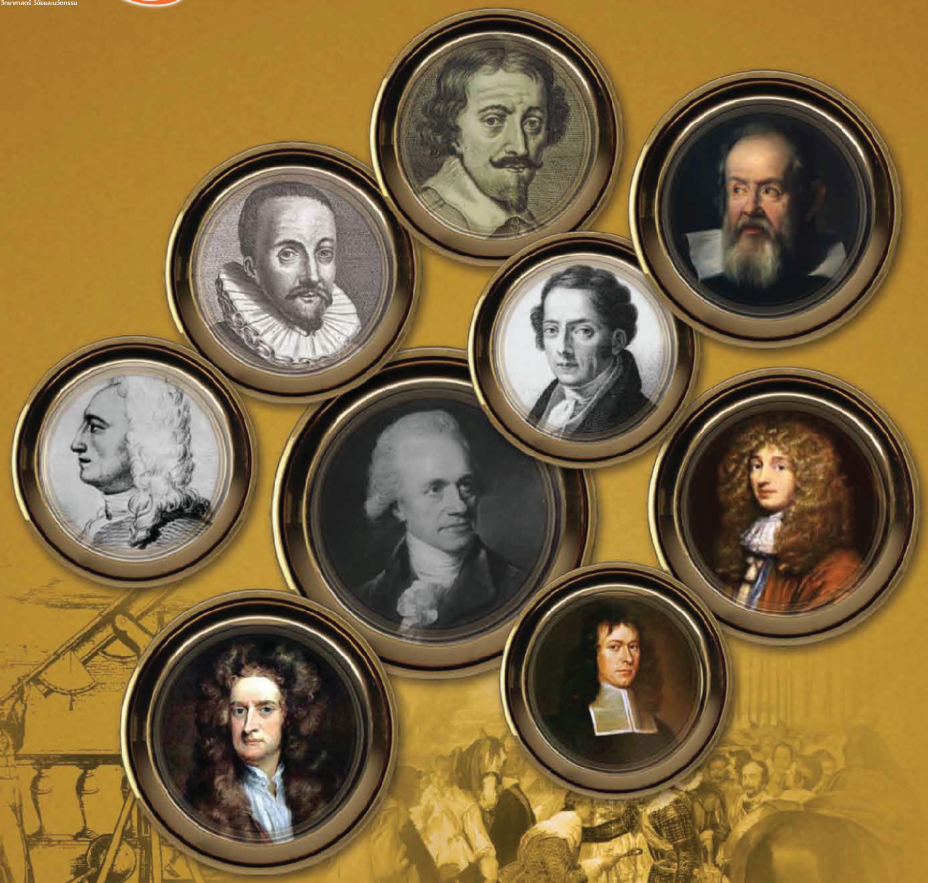
สถาบันวิจัยดาราศาสตร์แห่งชาติ (องค์การมหาชน)
National Astronomical Research Institute
of Thailand (Public Organization)



400 ปี

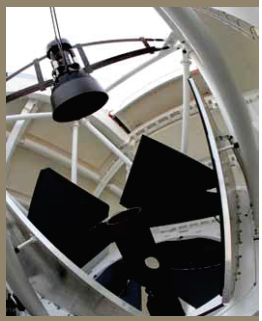
วิวัฒนาการกล้องโทรทรรศน์

400 year of the Telescope

เรียบเรียงโดย กรกมล ศรีบุญเรือง

400 ปี
วิวัฒนาการกล้องโทรทรรศน์

National Astronomical Research Institute of Thailand
(Public Organization)



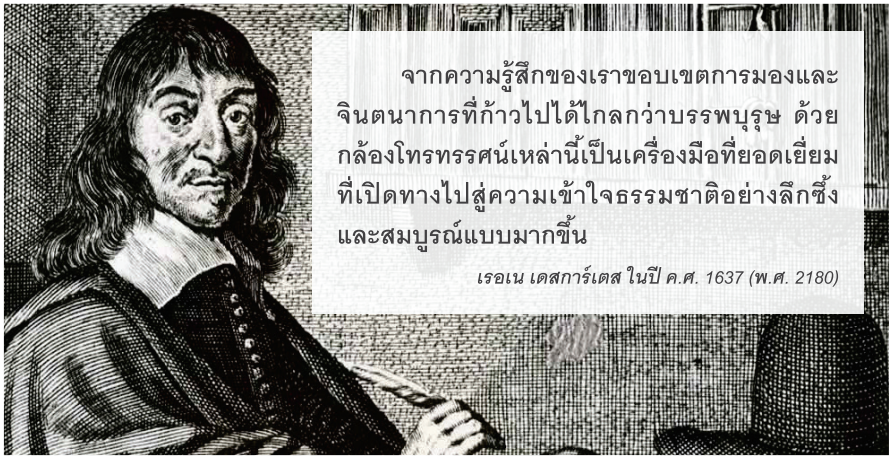
การปฏิวัติวงการดาราศาสตร์ครั้งที่ยิ่งใหญ่ที่สุดในประวัติศาสตร์และถือว่าเป็นก้าวกระโดดที่มีความสำคัญมากที่สุด เมื่อมีนักประดิษฐ์ได้สร้างเครื่องมือส่องดูวัตถุที่อยู่ไกลออกไปให้ดูเหมือนจะอยู่ใกล้แค่เพียงเอื้อมมือ ซึ่งถ้าหากนับเวลาย้อนกลับไปก็เป็นเวลาถึง 400 ปี กว่ามาแล้วที่นักดาราศาสตร์ได้ใช้กล้องโทรทรรศน์ทำการสำรวจท้องฟ้า และค้นพบความลับที่ซ่อนอยู่บนท้องฟ้ามากมาย นับตั้งแต่ที่มนุษย์ได้ประดิษฐ์กล้องโทรทรรศน์ตัวแรกขึ้นมาและได้ใช้มันสังเกตการณ์วัตถุบนท้องฟ้าต่างๆ ในช่วงเวลากลางคืน แต่มนุษย์ไม่ได้หยุดความอยากรู้อยากเห็นไว้เพียงเท่านี้ โดยในแต่ละยุคแต่ละสมัยก็ได้มีการพัฒนากล้องโทรทรรศน์ให้มีประสิทธิภาพสูงขึ้นเรื่อยๆ เพื่อปรับปรุงแก้ไขข้อผิดพลาดของกล้องโทรทรรศน์เหล่านั้น ในหนังสือคู่มือนี้จะนำท่านไปพบกับประวัติความเป็นมาของกล้องโทรทรรศน์ชนิดต่างๆ ตั้งแต่อดีตจนถึงปัจจุบัน

ในช่วงต้นศตวรรษที่ 17 นักประดิษฐ์และนักวิทยาศาสตร์ ได้นำเครื่องมือใหม่มาใช้สำหรับการศึกษาท้องฟ้า และกล้องโทรทรรศน์ก็เป็นหนึ่งในเครื่องมือที่ช่วยในการปฏิวัติทางวิทยาศาสตร์อย่างรวดเร็ว และกลายมาเป็นเครื่องมือที่มีความสำคัญต่อนักดาราศาสตร์อย่างยิ่ง จากนี้ไปนักดาราศาสตร์จะสามารถมองเห็นดาวจำนวนมากและวัตถุท้องฟ้าที่มีแสงจางๆ ที่ไม่เคยเห็นมาก่อน ประตูบานใหม่สู่จักรวาลได้ถูกเปิดกว้างขึ้นมากกว่าเดิมจากที่เคยใช้ตาเปล่ามองและในขณะเดียวกันกล้องโทรทรรศน์ก็ถูกพัฒนาให้มีประสิทธิภาพมากขึ้นอย่างต่อเนื่อง นักดาราศาสตร์ได้ผลักดันขอบเขตของจักรวาลที่เคยรู้จักกันและเชื่อมต่อลึกลงไปในทะเลที่ล้อมรอบไปด้วยดวงดาวที่รู้จักกันในชื่อทางช้างเผือก...

การคิดค้นกล้องโทรทรรศน์

จากการสืบค้นเอกสารและเบาะแส ที่ยังพอหลงเหลือจากอดีตจนถึงปัจจุบันของนักโบราณคดีวิทยาศาสตร์ ได้ค้นพบเอกสารซึ่งเป็นใบสิทธิบัตรการคิดค้นประดิษฐ์กล้องโทรทรรศน์ตัวแรก และถูกสร้างขึ้นเมื่อ ปี ค.ศ. 1608 (พ.ศ. 2151) แต่ยังเป็นที่ถกเถียงในวงการวิทยาศาสตร์ว่า “ใคร” คือผู้คิดค้นและประดิษฐ์กล้องโทรทรรศน์ขึ้นมาเป็นคนแรก ซึ่งจากหลักฐานเท่าที่มีการค้นพบในปัจจุบันทำให้หลายคนเชื่อว่า ฮานส์ ลิพเพอร์ฮาย (Hans Lippershey) เป็นคนแรกที่ประดิษฐ์กล้องโทรทรรศน์ แต่ก็ยังมีหลักฐานอีกหลักฐานหนึ่งที่ปรากฏว่ามีชายอีกคนหนึ่งเป็นผู้ประดิษฐ์กล้องโทรทรรศน์ก่อนลิพเพอร์ฮาย ถึง 8 ปี นั่นก็คือ ซาคาไรส์ แจนซ์เซน (Sacharias Janssen) ซึ่งเขาได้ประดิษฐ์กล้องโทรทรรศน์ในปี ค.ศ. 1600 (พ.ศ. 2143) แต่คำกล่าวอ้างดังกล่าวไม่มีหลักฐานยืนยันที่แน่ชัดจึงทำให้ลิพเพอร์ฮายได้รับการยอมรับมากกว่าแจนซ์เซน

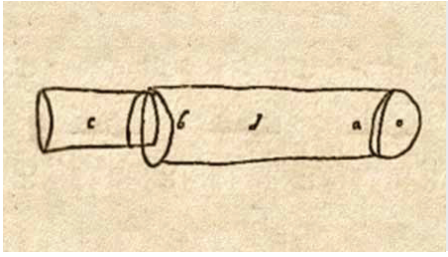
จากคำกล่าวอ้างที่ยังคลุมเครือและนักวิชาการส่วนใหญ่เชื่อว่าลิพเพอร์ฮายเป็นผู้ค้นพบคุณสมบัติของเลนส์ว่า เมื่อนำเลนส์ 2 ตัว มาซ้อนกันจะทำให้เห็นวัตถุที่อยู่ไกลออกไปได้ชัดขึ้น ต่อมาได้นำหลักการดังกล่าวมาสร้างเป็นกล้องส่องทางไกลขึ้นมาเป็นครั้งแรก ในยุคนั้นอุปกรณ์นี้ถูกเรียกว่า “ท่อขยาย” ต่อมาได้เปลี่ยนเป็น “กล้องโทรทรรศน์” จากนั้นเมื่อกาลิเลโอทราบข่าวเกี่ยวกับหลักการดังกล่าว จึงได้เขียนจดหมายเพื่อขอคำชี้แนะจากลิพเพอร์ฮาย จากนั้นกาลิเลโอก็ได้ออกแบบและสร้างกล้องโทรทรรศน์ของตนเองและทำสำเร็จในปี ค.ศ. 1609 (พ.ศ. 2152) ในเดือนกันยายน ค.ศ. 1610 (พ.ศ. 2153) เขาได้ใช้กล้องโทรทรรศน์ที่เขาประดิษฐ์ทำการสังเกตดาวศุกร์ และเห็นดาวศุกร์มีลักษณะเป็นเสี้ยวคล้ายกับเสี้ยวของดวงจันทร์ การค้นพบของกาลิเลโอจึงเป็นหลักฐานชิ้นสำคัญในการคัดค้านความเชื่อที่ว่าโลกเป็นศูนย์กลางของจักวาล



การประดิษฐ์กล้องโทรทรรศน์

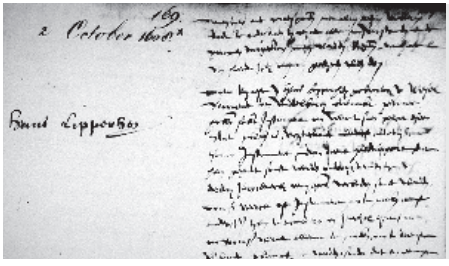
คุณสมบัติของเลนส์เป็นที่รู้จักกันดีและได้มีการประดิษฐ์เลนส์ขึ้นมาใช้งานตั้งแต่ยุคของชาวกรีก นักวิชาการอิสลาม เช่น แพทย์ของชาวอียิปต์ชื่อ อัลฮาเซน (เกิดในศตวรรษที่ 10) ได้มีส่วนร่วมที่สำคัญในการศึกษาเลนส์ อย่างไรก็ตามเลนส์ไม่ได้ถูกนำเข้าไปเผยแพร่ในยุโรปจนกระทั่งถึงศตวรรษที่ 13 โดยในปี ค.ศ. 1300 (พ.ศ. 1843) แว่นตาอันแรกที่มีการจัดแสดงและขายอยู่ในเมืองใหญ่ เช่น เมืองเวนิซ และเมืองฟลอเรนซ์ ซึ่งในเวลาต่อมาความก้าวหน้าในการทำเลนส์และการฝนเลนส์ก็เกิดขึ้นตามมา แต่สำหรับเหตุผลการคิดค้นกล้องโทรทรรศน์ยังไม่ชัดเจน

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



รูปที่ 1 ภาพวาดส่วนประกอบของกล้องโทรทรรศน์ที่เก่าแก่ที่สุดที่รู้จักกัน โดย จีโอวานนี แบตติสต้า เดลลา ปอร์ตา (Giovan Battista della Porta) ที่รวมภาพสเก็ตในจดหมายที่เขียนในเดือนสิงหาคม ค.ศ. 1609 (พ.ศ. 2152)

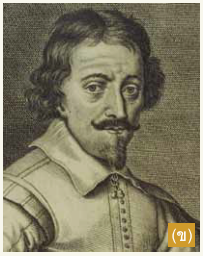
ในศตวรรษที่ 17 กล้องโทรทรรศน์และกล้องจุลทรรศน์ถูกประดิษฐ์ขึ้นมา แสดงให้เห็นว่าประชาชนทั่วไปในยุคนี้สามารถมองเห็นในสิ่งที่นักปรัชญาชาวกรีกยังไม่ได้คาดคิดจากเครื่องมือเหล่านี้



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

ในวันที่ 2 ตุลาคม ค.ศ. 1608 (พ.ศ. 2151) เอกสารรายงานของสภาฐานันดรของชาวดัตช์ (Dutch Estates General) กล่าวถึงการร้องขอสิทธิบัตร สำหรับการสร้างกล้องโทรทรรศน์ โดย ลิพเพอร์ฮาย ช่างทำแว่นในเมืองมิดเดิลบีร์ค คณะปกครองมอบหมายให้ลิพเพอร์ฮาย 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 ลิพเพอร์ฮาย (พ.ศ. 2113 – 2162)
(ข) ซาคาไรส์ แจนซ์เซน (พ.ศ. 2123 – 2181)
รูปจาก หนังสือ “De vero telescopii inventore” ของปิแอร์ โบเรล (Pierre Borel)

ในครึ่งแรกของศตวรรษที่ 17 เครื่องมือใหม่นี้เป็นตัวแทนของการเปลี่ยนแปลงในยุคนั้นเลยก็ว่าได้ และเป็นของเล่นชิ้นใหม่ในยุคนั้น ที่ให้มุมมองของภาพที่น่าตื่นเต้นและแปลกใหม่

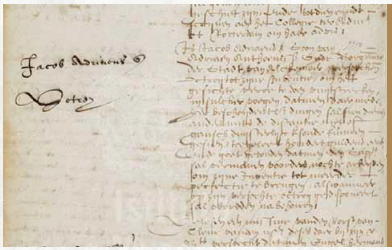
นักวิชาการจำนวนมากเชื่อว่าลิพเพอร์ฮายจากเมืองมิดเดิลบีร์ค ประเทศเนเธอร์แลนด์ เป็นผู้ประดิษฐ์กล้องโทรทรรศน์เป็นคนแรก ในเดือนกันยายนปี ค.ศ. 1608 (พ.ศ. 2151) ลิพเพอร์ฮายได้นำกล้องโทรทรรศน์ไปถวายให้กับเจ้าชายมอริซ (Maurice)

ยาค็อบ เมธิอัส เป็นหนึ่งในสามของคนที่มีความเกี่ยวข้องกับการประดิษฐ์กล้องโทรทรรศน์ อีกสองคนคือ ฮานส์ ลิพเพอร์ฮาย และซาคาไรส์ แจนซ์เซน ซึ่งในเดือนตุลาคมปีเดียวกันกับที่ลิพเพอร์ฮายได้ยื่นร้องขอจดสิทธิบัตรที่สภาฐานันดร และยังพบคำร้องการยื่นขอรับสิทธิบัตรเช่นเดียวกันกับลิพเพอร์ฮายอีกรายหนึ่ง โดยเขาผู้นั้นมีชื่อว่า ยาค็อบ เมธิอัส ได้ยื่นขอจดสิทธิบัตรสำหรับอุปกรณ์ที่ใช้สำหรับการ “มองสิ่งที่ห่างไกลราวกับว่าอยู่ใกล้เคียงในบริเวณนั้น” อุปกรณ์นี้ประกอบด้วยเลนส์นูนและเว้าในท่อ และสามารถขยายวัตถุได้ 3 - 4 เท่า เมธิอัสใช้เลนส์วัตถุเป็นเลนส์นูนและเลนส์เว้าเป็นช่องมองภาพ กล้องโทรทรรศน์ของเมธิอัสได้รับการออกแบบมาเป็นอย่างดีและอาจจะดีกว่ากล้องโทรทรรศน์ที่ลิพเพอร์ฮายออกแบบและส่งมาขอจดสิทธิบัตรเพียงไม่กี่สัปดาห์ก่อนหน้าเมธิอัส

เมธิอัสแจ้งต่อสภาฐานันดร ว่าเขาเป็นผู้คุ้นเคยกับการทำเลนส์และเขาสามารถทำกล้องโทรทรรศน์ที่ดียิ่งขึ้นได้จากการสนับสนุนของรัฐบาล เมื่อเมธิอัสเห็นว่าสภาฐานันดรยังลังเลในการตรวจสอบคำร้องของเขา เมธิอัสจึงห้ามไม่อนุญาตให้ใครดูกล้องโทรทรรศน์ที่เขาประดิษฐ์

สภาฐานันดรลงคะแนนให้เมธิอัสได้รับรางวัลเล็กๆ ถึงแม้ว่ามันจะจบลงด้วยการจ้างงานลิพเพอร์ฮายให้ทำกล้องสองตาจากการดัดแปลงกล้องโทรทรรศน์ เมื่อเมธิอัสเสียชีวิตลงเครื่องมือทั้งหมดของเขาถูกทำลายตามความประสงค์ของเขา เพื่อป้องกันไม่ให้คนอื่นนำไปอ้างและเพื่อเป็นเกียรติแก่การประดิษฐ์กล้องโทรทรรศน์ของเขา

นอกจากนี้ยังมีการเรียกร้องโดย โยฮันเนส ซาคาไรส์เซน (Johannes Zachariassen) ลูกชายของซาคาไรส์ แจนซ์เซน ว่า ยาค็อบ เมธิอัส และคอร์เนลิ เดรบเบล (Cornelis Drebbel) ได้ซื้อกล้องโทรทรรศน์จากเขาและพ่อในปี ค.ศ. 1620 (พ.ศ. 2163) และทำการคัดลอกกล้องโทรทรรศน์นี้ไป แต่ในปัจจุบันเป็นที่ทราบกันดีหลังจากที่มีหลักฐานการประดิษฐ์กล้องโทรทรรศน์ของลิพเพอร์ฮายและเมธิอัส



รูปที่ 4 หนังสือรายงานการประชุมรัฐบาลกลางของประเทศเนเธอร์แลนด์ การประยุกต์ใช้สิทธิบัตรของยาค็อบ เมธิอัส ในวันที่ 17 ตุลาคม ค.ศ. 1608 (พ.ศ. 2151)

National Astronomical Research Institute of Thailand (Public Organization)

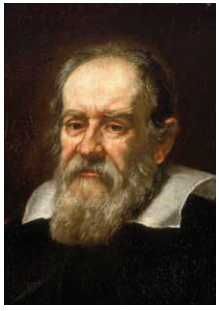
กล้องโทรทรรศน์กาลิเลโอ (Galileos's Telescope)

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

ในขณะที่กาลิเลโอไม่ได้คิดค้นกล้องโทรทรรศน์ขึ้นมาเป็นคนแรก (อย่างที่ทุกคนเคยเข้าใจกัน) แต่กาลิเลโอได้ออกแบบและสร้างกล้องโทรทรรศน์ที่มีกำลังขยายที่มากขึ้นสำหรับการใช้งานของตัวเองและนำเสนอให้ลูกค้าของเขา กาลิเลโอเป็นผู้ผลิตเครื่องมือที่มีความเชี่ยวชาญและกล้องโทรทรรศน์ของเขาเป็นที่รู้จักกันดีว่าเป็นกล้องโทรทรรศน์ที่มีคุณภาพสูง ณ เวลานั้น

กล้องโทรทรรศน์ตัวแรกของกาลิเลโอสร้างจากท่อธรรมดาทั่วไปที่มีเลนส์ 2 ชิ้น โดยชิ้นหนึ่งวางอยู่ด้านหน้าและอีกชิ้นหนึ่งวางไว้ด้านหลัง ในครั้งแรกเครื่องมือของกาลิเลโอมีกำลังขยายเพียงแค่ 3 เท่า ต่อมากาลิเลโอได้พัฒนากล้องโทรทรรศน์ขึ้นมาอีก 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

กล้องโทรทรรศน์ของกาลิเลโอมีลักษณะคล้ายกับกล้องโทรทรรศน์ของชาวดัตช์ที่สร้างมาก่อนหน้านี้ กล้องโทรทรรศน์ของกาลิเลโอเป็นแบบหักเหแสง โดยใช้เลนส์เป็นตัวโค้งงอแสงหรือหักเหแสง กล้องโทรทรรศน์แบบหักเหแสงมีลักษณะเด่นคือเลนส์ ช่องมองภาพเป็นเลนส์เว้าและเลนส์ใกล้วัตถุเป็นเลนส์นูน กล้องโทรทรรศน์เป็นสิ่งที่ทำได้ค่อนข้างง่าย แต่กาลิเลโอต้องเผชิญกับความยากลำบากในการหากระจกใสและเป็นเนื้อเดียวกันสำหรับการทำเลนส์ของกล้องโทรทรรศน์ที่เขาประดิษฐ์ แก้วที่เต็มไปด้วยฟองอากาศเล็กๆ และมีสีเขียว (เกิดจากสิ่งปนเปื้อน เช่น เหล็ก) นี่คือปัญหาที่ผู้ผลิตกล้องโทรทรรศน์มีปัญหามานานหลายศตวรรษ ซึ่งในยุคนั้นเป็นเรื่องยากที่จะสร้างเลนส์ให้มีรูปทรงที่สมบูรณ์แบบ ซึ่งทำให้ภาพของดาวเบลอและดาวล้อมรอบด้วยสีชมพู กาลิเลโอได้ทำการปรับปรุงอุปกรณ์ของเขาอย่างต่อเนื่อง จนได้กล้องโทรทรรศน์ที่มีกำลังขยาย 30 เท่า

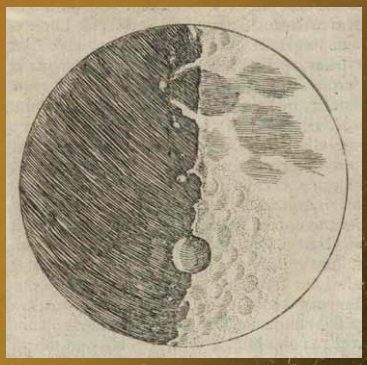
กล้องโทรทรรศน์ตัวแรกที่กาลิเลโอสร้าง ทำมาจากไม้ กระดาษ และทองแดง มีความยาวของลำกล้อง 1,360 มิลลิเมตร และประกอบด้วยชิ้นส่วนสำคัญสองชิ้น คือ เลนส์วัตถุกับเลนส์ตา โดยเลนส์วัตถุที่มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 51 มิลลิเมตร แต่ความโค้งของเลนส์ทั้งข้างไม่เท่ากัน ความหนาของเลนส์ 2.5 มิลลิเมตร (วัดจากจุดศูนย์กลางของเลนส์) 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 กล้องโทรทรรศน์แบบหักเหแสงตัวแรกที่กาลิเลโอสร้าง

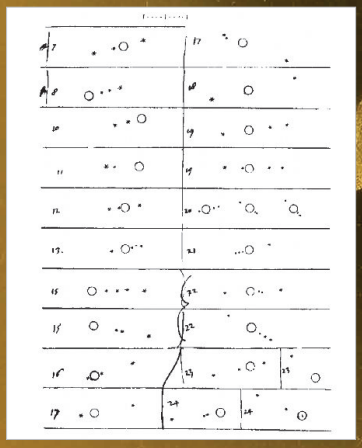
กล้องโทรทรรศน์ตัวที่ 2 ของกาลิเลโอ ทำมาจากไม้ กระดาษ และหนังสัตว์ที่ฟอกแล้ว มีความยาวของลำกล้อง 980 มิลลิเมตร กล้องโทรทรรศน์ที่เป็นต้นฉบับของกาลิเลโอประกอบไปด้วย 2 ส่วน คือ ส่วนแรกเป็นท่อหลักโดยมีเลนส์วัตถุติดอยู่ส่วนปลาย และส่วนที่ 2 สามารถแยกออกมาได้ ซึ่งเป็นส่วนของเลนส์ตา ท่อทั้งหมดถูกหุ้มด้วยหนังสีแดง ตกแต่งลายนิยมสีทอง (แต่เมื่อเวลาผ่านไปหนังสีแดงได้เปลี่ยนเป็นสีน้ำตาล) แต่กาลิเลโอได้ใช้เลนส์วัตถุเป็นแบบราบข้างหนึ่งและอีกด้านเว้า 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 กล้องโทรทรรศน์ของกาลิเลโอยังมีปัญหาเรื่องความคมชัดของภาพที่มองเห็นไม่ชัดเจน

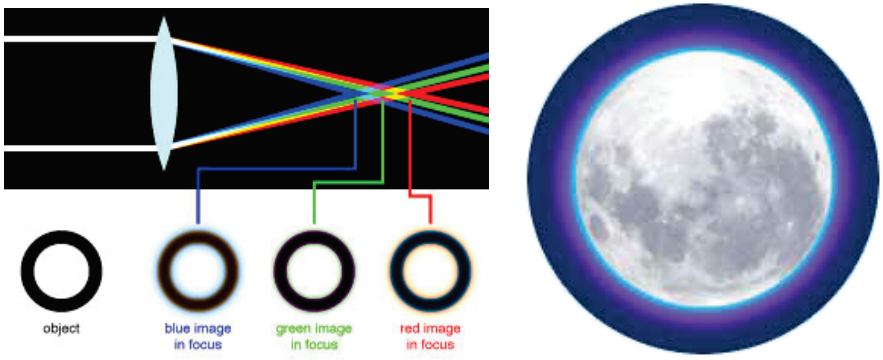
ข้อบกพร่องของกล้องโทรทรรศน์แบบหักเหแสง

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

ปัญหาที่ 2 กำลังขยายที่เพิ่มมากขึ้นทำให้การมองเห็นวัตถุ เช่น ดาวเคราะห์และดาวอื่นๆ ทำได้ยากมากขึ้นกว่าเดิม ผู้ผลิตกล้องโทรทรรศน์ต้องลดความผิดปกติของการคลาดทรงกลมโดยเคลือบน้ำมันทินเนอร์ที่ขอบของเลนส์วัตถุ

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

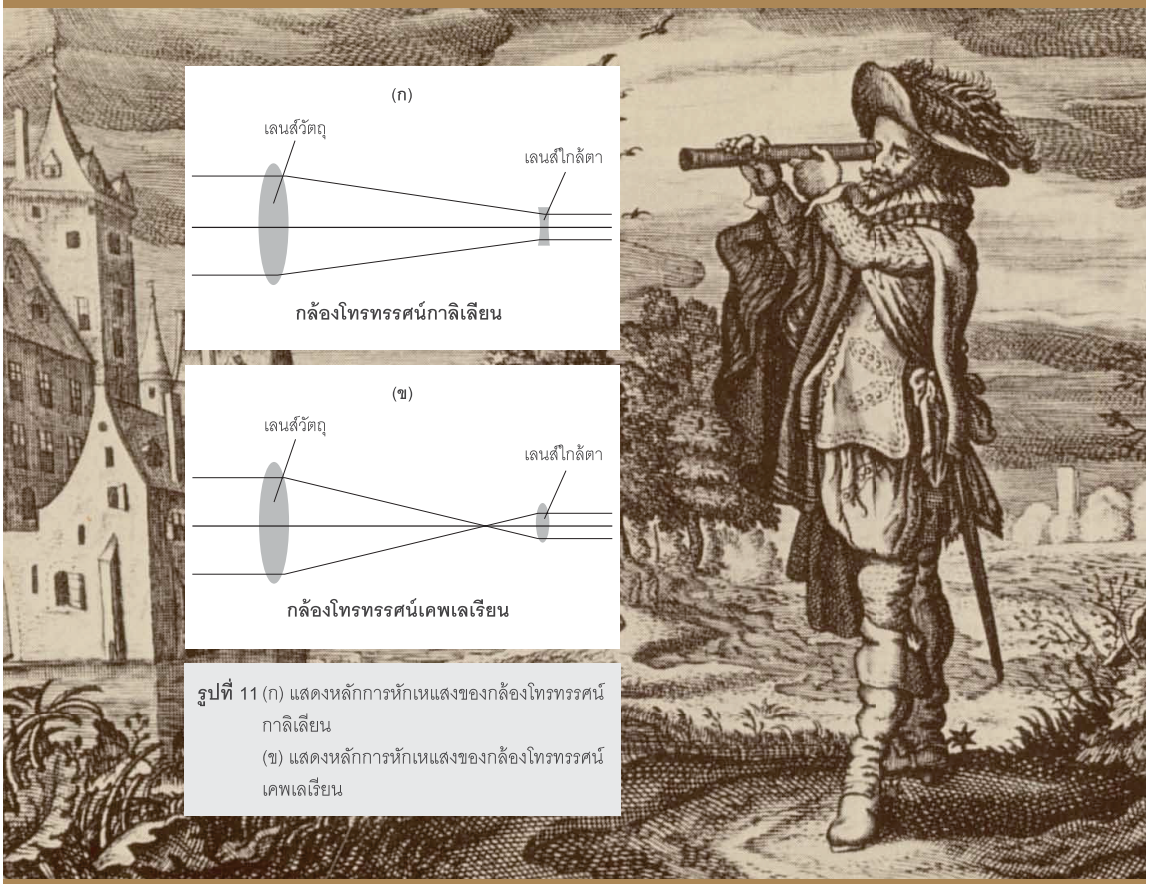
ต่อมากล้องโทรทรรศน์ที่เคพเลอร์ทำการพัฒนาขึ้นนั้นยังมีปัญหาของ “การคลาดสี (Chromatic Aberration)” ของแสงอยู่ การคลาดสีเกิดจากระบบการหักเหแสง เนื่องจากแสงสีขาวประกอบด้วยคลื่นแสงสีต่างๆ การหักเหของคลื่นเหล่านี้ผ่านเลนส์จะมีค่าที่แตกต่างกันทำให้จุดโฟกัสของแสงแต่ละสีตกลงที่ตำแหน่งโฟกัสที่ต่างกัน ผลลัพธ์ที่ได้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



รูปที่ 10 แสดงการคลาดสี (Chromatic Aberration) ของเลนส์นูน และภาพที่เกิดจากการคลาดสี

ซึ่งต่อมากล้องโทรทรรศน์ที่เคพเลอร์พัฒนาขึ้นได้รับความนิยมมากกว่ากล้องโทรทรรศน์กาลิเลียน และเป็นต้นแบบของกล้องหักเหแสงที่ใช้อยู่ในปัจจุบัน

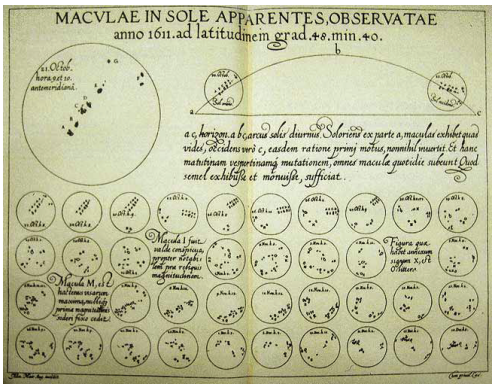
ต่อมา ในปี ค.ศ. 1611 (พ.ศ. 2154) กล้องโทรทรรศน์ของกาลิเลโอได้ถูกพัฒนาขึ้นใหม่ โดยโยฮานเนส เคพเลอร์ (Johannes Kepler) ซึ่งเคพเลอร์ ได้เขียนจดหมายถึงกาลิเลโอ เพื่อขอเป็นพันธมิตรทางปัญญา และขอคำชี้แนะและหลักการการสร้างกล้อง ต่อมาเคพเลอร์ได้พบข้อผิดพลาดของกล้องกาลิเลโอ จึงได้เปลี่ยนเลนส์ใกล้ตาจากเดิมที่เป็นเลนส์เว้ามาใช้เลนส์นูนแทน ทำให้ภาพคมชัดขึ้น และยืนยันว่าดาวแฝดสามของดาวเสาร์ที่กาลิเลโอพบนั้น แท้จริงแล้วคือวงแหวนของดาวเสาร์ และเรียกกล้องโทรทรรศน์ชนิดนี้ว่า กล้องโทรทรรศน์เคพเลเรียน (Keplerian Telescope)



รูปที่ 11 (ก) แสดงหลักการหักเหแสงของกล้องโทรทรรศน์กาลิเลียน
(ข) แสดงหลักการหักเหแสงของกล้องโทรทรรศน์เคพเลเรียน

การพัฒนากล้องโทรทรรศน์ของเคพเลอร์

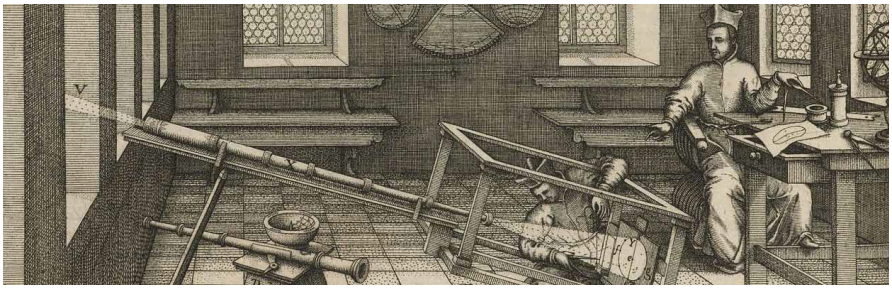
การพัฒนากล้องโทรทรรศน์ของกาลิเลโอได้รับการแนะนำจาก โยฮันเนส เคพเลอร์ ในปี ค.ศ. 1611 (พ.ศ. 2154) ที่ตีพิมพ์ในหนังสือ Dioptrice ของเคพเลอร์ได้ตั้งข้อสังเกตว่ากล้องโทรทรรศน์ที่สร้างขึ้นจากการใช้เลนส์นูน 2 ตัว ภาพที่ได้จากกล้องโทรทรรศน์ชนิดนี้จะเป็นภาพที่กลับหัว



รูปที่ 12 บันทึกจุดบนดวงอาทิตย์ จากหนังสือ Tres Epistolae ของชไซเนอร์

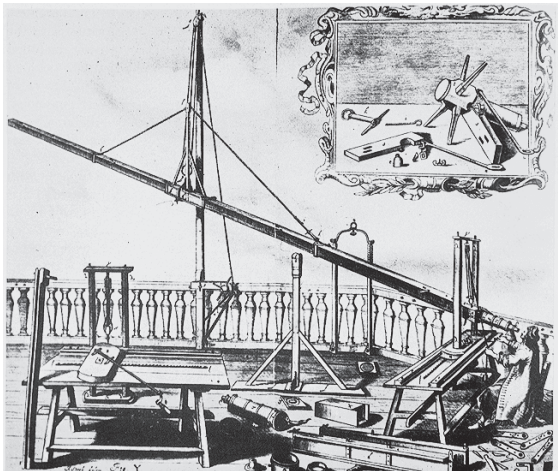
ประโยชน์ของการออกแบบนี้ตามที่เคพเลอร์ออกแบบไว้ให้ขอบเขตมุมมองที่กว้างและกำลังขยายสูง จากคำแนะนำของเคพเลอร์นี้นักดาราศาสตร์ไม่ได้นำมาใช้ในทันที อย่างไรก็ตามกล้องโทรทรรศน์แบบเคพเลเรียน ไม่ได้รับการยอมรับจนกระทั่ง คริสทอฟ ซไชเนอร์ (Christoph Scheiner) นักบวชนิกายเยซูอิชาวเยอรมัน นักคณิตศาสตร์ที่มีความสนใจในกล้องโทรทรรศน์นี้และได้ตีพิมพ์หนังสือ Rosa Ursina ของเขา ในปี ค.ศ. 1630 (พ.ศ. 2173)

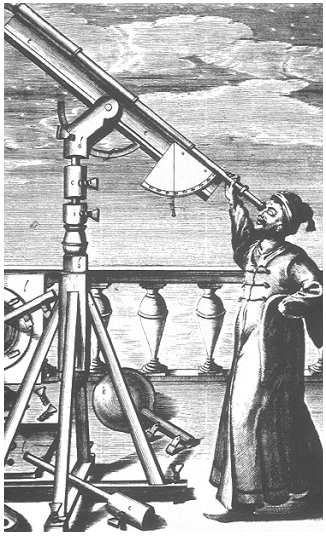
สำหรับการศึกษาจุดบนดวงอาทิตย์ของซไชเนอร์ทดลองกับกล้องโทรทรรศน์ที่มีเลนส์นูนเพียงชิ้นเดียว และเขาพบว่าเมื่อเขามองวัตถุโดยตรงผ่านกล้องโทรทรรศน์ดังกล่าวภาพนั้นถูกพลิกกลับหัวกลับหาง แต่มันก็มีความสว่างมากและให้มุมมองที่มีขนาดใหญ่กว่าในกล้องโทรทรรศน์ของกาลิเลโอ ซึ่งเป็นไปตามที่เคพเลอร์ได้คาดการณ์ไว้ เนื่องจากในการสังเกตการณ์ทางดาราศาสตร์ภาพกลับหัวจะไม่มีปัญหา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



กล้องโทรทรรศน์ที่แปลกประหลาด

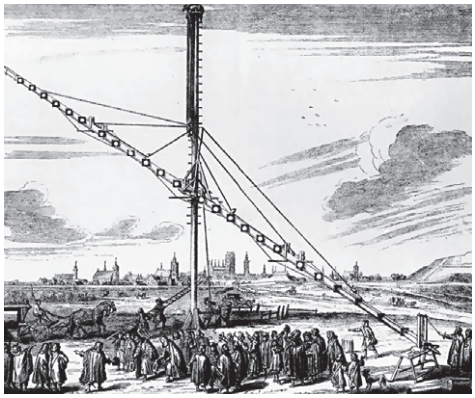
ข้อเสียอย่างหนึ่งของกล้องโทรทรรศน์ทางดาราศาสตร์ที่แนะนำโดยเคพเลอร์และสนับสนุนโดยซไซเนอร์ คือ การที่กำลังขยายสูงขึ้นจะมาพร้อมกับความผิดปกติของทรงกลมและความคลาสสีและปัญหาอื่นๆ การบิดเบือนทางเรขาคณิตและสีที่ไม่จริง ในช่วงหลายทศวรรษต่อมาการฝนเลนส์และเทคนิคการขัดค่อยๆ ดีขึ้นมา ช่างฝีมือและความเชี่ยวชาญของผู้ผลิตกล้องโทรทรรศน์ค่อยๆ พัฒนาขึ้น โดยช่างฝีมือเหล่านี้ทำงานในการสร้างเลนส์ที่เป็นรูปทรงกลมที่ดีขึ้น (และมีความยาวโฟกัสที่ยาวกว่า) ซึ่งการปรับปรุงคุณภาพของกล้องโทรทรรศน์นี้ ทำให้กล้องโทรทรรศน์ยาวกว่าเดิม





รูปที่ 13 เฮเวเลียสและกล้องโทรทรรศน์ขนาด 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) โดยกล้องโทรทรรศน์ที่พวกเขาสร้างขึ้นมามีความยาวถึง 23 ฟุต เป็นกล้องโทรทรรศน์ที่มีกำลังขยายประมาณ 100 เท่า และมีขอบเขตมุมมองที่กว้างมากๆ หนึ่งในวัตถุที่งดงามที่สุดที่ฮอยเกนส์สังเกตด้วยกล้องโทรทรรศน์ของพวกเขา คือ เนบิวลานายพราน



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

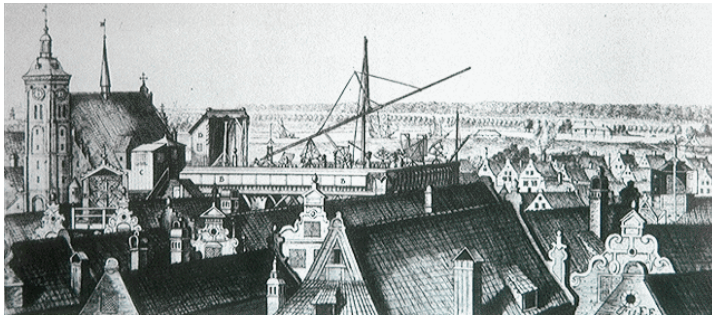
ฮอยเกนส์ ในปี ค.ศ. 1659 (พ.ศ. 2202)

ในต้นปี ค.ศ. 1640 (พ.ศ. 2183) โยฮันเนส เฮเวลิอัส (Johannes Hevelius) เขาได้หันมาทุ่มเทให้กับงานด้านดาราศาสตร์ จากที่สังเกตการณ์บนหลังคาบ้านของเขาเองในเมืองดานซิก (ปัจจุบันเมืองดานซิกอยู่ในประเทศโปแลนด์) เฮเวลิอัสได้เริ่มต้นการสังเกตดวงจันทร์ 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) เฮเวลิอัสได้ยินข่าวเกี่ยวกับการสังเกตของคริสเตียน ฮอยเกนส์ ผู้ที่ใช้กล้องโทรทรรศน์ที่มีความยาวกว่าปรกติ และเป็นผู้ไขปริศนาว่าดาวเสาร์ไม่ได้มี 3 ดวง แต่เป็นวงแหวนบางๆ และพบว่าแท้ที่จริงแล้วเกิดจากแนวระนาบของวงแหวนที่เอนเอียงไปแต่ละมุม จากความสำเร็จนี้ ทำให้เฮเวลิอัสสร้างกล้องโทรทรรศน์ที่มีความยาวของลำกล้องถึง 150 ฟุต และมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของเลนส์วัตถุ 2 นิ้ว

การท้าทายในการสร้างกล้องโทรทรรศน์ที่มีความกว้าง ความยาวและหนา ซึ่งมีขนาดใหญ่ เฮเวลิอัสได้ตั้งเสาขนาดใหญ่เพื่อใช้แขวนกล้องโทรทรรศน์ โดยที่เลนส์วัตถุถูกยึดติดกับลำกล้อง ส่วนเลนส์ตาอยู่กับผู้สังเกตที่พื้น

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



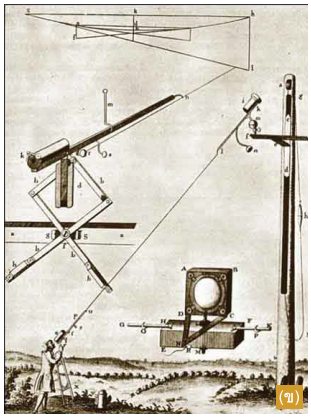
รูปที่ 15 แสดงหอดูดาวบนชั้นดาดฟ้าของเฮเวเลียส (จากหนังสือ Machina Coelestis, ค.ศ. 1673)

National Astronomical Research Institute of Thailand (Public Organization)

การสร้างกล้องโทรทรรศน์ของคริสเตียน ฮอยเกนส์ (Christiaan Huygens constructed)

คริสเตียน ฮอยเกนส์ นักคณิตศาสตร์ นักดาราศาสตร์และฟิสิกส์ชาวดัตช์ เป็นอีกคนหนึ่งที่มีผลงานโดดเด่น ในการพัฒนากล้องโทรทรรศน์มาใช้ในทางดาราศาสตร์ หนึ่งในนวัตกรรมของฮอยเกนส์เป็นผลมาจากปัญหาที่ถูกพบในการพยายามที่จะใช้กล้องโทรทรรศน์ขนาดใหญ่มากขึ้นมาใช้ในทางดาราศาสตร์ ในช่วงครึ่งหลังของศตวรรษที่ 17 กล้องโทรทรรศน์เหล่านี้มีความยาวมาก และกล้องโทรทรรศน์ของฮอยเกนส์ก็เช่นกันมีความยาวถึง 6.1 เมตร (20 ฟุต) เป็นเรื่องที่ยากมากๆ ที่จะไม่ให้กล้องโทรทรรศน์แกว่งไปแกว่งมาจากการถูกลมพัด

(ก)



(ข)

รูปที่ 16 (ก) คริสเตียน ฮอยเกนส์ (ข) กล้องโทรทรรศน์แบบสายอากาศ (Aerial Telescope)

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

ฮอยเกนส์คิดค้นกล้องโทรทรรศน์ขึ้นมาเพื่อใช้งานมากกว่าที่จะพัฒนา โดยกล้องโทรทรรศน์ที่ฮอยเกนส์สร้างขึ้นนั้นเป็น “กล้องโทรทรรศน์สายอากาศ” มีความยาวของกล้องโทรทรรศน์ยาวถึง 150 ฟุต (วัดจากเลนส์วัตถุถึงเลนส์ตา) โดยเลนส์วัตถุติดอยู่กับท่อเหล็กสั้นๆ ที่บนคานของเสา ฮอยเกนส์ยึดตัวท่อที่เชื่อมกับเบ้าและตัวถ่วงน้ำหนักกับคาน ชิ้นส่วนต่างๆ ทั้งหมดตั้งอยู่บนเสาสูง ฮอยเกนส์ผูกสายเคเบิลกับเลนส์วัตถุยาวถึงเลนส์ตาที่อยู่ที่พื้น โดยเลนส์ตาติดอยู่บนฐานสั้นๆ

ฮอยเกนส์ยังได้ปรับปรุงเลนส์ใกล้ตา โดยการออกแบบส่วนประกอบของเลนส์ใกล้ตา ซึ่งประกอบด้วยเลนส์นูนบาง 2 ตัว และจากการนำเลนส์ใกล้ตาที่ฮอยเกนส์ออกแบบไปใช้งานก็ยังคงเกิดปัญหาอยู่

กำเนิดกล้องโทรทรรศน์แบบสะท้อนแสง

ในศตวรรษที่ 18 นักดาราศาสตร์ส่วนใหญ่ยังคงใช้กล้องโทรทรรศน์แบบหักเหที่มีขนาดลำกล้องยาว โดยเลนส์ที่ใช้ได้รับการออกแบบรูปทรงและขอบเลนส์อย่างพิถีพิถัน อย่างไรก็ตาม การออกแบบกล้องโทรทรรศน์อื่นๆ ได้นำเสนอวิธีการหลีกเลี่ยงข้อบกพร่องของกล้องโทรทรรศน์บางส่วนที่ไม่สามารถหลีกเลี่ยงได้ในเลนส์แบบหักเห

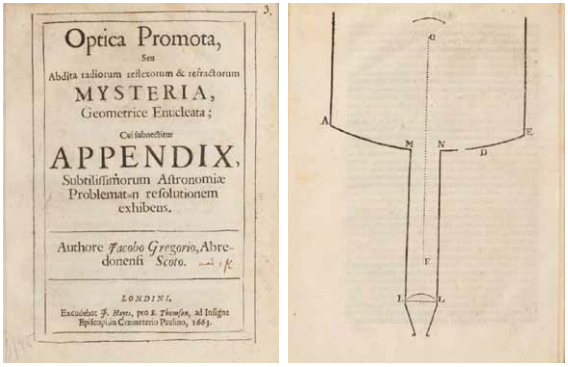
ในปี ค.ศ. 1668 (พ.ศ. 2211) ไอแซก นิวตัน (Isaac Newton) ได้คิดค้นกล้องโทรทรรศน์แบบสะท้อนขึ้นมา ซึ่งนิวตันได้ทำการออกแบบกล้องโทรทรรศน์ใหม่โดยเปลี่ยนมาใช้กระจกโค้งเป็นหลักแทนที่การใช้เลนส์ และใช้ร่วมกับกระจกแบนที่มีขนาดเล็กกว่า

ในศตวรรษต่อมาเครื่องมือขนาดใหญ่ที่สืบเนื่องมาจากการออกแบบของนิวตันจะกลายเป็นประโยชน์อย่างยิ่งสำหรับการศึกษาวัตถุที่มีแสงจางมากๆ เช่น หย่อมแสงสลัวที่รู้จักกันในชื่อ เนบิวลา การศึกษาด้วยเครื่องมือที่มีขนาดใหญ่กว่าเดิมจะนำไปสู่การเปลี่ยนแปลงในการทำความเข้าใจพื้นฐานเกี่ยวกับจักรวาลในรูปแบบใหม่ของเรา

> ...ฉันได้เตรียมกล้องโทรทรรศน์แบบสะท้อน ซึ่งเป็นมุมมองใหม่ไว้ให้พวกคุณแล้ว...
>
> *นิวตัน*

นักวิชาการในสมัยนั้นทราบดีว่าการรวมเลนส์และกระจก จะมีกำลังขยายที่เพิ่มมากขึ้น โดยการศึกษาทฤษฎีทางแสงอย่างละเอียดมากขึ้น สิ่งหนึ่งที่มีความโดดเด่นคือหนังสือ Dioptrique ของ เรอเน เดสการ์เตส (Rene Descartes) ผนวกเข้ากับการอภิปรายเหตุผลของ เดการ์ต นี้คือการแก้ไขปัญหาที่เกิดจากความผิดปกติของการคลาดทรงกลมและทำให้ภาพที่ได้ชัดเจนมากขึ้น

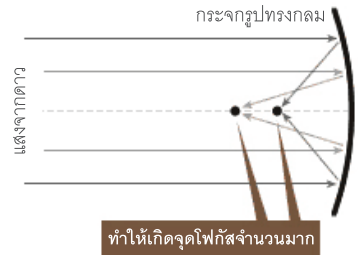
ในปี ค.ศ. 1663 (พ.ศ. 2206) นักคณิตศาสตร์ชาวสก็อตชื่อ เจมส์ เกรกอรี (James Gregory) ได้นำเสนอการออกแบบกระจกแบบใหม่สำหรับกล้องโทรทรรศน์แบบสะท้อน ในหนังสือ Optica Promota ของเขา ทฤษฎีการออกแบบกระจกปฐมภูมิที่มีความโดดเด่นของเกรกอรี คือ ส่วนโค้งของกระจกที่เป็นรูปพาราโบลา โดยกระจกปฐมภูมิจะสะท้อนแสงไปยังกระจกทุติยภูมิรูปวงรี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


Optica Promota,
Seu
Abdita radiorum reflexorum & refractorum
MYSTERIA,
Geometrice Enucleata;
Cui subnectitur
APPENDIX,
Subtilissimorum Astronomiæ
Problemat-n resolutionem
exhibens.
Authore Jacobo Gregorio, Abredonensi Scoto.
LONDINI,
Excudebat J. Hayes, pro S. Thomson, ad Insigne
Episcopi in Cœmeterio Paulino, 1663.

รูปที่ 17 เกรกอรีได้ออกแบบนวัตกรรมสำหรับกล้องโทรทรรศน์ที่ใช้กระจกจากหนังสือ Optica Promota Seu, Abdita Radiorum Reflexorum & Refractorum Mysteria, Geometrice Enucleata.

รูปที่ 18 ภาพวาดของเจมส์ เกรกอรี

ความผิดปกติรูปทรงกลมของกระจก

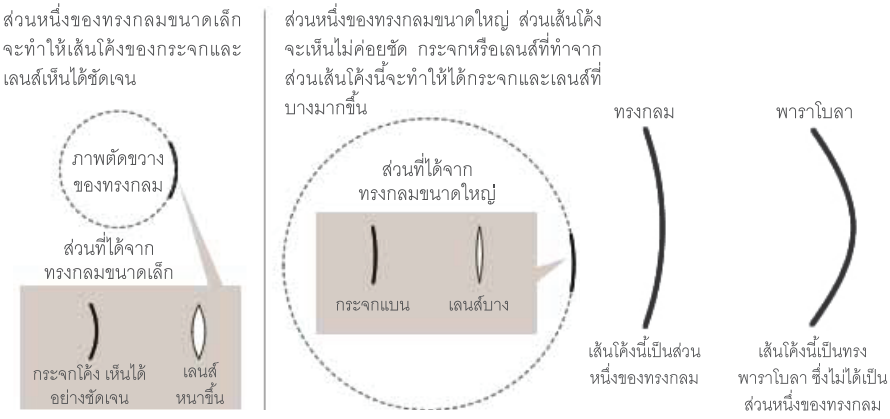


รูปที่ 19 แสดงตำแหน่งจุดโฟกัสที่มีความแตกต่างกันที่ได้จากกระจกที่มีส่วนโค้งของทรงกลม

รูปร่างกระจกของกล้องโทรทรรศน์เป็นส่วนหนึ่งของรูปทรงกลมเป็นสาเหตุทำให้เกิดปัญหาที่เรียกว่า ความผิดปกติเป็นรูปทรงกลม ในความผิดปกติเป็นรูปทรงกลม แสงที่วิ่งขนานสะท้อนกระจกกลับมาแต่แสงตกบริเวณศูนย์กลางที่จุดโฟกัสต่างกัน ผลที่ได้คือจุดโฟกัสมีจำนวนมาก และภาพที่ได้มีความพร่ามัว เพื่อให้ได้รูปภาพที่คมชัด แสงทั้งหมดต้องตกที่จุดโฟกัสเดียวกัน

เลนส์ทรงกลมและกระจกทรงกลม

เลนส์และกระจกที่มาจากส่วนหนึ่งของทรงกลม



รูปที่ 20 ภาพตัดขวางของพื้นผิวที่เป็นรูปทรงกลมและรูปทรงพาราโบลา

การกลับมาของกล้องโทรทรรศน์แบบหักเหแสง

นับตั้งแต่ปี ค.ศ. 1609 (พ.ศ. 2143) ผู้สังเกตการณ์มากมายได้เปิดประตูสู่เอกภพบานใหม่กับการเปลี่ยนแปลงมุมมองผ่านกล้องโทรทรรศน์ กล้องโทรทรรศน์เหล่านี้ได้ถูกพัฒนาผ่านกาลเวลามานานมากกว่า 400 ปี ผ่านการทดลองต่างๆ นานา ทั้งที่สามารถนำไปต่อยอดได้และที่เงียบหายไปตามกาลเวลา ถ้าหากกล่าวถึงกล้องโทรทรรศน์ตัวแรกๆ คงนึกถึงกล้องโทรทรรศน์ของกาลิเลโอขึ้นมาทันที แล้วรู้หรือไม่ว่ากล้องโทรทรรศน์ของกาลิเลโอใช้หลักการอะไร? คำตอบคือหลักการหักเหแสงโดยใช้เลนส์เป็นที่รวมแสงและโฟกัสแสง อย่างไรก็ตามการโฟกัสของเลนส์เกิดความผิดปกติ จากผลกระทบนี้เรียกว่า ความผิดปกติของสี (ความคลาดสี) ที่เป็นสาเหตุทำให้ขอบภาพของวัตถุมีสีฟุ้งรอบๆ ซึ่งเกิดจากการหักเหของแสงและได้มีผู้ที่คิดหาวิธีแก้ไขปัญหาเหล่านี้จำนวนมาก แต่ก็ยังไม่ประสบผลสำเร็จ

การพัฒนากล้องโทรทรรศน์ที่มีความสำคัญที่สุดก็ได้มาถึง เมื่อ ไอแซก นิวตัน ได้ทำการค้นคว้าที่แหวกแนวของเขาในเรื่องแสงและเลนส์ ได้ข้อสรุปว่ากล้องโทรทรรศน์แบบหักเหมักจะมีข้อบกพร่องอยู่เสมอ สำหรับเลนส์ใดๆ จะทำหน้าที่คล้ายกับปริซึม ซึ่งทำหน้าที่กระจายสีของแสงในสัดส่วนโดยตรงกับการหักเห ผลที่ได้คือความคลาดสีของภาพดาวสีขาวมักจะมีสีอื่นปะปนอยู่ด้วย นิวตันจึงหันไปให้ความสนใจการออกแบบกล้องโทรทรรศน์ในทางปฏิบัติซึ่งจะใช้กระจกในการเก็บรวบรวมแสงดาว

> การปรับปรุงคุณภาพความยาวที่กำหนดขนาดของกล้องโทรทรรศน์แบบหักเหแสงมันยังไม่ดีพอ ผมจึงได้สร้างมุมมองจากการสะท้อนแสง โดยใช้กระจกวัตถุที่ทำจากโลหะเว้าแทน
>
> *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 เพราะฉะนั้นการออกแบบของเกรกอรี่จึงไม่มีประโยชน์

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

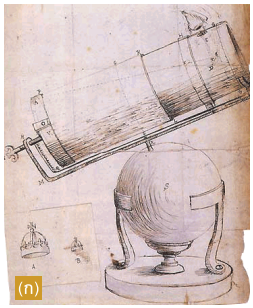
นิวตันได้นำเสนอการออกแบบของเขาไปยังราชสมาคมแห่งประเทศอังกฤษ (England’s Royal Society) ในเดือนมกราคม ค.ศ. 1672 (พ.ศ. 2215) ซึ่งมันกระตุ้นความสนใจได้อย่างมาก นิวตันประสบความสำเร็จในการทำกระจกที่มีความโค้งรูปทรงกลมที่เส้นผ่านศูนย์กลางน้อยกว่า 1 นิ้ว กระจกปฐมภูมิที่นิวตันใช้เป็นกระจกสะท้อนแสงทำมาจากโลหะผสมระหว่างทองแดงและดีบุก ซึ่งนิวตันได้เพิ่มความโค้งที่จะทำให้กระจกง่ายต่อการขัด และนิวตันวางกระจกแบบทุติยภูมิที่ทำมุม 45 องศา เพื่อสะท้อนไปยังช่องมองภาพอยู่ที่ด้านข้างของลำกล้องโทรทรรศน์ รูรับแสงของกล้องมีขนาด 11/3 นิ้ว และขยายขนาดวัตถุได้ถึง 40 เท่า

(ก)

(ข)

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

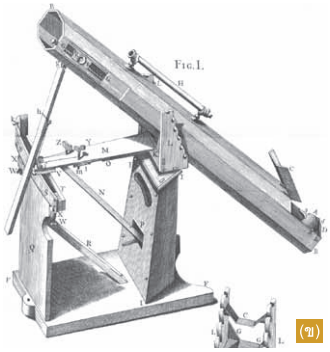
ต่อมาในปี ค.ศ. 1672 (พ.ศ. 2215) ฟรีนช์แมน ลอเรนต์ แคสซิเกรน (Frenchman Laurent Cassegrain) เป็นคนที่ 3 ในการออกแบบกล้องโทรทรรศน์แบบสะท้อนแสง โดยกระจกอันแรกเป็นรูปพาราโบลาเหมือนกับกระจกของเกรกอรี่ ส่วนกระจกตัวที่ 2 เป็นกระจกนูนรูปไฮเปอร์โบลา แทนที่จะเป็นกระจกรูปทรงกลมเว้าหนึ่งด้าน คล้ายกับของกล้องโทรทรรศน์เกรกอเรียน 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) แฮดลีย์ประสบความสำเร็จ ในการทำกล้องโทรทรรศน์แบบนิวโทเนียนที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางของกระจก 6 นิ้ว และมีความยาวโฟกัส 62 นิ้ว กล้องโทรทรรศน์ของแฮดลีย์มีลำกล้องทำด้วยท่อโลหะ และแฮดลีย์ยังเป็นคนแรกที่สามารถขัดกระจกรูปพาราโบลาสำหรับกล้องโทรทรรศน์สะท้อนแสงแบบเกรกอเรียนได้สำเร็จ ซึ่งกระจกที่นำมาประกอบกล้องโทรทรรศน์เป็นรูปทรงพาราโบลามีความผิดปกติน้อยมากที่สุด

National Astronomical
Research Institute
of Thailand
(Public Organization)



รูปที่ 23 (ก) ภาพวาดด้านข้างของจอห์น แฮดลีย์
(ข) กล้องโทรทรรศน์แบบสะท้อนแสงของแฮดลีย์

แฮดลีย์สามารถขัดกระจกโลหะของเขาให้มีรูปทรงโค้ง เพื่อหลีกเลี่ยงการบิดเบือนในกล้องโทรทรรศน์ที่ก่อนหน้านี้มีเส้นโค้งรูปทรงกลมเช่นเดียวกับของนิวตัน แฮดลีย์ได้แสดงกล้องโทรทรรศน์ของเขาครั้งแรกในที่ประชุมของราชบัณฑิตยสภาจากการบันทึกในที่ประชุมบอกว่ากล้องโทรทรรศน์มีประสิทธิภาพเพียงพอที่จะ “มีกำลังขยายวัตถุที่ใกล้เคียง 200 เท่า”

สิ่งที่มีความสำคัญพอๆ กับกระจกของกล้องโทรทรรศน์ คือ ขาตั้งกล้องโทรทรรศน์ กล้องโทรทรรศน์มีการติดตามวัตถุบนท้องฟ้าขณะที่โลกหมุน เพื่อบรรลุเป้าหมายนี้แฮดลีย์ได้ทำการพัฒนาขาตั้งกล้องโทรทรรศน์ที่เรียกตอนนี้ว่า ขาตั้งกล้องตามดาวแบบอัลติจูด-อะซิมุท (Altitude – Azimuth) โดยแกนอัลติจูดวางขนานไปกับเส้นขอบฟ้า และแกนอะซิมุทชี้ตั้งในแนวดิ่ง หรือเรียกฐานตามดาวนี้ว่า (Alt – Az) นักดาราศาสตร์ต้องหมุนกล้องโทรทรรศน์ตามแกนทั้ง 2 ไปพร้อมกันเพื่อให้วัตถุอยู่ในมุมมองที่ต้องปรับชดเชยเล็กน้อย

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

ก่อนที่แฮดลีย์จะเสียชีวิตในปี ค.ศ. 1744 (พ.ศ. 2287) แฮดลีย์ยังทำการทดสอบการขัดกระจกสำหรับกล้องโทรทรรศน์ด้วยวิธีการที่แตกต่างกันอย่างต่อเนื่อง เขาทำงานเกี่ยวกับการหาวิธีเพื่อทดสอบผลลัพธ์

กล้องโทรทรรศน์สะท้อนแสงยักษ์ของเฮอร์เชล

ในช่วงต้นศตวรรษที่ 18 ความก้าวหน้าของการสร้างกล้องโทรทรรศน์เป็นไปอย่างเชื่องช้า แต่เมื่อมาถึงยุคของนักดนตรีชื่อ วิลเลียม เฮอร์เชล (William Herschel) ที่ย้ายมาจากเมืองฮันโนเวอร์ (ปัจจุบันเป็นส่วนหนึ่งของเยอรมนี) ไปยังประเทศอังกฤษและหันมาสนใจเกี่ยวกับดาราศาสตร์ ซึ่งในตอนแรกเฮอร์เชลได้พยายามที่จะสร้างกล้องโทรทรรศน์แบบหักเหแสง แต่ว่ากล้องโทรทรรศน์ดังกล่าวมีลำกล้องที่ยาวน่ารำคาญ (โดยเฮอร์เชลได้ทำกล้องโทรทรรศน์แบบหักเหแสงขึ้นมา 1 ตัว มีขนาดความยาว 30 ฟุต) และเขาได้หันมาให้ความสนใจการสร้างกล้องโทรทรรศน์ที่ใช้กระจก ในปี ค.ศ. 1778 (พ.ศ. 2321) เฮอร์เชลได้สร้างกล้องโทรทรรศน์แบบสะท้อนแสงหลายตัว โดยหนึ่งในกล้องโทรทรรศน์ที่ประสบความสำเร็จมากที่สุดของเขามีขนาดกระจก 6.2 นิ้ว และยาว 2.1 เมตร (7 ฟุต) เฮอร์เชลได้ใช้กล้องโทรทรรศน์นี้ เพื่อรวบรวมแคตตาล็อกของดาวคู่ที่สำคัญเป็นครั้งแรก และในปี ค.ศ. 1781 (พ.ศ. 2324) เฮอร์เชลได้ค้นพบดาวเคราะห์ดวงใหม่ที่เรารู้จักกันในปัจจุบัน คือ ดาวยูเรนัส จากการค้นพบนี้นำมาซึ่งการยอมรับของราชสำนักทำให้เฮอร์เชลมีรายได้ปีละ 200 ปอนด์ และได้รับอนุญาตให้ทำงานด้านดาราศาสตร์แบบเต็มเวลา

> “มันเป็นความสับสนอันยิ่งใหญ่ของลักษณะเสากระโดง บันได และเชือก จากกลางลำกล้องซึ่งมีขนาดมหึมา...ที่ถูกยกปากกระบอกขนาดมหึมาขึ้นไปบนท้องฟ้าอย่างท้าทาย”
>
> *โอลิเวอร์ เวนเดล โฮล์มส์ (Oliver Wendell Holmes)*

จากการที่ได้รับการสนับสนุนในความสำเร็จของเขา ต่อมาเฮอร์เชลได้ทุ่มเทเป็นเวลาหลายปีเพื่อสร้างกล้องโทรทรรศน์ขนาดใหญ่ที่สมบูรณ์แบบ โดยกล้องโทรทรรศน์นี้มีจุดเด่นคือ กระจกที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางเกือบ 19 นิ้ว ห่อหุ้มในหลอดยาว 20 ฟุต บนฐานตามดาวแบบอัลตะซิมุท (Alt – Az) เช่นเดียวกับกล้องโทรทรรศน์กระจกอื่นๆ ที่กระจกทำจากโลหะ (ส่วนใหญ่เป็นทองแดงและดีบุก) และกระจกเกิดสีคล้ำได้อย่างรวดเร็ว ดังนั้นมันจะต้องถูกนำมาขัดใหม่บ่อยครั้ง และที่ฐานของกล้องโทรทรรศน์สามารถเปิดออกและถอดกระจกออกได้ง่าย อีกประการหนึ่งของกระจกคือจะต้องนำมาขัดเงาอยู่เสมอเมื่อต้องใช้งานกล้องโทรทรรศน์

การสังเกตการณ์ของ วิลเลียม เฮอร์เชล ได้รับความช่วยเหลือจากแคโรไลน์ซึ่งเป็นน้องสาวของเขาเอง ช่องมองภาพของกล้องโทรทรรศน์ได้รับการติดตั้งอยู่ที่ด้านบนของลำกล้อง ดังนั้นการสังเกตการณ์ของเฮอร์เชลได้จากบนแท่นที่สามารถขึ้นหรือลงตามต้องการ แคโรไลน์นั่งอยู่ที่หน้าต่างภายในบ้านที่อยู่ใกล้เคียง เมื่อเฮอร์เชลส่งสัญญาณด้วยการดึงสตริง เธอจะเปิดหน้าต่างและบันทึกการสังเกตของพี่ชายเธอ ในขณะที่เฮอร์เชลส่งสัญญาณลงไปที่เธอ

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

National Astronomical Research Institute of Thailand
(Public Organization)

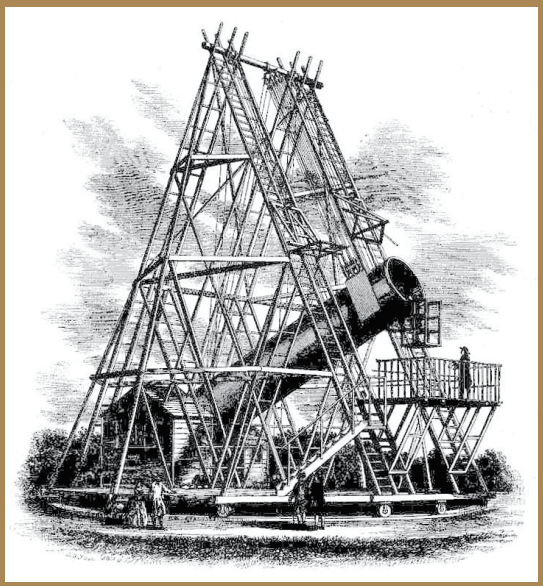
การสังเกตเป็นไปอย่างยากลำบาก แม้จะต้องอยู่ในสภาพอากาศที่หนาวเย็น เฮอร์เชล ก็ออกไปสังเกตการณ์ เมื่อใดก็ตามที่ท้องฟ้าเปิด คืนหนึ่งขณะก่อนที่จะใช้กล้องโทรทรรศน์ หมึกที่แช่แข็งในขวดของเขาและกระจกที่ดีที่สุดของเขา "ได้แตกออกเป็นสองชิ้น" การสังเกตการณ์จากการนั่งบนที่สูงก็ยังเป็นอันตราย แคโรไลน์บันทึกว่าเธอและพี่ชายของเธอมีส่วนร่วมใน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

ในปี ค.ศ. 1783 (พ.ศ. 2326) เฮอร์เชลใช้กล้องโทรทรรศน์แบบสะท้อนแสงขนาด 20 ฟุต เริ่มค้นหาหย่อมแสงสลัวๆ (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 ของเฮอร์เชลเป็นเครื่องมือที่ดีที่สุดของเขา แต่ในปี ค.ศ. 1785 (พ.ศ. 2328) เขาเริ่มที่จะออกแบบกล้องโทรทรรศน์อีก 1 ตัว ที่มีขนาดใหญ่เป็นสองเท่า ซึ่งสามารถเก็บแสงได้มากกว่าเดิม 4 เท่า หลังจากที่สร้างกล้องโทรทรรศน์ขนาด 40 ฟุต นี้เสร็จ เฮอร์เชลได้เริ่มใช้กล้องโทรทรรศน์ตัวนี้ทำการสังเกตในช่วงฤดูใบไม้ร่วงของปี ค.ศ. 1789 (พ.ศ. 2329) และได้ค้นพบดวงจันทร์ของดาวเสาร์ 2 ดวง คือ ไมมัส (Mimas) และ เอนเซลาดัส (Enceladus) และยังค้นพบดวงจันทร์อื่นๆ อีกด้วย อย่างไรก็ตามกล้องโทรทรรศน์ที่มีลำกล้องยาว มักจะเกิดการโค้งงอ ในขณะเดียวกันเมื่อความต้องการใช้งานที่ถี่ขึ้นก็ต้องขัดกระจกหลักบ่อยครั้ง ซึ่งเป็นข้อจำกัดของกล้องโทรทรรศน์นี้ เฮอร์เชลใช้กล้องโทรทรรศน์ยักษ์นี้เป็นครั้งคราว เนื่องจากความยุ่งยากของการใช้งานและพอใจที่จะใช้งานกล้องโทรทรรศน์ขนาด 20 ฟุต มากกว่า ในขณะที่เฮอร์เชลตั้งข้อสังเกตว่า “การใช้งานกล้องโทรทรรศน์ขนาดใหญ่เป็นการเสียเวลา ซึ่งถ้าหากเป็นคืนที่มีท้องฟ้าใสปลอดโปร่งนักดาราศาสตร์จะไม่มีเวลาว่างมากพอที่จะมาเสียเวลากับการปรับกล้องโทรทรรศน์”

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



รูปที่ 26 กล้องโทรทรรศน์ขนาด 12.4 เมตร (40 ฟุต) ของเฮอร์เชล

National Astronomical Research Institute of Thailand (Public Organization)

ยุคทองของกล้องโทรทรรศน์แบบหักเหแสง

ศตวรรษที่ 19 การขยายขอบเขตการมองสำหรับกล้องโทรทรรศน์ที่ใช้เลนส์ (การหักเหแสง) ในฐานะเครื่องมือที่สำคัญที่สุดของนักดาราศาสตร์มืออาชีพในขณะที่เทคโนโลยีด้านทัศนศาสตร์ได้รับการปรับปรุงที่ดีขึ้น 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)*

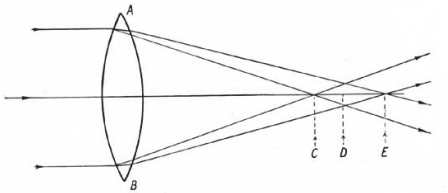
การเดินทางของแสงที่น่ามหัศจรรย์

กล้องโทรทรรศน์แบบหักเหแสงยังคงสร้างความประหลาดใจให้กับนักดาราศาสตร์ รวมถึงการวัดความเร็วของแสงเป็นครั้งแรก แต่แล้วเรื่องน่าแปลกใจก็เกิดขึ้นจากความต้องการของพ่อค้า และในศตวรรษที่ 17 เกิดสงครามทางน้ำ ซึ่งกะลาสีเรือมีปัญหาเรื่องตำแหน่งในทะเล พวกเขาสามารถค้นหาเส้นละติจูดได้โดยง่ายจากการสังเกตดวงอาทิตย์หรือดาว และสามารถพิสูจน์เส้นลองติจูดที่แน่นอนได้ เมื่อกะลาสีเรือรู้ความแตกต่างระหว่างเวลากับตำแหน่งของพวกเขา และพื้นที่สังเกตเช่นที่กรีนวิตช์ อยู่ใกล้หอดูดาวลอนดอน

กาลิเลโอเคยคิดที่จะใช้การจับเวลาดวงจันทร์ของดาวพฤหัสบดี เช่นเดียวกับของวงโคจรดาวเคราะห์ต่างๆ ถึงแม้ว่าแนวความคิดคือของแข็งที่กลิ้งไปบนพื้นผิวเรียบ คล้ายเรือในทะเลจากการสังเกตอย่างรายละเอียดนั้นเป็นไปไม่ได้

คุณภาพของแก้วที่ใช้ทำกล้องโทรทรรศน์มีผลทำให้ได้เลนส์ที่ดีขึ้น

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



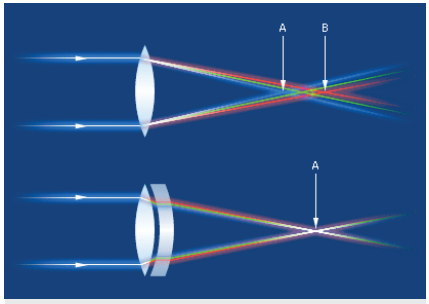
รูปที่ 27 ความคลาดสี (Chromatic Aberration)
AB: เลนส์นูนสองด้านที่ได้รับรังสีขนานของแสงสีขาว
C: โฟกัสสำหรับแสงสีน้ำเงิน
D: โฟกัสสำหรับแสงสีเหลือง
E: โฟกัสสำหรับแสงสีแดง

การกลับมาของกล้องโทรทรรศน์แบบสะท้อนแสง

กล้องโทรทรรศน์แบบสะท้อนแสงนอกจากจะมีปัญหาความผิดปกติของความคลาดสีเนื่องจากแก้วที่นำมาสร้างกระจกมีข้อบกพร่อง และเพื่อแก้ไขปัญหาข้อนี้ จึงต้องใช้ลำกล้องที่มีความยาวมาก ในเวลาต่อมา ชาสเตอร์ มูร 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 ช่างทำแก้วชาวอังกฤษ ชื่อ จอห์น ดอลแลนด์ (John Dolland) ได้เรียนรู้จากการศึกษาก่อนหน้านี้แสดงให้เห็นว่าวิธีการกำจัดความ

คลาดสีเกือบทั้งหมด เคล็ดลับคือการผสมผสานระหว่างเลนส์เว้าที่ทำจากตะกั่ว “หินเหล็กไฟ” และเลนส์นูนที่ทำจากแก้วที่มีความหนาแน่นต่ำกว่าเล็กน้อย แสงที่ถูกแยกออกโดยเลนส์ตัวแรกจะถูกหักเหให้กลับมารวมกันโดยเลนส์ตัวที่สอง ซึ่งเลนส์ตัวที่สองเรียกว่า เลนส์แก้ความคลาดสี (Achromatic Lenses) ดอลแลนด์ได้รับสิทธิบัตรสำหรับการออกแบบของเขา แต่คุณภาพของแก้วฟลินท์ที่มีอยู่ในเวลานั้นยังมีขีดกำจัดในความได้เปรียบ



รูปที่ 28 แสดงวิธีการแก้ไขความคลาดสีของเลนส์

หนึ่งในอุปสรรคที่ยากลำบากในการสร้างกล้องโทรทรรศน์ขนาดใหญ่ที่ไม่มีความคลาดสี คือความยากลำบากในการจัดหาแผ่นแก้วฟลินท์ขนาดใหญ่ ฟลินท์ที่มีความหนาแน่นสม่ำเสมอของสีแก้วและปราศจากลายเส้นริ้วบนแผ่นแก้วและจุดดำในเนื้อแก้ว

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

ในช่วงต้นศตวรรษที่ 19 ความก้าวหน้าในการผลิตเนื้อแก้วที่ดีนำไปสู่กล้องโทรทรรศน์แบบหักเหแสงที่ดีเช่นกัน ระหว่างปี ค.ศ. 1784 – 1790 (พ.ศ. 2327 – 2333) ปิแอร์ หลุยส์ ไกแนนด์ (Pierre Louis Guinand) ช่างฝีมือชาวสวิตเซอร์แลนด์ ใช้เวลาเกือบ 20 ปี ในการเรียนรู้ทักษะพื้นฐานของการทำแก้วและเริ่มทดสอบกับวัสดุชิ้นแก้วด้วยตัวเอง จากความพยายามครั้งแรกของเขาเป็นที่น่าพอใจ ก่อนหน้านี้ไม่มีใครสามารถทำเลนส์ที่มีขนาดใหญ่ได้ จนกระทั่งถึงช่วงปลายยุคปี ค.ศ. 1790 (พ.ศ. 2333) ไกแนนด์สามารถทำเลนส์ขนาดใหญ่ที่มีคุณภาพสูงขนาด 6 นิ้ว ได้สำหรับไกแนนด์นับว่าประสบความสำเร็จอย่างยิ่งใหญ่จนมาถึงในปี ค.ศ. 1805 (พ.ศ. 2348)

หลังจากที่ไกแนนด์ได้ลองผิดลองถูกมาเป็นเวลานานก็สามารถคิดค้นเทคนิคใหม่ด้วยการแทนที่แท่งไม้ที่ใช้ในการผสมแก้วที่หลอมละลายในเตาเผาด้วยตัวกวนซึ่งทำมาจากดินเหนียวที่เจาะรูพรุน ด้วยเครื่องกวนใหม่ที่ทนไฟนี้ ทำให้ฟองอากาศที่ไม่พึงประสงค์ลอยขึ้นไปยังพื้นผิวด้านบนและแก้วจะถูกผสมต่อไปเรื่อยๆ จนแก้วผสมเข้ากันดีพอที่จะนำมาผลิตชิ้นกระจกที่สมบูรณ์แบบด้วยเทคนิคใหม่นี้ส่งผลให้เลนส์ของไกแนนด์แทบจะไม่มีข้อบกพร่อง

ด้วยความร่วมมือของแหล่งเงินทุนจาก บริษัท ออปติคอลเยอรมัน (German optical firm) ในเมืองมิวนิก ไกแนนด์ถ่ายทอดความรู้ของเขาให้กับโจเซฟ เฟรานโฮเฟอร์ ช่างทำแก้วฝึกหัด เฟรานโฮเฟอร์มีทักษะในด้านคณิตศาสตร์และการออกแบบทางด้านทัศนศาสตร์ เป็นนักวิทยาศาสตร์คนแรกที่ตรวจสอบเส้นสีดำที่เป็นสัญลักษณ์สเปกตรัมของแสงจากดวงดาว หลังจากที่ไกแนนด์ย้ายกลับไปสวิตเซอร์แลนด์ เฟรานโฮเฟอร์ได้ทดสอบกับการทำแก้วและการออกแบบเลนส์อย่างต่อเนื่อง

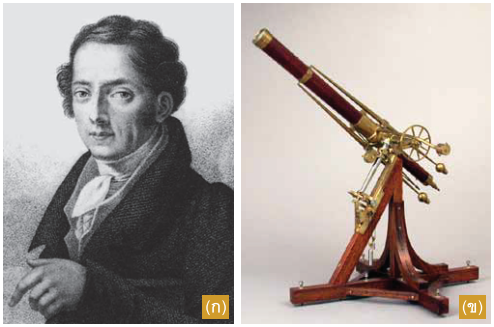
รูปที่ 29 ปิแอร์ หลุยส์ ไกแนนด์ (Pierre Louis Guinand)

ความพยายามของเฟรานโฮเฟอร์ให้ผลการหักเหที่ดีเยี่ยม และเลนส์ที่เขาออกแบบถูกสร้างขึ้นก่อนที่เขาจะเสียชีวิตในปี ค.ศ. 1826 (พ.ศ. 2369) เมื่ออายุ 39 ปี หนึ่งในนั้นคือ กล้องโทรทรรศน์ขนาด 9.5 นิ้ว ของหอดูดาวดอร์แพต ที่รัสเซีย ถูกติดตั้งในปี ค.ศ. 1824 (พ.ศ. 2367) โดย วิลเฮล์ม สตูป (F.G. Wilhelm Struve) นักดาราศาสตร์ที่มีชื่อเสียงของรัสเซียให้ความเห็นว่าเมื่อเห็นเครื่องมือของเฟรานโฮเฟอร์ก็ไม่สามารถที่จะตรวจสอบ “ซึ่งชื่นชมมากที่สุดกับความถูกต้องของการสร้าง...หรือกำลังแสงที่เปรียบมิได้และความแม่นยำที่มีการกำหนดวัตถุ” สตูปและนักดาราศาสตร์อื่นๆ ที่ใช้กล้องโทรทรรศน์นี้สำรวจดาวมากกว่า 120,000 ดวง

กล้องโทรทรรศน์แบบหักเหแสงดอร์แพต ขนาด 9.5 นิ้ว เป็นกล้องโทรทรรศน์ตัวแรกที่ใช้ขาตั้งแบบอีเควทอเรียน ในปี ค.ศ. 1800 (พ.ศ. 2343) โจเซฟ เฟรานโฮเฟอร์ ได้เรียนกระบวนการผลิตเลนส์ที่มีขนาดใหญ่แต่พบว่ามีข้อบกพร่อง ทราบต่อมาใน ปี ค.ศ. 1824 (พ.ศ. 2367) เขาได้ทำเลนส์หักเหแสงที่ดีที่สุดขึ้นมาเป็นผลสำเร็จ

โจเซฟ เฟรานโฮเฟอร์ (Joseph Fraunhofer)

กล้องโทรทรรศน์แบบหักเหแสงความยาว 14 ฟุต “กล้องโทรทรรศน์แบบหักเหดอร์แพตที่ดีที่สุด” จากข้อสังเกตไม่ได้มีเพียงแต่เลนส์ที่มีคุณภาพสูง แต่ยังมีฐานตามดาวของกล้องโทรทรรศน์อีกด้วย ซึ่งฐานตามดาวนี้เป็นตัวอย่างแรกของกล้องโทรทรรศน์และกลายเป็นฐานตามดาวที่เป็นที่รู้จักกันโดยทั่วไป คือ ฐานตามดาวแบบอิเควทอเรียลมี “ขั้ว” ซึ่งมีแกนหนึ่งที่ชี้ไปตำแหน่งเดียวกับแกนหมุนของโลก (นั่นคือแกนชี้หรือที่พูดกันว่าชี้ไปที่ดาวเหนือ) ประกอบกับค่า “เดคลิเนชัน” แกนที่ตั้งฉากกับแกนขั้วนี้จะหมุนตามท้องฟ้า ณ ตำแหน่งใดๆ ประโยชน์ของฐานตามดาวแบบอิเควทอเรียลของเฟรานโฮเฟอร์คือ การที่แกนขั้วโลกถูกหมุนอย่างต่อเนื่องโดยกลไกนาฬิกา มันเป็นการขับเคลื่อนที่แม่นยำอัตราที่ต่อต้านการเคลื่อนที่อยู่ในชีวิตประจำวันที่เห็นได้ชัดของดวงดาวบนท้องฟ้า ดังนั้นกล้องโทรทรรศน์ที่ติดตามดาวโดยอัตโนมัติ นวัตกรรมของเฟรานโฮเฟอร์กลายเป็นส่วนหนึ่งของการออกแบบมาตรฐานของกล้องโทรทรรศน์ในศตวรรษที่ 19 ที่ช่วยให้นักดาราศาสตร์สามารถดูวัตถุได้นานมากขึ้นอย่างง่ายดายในท้องฟ้าเวลากลางคืน นาฬิกาที่ขับเคลื่อนด้วยการติดตามดาวแบบอิเควทอเรียลพิสูจน์แล้วว่าเป็นสิ่งจำเป็น การถ่ายภาพถูกนำเข้าสู่วงการดาราศาสตร์ตั้งแต่ช่วงหลังของศตวรรษที่ 19 เพราะมันช่วยทำให้การเปิดรับแสงมีความยาวนานที่เป็นไปได้ของแผ่นฟิล์ม



รูปที่ 30 (ก) โจเซฟ เฟราน์โฮเฟอร์ (Joseph Fraunhofer)
(ข) กล้องโทรทรรศน์แบบหักเหแสงดอร์บพต ขนาด 9.5 นิ้ว

National Astronomical Research Institute of Thailand (Public Organization)

เทคนิคสำหรับการทำแก้วและเลนส์ที่มีคุณภาพสูงได้แพร่กระจายไปยังประเทศฝรั่งเศสและประเทศอังกฤษ รัฐบาลอังกฤษได้เล็งเห็นศักยภาพสำหรับอุตสาหกรรมที่ทำกำไรและสอบถามไปยังนักวิทยาศาสตร์ที่จะใช้ทักษะของพวกเขาในการปรับปรุงการผลิตวัสดุชิ้นแก้วของประเทศ ในขณะเดียวกันความสำเร็จของเฟราน์โฮเฟอร์ในการทำเครื่องมือทางดาราศาสตร์ช่วยสร้างอุตสาหกรรมเลนส์ในประเทศเยอรมัน ซึ่งนำไปสู่ทั่วโลกมานานกว่าครึ่งศตวรรษ

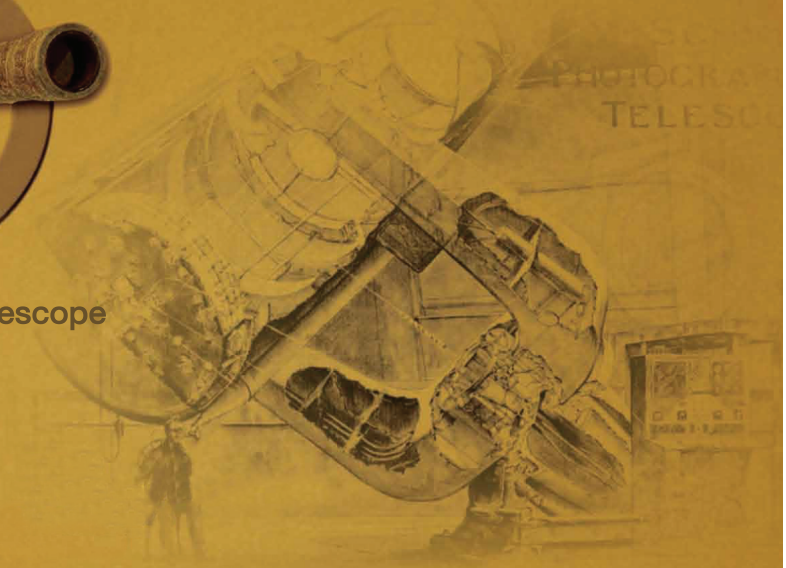
การเกิดใหม่ของกล้องโทรทรรศน์แบบสะท้อน

การเพิ่มขึ้นของกล้องโทรทรรศน์แบบสะท้อนขนาดใหญ่ในต้นศตวรรษที่ 20 ซึ่งสอดคล้องกับการเพิ่มขึ้นของนักดาราศาสตร์และความต้องการของนักวิทยาศาสตร์ที่จะสามารถเก็บแสงได้มากกว่าที่เคย สำหรับสเปกโทรสโกปีและโครงการวิจัยที่ใช้การถ่ายภาพเป็นหลัก กล้องโทรทรรศน์แบบหักเหแสงแสดงการเบี่ยงเบนของแสงตกค้างในขณะที่มีความยาวโฟกัสที่สั้นลง นั่นหมายความว่าการสะท้อนของกล้องโทรทรรศน์เหล่านี้อาจมีลำกล้องที่สั้นลงและสามารถใช้โดมขนาดเล็กครอบตัวกล้องโทรทรรศน์ได้ ซึ่งมีราคาถูกกว่าการสร้าง

อย่างไรก็ตามในช่วงเปลี่ยนศตวรรษที่ 20 นักดาราศาสตร์ยังคงไม่เห็นด้วยเกี่ยวกับการออกแบบกล้องโทรทรรศน์ที่ดีที่สุด โดยบางคนโต้แย้งว่ากล้องโทรทรรศน์แบบสะท้อนให้มุมมองที่ใหญ่มากไป เป็นที่น่าอึดอัดใจและไม่แน่นอน และตั้งข้อสังเกตของความบิดเบือนที่เกิดจากความร้อน โดยการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิในช่วงกลางคืนที่หอดูดาว นักดาราศาสตร์มืออาชีพยังคงเห็นด้วยกับการใช้กล้องโทรทรรศน์แบบหักเหแสงเป็นเครื่องมือหลักในการทำงานวิจัยต่อมาเป็นเวลาหลายปี ในขณะที่นักดาราศาสตร์สมัครเล่นทดลองกับกล้องโทรทรรศน์แบบสะท้อนแสง

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

400 year of the Telescope



สถาบันวิจัยดาราศาสตร์แห่งชาติ (องค์การมหาชน)

National Astronomical Research Institute of Thailand (Pubilc Organization)

- **สถาบันวิจัยดาราศาสตร์แห่งชาติ (องค์การมหาชน)**
  อุทยานดาราศาสตร์สิรินธร เลขที่ 260 หมู่ 4 ต.ดอนแก้ว อ.แม่ริม จ.เชียงใหม่ 50180
  โทรศัพท์ : 0-5312-1268-9 โทรสาร : 0-5312-1250
- **สำนักงานประสานงาน กรุงเทพฯ สถาบันวิจัยดาราศาสตร์แห่งชาติ (องค์การมหาชน)**
  ชั้น 2 เลขที่ 75/47 กระทรวงการอุดมศึกษา วิทยาศาสตร์ วิจัยและนวัตกรรม ซอยโยธี ถนนพระรามที่ 6
  แขวงทุ่งพญาไท เขตราชเทวี กรุงเทพฯ 10400 โทรศัพท์ : 0-2354-6652 โทรสาร : 0-2354-7013
- **หอดูดาวเฉลิมพระเกียรติ 7 รอบ พระชนมพรรษา ฉะเชิงเทรา**
  เลขที่ 999 หมู่ 3 ต.วังเย็น อ.แปลงยาว จ.ฉะเชิงเทรา 24190 โทรศัพท์ : 0-3858-9396 โทรสาร : 0-3858-9395
- **หอดูดาวเฉลิมพระเกียรติ 7 รอบ พระชนมพรรษา นครราชสีมา**
  เลขที่ 111 ถ.มหาวิทยาลัย ต.สุรนารี อ.เมือง จ.นครราชสีมา 30000 โทรศัพท์ : 0-4421-6254 โทรสาร : 0-4421-6255
- **หอดูดาวเฉลิมพระเกียรติ 7 รอบ พระชนมพรรษา สงขลา**
  เลขที่ 79/4 หมู่ 4 ต.เขารูปช้าง อ.เมือง จ.สงขลา 90000 โทรศัพท์ : 0-7430-0868 โทรสาร : 0-7430-0867

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

พิมพ์ครั้งที่ 4
ตุลาคม 2563