



สถาบันวิจัยดาราศาสตร์แห่งชาติ (องค์การมหาชน)
National Astronomical Research Institute
of Thailand (Public Organization)



400 ปี

วิวัฒนาการกล้องโทรทรรศน์

400 year of the Telescope

1



INTERNATIONAL
YEAR OF LIGHT
2015

เรียบเรียงโดย กรมมวล ศรีบุญเรือง

400 ปี

วิวัฒนาการกล้องโทรทรรศน์

National Astronomical Research Institute of Thailand
(Public Organization)

การปฏิวัติวงการดาราศาสตร์ครั้งที่ยิ่งใหญ่ที่สุดในประวัติศาสตร์ และถือว่าเป็นก้าวกระโดดที่มีความสำคัญมากที่สุด เมื่อมีนักประดิษฐ์ได้สร้างเครื่องมือส่องดูวัตถุที่อยู่ไกลออกไปให้ดูเหมือนจะอยู่ใกล้แค่เพียงเอื้อมมือ ซึ่งถ้าหากนับเวลาย้อนกลับไปที่เป็นเวลาถึง 400 ปี กว่ามาแล้วที่นักดาราศาสตร์ได้ใช้กล้องโทรทรรศน์ทำการสำรวจท้องฟ้า และค้นพบความลับที่ซ่อนอยู่บนท้องฟ้ามากมาย นับตั้งแต่ที่มนุษย์ได้ประดิษฐ์กล้องโทรทรรศน์ตัวแรกขึ้นมาและได้ใช้มันสังเกตการณ์วัตถุบนท้องฟ้าต่างๆ ในช่วงเวลากลางคืน แต่มนุษย์ไม่ได้หยุดความอยากรู้อยากเห็นไว้เพียงเท่านั้น โดยในแต่ละยุคแต่ละสมัยก็ได้มีการพัฒนากล้องโทรทรรศน์ให้มีประสิทธิภาพสูงขึ้นเรื่อยๆ เพื่อปรับปรุงแก้ไขข้อผิดพลาดของกล้องโทรทรรศน์เหล่านั้น ในหนังสือคู่มือนี้จะนำท่านไปพบกับประวัติความเป็นมาของกล้องโทรทรรศน์ชนิดต่างๆ ตั้งแต่อดีตจนถึงปัจจุบัน

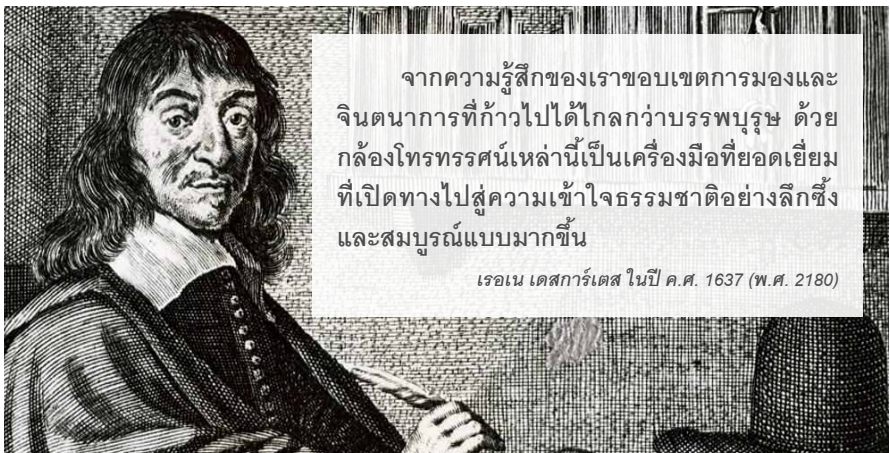
ในช่วงต้นศตวรรษที่ 17 นักประดิษฐ์และนักวิทยาศาสตร์ ได้นำเครื่องมือใหม่มาใช้สำหรับการศึกษาท้องฟ้า และกล้องโทรทรรศน์ก็เป็นหนึ่งในเครื่องมือที่ช่วยในการปฏิวัติทางวิทยาศาสตร์อย่างรวดเร็ว และกลายมาเป็นเครื่องมือที่มีความสำคัญต่อนักดาราศาสตร์อย่างยิ่ง จากนั้นไปนักดาราศาสตร์จะสามารถมองเห็นดาวจำนวนมากและวัตถุท้องฟ้าที่มีแสงจางๆ ที่ไม่เคยเห็นมาก่อน กระจับปุ่นใหม่สู่จักรวาลได้ถูกเปิดกว้างขึ้นมากกว่าเดิมจากที่เคยใช้ตาเปล่ามองและในขณะเดียวกันกล้องโทรทรรศน์ก็ถูกพัฒนาให้มีประสิทธิภาพมากขึ้นอย่างต่อเนื่อง นักดาราศาสตร์ได้ผลักดันขอบเขตของจักรวาลที่เคยรู้จักกันและเชื่อมต่อลึกลงไปในทะเลที่ลึกลับรอบไปด้วยดวงดาวที่รู้จักกันในชื่อทางช้างเผือก...



การคิดค้นกล้องโทรทรรศน์

จากการสืบค้นเอกสารและเบาะแส ที่ยังพอหลงเหลือจากอดีตจนถึงปัจจุบันของนักโบราณคดี วิทยาศาสตร์ ได้ค้นพบเอกสารซึ่งเป็นใบสิทธิบัตรการคิดค้นประดิษฐ์กล้องโทรทรรศน์ตัวแรก และถูกสร้างขึ้นเมื่อ ปี ค.ศ. 1608 (พ.ศ. 2151) แต่ยังเป็นที่ยกเถียงในวงการวิทยาศาสตร์ว่า “ใคร” คือผู้คิดค้นและประดิษฐ์กล้องโทรทรรศน์ขึ้นมาเป็นคนแรก ซึ่งจากหลักฐานเท่าที่มีการค้นพบในปัจจุบันทำให้หลายคนเชื่อว่า ฮานส์ ลิพเพอร์ชาย (Hans Lippershey) เป็นคนแรกที่ประดิษฐ์กล้องโทรทรรศน์ แต่ก็ยังมีหลักฐานอีกหลักฐานหนึ่งที่ปรากฏว่ามีชายอีกคนหนึ่งเป็นผู้ประดิษฐ์กล้องโทรทรรศน์ก่อนลิพเพอร์ชาย ถึง 8 ปี นั่นก็คือ ซาชาไรส์ แจนซ์เซน (Sacharias Janssen) ซึ่งเขาได้ประดิษฐ์กล้องโทรทรรศน์ในปี ค.ศ. 1600 (พ.ศ. 2143) แต่คำกล่าวอ้างดังกล่าวไม่มีหลักฐานยืนยันที่แน่ชัดจึงทำให้ลิพเพอร์ชายได้รับการยอมรับมากกว่าแจนซ์เซน

จากคำกล่าวอ้างที่ยังคลุมเครือและนักวิชาการส่วนใหญ่เชื่อว่าลิพเพอร์ชายเป็นผู้ค้นพบคุณสมบัติของเลนส์ว่า เมื่อนำเลนส์ 2 ตัว มาซ้อนกันจะทำให้เห็นวัตถุที่อยู่ไกลออกไปได้ชัดขึ้น ต่อมาได้นำหลักการดังกล่าวมาสร้างเป็นกล้องส่องทางไกลขึ้นมาเป็นครั้งแรก ในยุคนั้นอุปกรณ์นี้ถูกเรียกว่า “ท่อขยาย” ต่อมาได้เปลี่ยนเป็น “กล้องโทรทรรศน์” จากนั้นเมื่อกาลิเลโอทราบข่าวเกี่ยวกับหลักการดังกล่าว จึงได้เขียนจดหมายเพื่อขอคำชี้แนะจากลิพเพอร์ชาย จากนั้นกาลิเลโอก็ได้ออกแบบและสร้างกล้องโทรทรรศน์ของตนเองและทำสำเร็จในปี ค.ศ. 1609 (พ.ศ. 2152) ในเดือนกันยายน ค.ศ. 1610 (พ.ศ. 2153) เขาได้ใช้กล้องโทรทรรศน์ที่เขาประดิษฐ์ทำการสังเกตดาวศุกร์ และเห็นดาวศุกร์มีลักษณะเป็นเส้นคล้ายกับเส้นของดวงจันทร์ การค้นพบของกาลิเลโอจึงเป็นหลักฐานชิ้นสำคัญในการคัดค้านความเชื่อที่ว่าโลกเป็นศูนย์กลางของจักรวาล



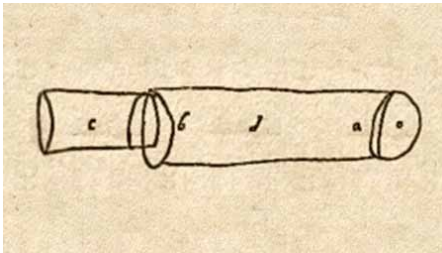
จากความรู้สึกรวบรวมของเรชอบเขตการมองและจินตนาการที่ก้าวไปได้ไกลกว่าบรรพบุรุษ ด้วยกล้องโทรทรรศน์เหล่านี้เป็นเครื่องมือที่ยอดเยี่ยมที่เปิดทางไปสู่ความเข้าใจธรรมชาติอย่างลึกซึ้งและสมบูรณ์แบบมากขึ้น

เรอเน เดสการ์เตส ในปี ค.ศ. 1637 (พ.ศ. 2180)

การประดิษฐ์กล้องโทรทรรศน์

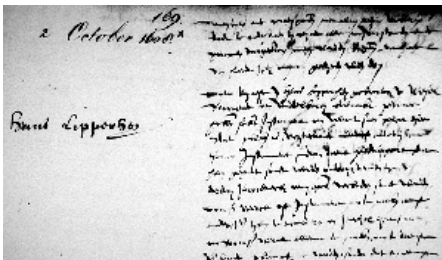
คุณสมบัติของเลนส์เป็นที่รู้จักกันดีและได้มีการประดิษฐ์เลนส์ขึ้นมาใช้งานตั้งแต่ยุคของชาวกรีก นักวิชาการอิสลาม เช่น แพทย์ของชาวอียิปต์ชื่อ อัลฮาเซน (เกิดในศตวรรษที่ 10) ได้มีส่วนร่วมที่สำคัญในการศึกษาเลนส์ อย่างไรก็ตามเลนส์ไม่ได้ถูกนำไปเผยแพร่ในยุโรปจนกระทั่งถึงศตวรรษที่ 13 โดยในปี ค.ศ. 1300 (พ.ศ. 1843) แว่นตาอันแรกที่มีการจัดแสดงและขายอยู่ในเมืองใหญ่ เช่น เมืองเวนิส และเมืองฟลอเรนซ์ ซึ่งในเวลาต่อมาความก้าวหน้าในการทำเลนส์และการฝนเลนส์เกิดขึ้นตามมา แต่สำหรับเหตุผลการคิดค้นกล้องโทรทรรศน์ยังไม่ชัดเจน

กล้องโทรทรรศน์ปรากฏตัวครั้งแรกในประเทศเนเธอร์แลนด์ในเดือนตุลาคม ค.ศ. 1608 (พ.ศ. 2151) รัฐบาลแห่งชาติในกรุงเฮกกล่าวถึงการยื่นขอรับสิทธิบัตรสำหรับอุปกรณ์ที่ได้รับความช่วยเหลือ “ให้เห็นสิ่งที่อยู่ห่างไกลออกไปราวกับว่าอยู่ใกล้ๆ บริเวณนั้น” ด้วยอุปกรณ์ดังกล่าวประกอบไปด้วยเลนส์นูนและเลนส์เว้าในท่อ การผสมผสานขยายขนาดวัตถุ 3 – 4 เท่า รัฐบาลพบว่าอุปกรณ์ดังกล่าวง่ายเกินไปที่จะทำการคัดลอกและไม่ได้รับรางวัลสิทธิบัตร



รูปที่ 1 ภาพวาดส่วนประกอบของกล้องโทรทรรศน์ที่เก่าแก่ที่สุดที่รู้จักกัน โดย จีโอวานนี แบตติสตา เดลลาปอร์ตตา (Giovann Battista della Porta) ที่รวมภาพสเก็ตในจดหมายที่เขียนในเดือนสิงหาคม ค.ศ. 1609 (พ.ศ. 2152)

ในศตวรรษที่ 17 กล้องโทรทรรศน์และกล้องจุลทรรศน์ถูกประดิษฐ์ขึ้นมา แสดงให้เห็นว่าประชาชนทั่วไปในยุคนี้สามารถมองเห็นในสิ่งที่นักปรัชญาชาวกรีกยังไม่ได้คาดคิดจากเครื่องมือเหล่านี้



รูปที่ 2 แสดงเอกสารการร้องขอจดสิทธิบัตร การสร้างกล้องโทรทรรศน์ของลิฟเฟอร์ฮาย เมื่อวันที่ 2 ตุลาคม ค.ศ. 1608 (พ.ศ. 2151) ที่สภาฐานันดรของชาวดัตช์ แต่ได้รับการปฏิเสธไม่อนุญาตให้จดสิทธิบัตร

ในวันที่ 2 ตุลาคม ค.ศ. 1608 (พ.ศ. 2151) เอกสารรายงานของสภานันดรของชาวดัตช์ (Dutch Estates General) กล่าวถึงการร้องขอสิทธิบัตร สำหรับการสร้างกล้องโทรทรรศน์ โดย ลิฟเฟอร์ฮาย ช่างทำแว่นในเมืองมิดเดิลเบิร์ก คณะปกครองมอบหมายให้ลิฟเฟอร์ฮาย ทำกล้องโทรทรรศน์ 6 ตัว แต่ปฏิเสธไม่อนุญาตสิทธิบัตรให้กับเขา

ครึ่งศตวรรษหลังจากที่มีการประดิษฐ์กล้องโทรทรรศน์ ในปี ค.ศ. 1608 (พ.ศ. 2151) กล้องโทรทรรศน์ได้เปลี่ยนแปลงมุมมองที่มีต่อจักรวาล (เอกภพ) และโลกของเราไปโดยสิ้นเชิง ไม่มีคำถามใดเกี่ยวกับการประดิษฐ์กล้องโทรทรรศน์ที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของวงการวิทยาศาสตร์ ถึงอย่างไรการประดิษฐ์กล้องโทรทรรศน์ ในปี ค.ศ. 1608 (พ.ศ. 2151) ก็มีผลทำให้เกิดการเปลี่ยนทางด้านปรัชญา วัฒนธรรม และศาสนามากมาย



รูปที่ 3 (ก) ฮานส์ ลิฟเฟอร์ฮาย (พ.ศ. 2113 – 2162)

(ข) ซาคาไรส์ แจนซ์เซน (พ.ศ. 2123 – 2181)

รูปจาก หนังสือ “De vero telescopii inventore” ของปีแอร์ โบเรล (Pierre Borel)

ในครั้งแรกของศตวรรษที่ 17 เครื่องมือใหม่นี้เป็นตัวแทนของการเปลี่ยนแปลงในยุคนั้นเลยทีเดียว และเป็นของเล่นชิ้นใหม่ในยุคนั้น ที่ให้มุมมองของภาพที่นำตื่นตื้นและแปลกใหม่

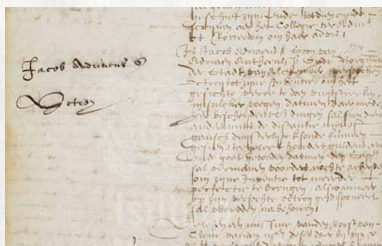
นักวิชาการจำนวนมากเชื่อว่าลิฟเฟอร์ฮายจากเมืองมิดเดิลเบิร์ก ประเทศเนเธอร์แลนด์ เป็นผู้ประดิษฐ์กล้องโทรทรรศน์เป็นคนแรก ในเดือนกันยายนปีค.ศ. 1608 (พ.ศ. 2151) ลิฟเฟอร์ฮาย ได้นำกล้องโทรทรรศน์ไปถวายให้กับเจ้าชายมอริซ (Maurice)

ยาโคบ เมริอัส เป็นหนึ่งในสามของคนที่มีความเกี่ยวข้องกับการประดิษฐ์กล้องโทรทรรศน์อีกสองคนคือ ฮานส์ ลิฟเฟอร์ฮาย และซาคาไรส์ แจนซ์เซน ซึ่งในเดือนตุลาคมปีเดียวกันกับที่ลิฟเฟอร์ฮายได้ยื่นร้องขอจดสิทธิบัตรที่สภานันดร และยังพบคำร้องการยื่นขอรับสิทธิบัตร เช่นเดียวกันกับลิฟเฟอร์ฮายอีกรายหนึ่ง โดยเขาผู้นั้นมีชื่อว่า ยาโคบ เมริอัส ได้ยื่นขอจดสิทธิบัตรสำหรับอุปกรณ์ที่ใช้สำหรับการ “มองสิ่งที่ห่างไกลราวกับว่าอยู่ใกล้เคียงในบริเวณนั้น” อุปกรณ์นี้ประกอบด้วยเลนส์นูนและเว้าในท่อ และสามารถขยายวัตถุได้ 3 - 4 เท่า เมริอัสใช้เลนส์วัตถุเป็นเลนส์นูนและเลนส์เว้าเป็นช่องมองภาพ กล้องโทรทรรศน์ของเมริอัสได้รับการออกแบบมาเป็นอย่างดีและอาจจะดีกว่ากล้องโทรทรรศน์ที่ลิฟเฟอร์ฮายออกแบบและส่งมาขอจดสิทธิบัตรเพียงไม่กี่สัปดาห์ก่อนหน้านี้เมริอัส

เมริอัสแจ้งต่อสภานันตรว่าเขาเป็นผู้ค้นเคยกกับการทำเลนส์และเขาสามารถทำกล้องโทรทรรศน์ที่ดียิ่งขึ้นได้จากการสนับสนุนของรัฐบาลเมื่อเมริอัสเห็นว่าสภานันตรยังลังเลในการตรวจสอบคำร้องของเขา เมริอัสจึงห้ามไม่อนุญาตให้ใครดูกล้องโทรทรรศน์ที่เขาประดิษฐ์

สภานันตรลงคะแนนให้เมริอัสได้รับรางวัลเล็ก ๆ ถึงแม้ว่ามันจะจบลงด้วยการจ้างงานลิฟเพอร์ฮายให้ทำกล้องสองตาจากการดัดแปลงกล้องโทรทรรศน์ เมื่อเมริอัสเสียชีวิตลงเครื่องมือทั้งหมดของเขาถูกทำลายตามความประสงค์ของเขา เพื่อป้องกันไม่ให้คนอื่นนำไปอ้างและเพื่อเป็นเกียรติแก่การประดิษฐ์กล้องโทรทรรศน์ของเขา

นอกจากนี้ยังมีการเรียกร้องโดย โยฮันเนส ซาคาไรสเซน (Johannes Zachariassen) ลูกชายของซาคาไรส แจนซ์เซน ว่า ยาค็อบ เมริอัส และคอร์เนลิเดรเบเบล (Cornelis Drebbel) ได้ซื้อกล้องโทรทรรศน์จากเขาและพ่อในปี ค.ศ. 1620 (พ.ศ. 2163) และทำการคัดลอกกล้องโทรทรรศน์นี้ไป แต่ในปัจจุบันเป็นที่ทราบกันดีหลังจากที่มีหลักฐานการประดิษฐ์กล้องโทรทรรศน์ของลิฟเพอร์ฮายและเมริอัส



รูปที่ 4 หนังสือรายงานการประชุม
รัฐบาลกลางของประเทศเนเธอร์แลนด์
การประยุกต์ให้สิทธิบัตรของยาค็อบ
เมริอัส ในวันที่ 17 ตุลาคม ค.ศ. 1608
(พ.ศ. 2151)

National Astronomical Research Institute of Thailand
(Public Organization)

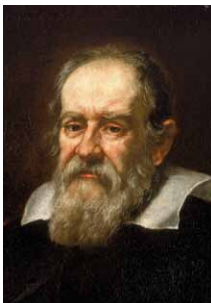
กล้องโทรทรรศน์กาลิเลโอ (Galileo's Telescope)

ข่าวของการประดิษฐ์กล้องโทรทรรศน์ถูกแพร่กระจายไปทั่วยุโรปอย่างรวดเร็ว โดยในเดือนเมษายน ค.ศ. 1609 (พ.ศ. 2152) สามารถหาซื้อได้จากร้านผลิตแว่นตาที่วางขายในเมืองปงเนฟ (Pont Neuf) ในกรุงปารีส และสี่เดือนต่อมามีแพร่หลายในประเทศอิตาลี ในฤดูร้อนของปี ค.ศ. 1609 (พ.ศ. 2152) เลนส์เหล่านี้ถูกนำมาทำการทดลอง โดยศาสตราจารย์ชาวอิตาลี ชื่อ กาลิเลโอ กาลิเลอี (Galileo Galilei) ซึ่งเป็นอาจารย์สอนอยู่ที่มหาวิทยาลัยปาโดวา (University of Padua) อยู่ใกล้เมืองเวนิซ จากการทดลองนี้ทำให้เลนส์เหล่านี้เป็นที่รู้จักอย่างแพร่หลาย

ในขณะที่กาลิเลโอไม่ได้คิดค้นกล้องโทรทรรศน์ขึ้นมาเป็นคนแรก (อย่างที่ทุกคนเคยเข้าใจกัน) แต่กาลิเลโอได้ออกแบบและสร้างกล้องโทรทรรศน์ที่มีกำลังขยายที่มากขึ้นสำหรับการใช้งานของตัวเองและนำเสนอให้ลูกค้าของเขา กาลิเลโอเป็นผู้ผลิตเครื่องมือที่มีความเชี่ยวชาญและกล้องโทรทรรศน์ของเขาเป็นที่รู้จักกันดีว่าเป็นกล้องโทรทรรศน์ที่มีคุณภาพสูง ณ เวลานั้น

กล้องโทรทรรศน์ตัวแรกของกาลิเลโอสร้างจากท่อธรรมดาทั่วไปที่มีเลนส์ 2 ชิ้น โดยชิ้นหนึ่งวางอยู่ด้านหน้าและอีกชิ้นหนึ่งวางไว้ด้านหลัง ในครั้งแรกเครื่องมือของกาลิเลโอมีกำลังขยายเพียงแค่ 3 เท่า ต่อมากาลิเลโอได้พัฒนากล้องโทรทรรศน์ขึ้นมามากอีก 1 ตัว ที่สามารถขยายขนาดวัตถุได้ประมาณ 9 เท่า และกาลิเลโอได้นำอุปกรณ์ที่เขาประดิษฐ์ขึ้นไปแสดงให้วุฒิสภาเวนิสได้เห็น ซึ่งกาลิเลโอคาดหวังว่าอุปกรณ์ที่เขาประดิษฐ์ขึ้นจะสร้างความประทับใจแก่วุฒิสภาและเห็นถึงศักยภาพในเชิงพาณิชย์และการทหารของเครื่องมือนี้

การสังเกตการณ์ด้วยกล้องโทรทรรศน์ของกาลิเลโอสนับสนุนแนวความคิดใหม่ว่าโลกและดาวเคราะห์โคจรรอบดวงอาทิตย์ให้หนักแน่นขึ้น นอกจากนี้ยังเผยให้เห็นดาวจำนวนมากในทางช้างเผือกและที่อื่นๆ หนึ่งในการสังเกตการณ์ของกาลิเลโอที่ได้สังเกตการณ์ดาวฤกษ์ทำให้รู้ว่าเราไม่สามารถมองเห็นผิวรูปทรงกลมของดาวฤกษ์ได้ และจักรวาลของดวงดาวได้ขยายออกไปอย่างกว้างใหญ่ไพศาลและระยะทางที่ไม่รู้จัก บางทีอาจจะไม่มีที่สิ้นสุด



รูปที่ 5 กาลิเลโอ กาลิเลอี และกล้องโทรทรรศน์กล้องแรกที่สร้างขึ้นเอง (ภาพอนุเคราะห์โดย la.wikisource.org)

กาลิเลโอมีความสนใจเกี่ยวกับเรื่องดาราศาสตร์อย่างมาก แต่ไม่สามารถศึกษาได้อย่างเต็มที่ เนื่องจากขาดอุปกรณ์ในการศึกษาค้นคว้า ต่อมาในปี ค.ศ. 1608 (พ.ศ. 2151) มีข่าวว่าช่างทำแว่นตาชาวฮอลแลนด์ ชื่อ ฮานส์ ลิพเพอร์ฮาย สามารถประดิษฐ์กล้องส่องทางไกลขนาดเล็กได้เป็นผลสำเร็จ ต่อมาในปี ค.ศ. 1609 (พ.ศ. 2152) กาลิเลโอจึงนำหลักการเดียวกันนี้มาสร้างเป็นกล้องโทรทรรศน์ขึ้นเป็นครั้งแรกแต่กล้องโทรทรรศน์ที่เขาประดิษฐ์ขึ้นในครั้งแรกมีกำลังขยายเพียง 14 เท่า

กล้องโทรทรรศน์ของกาลิเลโอมีลักษณะคล้ายกับกล้องโทรทรรศน์ของชาวดัตช์ที่สร้างมาก่อนหน้านี้นี้ กล้องโทรทรรศน์ของกาลิเลโอเป็นแบบหักเหแสง โดยใช้เลนส์เป็นตัวโค้งงอแสงหรือหักเหแสง กล้องโทรทรรศน์แบบหักเหแสงมีลักษณะเด่นคือเลนส์ ช่องมองภาพเป็นเลนส์เว้า และเลนส์ใกล้วัตถุเป็นเลนส์นูน กล้องโทรทรรศน์เป็นสิ่งที่ทำได้ค่อนข้างง่าย แต่กาลิเลโอต้องเผชิญกับความยากลำบากในการหากระจกใสและเป็นเนื้อเดียวกันสำหรับการทำเลนส์ของกล้องโทรทรรศน์ที่เขาประดิษฐ์ แก้วที่เต็มไปด้วยฟองอากาศเล็กๆ และมีสีเขียว (เกิดจากสิ่งปนเปื้อน เช่น เหล็ก) นี่คือนักวิทยาศาสตร์ที่ผู้ผลิตกล้องโทรทรรศน์มีปัญหามานานหลายศตวรรษ ซึ่งในยุคนั้นเป็นเรื่องยากที่จะสร้างเลนส์ให้มีรูปทรงที่สมบูรณ์แบบ ซึ่งทำให้ภาพของดาวเบลและดาวล้อมรอบด้วยสีชมพู กาลิเลโอได้ทำการปรับปรุงอุปกรณ์ของเขาอย่างต่อเนื่อง จนได้กล้องโทรทรรศน์ที่มีกำลังขยาย 30 เท่า

กล้องโทรทรรศน์ตัวแรกที่กาลิเลโอสร้าง ทำมาจากไม้ กระดาษ และทองแดง มีความยาวของลำกล้อง 1,360 มิลลิเมตร และประกอบด้วยชิ้นส่วนสำคัญสองชิ้น คือ เลนส์วัตถุกับเลนส์ตา โดยเลนส์วัตถุที่มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 51 มิลลิเมตร แต่ความโค้งของเลนส์ทั้งข้างไม่เท่ากัน ความหนาของเลนส์ 2.5 มิลลิเมตร (วัดจากจุดศูนย์กลางของเลนส์) และมีความยาวโฟกัสเท่ากับ 1,330 มิลลิเมตร ส่วนเลนส์ตามีลักษณะของเลนส์ราบข้างหนึ่งและอีกด้านเว้ามีเส้นผ่านศูนย์กลาง 26 มิลลิเมตร มีรัศมีของความโค้ง 48.5 มิลลิเมตร ความหนาของเลนส์ 3 มิลลิเมตร วัดจากจุดศูนย์กลางของเลนส์ มีความยาวโฟกัสเท่ากับ -94 มิลลิเมตร (ความยาวจุดโฟกัสที่เป็นลบหมายความว่าเลนส์กำลังแยกออก) กล้องโทรทรรศน์มีกำลังขยาย 14 เท่า คุณสมบัติของเลนส์ตาที่เว้า คือ ทำให้เห็นวัตถุมีขนาดใหญ่ ต่อมากาลิเลโอได้ปรับปรุงกล้องโทรทรรศน์ให้มีประสิทธิภาพมากขึ้น และมีกำลังขยายมากถึง 21 เท่า ซึ่งกล้องอันนี้สามารถส่องดูดวงดาวต่างๆ ได้ชัดเจนมากขึ้น



รูปที่ 6 กล้องโทรทรรศน์แบบหักเหแสง
ตัวแรกที่กาลิเลโอสร้าง

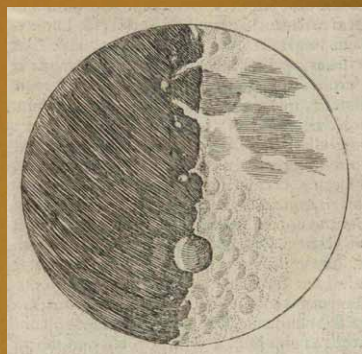


กล้องโทรทรรศน์ตัวที่ 2 ของกาลิเลโอ ทำมาจากไม้ กระดาษ และหนังสัตว์ที่ฟอกแล้ว มีความยาวของลำกล้อง 980 มิลลิเมตร กล้องโทรทรรศน์ที่เป็นต้นฉบับของกาลิเลโอประกอบไปด้วย 2 ส่วน คือ ส่วนแรกเป็นท่อหลักโดยมีเลนส์วัตถุติดอยู่ส่วนปลาย และส่วนที่ 2 สามารถแยกออกมาได้ ซึ่งเป็นส่วนของเลนส์ตา ท่อทั้งหมดถูกหุ้มด้วยหนังสีแดง ตกแต่งลายนิยมสีทอง (แต่เมื่อเวลาผ่านไปหนังสีแดงได้เปลี่ยนเป็นสีน้ำตาล) แต่กาลิเลโอได้ใช้เลนส์วัตถุเป็นแบบราบข้างหนึ่ง และอีกด้านเว้า โดยหันด้านที่เว้าออกหาวัตถุ เลนส์มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 37 มิลลิเมตร มีรูรับแสงกว้าง 15 มิลลิเมตร มีความยาวโฟกัส 980 มิลลิเมตร และความหนาของเลนส์วัตถุ 2 มิลลิเมตร วัดจากจุดศูนย์กลาง ส่วนเลนส์ตายังใช้ลักษณะเดิม มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 22 มิลลิเมตร ความหนาของเลนส์ 1.8 มิลลิเมตร มีความยาวโฟกัสเท่ากับ -45.7 มิลลิเมตร กล้องโทรทรรศน์มีกำลังขยาย 21 เท่า อย่างไรก็ตามกล้องโทรทรรศน์ที่กาลิเลโอสร้างขึ้นก็ยังไม่สมบูรณ์ ต่อมาภายหลังพบว่ากล้องโทรทรรศน์ที่กาลิเลโอสร้างขึ้นมีความคลาดสี

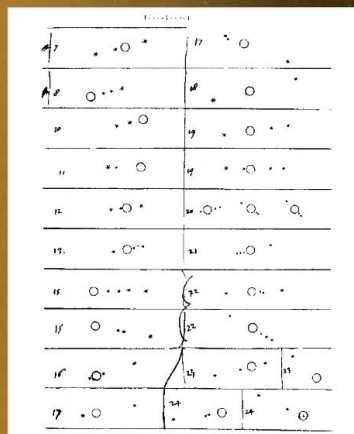
National Astronomical Research
Institute of Thailand
(Public Organization)



รูปที่ 7 กล้องโทรทรรศน์แบบหักเหแสงตัวที่ 2 ของกาลิเลโอ



รูปที่ 8 ภาพวาดดวงจันทร์ที่กาลิเลโอ
เฝ้าสังเกตและได้ทำการวาดไว้



รูปที่ 9 บันทึกการสังเกตการณ์ดวงจันทร์
ดาวพฤหัสบดีของกาลิเลโอ

เมื่อกาลิเลโอได้ประดิษฐ์กล้องโทรทรรศน์ขึ้นมาอีกครั้ง
กล้องโทรทรรศน์ของกาลิเลโอยังมีปัญหาเรื่องความคมชัด
ของภาพที่มองเห็นไม่ชัดเจน

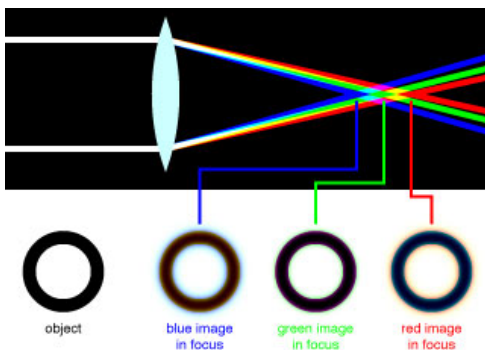
ข้อบกพร่องของกล้องโทรทรรศน์แบบหักเหแสง

กล้องโทรทรรศน์ในช่วงแรกมีข้อจำกัด 2 ข้อ ข้อแรก คือ ความผิดปกติของทรงกลม และความคลาดสี ความผิดปกติรูปทรงกลมเป็นสาเหตุทำให้ได้ภาพที่ไม่ชัด หรือทำให้ภาพเบลอ เกิดจากรูปร่างของเลนส์เอง ทำให้เกิดแสงสะท้อนในลำกล้องลงมาถึงโฟกัส ความคลาดสีทำให้ภาพที่ได้ขอบเบลอและที่ขอบของวัตถุเกิดเป็นสีรุ้ง

ปัญหาที่ 2 กำลังขยายที่เพิ่มมากขึ้นทำให้การมองเห็นวัตถุ เช่น ดาวเคราะห์และดาวอื่นๆ ทำได้ยากมากขึ้นกว่าเดิม ผู้ผลิตกล้องโทรทรรศน์ต้องลดความผิดปกติของการคลาดทรงกลมโดยเคลือบน้ำมันทินเนอร์ที่ขอบของเลนส์วัตถุ

ศตวรรษที่ 17 ได้มีการแก้ไขเรื่องการคลาดสี ซึ่งเกิดจากรูปร่างของเลนส์วัตถุ และความยาวของจุดโฟกัสที่ยาวมาก เมื่อแสงสีขาวผ่านแก้วตัวกลาง ทำให้เกิดแถบของแสงขึ้น เช่น แถบสีแดงมากที่สุด และแถบสีน้ำเงินน้อยที่สุด ความยาวของจุดโฟกัสสั้นยิ่งเป็นผลทำให้เกิดขอบสีที่ชัดมากขึ้น ดังนั้นคนประดิษฐ์กล้องโทรทรรศน์ในศตวรรษที่ 17 เขาชดเชยโดยการทำกล้องโทรทรรศน์ของเขาให้ยาวขึ้น และยาวอย่างเหลือเชื่อ

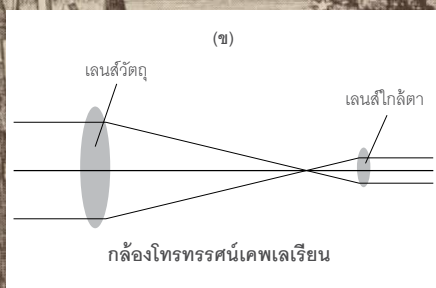
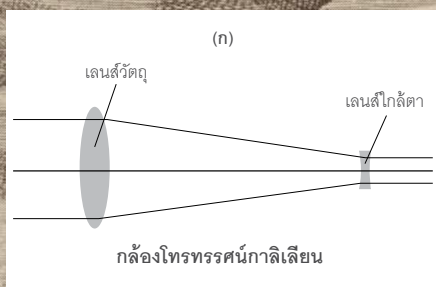
ต่อมากำกล้องโทรทรรศน์ที่เคปเลอร์ทำการพัฒนานั้นยังมีปัญหาของ “การคลาดสี (Chromatic Aberration)” ของแสงอยู่ การคลาดสีเกิดจากระบบการหักเหแสง เนื่องจากแสงสีขาวประกอบด้วยคลื่นแสงสีต่างๆ การหักเหของคลื่นเหล่านี้ผ่านเลนส์จะมีค่าที่แตกต่างกันทำให้จุดโฟกัสของแสงแต่ละสีตกลงที่ตำแหน่งโฟกัสที่ต่างกัน ผลลัพธ์ที่ได้ คือ ทำให้ภาพเกิดสีรุ้ง ดังรูปที่ 10



รูปที่ 10 แสดงการคลาดสี (Chromatic Aberration) ของเลนส์นูน และภาพที่เกิดจากการคลาดสี

ซึ่งต่อมากล้องโทรทรรศน์ที่เคเพลอร์พัฒนาขึ้นได้รับความนิยมมากกว่ากล้องโทรทรรศน์กาลิเลียม และเป็นต้นแบบของกล้องหักเหแสงที่ใช้อยู่ในปัจจุบัน

ต่อมา ในปี ค.ศ. 1611 (พ.ศ. 2154) กล้องโทรทรรศน์ของกาลิเลโอได้ถูกพัฒนาขึ้นใหม่ โดยโยฮานเนส เคเพลอร์ (Johannes Kepler) ซึ่งเคเพลอร์ ได้เขียนจดหมายถึงกาลิเลโอ เพื่อขอเป็นพันธมิตรทางปัญญา และขอคำชี้แนะและหลักการการสร้างกล้อง ต่อมา เคเพลอร์ได้พบข้อผิดพลาดของกล้องกาลิเลโอ จึงได้เปลี่ยนเลนส์ใกล้ตาจากเดิมที่เป็นเลนส์เว้ามาใช้เลนส์นูนแทน ทำให้ภาพคมชัดขึ้น และยืนยันว่าดาวแฝดสามของดาวเสาร์ที่กาลิเลโอพบนั้น แท้จริงแล้วคือวงแหวนของดาวเสาร์ และเรียกกล้องโทรทรรศน์ชนิดนี้ว่า กล้องโทรทรรศน์เคเพลเรียน (Keplerian Telescope)

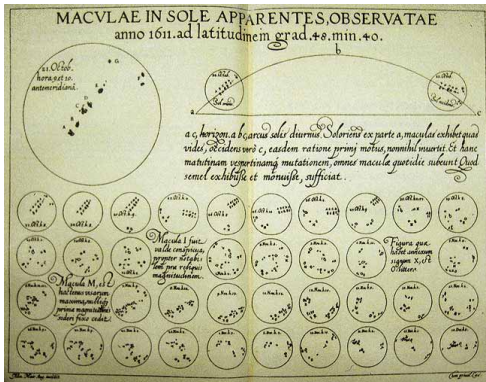


รูปที่ 11 (ก) แสดงหลักการหักเหแสงของกล้องโทรทรรศน์กาลิเลียม
(ข) แสดงหลักการหักเหแสงของกล้องโทรทรรศน์เคเพลเรียน



การพัฒนากล้องโทรทรรศน์ของเคเพลอร์

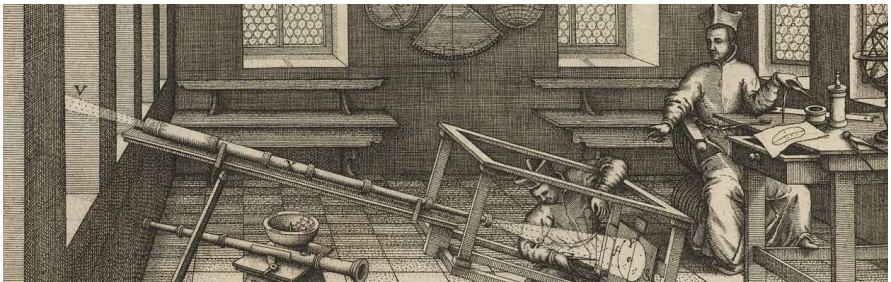
การพัฒนากล้องโทรทรรศน์ของกาลิเลโอได้รับการแนะนำจาก โยฮันเนส เคเพลอร์ ในปี ค.ศ. 1611 (พ.ศ. 2154) ที่ตีพิมพ์ในหนังสือ *Dioptrice* ของเคเพลอร์ได้ตั้งข้อสังเกตว่ากล้องโทรทรรศน์ที่สร้างขึ้นจากการใช้เลนส์นูน 2 ตัว ภาพที่ได้จากกล้องโทรทรรศน์ชนิดนี้จะเป็นภาพที่กลับหัว



รูปที่ 12 บันทึกจุดบนดวงอาทิตย์ จากหนังสือ

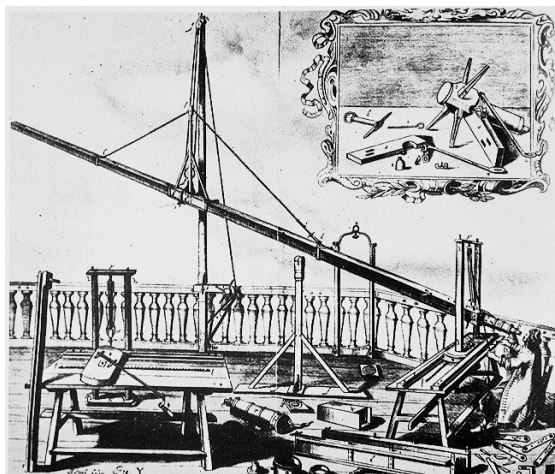
Tres Epistolae ของชไชนอร์

สำหรับการศึกษาจุดบนดวงอาทิตย์ของชไชนอร์ทดลองกับกล้องโทรทรรศน์ที่มีเลนส์นูนเพียงชิ้นเดียว และเขาพบว่าเมื่อเขามองวัตถุโดยตรงผ่านกล้องโทรทรรศน์ดังกล่าวภาพนั้นถูกพลิกกลับหัวกลับหาง แต่มันก็มีความสว่างมากและให้มุมมองที่มีขนาดใหญ่กว่าในกล้องโทรทรรศน์ของกาลิเลโอ ซึ่งเป็นไปตามที่เคเพลอร์ได้คาดการณ์ไว้ เนื่องจากในการสังเกตการณ์ทางดาราศาสตร์ภาพกลับหัวจะไม่มีปัญหา ข้อได้เปรียบนี้กลายเป็นที่รู้จักกันในฐานะ “กล้องโทรทรรศน์ทางดาราศาสตร์ (Astronomical telescope)” และนำไปสู่การยอมรับโดยทั่วไปของประชาคมวิทยาศาสตร์ (Scientific Community) ในช่วงกลางของศตวรรษที่ 17

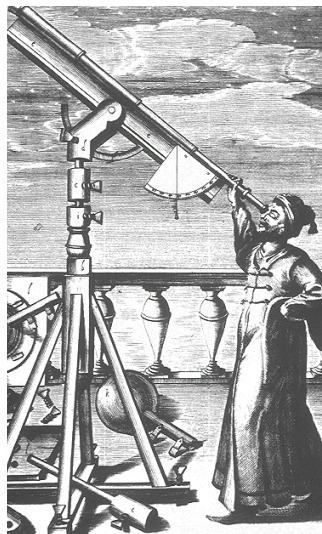


กล้องโทรทรรศน์ที่แปลกประหลาด

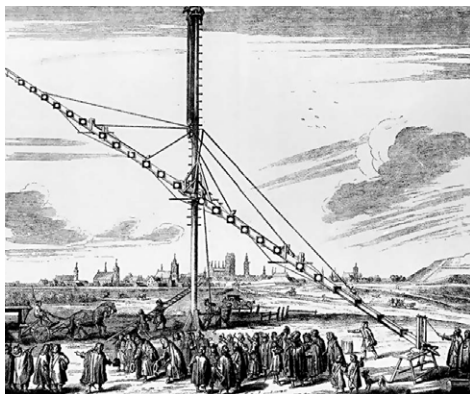
ข้อเสียอย่างหนึ่งของกล้องโทรทรรศน์ทางดาราศาสตร์ที่แนะนำโดยเคพเลอร์และสนับสนุนโดยไซเนอร์ คือ การที่กำลังขยายสูงชันจะมาพร้อมกับความผิดปกติของทรงกลมและความคลาดสีและปัญหาอื่นๆ การบิดเบือนทางเรขาคณิตและสีที่ไม่จริง ในช่วงหลายทศวรรษต่อมาการฝนเลนส์และเทคนิคการขัดค่อยๆ ดีขึ้นมา ช่างฝีมือและความเชี่ยวชาญของผู้ผลิตกล้องโทรทรรศน์ค่อยๆ พัฒนาขึ้น โดยช่างฝีมือเหล่านี้ทำงานในการสร้างเลนส์ที่เป็นรูปทรงกลมที่ดีขึ้น (และมีความยาวโฟกัสที่ยาวกว่า) ซึ่งการปรับปรุงคุณภาพของกล้องโทรทรรศน์นี้ ทำให้กล้องโทรทรรศน์ยาวกว่าเดิม



รูปที่ 13 เฮเวเลียมและกล้องโทรทรรศน์ขนาด 60 ฟุต



จากกล้องโทรทรรศน์ของกาลิเลโอ โดยทั่วไปมีความยาวของลำกล้องประมาณ 5 หรือ 6 ฟุต และถูกพัฒนามาจนถึงช่วงกลางของศตวรรษที่ 17 กล้องโทรทรรศน์ที่ใช้ทางดาราศาสตร์มีความยาวเพิ่มขึ้นไปถึง 15 หรือ 20 ฟุต กล้องโทรทรรศน์ทางดาราศาสตร์ทั่วไปเป็นหนึ่งกล้องที่เกิดขึ้นในปี ค.ศ. 1656 (พ.ศ. 2199) โดยคริสเตียน ฮอยเกนส์ นักคณิตศาสตร์และนักดาราศาสตร์ชาวดัตช์และน้องชายของเขาที่เมืองคอนสแตนติน (Constantine) โดยกล้องโทรทรรศน์ที่พวกเขาสร้างขึ้นมีความยาวถึง 23 ฟุต เป็นกล้องโทรทรรศน์ที่มีกำลังขยายประมาณ 100 เท่า และมีขอบเขตมุมมองที่กว้างมากๆ หนึ่งในวัตถุที่ดึงดูดมากที่สุดที่ฮอยเกนส์สังเกตเห็นด้วยกล้องโทรทรรศน์ของพวกเขา คือ เนบิวลายนายพราน



รูปที่ 14 กล้องโทรทรรศน์ขนาดความ 46.5 เมตร (150 ฟุต)
ที่เมืองดานซิก (Danzig)

National Astronomical Research Institute of Thailand
(Public Organization)

ในบริเวณดาบของนายพรานมีสามดาวที่อยู่ค่อนข้างใกล้ชิดกัน ในปี ค.ศ. 1656 (พ.ศ. 2199) ผมบังเอิญจะต้องดูตรงกลางของวัตถุนี้ด้วยกล้องโทรทรรศน์แทนที่จะเป็นดาวดวงเดียวแต่กลับแสดงให้เห็นมากถึง 12 ดวง (สิ่งที่เกิดขึ้นไม่ใช่เรื่องแปลก) ดาว 3 ดวง ที่เห็นเกือบจะสัมผัสกันและยังมีดวงที่ 4 ส่องลอดผ่านเนบิวลาออกมา ดังนั้นพื้นที่โดยรอบตัวดาวเหล่านี้ดูเหมือนว่าจะสว่างกว่าพื้นที่อื่นที่ห่างไกลออกไปจากตัวดาว ซึ่งเห็นได้ชัดเจนว่าพื้นที่ดังกล่าวค่อนข้างมืดมาก แสงจากดาวส่งผลให้พื้นที่บริเวณรอบนั้นสามารถมองเห็นได้

ฮอยเกนส์ ในปี ค.ศ. 1659 (พ.ศ. 2202)

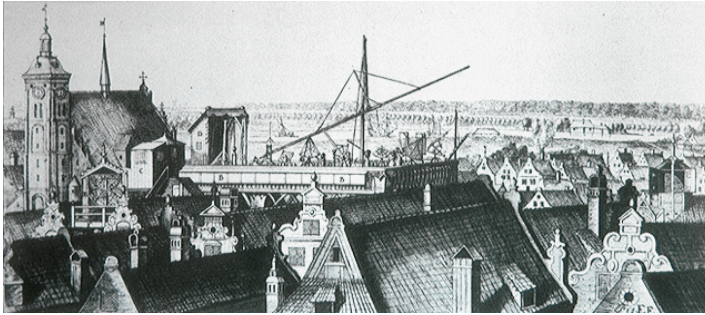
ในต้นปี ค.ศ. 1640 (พ.ศ. 2183) โยฮันเนส เฮเวลีอุส (Johannes Hevelius) เขาได้หันมาทุ่มเทให้กับงานด้านดาราศาสตร์ จากที่สังเกตการณ์บนหลังคาบ้านของเขาเองในเมืองดานซิก (ปัจจุบันเมืองดานซิกอยู่ในประเทศโปแลนด์) เฮเวลีอุสได้เริ่มต้นการสังเกตดวงจันทร์ โดยกล้องโทรทรรศน์แบบหักเหแสง ที่มีความยาว 12 ฟุต จากการสังเกตของเขาได้บันทึกลักษณะของดวงจันทร์ และจัดทำแผนที่และชื่อลักษณะต่างๆ บนดวงจันทร์กว่า 100 ชื่อ และพิมพ์หนังสือ Selenographia ในปี ค.ศ. 1674 (พ.ศ. 2217)

ในช่วงปลายปี ค.ศ. 1650 (พ.ศ. 2193) เฮเวลีอุสได้ยื่นข้อเกี่ยวกับการสังเกตของคริสเตียน ฮอยเกนส์ ผู้ที่ใช้กล้องโทรทรรศน์ที่มีความยาวกว่าปกติ และเป็นผู้ไขปริศนาว่าดาวเสาร์ไม่ได้มี 3 ดวง แต่เป็นวงแหวนบางๆ และพบว่าแท้จริงแล้วเกิดจากแนวระนาบของวงแหวนที่เอียงไปแต่ละมุม จากความลำเอียงนี้ ทำให้เฮเวลีอุสสร้างกล้องโทรทรรศน์ที่มีความยาวของลำกล้องถึง 150 ฟุต และมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของเลนส์วัตถุ 2 นิ้ว

การทำทนายในการสร้างกล้องโทรทรรศน์ที่มีความกว้าง ความยาวและหนา ซึ่งมีขนาดใหญ่ เฮเวลีอุสได้ตั้งเสาขนาดใหญ่เพื่อใช้แขวนกล้องโทรทรรศน์ โดยที่เลนส์วัตถุถูกยึดติดกับลำกล้อง ส่วนเลนส์ตาอยู่กับผู้สังเกตที่พื้น



ในปี ค.ศ. 1673 (พ.ศ. 2216) นักดาราศาสตร์ชาวเยอรมันชื่อ โยฮันเนส เฮเวเลียส (Johannes Hevelius) ได้อธิบายไว้ในหนังสือชื่อ Machina Coelestis ของเขา ซึ่งเฮเวเลียสได้ทำการสร้าง กล้องโทรทรรศน์ที่มีความยาวโฟกัส 150 ฟุต และเลนส์มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางมากถึง 8 นิ้ว

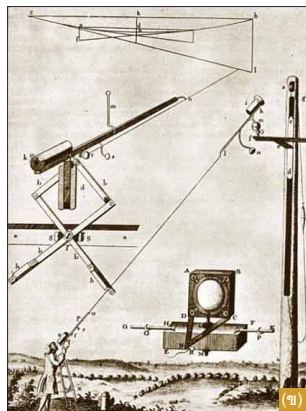


รูปที่ 15 แสดงหอดูดาวบนชั้นดาดฟ้าของเฮเวเลียส (จากหนังสือ Machina Coelestis, ค.ศ. 1673)

National Astronomical Research
Institute of Thailand
(Public Organization)

การสร้างกล้องโทรทรรศน์ของคริสเตียน ฮอยเกนส์ (Christiaan Huygens constructed)

คริสเตียน ฮอยเกนส์ นักคณิตศาสตร์ นักดาราศาสตร์และฟิสิกส์ชาวดัตช์ เป็นอีกคนหนึ่งที่มีผลงานโดดเด่น ในการพัฒนาด้านกล้องโทรทรรศน์มาใช้ในทางดาราศาสตร์ หนึ่งในนวัตกรรมของฮอยเกนส์เป็นผลมาจากปัญหาที่ถูกรับในการพยายามที่จะใช้กล้องโทรทรรศน์ขนาดใหญ่มากขึ้นมาใช้ในทางดาราศาสตร์ ในช่วงครึ่งหลังของศตวรรษที่ 17 กล้องโทรทรรศน์เหล่านี้มีความยาวมาก และกล้องโทรทรรศน์ของฮอยเกนส์ก็เช่นกันมีความยาวถึง 6.1 เมตร (20 ฟุต) เป็นเรื่องที่ยากมากที่จะไม่ให้กล้องโทรทรรศน์แกว่งไปแกว่งมาจากการถูกลมพัด



รูปที่ 16 (ก) คริสเตียน ฮอยเกนส์
(ข) กล้องโทรทรรศน์แบบ
สายอากาศ (Aerial Telescope)

ในปี ค.ศ. 1684 (พ.ศ. 2227) ฮอยเกนส์ได้ตีพิมพ์ข้อเสนอแนะเกี่ยวกับกล้องโทรทรรศน์ที่ไม่มีลำกล้อง โดยเลนส์ใกล้วัตถุจะติดตั้งอยู่บนเสาและเลื่อนเข้ามาอยู่ร่วมกันโดยวิธีการเชื่อมต่อกับสายสตรึง ช่องมองภาพจะจัดวางในตำแหน่งใกล้กับผู้สังเกตการณ์

ฮอยเกนส์คิดค้นกล้องโทรทรรศน์ขึ้นมาเพื่อใช้งานมากกว่าที่จะพัฒนา โดยกล้องโทรทรรศน์ที่ฮอยเกนส์สร้างขึ้นนั้นเป็น “กล้องโทรทรรศน์สายอากาศ” มีความยาวของกล้องโทรทรรศน์ยาวถึง 150 ฟุต (วัดจากเลนส์วัตถุถึงเลนส์ตา) โดยเลนส์วัตถุติดอยู่กับท่อเหล็กสั้นๆ ที่บนคานของเสา ฮอยเกนส์ยึดตัวท่อที่เชื่อมกับเสาและตัวถ่วงน้ำหนักกับคาน ขึ้นส่วนต่างๆ ทั้งหมดตั้งอยู่บนเสาสูง ฮอยเกนส์ผูกสายเคเบิลกับเลนส์วัตถุยาวถึงเลนส์ตาที่อยู่พื้น โดยเลนส์ตาติดอยู่บนฐานสั้นๆ

ฮอยเกนส์ยังได้ปรับปรุงเลนส์ใกล้ตา โดยการออกแบบส่วนประกอบของเลนส์ใกล้ตาซึ่งประกอบด้วยเลนส์นูนบาง 2 ตัว และจากการนำเลนส์ใกล้ตาที่ฮอยเกนส์ออกแบบไปใช้งานก็ยังคงเกิดปัญหาอยู่

กำเนิดกล้องโทรทรรศน์แบบสะท้อนแสง

ในศตวรรษที่ 18 นักดาราศาสตร์ส่วนใหญ่ยังคงใช้กล้องโทรทรรศน์แบบหักเหที่มีขนาดลำกล้องยาว โดยเลนส์ที่เข้าได้รับการออกแบบรูปทรงและขอบเลนส์อย่างพิถีพิถัน อย่างไรก็ตามการออกแบบกล้องโทรทรรศน์อื่นๆ ได้นำเสนอวิธีการหลีกเลี่ยงข้อบกพร่องของกล้องโทรทรรศน์บางส่วนที่ไม่สามารถหลีกเลี่ยงได้ในเลนส์แบบหักเห

ในปี ค.ศ. 1668 (พ.ศ. 2211) ไอแซก นิวตัน (Isaac Newton) ได้คิดค้นกล้องโทรทรรศน์แบบสะท้อนขึ้นมา ซึ่งนิวตันได้ทำการออกแบบกล้องโทรทรรศน์ใหม่โดยเปลี่ยนมาใช้กระจกโค้งเป็นหลักแทนที่ใช้เลนส์ และใช้ร่วมกับกระจกแบนที่มีขนาดเล็กกว่า

ในศตวรรษต่อมาเครื่องมือขนาดใหญ่ที่สืบเนื่องมาจากการออกแบบของนิวตันจะกลายเป็นประโยชน์อย่างยิ่งสำหรับการศึกษาวัตถุที่มีแสงจางมาก ๆ เช่น ห้อยมแสงสลัวที่รู้จักกันในชื่อ เนบิวลา การศึกษาด้วยเครื่องมือที่มีขนาดใหญ่กว่าเดิมจะนำไปสู่การเปลี่ยนแปลงในการทำ ความเข้าใจพื้นฐานเกี่ยวกับจักรวาลในรูปแบบใหม่ของเรา

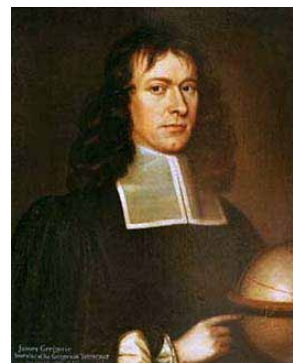
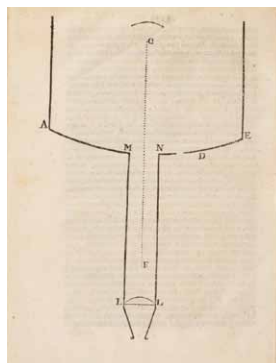
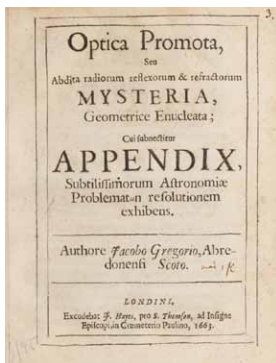
...ฉันได้เตรียมกล้องโทรทรรศน์แบบสะท้อน ซึ่งเป็นมุมมองใหม่ไว้ให้พวกคุณแล้ว...

นิวตัน



นักวิชาการในสมัยนั้นทราบดีว่าการรวมเลนส์และกระจก จะมีกำลังขยายที่เพิ่มมากขึ้น โดยการศึกษาทฤษฎีทางแสงอย่างละเอียดมากขึ้น สิ่งหนึ่งที่มีความโดดเด่นคือหนังสือ *Dioptrique* ของ เรเน เดสการ์ตส์ (Rene Descartes) ผนวกเข้ากับการอธิบายเหตุผลของ เดการ์ตส์ นี่คือการแก้ไขปัญหาที่เกิดจากความผิดพลาดของการคลาดทรงกลมและทำให้ภาพที่ได้ชัดเจนมากขึ้น

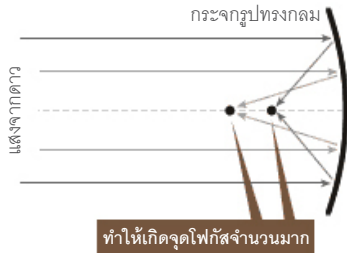
ในปี ค.ศ. 1663 (พ.ศ. 2206) นักคณิตศาสตร์ชาวสก็อตชื่อ เจมส์ เกรกอรี (James Gregory) ได้นำเสนอการออกแบบกระจกแบบใหม่สำหรับกล้องโทรทรรศน์แบบสะท้อน ในหนังสือ *Optica Promota* ของเขา ทฤษฎีการออกแบบกระจกปฐุมภูมิที่มีความโดดเด่นของเกรกอรี คือ ส่วนโค้งของกระจกที่เป็นรูปพาราโบลา โดยกระจกปฐุมภูมิจะสะท้อนแสงไปยังกระจกทุติยภูมิรูปวงรี ซึ่งทำหน้าที่สะท้อนแสงกลับลงมาผ่านรูที่อยู่ตรงกลางของกระจกปฐุมภูมิไปยังเลนส์ใกล้ตา ซึ่งกล้องโทรทรรศน์ที่เกรกอรีออกแบบนี้ต้องการที่จะแก้ไขปัญหที่เกิดจากอาการภาพร้าวที่มีสาเหตุมาจากความผิดปกติรูปทรงของกระจกเพียงเล็กน้อย (การออกแบบของเกรกอรีและการออกแบบของแคสสิเกรนมีความคล้ายกัน) ซึ่งถ้ามองอย่างผิวเผินการออกแบบทั้งสองจะดูคล้ายๆ กัน ในที่สุดการออกแบบกล้องโทรทรรศน์แบบสะท้อนก็ถูกนำมาใช้กันแพร่หลาย แต่ในขณะนั้นการออกแบบนี้ ช่างทำกระจกยังไม่สามารถขัดกระจกให้มีส่วนโค้งเว้าที่ไม่ใช่รูปทรงกลมได้ แต่ช่างทำกระจกบางคนในลอนดอนก็พยายามที่จะสร้างกล้องโทรทรรศน์ที่ใช้กระจกสะท้อนที่เกรกอรีได้ออกแบบนี้แต่ก็ล้มเหลว ในปัจจุบันกระจกชนิดนี้ถูกเรียกว่า “กระจกสะท้อนแสงแบบเกรกอเรียน” (Gregorian Reflectors) เพื่อเป็นเกียรติแก่ เจมส์ เกรกอรี ที่เป็นผู้ออกแบบกระจกชนิดนี้



รูปที่ 17 เกรกอรีได้ออกแบบนวัตกรรมสำหรับกล้องโทรทรรศน์ที่ใช้กระจก จากหนังสือ *Optica Promota Seu, Abdita Radiorum Reflexorum & Refractorum MYSTERIA, Geometrice Enucleata.*

รูปที่ 18 ภาพวาดของเจมส์ เกรกอรี

ความผิดปกติรูปทรงกลมของกระจก



รูปที่ 19 แสดงตำแหน่งจุดโฟกัสที่มีความแตกต่างกันที่ได้จากกระจกที่มีส่วนโค้งของทรงกลม

รูปร่างกระจกของกล้องโทรทรรศน์เป็นส่วนหนึ่งของรูปทรงกลมเป็นสาเหตุทำให้เกิดปัญหาที่เรียกว่า ความผิดปกติเป็นรูปทรงกลม ในความผิดปกติเป็นรูปทรงกลม แสงที่วิ่งขนานสะท้อนกระจกกลับมาแต่แสงตกบริเวณศูนย์กลางที่จุดโฟกัสต่างกัน ผลที่ได้คือจุดโฟกัสมีจำนวนมาก และภาพที่ได้มีความพัวมัว เพื่อให้ได้รูปภาพที่คมชัด แสงทั้งหมดต้องตกที่จุดโฟกัสเดียวกัน

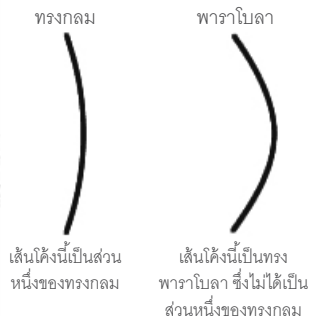
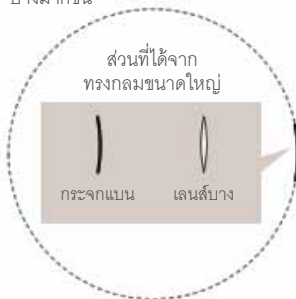
เลนส์ทรงกลมและกระจกทรงกลม

เลนส์และกระจกที่มาจากส่วนหนึ่งของทรงกลม

ส่วนหนึ่งของทรงกลมขนาดเล็กจะทำให้เส้นโค้งของกระจกและเลนส์เห็นได้ชัดเจน



ส่วนหนึ่งของทรงกลมขนาดใหญ่ ส่วนเส้นโค้งจะเห็นไม่ค่อยชัด กระจกหรือเลนส์ที่ทำจากส่วนเส้นโค้งนี้จะทำให้ได้กระจกและเลนส์ที่บางมากขึ้น



รูปที่ 20 ภาพตัดขวางของพื้นผิวที่เป็นรูปทรงกลมและรูปทรงพาราโบลา

การกลับมาของกล้องโทรทรรศน์แบบหักเหแสง

นับตั้งแต่ปี ค.ศ. 1609 (พ.ศ. 2143) ผู้สังเกตการณ์มากมายได้เปิดประตูสู่เอกภพบานใหม่กับการเปลี่ยนแปลงมุมมองผ่านกล้องโทรทรรศน์ กล้องโทรทรรศน์เหล่านี้ได้ถูกพัฒนาผ่านกาลเวลามานานมากกว่า 400 ปี ผ่านการทดลองต่างๆ นานา ทั้งที่สามารถนำไปต่อยอดได้และที่เจ็บหายไปตามกาลเวลา ถ้าหากกล่าวถึงกล้องโทรทรรศน์ตัวแรกๆ คงนึกถึงกล้องโทรทรรศน์ของกาลิเลโอขึ้นมาทันที แล้วรู้หรือไม่ว่ากล้องโทรทรรศน์ของกาลิเลโอใช้หลักการอะไร? คำตอบคือหลักการหักเหแสงโดยใช้เลนส์เป็นทั้งรวมแสงและโฟกัสแสง อย่างไรก็ตามการโฟกัสของเลนส์เกิดความผิดปกติจากผลกระทบนี้เรียกว่า ความผิดปกติของสี (ความคลาดสี) ที่เป็นสาเหตุทำให้ขอบภาพของวัตถุมีสีฟุ้งรอบๆ ซึ่งเกิดจากการหักเหของแสงและได้มีผู้ที่คิดหาวิธีแก้ไขปัญหานี้จำนวนมากแต่ก็ยังไม่ประสบผลสำเร็จ

การพัฒนากล้องโทรทรรศน์ที่มีความสำคัญที่สุดก็ได้มาถึง เมื่อ ไอแซก นิวตัน ได้ทำการค้นคว้าที่แหวกแนวของเขาในเรื่องแสงและเลนส์ ได้ข้อสรุปว่ากล้องโทรทรรศน์แบบหักเหจะมีข้อบกพร่องอยู่เสมอ สำหรับเลนส์ใดๆ จะทำหน้าที่คล้ายกับปริซึม ซึ่งทำหน้าที่กระจายสีของแสงในสัดส่วนโดยตรงกับการหักเห ผลที่ได้คือความคลาดสีของภาพดาวสีเขามักจะมีสีอื่นปะปนอยู่ด้วย นิวตันจึงหันไปให้ความสนใจการออกแบบกล้องโทรทรรศน์ในทางปฏิบัติซึ่งจะใช้กระจกในการเก็บรวบรวมแสงดาว

การปรับปรุงคุณภาพความยาวที่กำหนดขนาดของกล้องโทรทรรศน์แบบหักเหแสงมันยังไม่ดีพอ ผมจึงได้สร้างมุมมองจากการสะท้อนแสง โดยใช้กระจกวัตถุที่ทำจากโลหะแว่แทน

นิวตัน จากหนังสือ *Opticks* ในปี ค.ศ. 1704 (พ.ศ. 2247)

ในปี ค.ศ. 1668 (พ.ศ. 2211) นิวตันตัดสินใจไม่สร้างกล้องโทรทรรศน์แบบที่ใช้เลนส์ที่ไม่สามารถแยกสี แต่เขาได้สร้างกล้องโทรทรรศน์สะท้อนแสงแทน

ถึงแม้ว่านิวตันจะสร้างกล้องโทรทรรศน์แบบสะท้อนแสงเป็นคนแรก แต่นิวตันไม่ใช่คนแรกที่มีความคิดค้นกล้องโทรทรรศน์แบบสะท้อนแสงขึ้นมา โดยในปี ค.ศ. 1663 (พ.ศ. 2206) เจมส์ เกรกอรี ได้ออกแบบการรวมแสงด้วยกระจก 2 ชิ้น เข้าด้วยกัน ความคิดของ เจมส์ เกรกอรี มีลักษณะเด่น คือ กระจกตัวที่ 2 ที่มีรูปทรงกลมเว้าด้านหนึ่ง เกรกอรีประสบกับความโชคร้ายที่ในช่วงเวลานั้นไม่มีใครสามารถฝนผิวกระจกให้เป็นรูปทรงกลมได้ เพราะฉะนั้นการออกแบบของเกรกอรีจึงไม่มีประโยชน์



ในปี ค.ศ. 1671 (พ.ศ. 2214) นิวตันได้ออกแบบกล้องโทรทรรศน์ขึ้นใหม่ โดยอาศัยกระจกโค้ง แบบพาราโบล่าสะท้อนแสง แล้วโฟกัสให้ตกลงบนเลนส์ตาชนิดเลนส์นูนอีกครั้ง ซึ่งมีข้อดี คือ นอกจากลดระยะความยาวของลำกล้องแล้ว ยังแก้ปัญหของกล้องโทรทรรศน์แบบหักเหแสงได้ ซึ่งทำให้แสงที่หักเหขึ้นแตกออกเป็นแถบแสงของสเปกตรัมได้อีกด้วย กล้องที่อาศัยหลักการสะท้อนแสงนี้มีชื่อเรียกว่า “กล้องโทรทรรศน์แบบสะท้อนแสง” หรือมีอีกชื่อเรียกหนึ่งว่า “กล้องโทรทรรศน์แบบนิวโทเนียน”

นิวตันได้นำเสนอการออกแบบของเขาไปยังราชสมาคมแห่งประเทศอังกฤษ (England's Royal Society) ในเดือนมกราคม ค.ศ. 1672 (พ.ศ. 2215) ซึ่งมันกระตุ้นความสนใจได้อย่างมาก นิวตันประสบความสำเร็จในการทำกระจกที่มีความโค้งรูปทรงกลมที่เส้นผ่านศูนย์กลางน้อยกว่า 1 นิ้ว กระจกปฐมภูมิที่นิวตันใช้เป็นกระจกสะท้อนแสงทำมาจากโลหะผสมระหว่างทองแดงและดีบุก ซึ่งนิวตันได้เพิ่มความโค้งที่จะทำให้กระจกง่ายต่อการขัด และนิวตันวางกระจกแบบทุติยภูมิที่ทำมุม 45 องศา เพื่อสะท้อนไปยังช่องมองภาพอยู่ที่ด้านข้างของลำกล้องโทรทรรศน์ รูรับแสงของกล้องมีขนาด $1\frac{1}{3}$ นิ้ว และขยายขนาดวัตถุได้ถึง 40 เท่า



รูปที่ 21 (ก) เซอร์ไอแซก นิวตัน

(ข) แสดงการออกแบบของนิวตัน

แม้ว่ากล้องโทรทรรศน์ของนิวตันจะกระตุ้นความสนใจได้อย่างมาก แต่ปัญหาที่เพิ่มเข้ามาของกระจกที่ทำมาจากโลหะคือ เมื่อใช้งานไปได้ระยะหนึ่งกระจกจะเริ่มมีสีคล้ำและจะต้องนำกระจกออกมาขัดให้ขึ้นเงาทุกๆ 2 – 3 เดือน ซึ่งอาจมีผลต่อความโค้งของกระจก และถึงแม้ว่านิวตันจะเชื่อว่าการออกแบบของเขาดีกว่ากล้องโทรทรรศน์แบบหักเห ด้วยขนาดที่เล็กของกล้องโทรทรรศน์ของนิวตันปกปิดข้อบกพร่องที่เกิดจากความโค้งรูปทรงกลมของตัวกระจกเอง นอกจากนี้บางการทดลองได้เลิกทำกับกล้องโทรทรรศน์แบบสะท้อนแสง แต่ยังคงมีความคืบหน้าเล็กๆ น้อยๆ ที่ถูกสร้างขึ้นจนกระทั่งศตวรรษที่ 18



รูปที่ 22

(ก) ภาพร่างกล้องโทรทรรศน์สะท้อนของนิวตัน

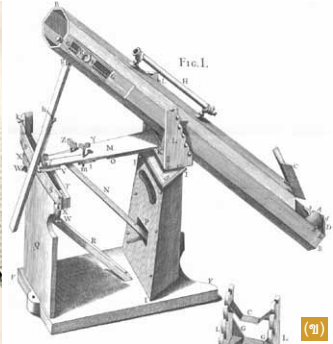
(ข) แบบจำลองกล้องโทรทรรศน์สะท้อนของนิวตัน

ต่อมาในปี ค.ศ. 1672 (พ.ศ. 2215) ฟรินช์แมน ลอเรนต์ แคสซิเกรน (Frenchman Laurent Cassegrain) เป็นคนที่ 3 ในการออกแบบกล้องโทรทรรศน์แบบสะท้อนแสง โดยกระจกชิ้นแรกเป็นรูปพาราโบลาเหมือนกับกระจกของเกรกอรี ส่วนกระจกตัวที่ 2 เป็นกระจกนูนรูปไฮเพอร์โบลาแทนที่จะเป็นกระจกรูปทรงกลมเว้าหนึ่งด้าน คล้ายกับของกล้องโทรทรรศน์เกรกอเรียน แต่เนื่องจากขีดจำกัดทางด้านเทคโนโลยีในสมัยนั้น จากการออกแบบของแคสซิเกรน ใช้เวลาเป็นปี

กล้องโทรทรรศน์แบบสะท้อนเหล่านี้ยังประสบกับปัญหาเรื่องความผิดปกติของการคลาดของทรงกลม เมื่อกล้องโทรทรรศน์ที่ใช้กระจกเป็นรูปทรงกลม รังสีของแสงที่สะท้อนใกล้ศูนย์กลางของกระจกให้จุดโฟกัสแตกต่างกัน จากรังสีของแสงสะท้อนใกล้ขอบของกระจก จนกระทั่งผู้เชี่ยวชาญด้านกระจกสามารถทำการฝนกระจกเป็นรูปทรงอื่นๆ ได้สำเร็จ แต่ปัญหาการคลาดของทรงกลมยังคงอยู่ และกระจกที่ยึดติดข้างหลังทำหน้าที่สะท้อนแสงกลับ

การปรับแต่งกล้องโทรทรรศน์แบบสะท้อนแสงในช่วงต้น

อุปสรรคและปัญหาในการทำกระจกสะท้อนแสงสำหรับกล้องโทรทรรศน์แบบสะท้อนแสงหยุดไปนานกว่า 40 ปี จนกระทั่งมีผู้เชี่ยวชาญทางด้านแสงสามารถขัดกระจกได้สำเร็จ เขาผู้นั้นคือ จอห์น แฮดลีย์ (John Hadley) เป็นนักคณิตศาสตร์ชาวอังกฤษที่ฉายแววความฉลาดตั้งแต่วัยเด็ก และกลายเป็นสมาชิกของราชบัณฑิตยสภา (Royal Society) ตอนเขาอายุได้ 35 ปี ในปี ค.ศ. 1717 (พ.ศ. 2260) ในช่วงเวลานั้นแฮดลีย์ได้รับความช่วยเหลือจากพี่ชายทั้ง 2 คนของเขาที่เริ่มทดสอบจากการบดและขัดโลหะ เขาใช้ Speculum ที่ผสมระหว่างทองแดงและสีเงินที่ใช้สำหรับทำกระจกมาตั้งแต่สมัยโบราณ โดยในปี ค.ศ. 1721 (พ.ศ. 2264) แฮดลีย์ประสบความสำเร็จในการทำกล้องโทรทรรศน์แบบนิวโทเนียนที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางของกระจก 6 นิ้ว และความยาวโฟกัส 62 นิ้ว กล้องโทรทรรศน์ของแฮดลีย์มีลากล้องทำด้วยท่อโลหะ และแฮดลีย์ยังเป็นคนแรกที่สามารถขัดกระจกรูปพาราโบลาสำหรับกล้องโทรทรรศน์สะท้อนแสงแบบเกรกอเรียนได้สำเร็จ ซึ่งกระจกที่นำมาประกอบกล้องโทรทรรศน์เป็นรูปทรงพาราโบลามีความผิดปกติเล็กน้อยมากที่สุด



รูปที่ 23 (ก) ภาพวาดด้านข้างของจอห์น แอสดลีย์

(ข) กล้องโทรทรรศน์แบบสะท้อนแสงของแอสดลีย์

แอสดลีย์สามารถขัดกระจกโลหะของเขาให้มีรูปทรงโค้ง เพื่อหลีกเลี่ยงการบิดเบือนในกล้องโทรทรรศน์ที่ก่อนหน้านี้มีเส้นโค้งรูปทรงกลมเช่นเดียวกับของนิวตัน แอสดลีย์ได้แสดงกล้องโทรทรรศน์ของเขาครั้งแรกในที่ประชุมของราชบัณฑิตยสภาจากการบันทึกในที่ประชุมบอกว่ากล้องโทรทรรศน์มีประสิทธิภาพเพียงพอที่จะ “มีกำลังขยายวัตถุที่ใกล้เคียง 200 เท่า”

สิ่งที่มีความสำคัญพอๆ กับกระจกของกล้องโทรทรรศน์ คือ ขาตั้งกล้องโทรทรรศน์ กล้องโทรทรรศน์มีการติดตั้งตามวัตถุบนท้องฟ้าขณะที่โลกหมุน เพื่อบรรจุเป้าหมายนี้แอสดลีย์ได้ทำการพัฒนาขาตั้งกล้องโทรทรรศน์ที่เรียกตอนนี้ว่า ขาตั้งกล้องตามดาวแบบอัลติจูด-อะซิมุม (Altitude – Azimuth) โดยแกนอัลติจูดวางขนานไปกับเส้นขอบฟ้า และแกนอะซิมุมที่ตั้งในแนวตั้ง หรือเรียกฐานตามดาวนี้ว่า (Alt – Az) นักดาราศาสตร์ต้องหมุนกล้องโทรทรรศน์ตามแกนทั้ง 2 ไปพร้อมกันเพื่อให้วัตถุอยู่ในมุมมองที่ต้องปรับขนาดเล็กน้อย

กล้องโทรทรรศน์ของแอสดลีย์ได้รับการทดสอบโดยสองนักดาราศาสตร์ชาวอังกฤษในปี ค.ศ. 1722 (พ.ศ. 2265) โดยใช้ในการสังเกตดาวเสาร์ พวกเขาได้พบเห็นดวงจันทร์ของดาวเสาร์ 4 ดวง (ดวงจันทร์ดวงที่ใหญ่ที่สุดกำลังเคลื่อนที่ผ่านหน้าของดาวเสาร์) และพบช่องว่างในวงแหวนของดาวเสาร์ แม้ว่าพวกเขาจะตัดสินใจว่าภาพที่เห็นมองไม่สดใสเท่ากล้องโทรทรรศน์แบบสายอากาศขนาด 123 ฟุต ของฮอยเกนส์

ก่อนที่แอสดลีย์จะเสียชีวิตในปี ค.ศ. 1744 (พ.ศ. 2287) แอสดลีย์ยังทำการทดสอบการขัดกระจกสำหรับกล้องโทรทรรศน์ด้วยวิธีการที่แตกต่างกันอย่างต่อเนื่อง เขาทำงานเกี่ยวกับการหาวิธีเพื่อทดสอบผลลัพธ์

กล้องโทรทรรศน์สะท้อนแสงยักษ์ของเฮอร์เชล

ในช่วงต้นศตวรรษที่ 18 ความก้าวหน้าของการสร้างกล้องโทรทรรศน์เป็นไปอย่างเชื่องช้า แต่เมื่อมาถึงยุคของนักดนตรีชื่อ วิลเลียม เฮอร์เชล (William Herschel) ที่ย้ายมาจากเมือง ฮันโนเวอร์ (ปัจจุบันเป็นส่วนหนึ่งของเยอรมนี) ไปยังประเทศอังกฤษและหันมาสนใจเกี่ยวกับ ดาราศาสตร์ ซึ่งในตอนแรกเฮอร์เชลได้พยายามที่จะสร้างกล้องโทรทรรศน์แบบหักเหแสง แต่ว่า กล้องโทรทรรศน์ดังกล่าวมีลำกล้องที่ยาวน่ารำคาญ (โดยเฮอร์เชลได้ทำกล้องโทรทรรศน์แบบหักเหแสงขึ้นมา 1 ตัว มีขนาดความยาว 30 ฟุต) และเขาได้หันมาให้ความสนใจการสร้าง กล้องโทรทรรศน์ที่ใช้กระจก ในปี ค.ศ. 1778 (พ.ศ. 2321) เฮอร์เชลได้สร้างกล้องโทรทรรศน์แบบ สะท้อนแสงหลายตัว โดยหนึ่งในกล้องโทรทรรศน์ที่ประสบความสำเร็จมากที่สุดของเขามีขนาด กระจก 6.2 นิ้ว และยาว 2.1 เมตร (7 ฟุต) เฮอร์เชลได้ใช้กล้องโทรทรรศน์นี้เพื่อรวบรวมแคตตาล็อก ของดาวฤกษ์ที่สำคัญเป็นครั้งแรก และในปี ค.ศ. 1781 (พ.ศ. 2324) เฮอร์เชลได้ค้นพบดาวเคราะห์ ดวงใหม่ที่เรารู้จักกันในปัจจุบัน คือ ดาวยูเรนัส จากการค้นพบนี้นำมาซึ่งการยอมรับของราชสำนัก ทำให้เฮอร์เชลมีรายได้ปีละ 200 ปอนด์ และได้รับอนุญาตให้ทำงานด้านดาราศาสตร์แบบเต็มเวลา

“มันเป็นความลับอันยิ่งใหญ่ของลักษณะเสากระโดง บันได และเชือก จากกลาง ลำกล้องซึ่งมีขนาดมหึมา...ที่ถูกยกปากกระบอกขนาดมหึมาขึ้นไปบนท้องฟ้าอย่างท้าทาย”

โอลิเวอร์ เวนเดล โฮล์มส์ (Oliver Wendell Holmes)

จากการที่ได้รับการสนับสนุนในความสำเร็จของเขา ต่อมาเฮอร์เชลได้ทุ่มเทเป็นเวลาหลายปี เพื่อสร้างกล้องโทรทรรศน์ขนาดใหญ่ที่สมบูรณ์แบบ โดยกล้องโทรทรรศน์นี้มีจุดเด่นคือ กระจกที่มี เส้นผ่านศูนย์กลางเกือบ 19 นิ้ว ห่อหุ้มในหลอดยาว 20 ฟุต บนฐานตามดาวแบบอัลตะซิมุท (Alt – Az) เช่นเดียวกับกล้องโทรทรรศน์กระจกอื่นๆ ที่กระจกทำจากโลหะ (ส่วนใหญ่เป็นทองแดงและ ดีบุก) และกระจกเกิดสีคล้ำได้อย่างรวดเร็ว ดังนั้นมันจะต้องถูกนำมาขัดใหม่บ่อยครั้ง และที่ฐาน ของกล้องโทรทรรศน์สามารถเปิดออกและถอดกระจกออกได้ง่าย อีกประการหนึ่งของกระจกคือ จะต้องนำมาขัดเอาอยู่เสมอเมื่อต้องใช้งานกล้องโทรทรรศน์

การสังเกตการณ์ของ วิลเลียม เฮอร์เชล ได้รับความช่วยเหลือจากแคโรไลนซึ่งเป็นน้องสาว ของเขาเอง ช่องมองภาพของกล้องโทรทรรศน์ได้รับการติดตั้งอยู่ที่ด้านบนของลำกล้อง ดังนั้น การสังเกตการณ์ของเฮอร์เชลได้จากบนแท่นที่สามารถขึ้นหรือลงตามต้องการ แคโรไลนนั่งอยู่ที่ หน้าต่างภายในบ้านที่อยู่ใกล้เคียง เมื่อเฮอร์เชลส่งสัญญาณด้วยการดึงสตริง เธอจะเปิดหน้าต่าง และบันทึกการสังเกตของพี่ชายเธอ ในขณะที่เฮอร์เชลส่งสัญญาณลงไปเธอ



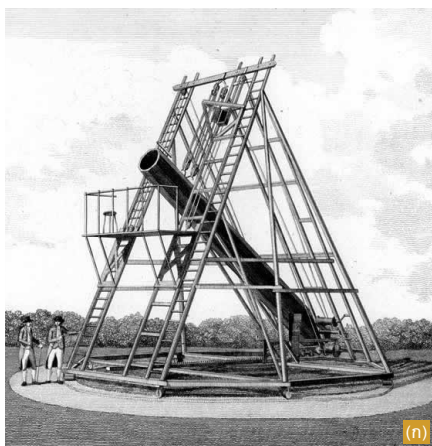


รูปที่ 24 ภาพของวิลเลียมและแคโรไลน์ เฮอร์เชล
รูปจาก <http://star.arm.ac.uk/history/hardcastle/herschel/>

National Astronomical Research Institute of Thailand
(Public Organization)

การสังเกตเป็นไปอย่างยากลำบาก แม้จะต้องอยู่ในสภาพอากาศที่หนาวเย็น เฮอร์เชล ก็ออกไปสังเกตการณ์ เมื่อใดก็ตามที่ท้องฟ้าเปิด คืนหนึ่งขณะก่อนที่จะใช้กล้องโทรทรรศน์ หมึกที่แช่แข็งในขวดของเขาและกระจกที่ดีที่สุดของเขา “ได้แตกออกเป็นสองชิ้น” การสังเกตการณ์จากการนั่งบนที่สูงก็ยังเป็นอันตราย แคโรไลน์บันทึกว่าเธอและพี่ชายของเธอมีส่วนร่วมใน “รายการของการเกิดอุบัติเหตุค่อนข้างยาว... ซึ่งได้รับการพิสูจน์แล้วว่าเป็นอันตรายเกือบถึงชีวิตกับพี่ชายฉันและตัวฉันเอง”

ในปี ค.ศ. 1783 (พ.ศ. 2326) เฮอร์เชลใช้กล้องโทรทรรศน์แบบสะท้อนแสงขนาด 20 ฟุต เริ่มค้นหาย่อมแสงสลัวๆ (หรือเราเรียกว่า เนบิวลา) ในท้องฟ้ายามกลางคืน โดยในปี ค.ศ. 1784 (พ.ศ. 2327) เฮอร์เชลรายงานว่ากล้องโทรทรรศน์ของเขาสามารถทำให้หมดข้อสงสัยในลักษณะเฉพาะของดาวและเนบิวลาที่เคยพบมาก่อนหน้านี้โดยนักดาราศาสตร์ชาวฝรั่งเศส ชาร์ลส์ เมซิเอร์ (Charles Messier) นอกจากนี้เฮอร์เชลยังได้บันทึกการค้นพบเนบิวลาใหม่อีกหลายร้อยเนบิวลา

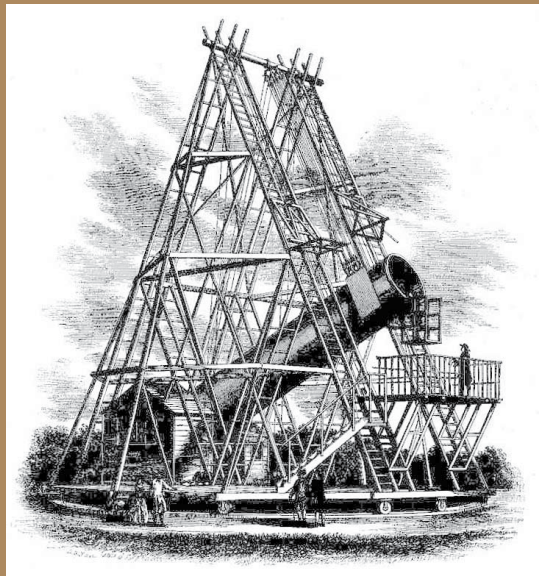


รูปที่ 25 (ก) กล้องโทรทรรศน์ขนาด 6.2 เมตร (20 ฟุต) ของเฮอร์เชล

(ข) มุมมองที่มองลงไปในหลอดของกล้องโทรทรรศน์ขนาด 6.2 เมตร ของเฮอร์เชล โดยไม่ผ่านเลนส์ใกล้ตา

กล้องโทรทรรศน์ขนาด 20 ฟุต ของเซอร์เชลเป็นเครื่องมือที่ดีที่สุดของเขา แต่ในปี ค.ศ. 1785 (พ.ศ. 2328) เขาเริ่มที่จะออกแบบกล้องโทรทรรศน์อีก 1 ตัว ที่มีขนาดใหญ่เป็นสองเท่า ซึ่งสามารถเก็บแสงได้มากกว่าเดิม 4 เท่า หลังจากที่เขาสร้างกล้องโทรทรรศน์ขนาด 40 ฟุต นี้ เซอร์เชลได้เริ่มใช้กล้องโทรทรรศน์ตัวนี้ทำการสังเกตในช่วงฤดูใบไม้ร่วงของปี ค.ศ. 1789 (พ.ศ. 2329) และได้ค้นพบดวงจันทร์ของดาวเสาร์ 2 ดวง คือ ไมมัส (Mimas) และ เอนเซลาดัส (Enceladus) และยังค้นพบดวงจันทร์อื่นๆ อีกด้วย อย่างไรก็ตามกล้องโทรทรรศน์ที่มีลำกล้องยาว มักจะเกิดการโค้งงอ ในขณะเดียวกันเมื่อความต้องการใช้งานที่ถี่ขึ้นก็ต้องขัดกระจกหลักบ่อยครั้ง ซึ่งเป็นข้อจำกัดของกล้องโทรทรรศน์นี้ เซอร์เชลใช้กล้องโทรทรรศน์ยักษ์นี้เป็นครั้งคราว เนื่องจากความยุ่งยากของการใช้งานและพอใจที่จะใช้งานกล้องโทรทรรศน์ขนาด 20 ฟุต มากกว่า ในขณะที่ เซอร์เชลตั้งข้อสังเกตว่า “การใช้งานกล้องโทรทรรศน์ขนาดใหญ่เป็นการเสียเวลา ซึ่งถ้าหากเป็นคืนที่มีท้องฟ้าใสปลอดโปร่งนักดาราศาสตร์จะไม่มีเวลาว่างมากพอที่จะมาเสียเวลากับการปรับกล้องโทรทรรศน์”

เซอร์เชลได้ทำการสังเกตการณ์ครั้งสุดท้ายของเขากับกล้องโทรทรรศน์ขนาด 40 ฟุต ในปี ค.ศ. 1815 (พ.ศ. 2358) บันทึกข้อสังเกตในวารสารของเขา : “ดาวเสาร์มีความสว่างที่สุดใสอย่างมาก...แต่กระจกมีสีคล้ำมาก” ดังนั้นกระจกที่ขาดความวาว เป็นหนึ่งในข้อจำกัดที่รุนแรงมากที่สุดของกล้องโทรทรรศน์แบบสะท้อนแสงขนาดใหญ่ ด้วยเหตุนี้ทำให้อีกหลายทศวรรษต่อมากล้องโทรทรรศน์แบบสะท้อนแสงถูกปฏิเสธและไม่ได้รับความนิยม ความก้าวหน้าในการออกแบบด้านทัศนศาสตร์และการทำแก้ว กล้องโทรทรรศน์แบบหักเหจึงได้รับการฟื้นฟูให้กลับมาเป็นเครื่องมือในการวิจัยอีกครั้ง



รูปที่ 26 กล้องโทรทรรศน์ขนาด 12.4 เมตร (40 ฟุต) ของเซอร์เชล

ยุคทองของกล้องโทรทรรศน์แบบหักเหแสง

ศตวรรษที่ 19 การขยายขอบเขตการมองสำหรับกล้องโทรทรรศน์ที่ใช้เลนส์ (การหักเหแสง) ในฐานะเครื่องมือที่สำคัญที่สุดของนักดาราศาสตร์มืออาชีพในขณะนั้นเทคโนโลยีด้านทัศนศาสตร์ได้รับการปรับปรุงที่ดีขึ้น กล้องโทรทรรศน์แบบหักเหแสงได้กลายเป็นเครื่องมือที่มีความแข็งแรงทนทานและแม่นยำ ซึ่งก็เหมาะสมสำหรับงานวิจัยของนักวิทยาศาสตร์ ซึ่งความกังวลส่วนใหญ่เกี่ยวกับการตรวจวัดตำแหน่งได้อย่างถูกต้องและการเคลื่อนที่ของดาว ความปรารถนาของนักดาราศาสตร์สำหรับกล้องโทรทรรศน์ขนาดใหญ่ขึ้น ที่เบนความสนใจของเศรษฐีชาวอเมริกันที่มาให้ความสนับสนุน ในตอนท้ายของศตวรรษที่ 19 ชาวอเมริกันมีกล้องโทรทรรศน์ที่ใหญ่ที่สุดในโลก 2 ตัว เช่นเดียวกับสิ่งที่สำคัญสำหรับวิชาจักรวาลวิทยา คือ การได้รับการยอมรับจากนักดาราศาสตร์อย่างค่อยเป็นค่อยไปด้วยการรวมทฤษฎีทางฟิสิกส์กับการศึกษาของดาวเข้าด้วยกัน

กล้องโทรทรรศน์แบบหักเหแสงมักจะพบว่าเหมาะสมกว่ากล้องโทรทรรศน์แบบสะท้อนแสงจากการทำงานของหอดูดาวมาตรฐาน...กล้องโทรทรรศน์แบบหักเหแสงได้มีการเพิ่มความสะดวกมากขึ้นเพื่อวัตถุประสงค์ในการตรวจวัดที่แน่นอนมากขึ้น

แอ็กเนส เอ็ม. เคลอร์เก (Agnes M. Clerke) ในปี ค.ศ. 1887 (พ.ศ. 2430)

National Astronomical Research Institute of Thailand (Public Organization)

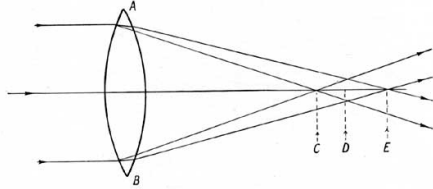
การเดินทางของแสงที่นำมหัสจรรย์

กล้องโทรทรรศน์แบบหักเหแสงยังคงสร้างความประหลาดใจให้กับนักดาราศาสตร์ รวมถึงการวัดความเร็วของแสงเป็นครั้งแรก แต่แล้วเรื่องน่าแปลกใจก็เกิดขึ้นจากความต้องการของพ่อค้า และในศตวรรษที่ 17 เกิดสงครามทางน้ำ ซึ่งกะลาสีเรือมีปัญหาเรื่องตำแหน่งในทะเล พวกเขาสามารถค้นหาเส้นละติจูดได้ง่ายจากการสังเกตดวงอาทิตย์หรือดาว และสามารถพิสูจน์เส้นลองจิจูดที่แน่นอนได้ เมื่อกะลาสีเรือรู้ความแตกต่างระหว่างเวลากับตำแหน่งของพวกเขา และพื้นที่สังเกต เช่นที่กรีนวิช อยู่ใกล้หอดูดาวลอนดอน

กาลิเลโอเคยคิดที่จะใช้การจับเวลาดวงจันทร์ของดาวพฤหัสบดี เช่นเดียวกับของวงโคจรดาวเคราะห์ต่างๆ ถึงแม้ว่าแนวความคิดคือของแข็งที่กลิ้งไปบนพื้นผิวเรียบ คล้ายเรือในทะเลจากการสังเกตอย่างรายละเอียดนั้นเป็นไปได้

คุณภาพของแก้วที่ใช้ทำกล้องโทรทรรศน์มีผลทำให้ได้เลนส์ที่ดีขึ้น

ชัยชนะของกล้องโทรทรรศน์แบบหักเหแสงที่ใช้เป็นเครื่องมือในการวิจัยอย่างจริงจังขึ้นอยู่กับความก้าวหน้าทางด้านเทคโนโลยี ผู้ผลิตแก้วที่สมบูรณ์แบบที่ผลิตเนื้อแก้ว (Optical glass) ที่มีคุณภาพสูง และช่างทำแก้ว (Optician) จะต้องคิดหาวิธีการหลีกเลี่ยงการปนเปื้อนของสีจากเลนส์ (ความคลาดสี) จนกระทั่งมาถึงช่วงต้นของศตวรรษที่ 20 ผู้ผลิตแก้วมีความชำนาญด้านวิทยาศาสตร์มากขึ้น โดยเฉพาะอย่างยิ่งเนื้อแก้วจะต้องปราศจากข้อบกพร่องและสีที่ตกค้างในเนื้อแก้ว ตัวอย่างเช่น เหล็กที่ปนเปื้อนในทรายที่ใช้สำหรับทำเนื้อแก้วสามารถย้อมสีแก้วได้ ในขณะที่ฟองอากาศเล็กๆ หรือข้อบกพร่องอื่นๆ อาจทำให้แก้วเหล่านั้นไร้ประโยชน์สำหรับการทำเลนส์



รูปที่ 27 ความคลาดสี (Chromatic Aberration)

AB: เลนส์นูนสองด้านที่ได้รับรังสีขนานของแสงสีขาว

C: โฟกัสสำหรับแสงสีน้ำเงิน

D: โฟกัสสำหรับแสงสีเขียว

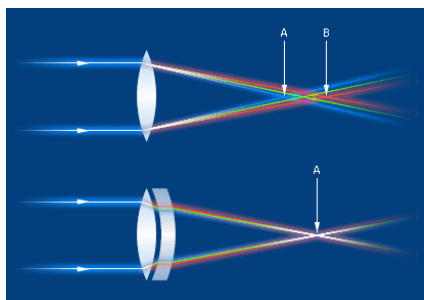
E: โฟกัสสำหรับแสงสีแดง

การกลับมาของกล้องโทรทรรศน์แบบสะท้อนแสง

กล้องโทรทรรศน์แบบสะท้อนแสงนอกจากจะมีปัญหาความผิดปกติของความคลาดสีเนื่องจากแก้วที่นำมาสร้างกระจกมีข้อบกพร่อง และเพื่อแก้ไขปัญหานี้ จึงต้องใช้ลำกล้องที่มีความยาวมาก ในเวลาต่อมา ชาสเตอร์ มัวร์ ฮิลล์ ได้ทำการพัฒนาและปรับปรุงเลนส์เพื่อไม่ให้เกิดการคลาดสีของเลนส์ โดยฮิลล์ออกแบบด้วยการใช้เลนส์ 2 ชิ้น ที่มีดัชนีหักเหแสงที่แตกต่างกัน โดยใช้เลนส์เว้าประกบกับเลนส์นูน ฮิลล์สร้างเลนส์ที่มีแสงแต่ละสีมาตกที่โฟกัสเดียวกันได้เป็นผลสำเร็จ

ในปี ค.ศ. 1765 (พ.ศ. 2308) ปีเตอร์ ดอลลอนด์ ค้นพบการกำจัดความผิดปกติของความคลาดสีได้ทั้งหมด ดอลลอนด์ ใช้เลนส์ 3 ตัว ที่มีขนาดแตกต่างกันและวางห่างกันในระยะทางที่เหมาะสม เลนส์วัตถุสร้างจากเลนส์ 3 ชิ้นด้วยกัน แต่โชคร้ายถึงแม้จะทำการปรับปรุงหลักการหักเหแสงยังมีปัญหาอยู่ เลนส์ที่มีขนาดใหญ่มากกว่า 4 นิ้ว ยังมีข้อบกพร่อง เช่น ฟองและเส้นหลายสี การพัฒนาของกล้องโทรทรรศน์แบบหักเหแสงประสบกับความล้มเหลวและยุติลง จนกระทั่งมีคนพัฒนาทำเลนส์ขนาดใหญ่ได้เป็นผลสำเร็จในยุคปี ค.ศ. 1750 (พ.ศ. 2293) ความก้าวหน้าที่สำคัญในการเอาชนะความคลาดสีที่อยู่ในตัวเลนส์หักเหแสงนี้ ช่างทำแก้วชาวอังกฤษชื่อ จอห์น ดอลแลนด์ (John Dolland) ได้เรียนรู้จากการศึกษาก่อนหน้านี้แสดงให้เห็นว่าวิธีการกำจัดความ

คลาดสีเกือบทั้งหมด เคล็ดลับคือการผสมผสานระหว่างเลนส์เว้าที่ทำจากตะกั่ว “หินเหล็กไฟ” และเลนส์นูนที่ทำจากแก้วที่มีความหนาแน่นต่ำกว่าเล็กน้อย แสงที่ถูกแยกออกโดยเลนส์ตัวแรก จะถูกหักเหให้กลับมารวมกันโดยเลนส์ตัวที่สอง ซึ่งเลนส์ตัวที่สองเรียกว่า เลนส์แก้ความคลาดสี (Achromatic Lenses) ดอแลนดี้ได้รับสิทธิบัตรสำหรับการออกแบบของเขา แต่คุณภาพของ แก้วพลินท์ที่มีอยู่ในเวลานั้นยังมีขีดจำกัดในความสามารถได้เปรียบ



รูปที่ 28 แสดงวิธีการแก้ไขความคลาดสีของเลนส์

หนึ่งในอุปสรรคที่ยากลำบากในการสร้างกล้องโทรทรรศน์ขนาดใหญ่ที่ไม่มี ความคลาดสี คือความยากลำบากในการ จัดหาแผ่นแก้วพลินท์ขนาดใหญ่ พลินท์ที่ มีความหนาแน่นสม่ำเสมอของสีแก้วและ ปราศจากลายเส้นริ้วบนแผ่นแก้วและจุดดำ ในเนื้อแก้ว

โทมัส ดิก (Thomas Dick) ค.ศ. 1845 (พ.ศ. 2388)

ในช่วงต้นศตวรรษที่ 19 ความก้าวหน้าในการผลิตเนื้อแก้วที่ดีนำไปสู่กล้องโทรทรรศน์แบบ หักเหแสงที่ดีเช่นกัน ระหว่างปี ค.ศ. 1784 – 1790 (พ.ศ. 2327 – 2333) ปีแอร์ หลุยส์ ไกแนนด์ (Pierre Louis Guinand) ช่างฝีมือชาวสวิสเซอร์แลนด์ ใช้เวลาเกือบ 20 ปี ในการเรียนรู้ทักษะ พื้นฐานของการทำแก้วและเริ่มทดสอบกับวัสดุชิ้นแก้วด้วยตัวเอง จากความพยายามครั้งแรกของเขาเป็นที่น่าพอใจ ก่อนหน้านี้นี้ไม่มีใครสามารถทำเลนส์ที่มีขนาดใหญ่ได้ จนกระทั่งถึงช่วงปลาย ยุคปี ค.ศ. 1790 (พ.ศ. 2333) ไกแนนด์สามารถทำเลนส์ขนาดใหญ่ที่มีคุณภาพสูงขนาด 6 นิ้ว ได้ สำหรับไกแนนด์นับว่าประสบความสำเร็จอย่างยิ่งใหญ่จนมาถึงในปี ค.ศ. 1805 (พ.ศ. 2348)

หลังจากที่ไกแนนด์ได้ลองผิดลองถูกมาเป็นเวลานานก็สามารถคิดค้นเทคนิคใหม่ด้วยการ แทนที่แท่งไม้ที่ใช้ในการผสมแก้วที่หลอมละลายในเตาเผาด้วยตัวทวนซึ่งทำมาจากดินเหนียวที่ เจาะรูพูน ด้วยเครื่องกลใหม่ที่ทนไฟนี้ ทำให้ฟองอากาศที่ไม่พึงประสงค์ลอยขึ้นไปยังพื้นผิวด้านบนและแก้วจะถูกผสมต่อไปเรื่อยๆ จนแก้วผสมเข้ากันดีพอที่จะนำมาผลิตขึ้นกระจกที่สมบูรณ์แบบ ด้วยเทคนิคใหม่นี้ส่งผลให้เลนส์ของไกแนนด์แทบจะไม่มีข้อบกพร่อง

ด้วยความร่วมมือของแหล่งเงินทุนจาก บริษัท ออปติคอลลเยอร์มัน (German optical firm) ในเมืองมิวนิก ไกแนนด์ถ่ายทอดความรู้ของเขาให้กับโจเซฟ เฟราน์โฮเฟอร์ ช่างทำแก้วฝึกหัด เฟราน์โฮเฟอร์มีทักษะในด้านคณิตศาสตร์และการออกแบบทางด้านทัศนศาสตร์ เป็นนักวิทยาศาสตร์ คนแรกที่ตรวจสอบเส้นสีดำที่เป็นสัญลักษณ์สเปกตรัมของแสงจากดวงดาว หลังจากทีไกแนนด์ย้าย กลับไปสวิสเซอร์แลนด์ เฟราน์โฮเฟอร์ได้ทดสอบกับการทำแก้วและการออกแบบเลนส์อย่างต่อเนื่อง



รูปที่ 29 ปีแอร์ หลุยส์ โกแนนด์
(Pierre Louis Guinand)



ความพยายามของเฟราน์โฮเฟอร์ให้ผลการหักเหที่ดีเยี่ยม และเลนส์ที่เขาออกแบบถูกสร้างขึ้นก่อนที่เขาจะเสียชีวิตในปี ค.ศ. 1826 (พ.ศ. 2369) เมื่ออายุ 39 ปี หนึ่งในนั้นคือ กล้องโทรทรรศน์ขนาด 9.5 นิ้ว ของหอดูดาวดอร์แพต ที่รัสเซีย ถูกติดตั้งในปี ค.ศ. 1824 (พ.ศ. 2367) โดยวิลเฮล์ม สตรูเป (F.G. Wilhelm Struve) นักดาราศาสตร์ที่มีชื่อเสียงของรัสเซียให้ความเห็นว่าเมื่อเห็นเครื่องมือของเฟราน์โฮเฟอร์ก็ไม่สามารถที่จะตรวจสอบ “ซึ่งชื่นชมมากที่สุดกับความถูกต้องของการสร้าง...หรือกำลังแสงที่เปรียบมิได้และความแม่นยำที่มีการกำหนดวัตถุ” สตรูเปและนักดาราศาสตร์อื่นๆ ที่ใช้กล้องโทรทรรศน์นี้สำรวจดาวมากกว่า 120,000 ดวง

กล้องโทรทรรศน์แบบหักเหแสงดอร์แพต ขนาด 9.5 นิ้ว เป็นกล้องโทรทรรศน์ตัวแรกที่ใช้ขาดังแบบอิคเวทอรีน ในปี ค.ศ. 1800 (พ.ศ. 2343) โจเซฟ เฟราน์โฮเฟอร์ ได้เรียนกระบวนการผลิตเลนส์ที่มีขนาดใหญ่แต่พบว่ามีข้อบกพร่อง ทราบต่อมาในปี ค.ศ. 1824 (พ.ศ. 2367) เขาได้ทำเลนส์หักเหแสงที่ดีที่สุดขึ้นมาเป็นผลสำเร็จ

โจเซฟ เฟราน์โฮเฟอร์ (Joseph Fraunhofer)

กล้องโทรทรรศน์แบบหักเหแสงความยาว 14 ฟุต “กล้องโทรทรรศน์แบบหักเหแสงดอร์แพตที่ดีที่สุด” จากข้อสังเกตไม่ได้มีเพียงแต่เลนส์ที่มีคุณภาพสูง แต่ยังมีฐานตามดาวของกล้องโทรทรรศน์อีกด้วย ซึ่งฐานตามดาวนี้เป็นตัวอย่างแรกของกล้องโทรทรรศน์และกลายเป็นฐานตามดาวที่เป็นที่รู้จักกันโดยทั่วไป คือ ฐานตามดาวแบบอิคเวทอรีลมี “ขั้ว” ซึ่งมีแกนหนึ่งที่ชี้ไปตำแหน่งเดียวกับแกนหมุนของโลก (นั่นคือแกนชี้หรือที่พูดกันว่าชี้ไปที่ดาวเหนือ) ประกอบกับค่า “เดคลิเนชัน” แกนที่ตั้งฉากกับแกนขั้วนี้จะหมุนตามท้องฟ้า ณ ตำแหน่งใดๆ ประโยชน์ของฐานตามดาวแบบอิคเวทอรีลของเฟราน์โฮเฟอร์คือ การที่แกนขั้วโลกถูกหมุนอย่างต่อเนื่องโดยกลไกนาฬิกา มันเป็นการขับเคลื่อนที่แม่นยำอัตราที่ต่อต้านการเคลื่อนที่อยู่ในชีวิตประจำวันที่เราเห็นได้ชัดของดวงดาวบนท้องฟ้า ดังนั้นกล้องโทรทรรศน์ที่ติดตามดาวโดยอัตโนมัติ นวัตกรรมของเฟราน์โฮเฟอร์กลายเป็นส่วนหนึ่งของการออกแบบมาตรฐานของกล้องโทรทรรศน์ในศตวรรษที่ 19 ที่ช่วยให้นักดาราศาสตร์สามารถวัดดูได้นานมากขึ้นอย่างง่ายดายในท้องฟ้าเวลากลางคืน นาฬิกาที่ขับเคลื่อนด้วยการติดตามดาวแบบอิคเวทอรีลพิสูจน์แล้วว่าเป็นสิ่งจำเป็น การถ่ายภาพถูกนำเข้าสู่การดาราศาสตร์ตั้งแต่ช่วงหลังของศตวรรษที่ 19 เพราะมันช่วยทำให้การเปิดรับแสงมีความยาวนานที่เป็นไปได้ของแผ่นฟิล์ม





รูปที่ 30 (ก) โจเซฟ เฟราน์โฮเฟอร์ (Joseph Fraunhofer)

(ข) กล้องโทรทรรศน์แบบหักเหแสงดอร์เพต ขนาด 9.5 นิ้ว

National Astronomical Research
Institute of Thailand
(Public Organization)

เทคนิคสำหรับการทำแก้วและเลนส์ที่มีคุณภาพสูงได้แพร่กระจายไปยังประเทศฝรั่งเศสและประเทศอังกฤษ รัฐบาลอังกฤษได้เล็งเห็นศักยภาพสำหรับอุตสาหกรรมที่ทำกำไรและสอบถามไปยังนักวิทยาศาสตร์ที่จะใช้ทักษะของพวกเขาในการปรับปรุงการผลิตวัสดุชิ้นแก้วของประเทศ ในขณะที่ความความสำเร็จของเฟราน์โฮเฟอร์ในการทำเครื่องมือทางดาราศาสตร์ช่วยสร้างอุตสาหกรรมเลนส์ในประเทศเยอรมัน ซึ่งนำไปสู่ทั่วโลกมานานกว่าครึ่งศตวรรษ

การเกิดใหม่ของกล้องโทรทรรศน์แบบสะท้อน

การเพิ่มขึ้นของกล้องโทรทรรศน์แบบสะท้อนขนาดใหญ่ในต้นศตวรรษที่ 20 ซึ่งสอดคล้องกับการเพิ่มขึ้นของนักดาราศาสตร์และความต้องการของนักวิทยาศาสตร์ที่จะสามารถเก็บแสงได้มากกว่าที่เคย สำหรับสเปกโทรสโกปีและโครงการวิจัยที่ใช้การถ่ายภาพเป็นหลัก กล้องโทรทรรศน์แบบหักเหแสงแสดงการเบี่ยงเบนของแสงตกค้างในขณะที่มีความยาวโฟกัสที่สั้นลง นั่นหมายความว่า การสะท้อนของกล้องโทรทรรศน์เหล่านี้อาจมีลำกล้องที่สั้นลงและสามารถใช้โดเมนขนาดเล็กครอบตัวกล้องโทรทรรศน์ได้ ซึ่งมีราคาถูกกว่าการสร้าง

อย่างไรก็ตามในช่วงเปลี่ยนศตวรรษที่ 20 นักดาราศาสตร์ยังคงไม่เห็นด้วยเกี่ยวกับการออกแบบกล้องโทรทรรศน์ที่ดีที่สุด โดยบางคนโต้แย้งว่ากล้องโทรทรรศน์แบบสะท้อนให้มุมมองที่ใหญ่เกินไป เป็นที่น่าอึดอัดใจและไม่แน่นอน และตั้งข้อสงสัยของความบิดเบือนที่เกิดจากความร้อน โดยการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิในช่วงกลางคืนที่หอดูดาว นักดาราศาสตร์มีข้อสงสัยยังคงเห็นด้วยกับการใช้กล้องโทรทรรศน์แบบหักเหแสงเป็นเครื่องมือหลักในการทำงานวิจัยต่อมาเป็นเวลาหลายปี ในขณะที่นักดาราศาสตร์สมัครเล่นทดลองกับกล้องโทรทรรศน์แบบสะท้อนแสง

ด้วยการพัฒนาเทคนิคที่เคลือบโลหะสะท้อนลงบนกระจกแก้วและความสามารถที่เพิ่มขึ้นของช่างเทคนิคที่บริษัททำแก้วสามารถที่จะทำให้ช่องว่างกระจกมีขนาดใหญ่มากพอ โดยในปี ค.ศ. 1920 (พ.ศ. 2463) กล้องโทรทรรศน์แบบสะท้อนขนาดยักษ์เข้ามาแทนกล้องโทรทรรศน์แบบหักเห ยกเว้นกล้องโทรทรรศน์สำหรับการทำงานพิเศษเพียงไม่กี่ประเภท



400 year of the Telescope

► สถาบันวิจัยดาราศาสตร์แห่งชาติ (องค์การมหาชน)

National Astronomical Research Institute of Thailand (Public Organization)

เลขที่ 191 อาคารศิริพานิช ถ.หัวแยแ้ว ต.สุเทพ อ.เมือง จ.เชียงใหม่ 50200

โทรศัพท์ : 0-5322-5569, 0-5322-5571 โทรสาร : 0-5322-5524

► สำนักงานประสานงาน กรุงเทพฯ

สถาบันวิจัยดาราศาสตร์แห่งชาติ (องค์การมหาชน)

ชั้น 2 สำนักงานปลัดกระทรวงวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี อาคารพระจอมเกล้า

กระทรวงวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ถนนพระรามที่ 6 เขตราชเทวี กรุงเทพฯ 10400

โทรศัพท์ : 0-2354-6652 โทรสาร : 0-2354-7013

► หอดูดาวเฉลิมพระเกียรติ 7 รอบพระชนมพรรษา ฉะเชิงเทรา

Regional Observatory for the Public Chachoengsao

เลขที่ 999 หมู่ 3 ต.วังเย็น อ.แปลงยาว จ.ฉะเชิงเทรา 24190

โทรศัพท์ : 0-3858-9395 โทรสาร : 0-3858-9396

► หอดูดาวเฉลิมพระเกียรติ 7 รอบพระชนมพรรษา นครราชสีมา

Regional Observatory for the Public Nakhon Ratchasima

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี เลขที่ 111 ถ.มหาวิทยาลัย ต.สุรนารี อ.เมือง จ.นครราชสีมา 30000

โทรศัพท์ : 0-4421-6254 โทรสาร : 0-4421-6255

E-mail : info@narit.or.th • www.narit.or.th