแต่ละส่วนของพิกเซลของภาพต่างกัน ซึ่งเมื่อรวมทุกพิกเซลเข้าด้วยกันก็จะเป็นภาพที่รับได้ หรืออาจเป็นภาพสีแบบที่ตามองเห็นโดยใช้การประมวลผลสี แปลงข้อมูลดิจิทัลที่แทนสัญญาณวิทยุความยาวคลื่นต่าง ๆ เป็นสีแบบที่ตามองเห็น ก็จะทำให้ได้ภาพที่รับได้เป็นภาพสีที่ดูสวยงามและดูง่าย ทั้งนี้ภาพขาวดำ 1 พิกเซลจะแทนด้วยข้อมูล 8 บิต ส่วนกรณีภาพสี (RGB) 1 พิกเซลจะแทนด้วยข้อมูล 24 บิต (5) สายส่งข้อมูล ทำหน้าที่ส่งสัญญาณข้อมูลไปยังเครื่องบันทึกข้อมูลหรือคอมพิวเตอร์ (6) เครื่องบันทึกข้อมูลหรือคอมพิวเตอร์ (7) จอภาพแสดงผล

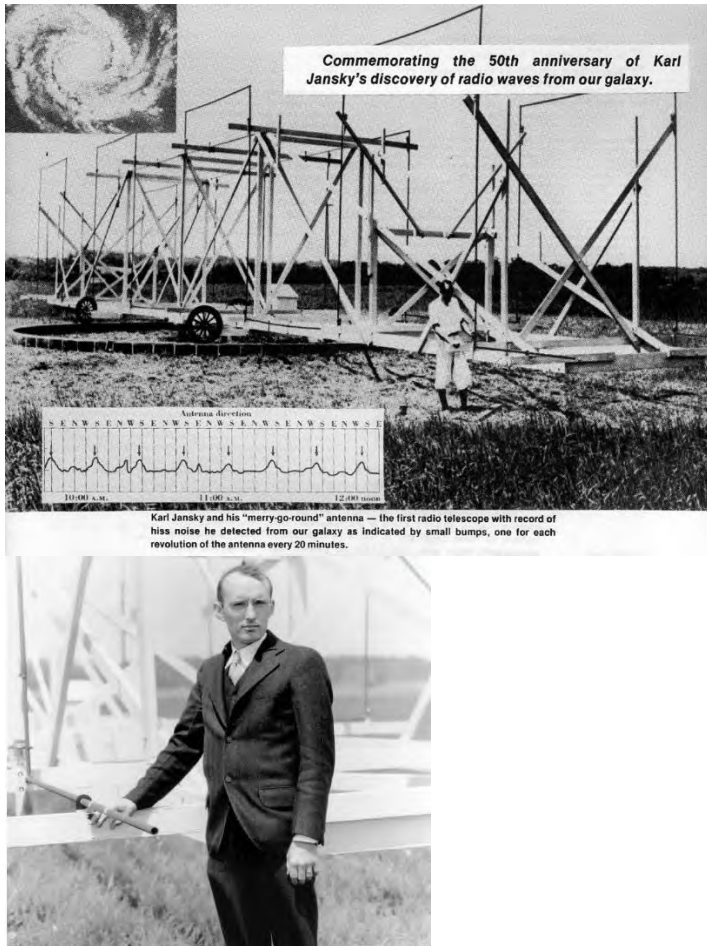
ทั้งนี้แหล่งกำเนิดคลื่นวิทยุในอวกาศมีหลายประเภทตัวอย่างเช่น ดาวพฤหัสบดี (Jupiter) ดาวฤกษ์ (Stellar) เนบิวลา (Nebular) ดาวนิวตรอน (Neutron star) หลุมดำ (Black hole) ดาวหาง (Comet) ดาวแคระขาว (White dwarf) ซากซูเปอร์โนวา (Supernova remnant) พัลซาร์ (Pulsar) ควาซาร์ (Quasar) เบลซาร์ (Blazar) กาแล็กซีวิทยุ (Radio galaxy) กาแล็กซีเซย์เฟิร์ต (Seyfert galaxy) (ศูนย์บริการวิชาการและสื่อสารทางดาราศาสตร์, 2563)

1.1 การค้นพบ การกำเนิด และประวัติ ของดาราศาสตร์วิทยุ

(Karttunen, Kröger, Oja, Poutanen, & Donner, 2017 ; Burke, Graham-Smith, & Wilkinson, 2019; Pannuti, 2020)

ประวัติของดาราศาสตร์วิทยุ เริ่มจาก คาร์ล แจนสกี (Karl Jansky) วิศวกรวิทยุชาวอเมริกันที่ทำงานที่ห้องปฏิบัติการโทรศัพท์เบล (The Bell Telephone Laboratories) ซึ่งมีหน้าที่ในการระบุแหล่งกำเนิดของสัญญาณวิทยุที่ส่งผลกระทบต่อสื่อสารด้วยคลื่นวิทยุข้าม มหาสมุทรแอตแลนติก ซึ่งในปี 1932 ขณะที่เขากำลังศึกษาการรบกวนของฝนฟ้าคะนองต่อการสื่อสารวิทยุที่ความถี่ 20.5 MHz เขาค้นพบว่ามึคลื่นวิทยุที่ปลดปล่อยออกมาจากแหล่งกำเนิดที่ไม่ทราบ ซึ่งจะมีการเปลี่ยนแปลงภายในระยะเวลา 24 ชั่วโมง

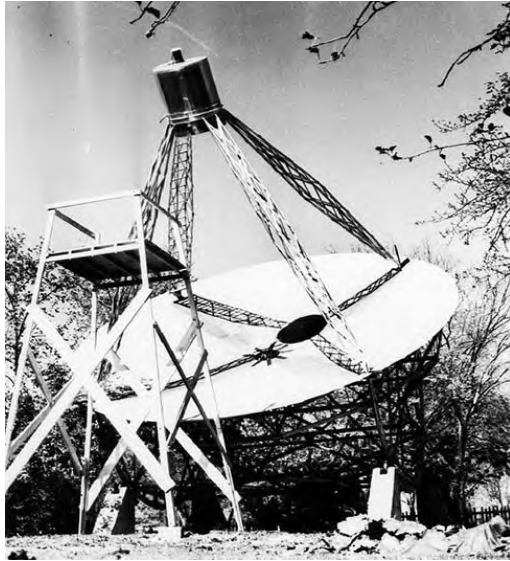
หลังจากนั้นต่อมาในปี 1935 เขาได้ค้นพบคลื่นวิทยุที่แผ่จากกาแล็กซีทางช้างเผือก ในขณะที่เขาได้ทำการตรวจสอบที่มาของสัญญาณรบกวนวิทยุเป็นช่วง ๆ ที่เป็นข้อจำกัดของการสื่อสารด้วยคลื่นวิทยุในสมัยนั้น คาร์ล แจนสกี ได้สรุปว่ากาแล็กซีทางช้างเผือก นั่นเองที่เป็นแหล่งกำเนิดหลักที่สร้างสัญญาณรบกวนวิทยุที่รบกวนระบบสื่อสารด้วยวิทยุ



ภาพที่ 1.1 คาร์ล แจนสกี และสายอากาศ

ที่มา: Ohio State University Radio Observatory and
North American AstroPhysical Observatory (2008)
Britannica (2024)

จากนั้นในปี 1937 โกรท รีเบอร์(Grote Reber) ได้สร้าง กล้องโทรทรรศน์วิทยุงานสะท้อนเพื่อตรวจสอบการแผ่คลื่นวิทยุจากกาแล็กซีทางช้างเผือกขึ้นเป็นครั้งแรก ดังภาพ 1.1



ภาพที่ 1.2 กล้องโทรทรรศน์วิทยุอันแรกที่ถูกสร้างโดย โกรท รีเบอร์
ในปี 1937

ที่มา: Lockman (2017)

จากนั้นในปี 1942 เจมส์ เฮ (James Hey) ได้ตรวจพบการแผ่คลื่นวิทยุจากดวงอาทิตย์ขึ้นเป็นครั้งแรก

จากนั้นในปี 1948 จอห์น โบลตัน (John Bolton) ได้ตรวจพบการแผ่คลื่นวิทยุจาก ทอรัสเอ (Taurus A) หรือเนบิวลาปู (The Crab Nebula) และจากแคสซิโอเปีย (Cassiopeia A) ในขณะที่ มาร์ติน ไรล์ (Martin Ryle) และ (Graham Smith) เกรแฮม สมิธ ตรวจจพบ ซากซูเปอร์โนวาที่มีอายุไม่มากของการระเบิดซูเปอร์โนวา

จากนั้นในปี 1951 ได้มีการค้นพบ เทคนิคสเปกโทรสโคปีวิทยุ ในประเทศสหรัฐอเมริกา เนเธอร์แลนด์ และออสเตรเลีย ซึ่งเทคนิคนี้ได้สร้างความเข้าใจเกี่ยวกับโครงสร้างของกาแล็กซีทางช้างเผือกและกาแล็กซีอื่น ๆ ให้เพิ่มมากขึ้น

จากนั้นในปี 1954 การพัฒนาเทคนิคอินเทอร์เฟอโรมิเตอร์ (Interferometer techniques) ใน ออสเตรเลีย และ สหราชอาณาจักร นำไปสู่การระบุตำแหน่งที่ถูกต้องของกาแล็กซีวิทยุเช่น ซิกนัสเอ (Cygnus A)

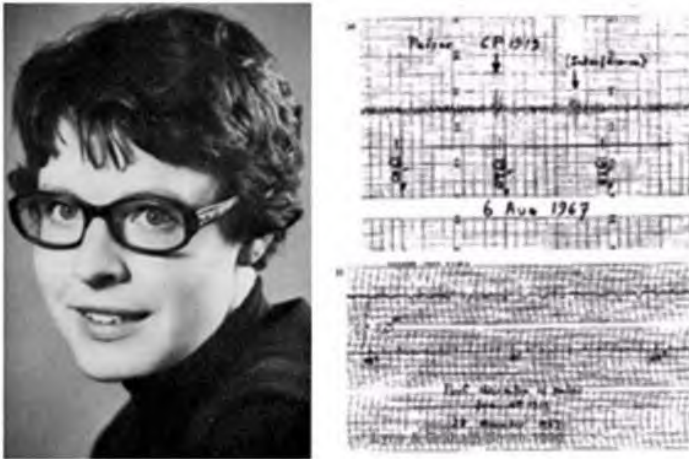
จากนั้นในปี 1958 ได้เกิดข้อเสนอแนะว่า การศึกษาดาราศาสตร์วิทยุ เป็นสิ่งที่สนับสนุนต่อความรู้เกี่ยวกับจักรวาลวิทยา ขึ้นเป็นครั้งแรก

จากนั้นในปี 1962 มาร์ติน ไรล์ (Martin Ryle) ได้พัฒนาเทคนิคการสังเคราะห์ช่องเปิด ในขณะที่ เฮนรี พาลเมอร์ (Henry Palmer) ได้พัฒนาการเชื่อมโยงวิทยุสำหรับเส้นฐานระยะไกล ที่ โจเดรลล์ แบงค์ (Jodrell Bank) ซึ่งสิ่งนี้ได้กลายเป็นหลักการสำคัญของกล้องโทรทรรศน์วิทยุสมัยใหม่ที่ครอบคลุมสเปกตรัมวิทยุทั้งหมดที่มีอยู่

จากนั้นในปี 1965 อาร์โน เพนเซียส (Arno Penzias) และ บ็อบ วิลสัน (Bob Wilson) ได้ค้นพบ รังสีไมโครเวฟพื้นหลังของเอกภพ (The cosmic microwave background : CMB) ที่ห้องปฏิบัติการโทรศัพท์เบล

จากนั้นในปี 1966 โจเซลีน เบลล์ (Jocelyn Bell) และ แอนโทนี เฮวิช (Antony Hewish) ได้ค้นพบพัลซาร์ จากการสำรวจแหล่งกำเนิดคลื่นวิทยุต่อเนื่อง

จากนั้นในช่วงปี 1970, 1980, 1990, 2000 หลังจากนั้น ได้มีการใช้เทคโนโลยีสมัยใหม่กับการรับสัญญาณวิทยุของกล้องโทรทรรศน์วิทยุเช่น เทคนิคการแทรกสอดของสัญญาณ โดยมีการใช้กล้องโทรทรรศน์วิทยุหลายตัวร่วมกันรับสัญญาณวิทยุเพื่อสร้างภาพ การใช้เทคนิคอาร์เรย์ของกล้องโทรทรรศน์วิทยุ การใช้กล้องโทรทรรศน์วิทยุหลายตัวร่วมกันข้ามทวีปรับสัญญาณ การใช้งานสะท้อนสัญญาณวิทยุขนาดใหญ่เพื่อรับสัญญาณเช่น กล้องโทรทรรศน์วิทยุฟาสต์



ภาพที่ 1.3 โจเซลีน เบลล์ (Jocelyn Bell) และข้อมูลดั้งเดิมที่บันทึกได้
ซึ่งนำไปสู่การค้นพบ พัลซาร์

ที่มา: PARI (2024)

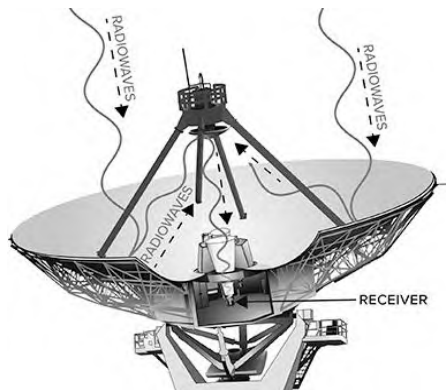
Lesson Five: The Discovery of the Pulsar

<http://campus.pari.edu/radiosky/lessons/pulsars/02.shtml>

1.2 ดาราศาสตร์วิทยุและกล้องโทรทรรศน์วิทยุ ในปัจจุบัน

(Carroll & Ostlie, 2017; Karttunen, Kröger, Oja, Poutanen, & Donner, 2017)

ทุกวันนี้ดาราศาสตร์วิทยุมีบทบาทสำคัญเป็นอย่างมากในการตรวจสอบสเปกตรัมคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าจากอวกาศ โดยกล้องโทรทรรศน์วิทยุจะเก็บรวบรวมคลื่นวิทยุในช่องเปิดหรือสายอากาศ ซึ่งงานพาราโบลาของกล้องโทรทรรศน์วิทยุจะสะท้อนคลื่นวิทยุที่เดินทางมาจากแหล่งกำเนิดไปยังปากแตรที่อยู่ตำแหน่งโฟกัสของสายอากาศแล้วจึงถ่ายโอนสัญญาณวิทยุไปยังอุปกรณ์รับสัญญาณที่มีความไวสูงที่เรียกว่าเครื่องวัดวิทยุ (Radiometer) ซึ่งจะทำการแปลงคลื่นวิทยุที่รับได้ไปเป็นสัญญาณไฟฟ้าจากนั้นสัญญาณจะถูกขยาย แล้วตรวจจذب รวบรวม และทำการสร้างแผนที่วิทยุของท้องฟ้าบนส่วนแสดงผลซึ่งได้แก่เครื่องคอมพิวเตอร์



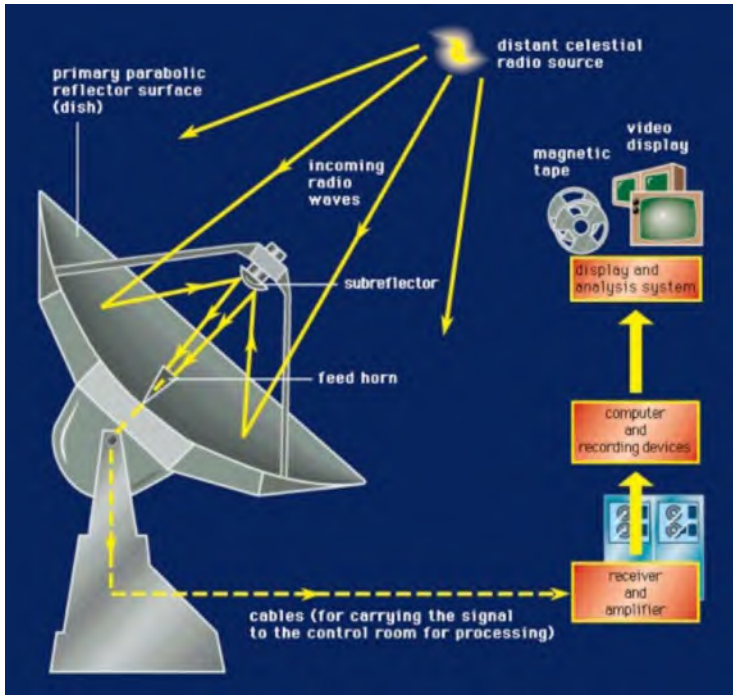
ภาพที่ 1.4 การเดินทางของคลื่นวิทยุจากอวกาศมายังจานรับสัญญาณ

ที่มา: Cambridge University Press (2024)

Appendix A - Radio Astronomy: Telescopes

<https://www.cambridge.org/core/books/alma-telescope/radio-astronomy/3B7A00AB13295CFEB06272845037E758>

ส่วนประกอบของกล้องโทรทรรศน์วิทยุงานสะท้อนอย่างง่ายจะเป็นดังนี้

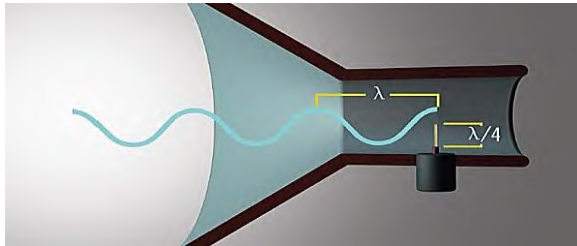


ภาพที่ 1.5 ส่วนประกอบของกล้องโทรทรรศน์วิทยุงานสะท้อนอย่างง่าย
ที่มา: Jeltema (2024)

Radio Telescopes – Basic Design

<https://scipp.ucsc.edu/~tesla/lecture15.pdf>

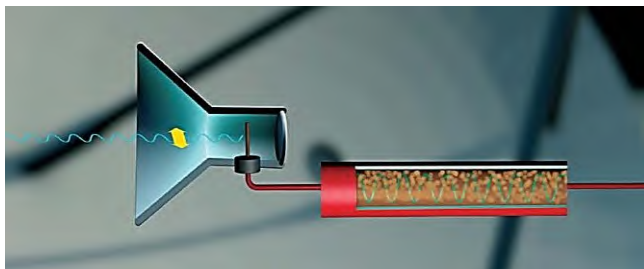
ตัวอย่างอย่างง่ายแสดง การรับสัญญาณวิทยุคลื่นความถี่เดียวด้วยสายอากาศโมโนโพลในปากแตร



ภาพที่ 1.6 การรับสัญญาณวิทยุคลื่นความถี่เดียวด้วยสายอากาศโมโนโพลในปากแตร

ที่มา: Lockman (2017)

สัญญาณวิทยุที่เดินทางมากกระทบสายอากาศโมโนโพลในปากแตร ที่ทำจากทองแดงหรืออะลูมิเนียมซึ่งมีอิเล็กตรอนอิสระจำนวนมาก จะทำให้อิเล็กตรอนเกิดการไหลเกิดเป็นสัญญาณแรงดันไฟฟ้าในสายนำสัญญาณ



ภาพที่ 1.7 การแปลงสัญญาณวิทยุเป็นแรงดันไฟฟ้า

ที่มา: Lockman (2017)

สำหรับ สายอากาศและส่วนรับสัญญาณวิทยุ ของกล้องโทรทรรศน์วิทยุ
จานสะท้อน รวมไปถึงห้องเก็บอุปกรณ์รับสัญญาณวิทยุ จะเป็นดังนี้



Gregorian Receiver Room

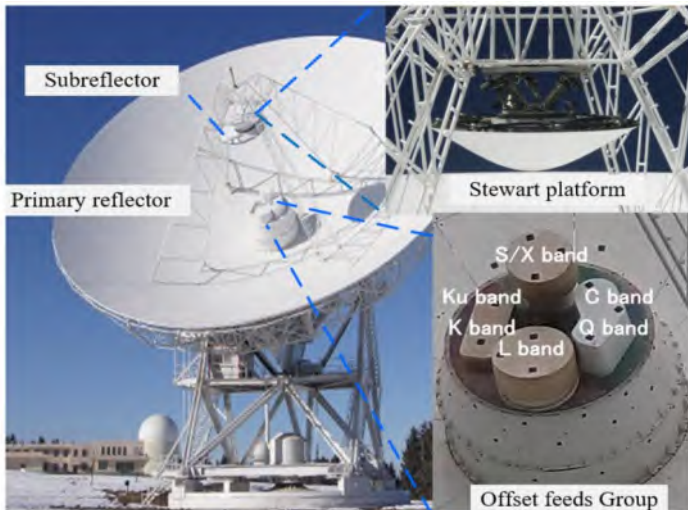


ภาพที่ 1.8 สายอากาศ ส่วนรับสัญญาณวิทยุ และห้องรับสัญญาณวิทยุ
ของกล้องโทรทรรศน์วิทยุจานสะท้อน

ที่มา: Leeuwen (2017)

[https://www.astron.nl/astrowiki/lib/exe/fetch.php?media=ra_uva:
2017:ra_uva_lecture5.pdf](https://www.astron.nl/astrowiki/lib/exe/fetch.php?media=ra_uva:2017:ra_uva_lecture5.pdf)

จานสะท้อนหลัก จานสะท้อนรอง และสายอากาศรับสัญญาณหลายช่วงความถี่ ของกล้องโทรทรรศน์วิทยุจานสะท้อน

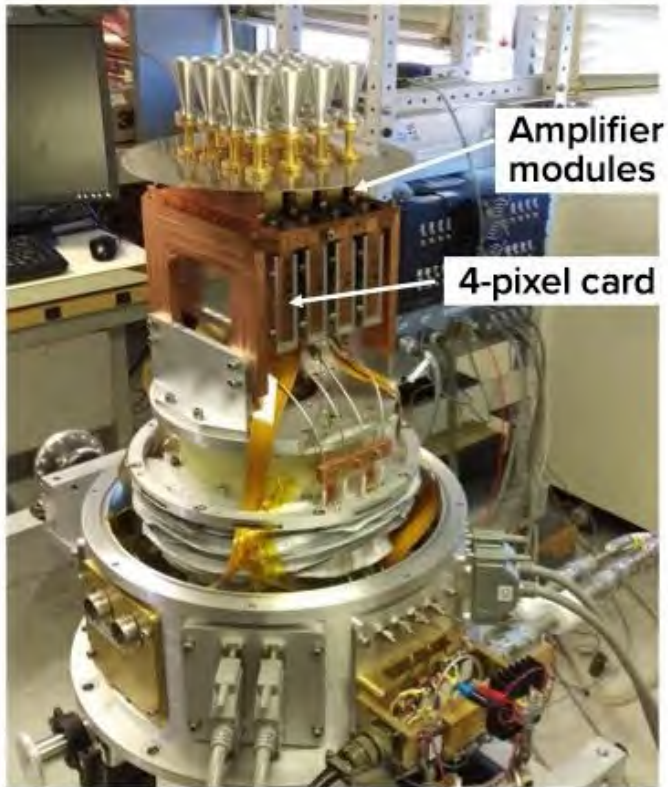


ภาพที่ 1.9 จานสะท้อนหลัก จานสะท้อนรอง และสายอากาศรับสัญญาณหลายช่วงความถี่

ที่มา: ResearchGate (2024)

https://www.researchgate.net/figure/The-NSRT-employs-a-Stewart-platform-as-a-subreflector-positioner_fig1_342778244

สายอากาศและส่วนรับสัญญาณวิทยุ ของกล้องโทรทรรศน์วิทยุจานสะท้อน



ภาพที่ 1.10 สายอากาศและส่วนรับสัญญาณวิทยุ ของกล้องโทรทรรศน์วิทยุ
จานสะท้อน

ที่มา: Green Bank Observatory (2024)

The Argus144 Project at the GBT

<https://greenbankobservatory.org/science-old/instruments-2020-2030/argus144/>

สายอากาศและส่วนรับสัญญาณวิทยุ ของกล้องโทรทรรศน์วิทยุจานสะท้อน
อาตากามา



ภาพที่ 1.11 สายอากาศและส่วนรับสัญญาณวิทยุ ของกล้องโทรทรรศน์วิทยุ
จานสะท้อน อาตากามา

ที่มา: The National Radio Astronomy Observatory (2024)

ALMA's Most Scientifically Productive Receiver Will Soon See
Further than Ever Before

<https://public.nrao.edu/news/alma-band-6-upgrade/>

ห้องเก็บอุปกรณ์รับสัญญาณของกล้องโทรทรรศน์วิทยุกรีนแบงก์

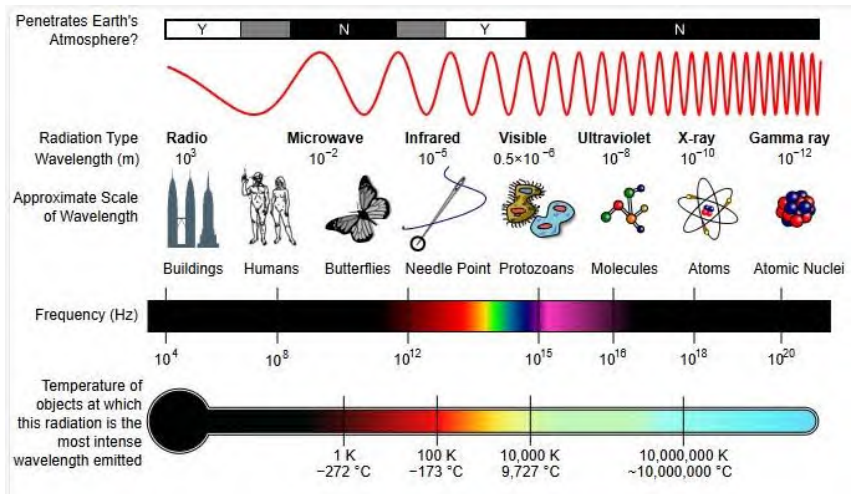


ภาพที่ 1.12 ห้องอุปกรณ์รับสัญญาณของกล้องโทรทรรศน์วิทยุกรีนแบงก์
ที่มา: Frayer (2024)

“Tracing the Signal”: Heterodyne Techniques and IF Systems in
Radio Astronomy

<https://greenbankobservatory.org/wp-content/uploads/2020/06/Tracing-the-Signal.pdf>

สเปกตรัมของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าตามความยาวคลื่นและความถี่จะเป็นดังนี้



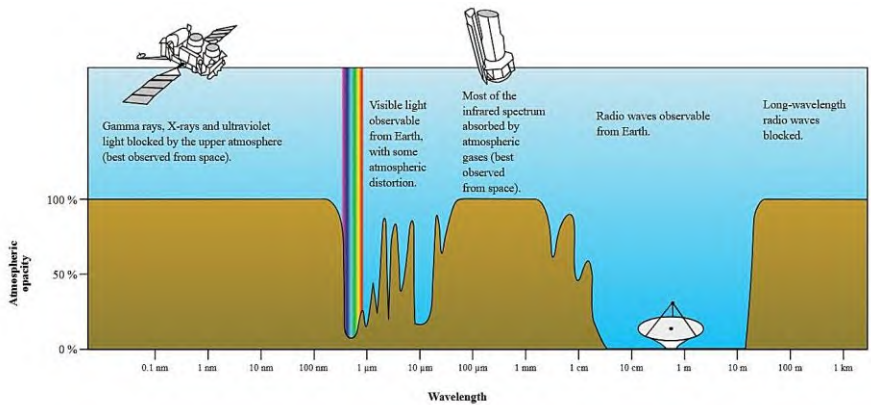
ภาพที่ 1.13 สเปกตรัมของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าตามความยาวคลื่นและความถี่
ที่มา: Wikipedia (2024)

Electromagnetic spectrum: A diagram of the electromagnetic spectrum, showing various properties across the range of frequencies and wavelengths

[https://en.wikipedia.org/wiki/Electromagnetic_spectrum#/media/](https://en.wikipedia.org/wiki/Electromagnetic_spectrum#/media/File:EM_Spectrum_Properties_edit.svg)

File:EM_Spectrum_Properties_edit.svg

คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าช่วงความยาวคลื่นได้แก่ แสงที่ตามองเห็นและคลื่นวิทยุ สามารถผ่านชั้นบรรยากาศและเดินทางมาถึงพื้นโลกได้ ในขณะที่คลื่นพลังงานสูงได้แก่ รังสีแกมมา, รังสีเอ็กซ์ และรังสีอัลตราไวโอเลต จะอยู่แค่ในชั้นบรรยากาศโลกไม่เดินทางมาถึงพื้นโลก ส่วนรังสีอินฟราเรดช่วงกลางและคลื่นวิทยุความยาวคลื่นสั้นจะถูกดูดกลืนโดย น้ำ ออกซิเจน และคาร์บอนไดออกไซด์ในชั้นบรรยากาศ นอกจากนั้นคลื่นวิทยุช่วงความยาวคลื่นยาวจะถูกดูดกลืนหรือสะท้อนกลับไปในอวกาศด้วยบรรยากาศชั้นไอโอโนสเฟียร์ ดังนั้นที่พื้นโลกจึงสามารถใช้กล้องโทรทรรศน์วิทยุและกล้องโทรทรรศน์เชิงแสง รับสัญญาณคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าช่วงความยาวคลื่นนี้ได้ ส่วนการรับ รังสีอินฟราเรด รังสีเหนือม่วง แสงที่ตามองเห็น รังสีเอ็กซ์ รังสีแกมมา สามารถทำได้ทั้งชั้นบรรยากาศส่วนบน หรือในอวกาศ โดยใช้กล้องโทรทรรศน์อวกาศ

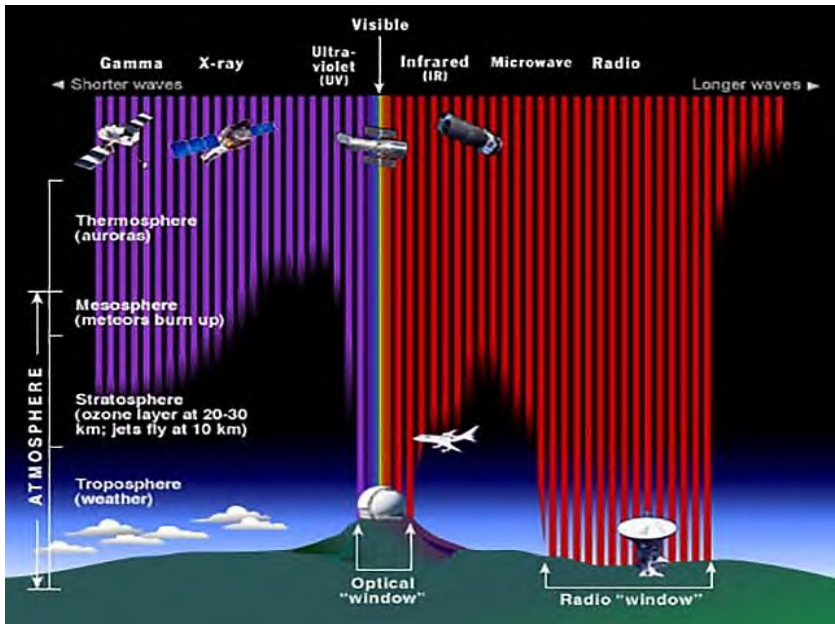


ภาพที่ 1.14 หน้าต่างวิทยุ-ช่วงความยาวคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่เดินทางมาถึงพื้นผิวโลกได้

ที่มา: Wikipedia (2024) ; Radio window

https://en.wikipedia.org/wiki/Radio_window

ช่วงความยาวคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่เดินทางมาถึงพื้นผิวโลกได้
หน้าต่างวิทยุและหน้าต่างแสง



ภาพที่ 1.15 ช่วงความยาวคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่เดินทางมาถึงพื้นผิวโลกได้
ที่มา: Space Telescope Science Institute (2005)

U.Mars — Encyclopedia: Telescopes: Limitations on Seeing

https://theastroventure.com/encyclopedia/unit1/u1p07_telescopes/seeing.html

ทั้งนี้งานพาราโบลาของกล้องโทรทรรศน์วิทยุจะทำหน้าที่สะท้อนสัญญาณวิทยุจากแหล่งกำเนิดในอวกาศที่มากกระทบจานไปที่สายอากาศรับสัญญาณ หลังจากนั้นสัญญาณวิทยุจะถูกขยายและดำเนินการต่อไปจนได้ภาพที่รับได้

ซึ่งความแรงของสัญญาณวิทยุจากแหล่งกำเนิดสัญญาณในอวกาศ จะนิยามวัดในรูปของ ความหนาแน่นฟลักซ์สเปกทรัล (Spectral flux density: $S(\nu)$) ซึ่งเป็นปริมาณของพลังงานต่อวินาที หรือเป็นปริมาณของพลังงานต่อหน่วยช่วงความถี่ที่ตกกระทบหน่วยพื้นที่ของกล้องโทรทรรศน์วิทยุ โดยปริมาณทั้งหมดของพลังงานต่อวินาทีที่เป็นกำลังที่ถูกเก็บรวบรวมโดยเครื่องรับสัญญาณ สเปกตรัมฟลักซ์จะต้องถูกอินทิเกรตตลอดทั่วพื้นที่ที่กล้องโทรทรรศน์วิทยุเก็บรวบรวม และตลอดทั่วช่วงความถี่ที่ตัวตรวจจذبรับรู้ได้ซึ่งเรียกว่า แบนด์วิดท์(Bandwidth) โดย f_ν คือฟังก์ชันที่อธิบายประสิทธิภาพของตัวตรวจจذبที่ความถี่ ν ดังนั้นปริมาณของพลังงานที่ถูกตรวจจذبต่อวินาทีจึงกลายเป็น

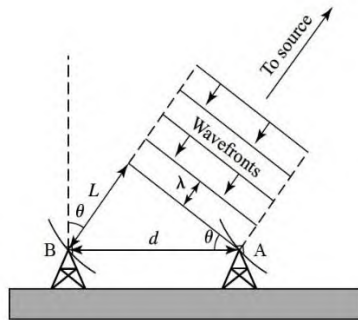
$$P = \iint_{A \nu} S(\nu) f_\nu d\nu dA \quad (1.1)$$

ทั้งนี้กรณีที่ตัวตรวจจذبมีประสิทธิภาพ 100 % ตลอดทั่วช่วงความถี่ $\Delta\nu$ และ $S(\nu)$ มีค่าคงที่ตลอดทั่วทั้งช่วง และ A คือพื้นที่ประสิทธิภาพของช่องเปิด ปริมาณของพลังงานที่ถูกตรวจจذبต่อวินาที จะกลายเป็น

$$P = S A \Delta\nu \quad (1.2)$$

ตามปกติแหล่งกำเนิดคลื่นวิทยุในอวกาศจะมี ความหนาแน่น ฟลักซ์สเปกตรัล $S(\nu)$ บนลำดับของ 1 แจนสกี(jansky: Jy) เมื่อ $1 \text{ Jy} = 10^{-26} \text{ W m}^{-2} \text{ Hz}^{-1}$ ซึ่งความหนาแน่นฟลักซ์สเปกตรัลที่มีค่าหลาย mJy ไม่ใช่สิ่งที่แปลกแต่อย่างใด อย่างไรก็ตามในกรณีที่แหล่งกำเนิดสัญญาณวิทยุมีกำลังอ่อน การใช้ช่องเปิดขนาดใหญ่ในการรับเก็บรวบรวมสัญญาณอาจเป็นสิ่งที่จำเป็น ทั้งนี้ก็เพื่อให้สัญญาณมีขนาดใหญ่เพียงพอที่จะสามารถตรวจจับหรือวัดได้

ทั้งนี้เพื่อปรับปรุงความละเอียดของภาพที่รับได้ให้มีความละเอียดมากขึ้น เทคนิคการแทรกสอดของสัญญาณโดยใช้กล้องโทรทรรศน์วิทยุตั้งแต่สองตัวขึ้นไปจึงถูกนำมาใช้



ภาพที่ 1.16 เทคนิคการแทรกสอดของกล้องโทรทรรศน์วิทยุจำนวน 2 ตัว
ที่มา: Carroll and Ostlie (2017)

กล้องโทรทรรศน์วิทยุจำนวน 2 ตัว ถูกตั้งแยกกันด้วยระยะเส้นฐาน d โดยที่ระยะจากกล้องโทรทรรศน์วิทยุ B ไปยังแหล่งกำเนิดจะมีค่ามากกว่า ระยะทางจากกล้องโทรทรรศน์วิทยุ A ไปยังแหล่งกำเนิดด้วยจำนวน L ซึ่ง หน้าคลื่นวิทยุจะมาถึง กล้องโทรทรรศน์วิทยุ B หลังมาถึง กล้องโทรทรรศน์ วิทยุ A

สำหรับกรณีที่สัญญาณจากทั้งสองกล้องโทรทรรศน์มีเฟสตรงกัน (In phase) สัญญาณทั้งสองนี้จะแทรกสอดแบบเสริมกันเกิดเป็นสัญญาณ ใหม่ที่มีแอมพลิจูดสูงขึ้นกว่าเดิม เมื่อ

$$L = n\lambda \quad \text{เมื่อ } n = 0, 1, 2, \dots \quad (1.3)$$

สำหรับกรณีที่สัญญาณจากทั้งสองกล้องโทรทรรศน์มีเฟสตรงกันข้าม กัน (Out of phase) สัญญาณทั้งสองนี้จะแทรกสอดแบบหักล้างกันเกิดเป็น สัญญาณใหม่ที่มีแอมพลิจูดเกือบเป็นศูนย์ เมื่อ

$$L = \left(n - \frac{1}{2}\right)\lambda \quad \text{เมื่อ } n = 0, 1, 2, \dots \quad (1.4)$$

เมื่อ มุม θ มีความสัมพันธ์กับค่า d และ L ดังนี้

$$\sin \theta = \frac{L}{d} \quad (1.5)$$

ซึ่งเพื่อเพิ่มความละเอียดของภาพให้มากขึ้น เทคนิคการแทรกสอดด้วยระยะห่างระหว่างสายอากาศที่ยาวมาก (Very long baseline interferometry: VLBI) จึงถูกนำมาใช้บนขนาดตามพื้นที่ของทวีป หรือระหว่างทวีป โดยที่ข้อมูลจะถูกเก็บบันทึกที่บนสถานที่หนึ่งและถูกส่งไปยังตำแหน่งส่วนกลางเพื่อทำการประมวลผลในช่วงเวลาต่อมา ทั้งนี้การสังเกตจะต้องทำพร้อมกัน โดยเวลาที่แน่นอนของการได้รับข้อมูลจะถูกทำการบันทึก

กล้องโทรทรรศน์วิทยุแบบอาร์เรย์ขนาดใหญ่มาก (Very Large Array: VLA) เป็นกล้องโทรทรรศน์ที่ตั้งอยู่ที่ตำแหน่งใกล้กับเมืองโซคอร์โร รัฐนิวเม็กซิโก ของสหรัฐอเมริกา ซึ่งประกอบด้วยกล้องโทรทรรศน์วิทยุจำนวน 27 ตัว จัดเรียงตัวด้วยรูปร่างแบบตัว Y โดยมีเส้นผ่านศูนย์กลางรูปร่างมากที่สุดขนาด 27 กิโลเมตร โดยที่แต่ละจานสายอากาศของกล้องโทรทรรศน์วิทยุจะมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 25 เมตร ที่ใช้เครื่องรับสัญญาณที่มีความไวที่หลากหลายความถี่ ซึ่งสัญญาณจากกล้องโทรทรรศน์แต่ละตัวจะถูกรวมเข้าด้วยกัน แล้วจึงถูกวิเคราะห์ด้วยเครื่องคอมพิวเตอร์เพื่อสร้างภาพแผนที่ของท้องฟ้าที่มีความละเอียดสูง (คมชัด)

กล้องโทรทรรศน์วิทยุแบบอาร์เรย์ขนาดใหญ่มากถูกขยาย (Expanded Very Large Array: EVLA) เป็นกล้องโทรทรรศน์วิทยุสร้างขึ้นจากหน่วยงาน หอดูดาวดาราศาสตร์วิทยุแห่งชาติ (The National Radio Astronomy Observatory :NRAO) ของสหรัฐอเมริกา โดยในงานในระยะแรก จะทำการสร้างเครื่องรับสัญญาณใหม่ที่มีความไวสูงหลายเครื่อง โดยใช้สายเคเบิลแบบเส้นใยนำแสงเชื่อมต่อระหว่างกล้องโทรทรรศน์วิทยุแต่ละตัว และมีระบบควบคุมกล้องโทรทรรศน์และซอฟต์แวร์ที่ทันสมัยมีความสามารถในการคำนวณ ส่วนงานในระยะที่สอง จะทำการเพิ่มการ

เชื่อมต่อจากกล้องโทรทรรศน์วิทยุตัวใหม่จำนวน 8 ตัว ที่ตั้งอยู่ทั่วรัฐนิวเม็กซิโก เข้ากับกล้องโทรทรรศน์วิทยุหลักทั้ง 27 ตัว ด้วยระยะห่างระหว่างกล้องโทรทรรศน์มากถึง 350 กิโลเมตร จะทำให้ระบบกล้องโทรทรรศน์วิทยุมีความละเอียดหรือความคมชัดสูงขึ้น ซึ่งปัจจุบันกล้องโทรทรรศน์วิทยุแบบอาร์เรย์ขนาดใหญ่มากมีความไวแหล่งกำเนิดแบบจุดเท่ากับ $10 \mu\text{y}$ ด้วยความละเอียดที่ความถี่สูง 381 Hz และความละเอียดเชิงพื้นที่ที่ความถี่ 5 GHz เท่ากับ 0.4 Arc second ซึ่งหลังจากการดำเนินงานในระยะที่สองเสร็จ ระบบกล้องโทรทรรศน์วิทยุแบบอาร์เรย์ขนาดใหญ่มากถูกขยาย จะมีความไวของแหล่งกำเนิดจุด $0.6 \mu\text{y}$ ด้วยความละเอียดที่ความถี่สูง 0.12 Hz และมีความละเอียดเชิงพื้นที่ที่ความถี่ 5 GHz เท่ากับ 0.04 Arc second ซึ่งจะทำให้ระบบมีประสิทธิภาพสูงขึ้น

กล้องโทรทรรศน์วิทยุแบบอาร์เรย์ที่มีระยะห่างระหว่างสายอากาศยาวมาก (Very Long Baseline Array :VLBA) ที่สร้างขึ้นจากหน่วยงาน หอดูดาวดาราศาสตร์วิทยุแห่งชาติ (The National Radio Astronomy Observatory :NRAO) ที่ประกอบด้วยกล้องโทรทรรศน์วิทยุจำนวน 10 ตัวที่ตั้งกระจายอยู่ตลอดประเทศสหรัฐอเมริกา เกาะฮาวายและเกาะเซนต์ครอยของหมู่เกาะเวอร์จิน ของประเทศสหรัฐอเมริกา ที่มีระยะห่างระหว่างกล้องโทรทรรศน์มากถึง 8600 กิโลเมตร ด้วยความละเอียดที่ดีกว่า 0.001 Arc second

กล้องโทรทรรศน์วิทยุแบบอาร์เรย์มิลลิเมตรขนาดใหญ่อาตาคามา (Atacama Large Millimeter Array: ALMA) เป็นระบบกล้องโทรทรรศน์วิทยุที่ประกอบด้วย กล้องโทรทรรศน์วิทยุจำนวน 50 ตัว ขนาดจานสะท้อน 12 เมตร โดยที่แต่ละตัวจะมีระยะห่างระหว่างกล้องโทรทรรศน์มากกว่า 12 กิโลเมตร ตั้งอยู่บนพื้นที่ที่มีความสูง 5000 เมตร ในทะเลทรายอาตาคามา ในบริเวณ Llano de Chajnantor ทางตอนเหนือของประเทศชิลี กล้องโทรทรรศน์ อัลมาทำงานที่ความถี่ 900 GHz ถึง 70 GHz ซึ่งกล้องนี้สามารถสำรวจได้ลึกเข้าไปถึงบริเวณที่เต็มไปด้วยฝุ่นในอวกาศ ที่ซึ่งเชื่อกันว่าดวงดาวและดาวเคราะห์ถือกำเนิดขึ้น รวมไปถึงการศึกษาระยะแรกสุดของการก่อตัวของกาแล็กซี

ทั้งนี้กล้องโทรทรรศน์วิทยุบนพื้นผิวโลกที่รับสัญญาณคลื่นวิทยุ จะใช้สายอากาศรับสัญญาณแบ่งเป็น 3 กรณี ดังนี้

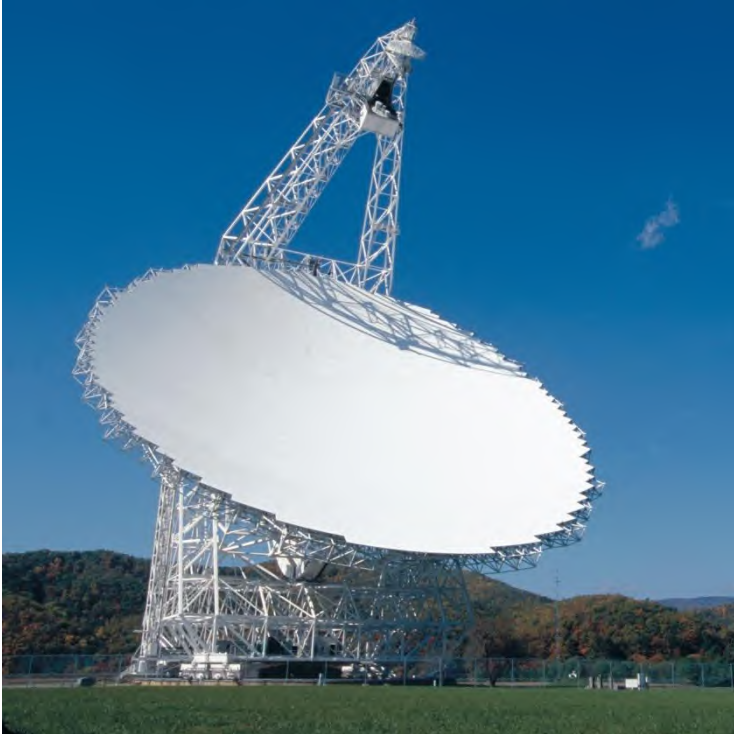
1. กรณีที่มีความยาวมากกว่า 1 เมตร จะใช้สายอากาศแบบเส้นลวด
2. กรณีที่มีความยาวน้อยกว่า 1 เมตร จะใช้สายอากาศแบบสะท้อน
3. กรณีที่มีความยาวประมาณ 1 เมตร จะใช้สายอากาศแบบผสมเช่น

ตัวสะท้อนเส้นลวด หรือป้อนด้วยเส้นลวด

ซึ่งกล้องโทรทรรศน์วิทยุอาจเป็นแบบตัวเดี่ยว

หรือใช้หลายตัวประกอบกันตั้งแต่ 2 ตัว ขึ้นไปด้วยเทคนิคการแทรกสอด

กล้องโทรทรรศน์วิทยุกรีนแบงก์ (Green Bank Telescope)



ภาพที่ 1.17 กล้องโทรทรรศน์วิทยุกรีนแบงก์ ประเทศสหรัฐอเมริกา

ขนาด 100 เมตร

ที่มา: Wikipedia (2024)

[https://en.wikipedia.org/wiki/Green_Bank_Telescope#/media/File:Green_Bank_Telescope_NRAO_\(cropped\).jpg](https://en.wikipedia.org/wiki/Green_Bank_Telescope#/media/File:Green_Bank_Telescope_NRAO_(cropped).jpg)

กล้องโทรทรรศน์วิทยุโลเวลล์ (Lovell Telescope)



ภาพที่ 1.18 กล้องโทรทรรศน์วิทยุโลเวลล์ ประเทศอังกฤษ ขนาด 76 เมตร
ที่มา: Britannica (2024)

Lovell Telescope

<https://www.britannica.com/science/radio-telescope>

กล้องโทรทรรศน์วิทยุอาเรซิโบ (Arecibo)



ภาพที่ 1.19 กล้องโทรทรรศน์วิทยุกล้องโทรทรรศน์วิทยุอาเรซิโบ

เปอร์ตริโก (Puerto Rico) ขนาด 305 เมตร

ที่มา: Britannica (2024)

<https://www.britannica.com/science/radio-telescope>

กล้องโทรทรรศน์วิทยุฟาสต์

Five-hundred-meter Aperture Spherical radio Telescope (FAST)



ภาพที่ 1.20 กล้องโทรทรรศน์วิทยุฟาสต์ ประเทศจีน ขนาด 500 เมตร

Five-hundred-meter Aperture Spherical radio Telescope (FAST)

China Built the World's Largest Telescope.

ที่มา: Wired (2024)

<https://www.wired.com/story/china-fast-worlds-largest-telescope-tourists/>

กล้องโทรทรรศน์วิทยุแบบอาร์เรย์ขนาดใหญ่มาก (Very Large Array: VLA)
เมืองโซคอร์โร รัฐนิวเม็กซิโก ของสหรัฐอเมริกา



ภาพที่ 1.21 กล้องโทรทรรศน์วิทยุแบบอาร์เรย์ขนาดใหญ่มาก
ที่มา: The National Radio Astronomy Observatory (2024)
<https://public.nrao.edu/gallery/this-is-the-vla-wye/>



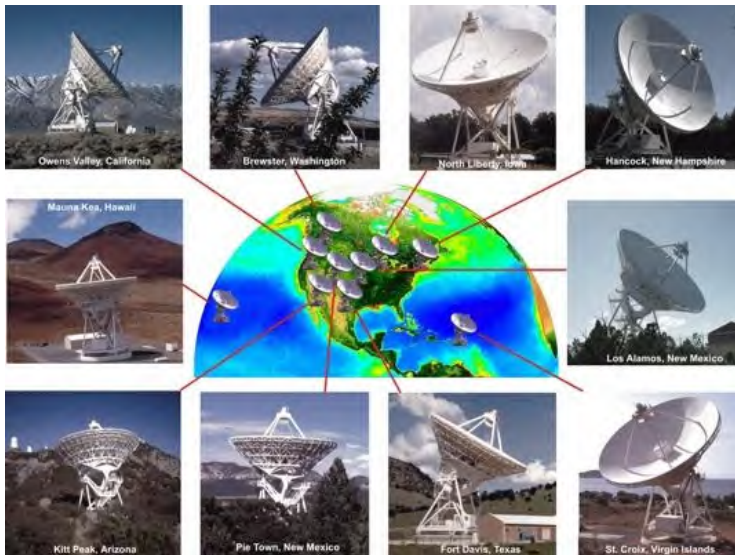
ภาพที่ 1.22 กล้องโทรทรรศน์วิทยุแบบอาร์เรย์ขนาดใหญ่มาก (2)

ที่มา: The National Radio Astronomy Observatory (2024)

Very Large Array

<https://public.nrao.edu/telescopes/vla/>

กล้องโทรทรรศน์วิทยุแบบอาร์เรย์ที่มีระยะห่างระหว่างสายอากาศยาวมาก
(Very Long Baseline Array :VLBA)



ภาพที่ 1.23 กล้องโทรทรรศน์วิทยุแบบอาร์เรย์ที่มีระยะห่างระหว่าง
สายอากาศยาวมาก

ที่มา: Swinburne University of Technology (2024)

Cosmos: Very Long Baseline Array

<https://astronomy.swin.edu.au/cosmos/v/Very+Long+Baseline+Array>

กล้องโทรทรรศน์วิทยุแบบอาร์เรย์มิลลิเมตรขนาดใหญ่อาตาคามา
(Atacama Large Millimeter Array: ALMA)



ภาพที่ 1.24 กล้องโทรทรรศน์วิทยุแบบอาร์เรย์มิลลิเมตรขนาดใหญ่
อาตาคามา (1)

ที่มา: The National Radio Astronomy Observatory (2024)

ALMA Observes More Than Ever Before

<https://public.nrao.edu/news/alma-cycle10/>



ภาพที่ 1.25 กล้องโทรทรรศน์วิทยุแบบอาร์เรย์มิลลิเมตรขนาดใหญ่
อาตากามา (2)

ที่มา: ALMA Observatory (2021)

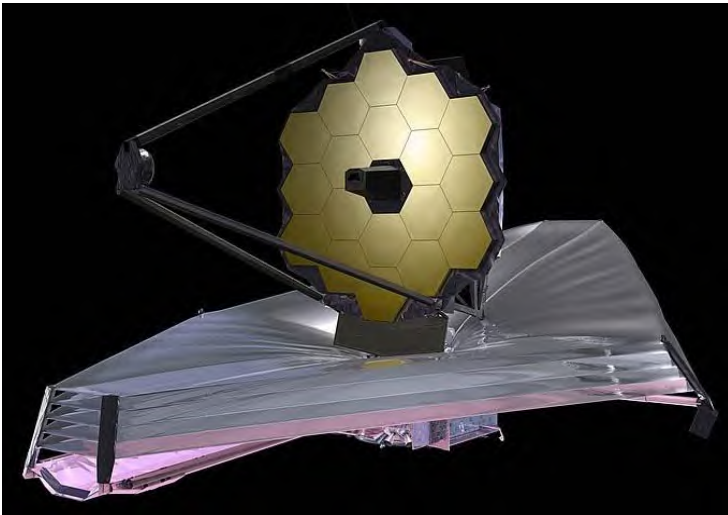
Origins

<https://www.almaobservatory.org/en/about-alma/origins/>

1.3 กล้องโทรทรรศน์อวกาศ

เป็นกล้องโทรทรรศน์ที่ตั้งอยู่ในอวกาศเหนือพื้นโลกโดยใช้รับสัญญาณแม่เหล็กไฟฟ้าในช่วงได้แก่ รังสีอินฟราเรด แสงที่ตามองเห็น รังสีอัลตราไวโอเล็ต รังสีเอ็กซ์ และรังสีแกมมา ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

กล้องโทรทรรศน์อวกาศยานรังสีอินฟราเรด



ภาพที่ 1.26 กล้องโทรทรรศน์อวกาศเจมส์ เวบบ์

(James Webb Space Telescope: JWST)

ที่มา: Wikipedia (2024)

James Webb Space Telescope

https://en.wikipedia.org/wiki/James_Webb_Space_Telescope#/media/File:James_Webb_Space_Telescope_2009_top.jpg

กล้องโทรทรรศน์อวกาศฮับเบิลที่ตามองเห็น



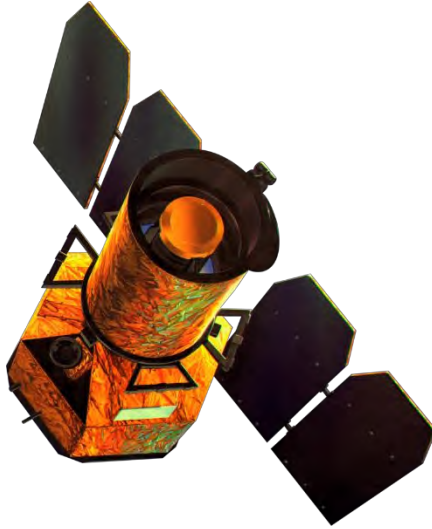
ภาพที่ 1.27 กล้องโทรทรรศน์อวกาศฮับเบิล(Hubble Space Telescope)

ที่มา: Wikipedia (2024)

Hubble Space Telescope

https://en.wikipedia.org/wiki/Hubble_Space_Telescope#/media/File:HST-SM4.jpeg

กล้องโทรทรรศน์อวกาศย่านรังสีอัลตราไวโอเล็ต

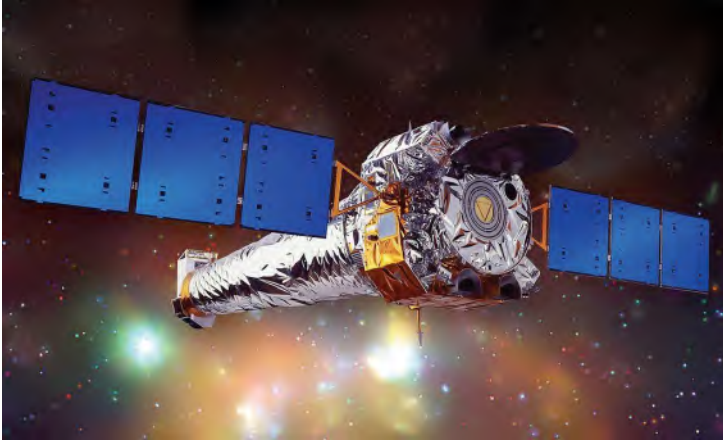


ภาพที่ 1.28 กล้องโทรทรรศน์อวกาศเกเล็กซ์

ที่มา: Wikipedia (2024) ; GALEX

https://en.wikipedia.org/wiki/GALEX#/media/File:GALEX_spacecraft_model.png

กล้องโทรทรรศน์อวกาศยานรังสีเอ็กซ์



ภาพที่ 1.29 กล้องโทรทรรศน์อวกาศจันทรา

ที่มา: Wikipedia (2024)

Chandra X-ray Observatory

https://en.wikipedia.org/wiki/Chandra_X-ray_Observatory#/media/File:Chandra_artist_illustration.jpg

กล้องโทรทรรศน์อวกาศรังสีแกมมา



ภาพที่ 1.30 กล้องโทรทรรศน์อวกาศเฟอร์มี

ที่มา: Wikipedia (2024)

Fermi Gamma-ray Space Telescope

https://en.wikipedia.org/wiki/Fermi_Gamma-ray_Space_Telescope#/media/File:Fermi_Gamma-ray_Space_Telescope_spacecraft_model.png



ภาพที่ 1.31 กล้องโทรทรรศน์อวกาศเฟอร์มิ ในห้องทดลอง
ที่มา: Wikipedia (2024)

Fermi Gamma-ray Space Telescope: Overview - Fermi on Earth, solar arrays folded

[https://en.wikipedia.org/wiki/Fermi_Gamma-ray_Space_Telescope#/media/File:](https://en.wikipedia.org/wiki/Fermi_Gamma-ray_Space_Telescope#/media/File:GLAST_on_the_payload_attach_fitting.jpg)

GLAST_on_the_payload_attach_fitting.jpg