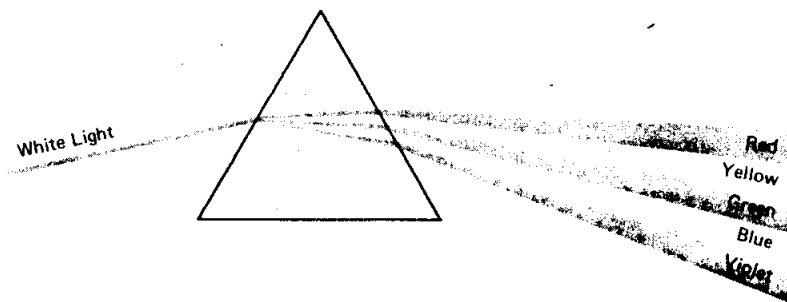


บทที่ 8 พลังงานจากห้วงอวกาศ

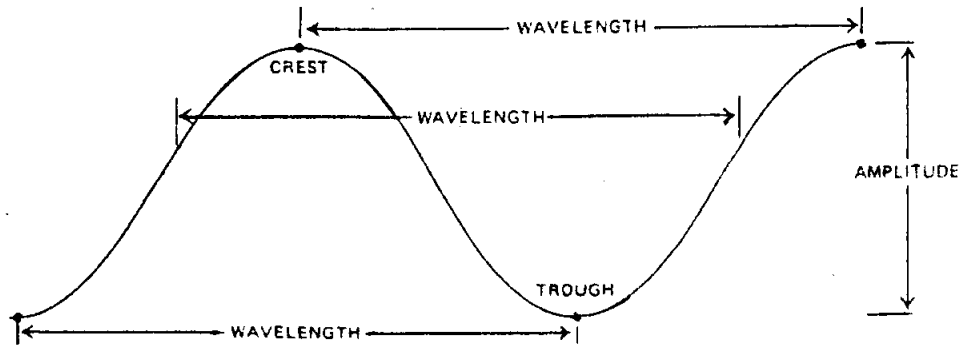
8.1 รังสีคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า

แสงมีความสำคัญมากที่สุดทางด้านดาราศาสตร์ เกือบทุกสิ่งที่นักดาราศาสตร์ศึกษาจากเทห์ฟากฟ้า นักดาราศาสตร์ได้ศึกษาจากแสงสว่างที่ออกมาจากวัตถุนั้น ๆ แสงเดินทางด้วยความเร็วที่สุดในเอกภพนี้ โดยเคลื่อนที่ในสุญญากาศด้วยความเร็วประมาณ 300,000 กิโลเมตรต่อวินาที แสงเดินทางจากดวงอาทิตย์มาถึงโลกใช้เวลาประมาณ 8 นาที

นักวิทยาศาสตร์ที่ศึกษาเรื่องแสงคนแรก คือ เซอร์ ไอแซค นิวตัน (Sir Isacc Newton) ได้พบว่า ถ้าให้ลำแสงสีขาวผ่านปริซึม แสงสีขาวจะถูกแยกออกเป็น 7 สี (เรียกว่า สีรุ้ง ได้แก่ ม่วง, คราม, น้ำเงิน, เขียว, เหลือง, แสด และแดง) ตามรูปที่ 8.1 แถบสีเหล่านี้เรียกว่า แถบสเปกตรัมแบบต่อเนื่อง (continuous spectrum) จากปรากฏการณ์นี้แสดงให้เห็นว่าแสงสีขาวประกอบด้วยแสง 7 สีรวมกัน ในศตวรรษที่ 18 ได้มีการค้นพบว่าแสงแสดงคุณสมบัติของคลื่นได้ เช่น ปรากฏการณ์การเลี้ยวเบน, ปรากฏการณ์การสอดแทรก เป็นต้น และคุณสมบัติของอนุภาค เช่น ปรากฏการณ์การกระเจิง



รูปที่ 8.1 แสดงการแยกแสงโดยปริซึม



รูปที่ 8.2 แสดงความยาวคลื่นของแสง ได้จากความยาวของยอดคลื่น 2 ยอดติดต่อกัน

พิจารณาคลื่นน้ำ (ดูรูปที่ 8.2) ระยะทางของยอดคลื่นสองยอดติดต่อกัน เรียกว่า ความยาวคลื่นเช่นเดียวกับคลื่นแสง ระยะทางระหว่างยอดคลื่นสองยอดติดต่อกันเรียกว่า ความยาวคลื่นแสง ใช้สัญลักษณ์อักษรกรีก λ แทนความยาวคลื่น โดยทั่วไปหน่วยของความยาวคลื่นเป็นเซนติเมตร แต่เนื่องจากความยาวคลื่นของแสงมีขนาดสั้นมาก เพื่อความสะดวกจึงใช้หน่วย ไมครอน (micron : μ) และอังสตรอม (angstrom : \AA)

$$1 \text{ ไมโครมิเตอร์ } (\mu) = 10^{-4} \text{ เซนติเมตร}$$

$$1 \text{ อังสตรอม } (\text{\AA}) = 10^{-8} \text{ เซนติเมตร}$$

แสงสว่างที่เรามองเห็นได้ มีความยาวคลื่นตั้งแต่ 4,000 ถึง 7,000 \AA แสงสีต่าง ๆ มีความยาวคลื่นไม่เท่ากัน ตามตารางที่ 8.1

จำนวนยอดคลื่นที่ผ่านจุดใดจุดหนึ่งในเวลาหนึ่งวินาที เรียกว่า ความถี่ของแสง ใช้สัญลักษณ์ ν แทนความถี่ ผลคูณของความถี่และความยาวคลื่นมีค่าเท่ากับความเร็วของคลื่น (ใช้ c แทนความเร็วของคลื่น ในที่นี้คือความเร็วของแสง) โดยมีสมการง่าย ๆ ดังนี้

$$c = \nu \times \lambda \quad \dots\dots\dots (8.1)$$

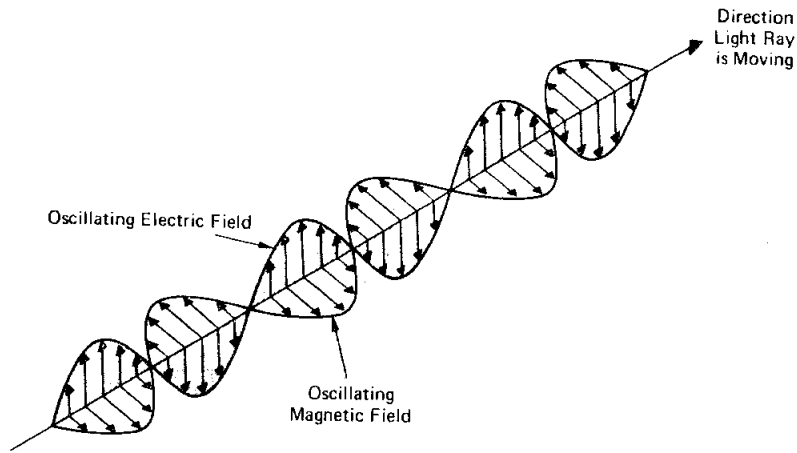
ตารางที่ 8.1

สี	ความยาวคลื่น (Å)
ม่วง	3,900 – 4,400
น้ำเงิน	4,400 – 5,000
เขียว	5,000 – 5,600
เหลือง	5,600 – 5,900
แสด	5,900 – 6,400
แดง	6,500 – 7,400

ในกรณีของ $C = 300,000$ กิโลเมตรต่อวินาที

ในปี ค.ศ. 1864 เจมส์ เคลิร์ก แมกซ์เวลล์ (James Clerk Maxwell) นักฟิสิกส์ชาวสก็อต ได้เสนอทฤษฎีแม่เหล็กไฟฟ้าสรุปได้ว่า แสงสว่างเป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าชนิดหนึ่ง เขายังได้ทำนายว่า ยังมีคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าชนิดอื่น ๆ อีกที่มีความยาวคลื่นแตกต่างจากแสงสว่างที่เรามองเห็นได้ ในปี ค.ศ. 1888 ไฮน์ริช แฮร์ทซ์ (Heinrich Hertz) ได้พิสูจน์ทฤษฎีบทของแมกซ์เวลล์และแสดงให้เห็นว่า ความร้อน, แสง และคลื่นวิทยุต่างก็เป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าเหมือนกัน แตกต่างกันที่ความยาวคลื่นซึ่งยาวไม่เท่ากัน

แสงเป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า ประกอบด้วยสนามไฟฟ้าและสนามแม่เหล็ก (ดูรูปที่ 8.3) ความยาวของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้านี้มีช่วงคลื่นตั้งแต่ความยาวคลื่นวิทยุซึ่งมีความยาวคลื่นมากกว่า 10^4 เซนติเมตร จนถึงรังสีแกมมาซึ่งมีความยาวคลื่นสั้นมาก ๆ (น้อยกว่า 10^{-12} เซนติเมตร) ดูรูปที่ 8.4 ประกอบ ระหว่างคลื่นวิทยุและรังสีแกมมาจะเป็นคลื่นที่เรียกว่า เรดาร์, อินฟราเรด (หรือรังสีใต้แดง), แสงสว่างที่มองเห็นได้, อัลตราไวโอเลต (หรือรังสีเหนือม่วง) และรังสีเอกซ์



รูปที่ 8.3 แสดงคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่สนามแม่เหล็กและสนามไฟฟ้าตั้งฉากกัน

WAVE LENGTH IN ANGSTROMS	RADIATION	USE	ENERGY
10^{-4}	Cosmic Rays		100 MeV
10^{-3}			10 MeV
10^{-2}			1 MeV
10^{-1}	Gamma Rays	Deep Therapy	100 keV
10^0			10 keV
10	X-rays	Diagnosis and Therapy	1 keV
10^2			100 eV
10^3	Ultraviolet		10 eV
10^4	Visible light	Solar Energy	1 eV
10^5		Space Heating	10^{-1} eV
10^6	Infrared		10^{-2} eV
10^7			10^{-3} eV
10^8		Radar	10^{-4} eV
10^9			10^{-5} eV
10^{10}		Television	10^{-6} eV
10^{11}	Radio waves		10^{-7} eV
10^{12}			10^{-8} eV
10^{13}		Radio	10^{-9} eV
10^{14}			10^{-10} eV
10^{15}	Electric current in wires (AC)	Power	10^{-11} eV
10^{16}			10^{-12} eV

รูปที่ 8.4 เส้นสเปกตรัมของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า แสงที่มองเห็นได้มีความยาวคลื่นตั้งแต่ 4,000 Å (แสงสีม่วง) จนถึง 7,000 Å (แสงสีแดง)

เนื่องจากคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าแสดงคุณสมบัติทั้งอนุภาคและคลื่น ดังนั้น คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าจึงมีชื่อเรียกอีกชื่อหนึ่งว่า โฟตอน (photon) คุณสมบัติที่สำคัญของแสงคือ การพาพลังงาน เช่น แสงสว่างพาพลังงานจากดวงอาทิตย์มาสู่โลก พลังงานของโฟตอนเป็นปริมาณโดยตรงกับความถี่ของมัน สามารถเขียนเป็นสมการได้ดังนี้

$$E = h \times \nu \quad \dots\dots\dots (8.2)$$

- เมื่อ $E =$ พลังงานของโฟตอน
 $h =$ ค่าคงที่ของพลังค์ (Planck's constant)
 $= 6.62 \times 10^{-27}$ เอิร์ก·วินาที
 $\nu =$ ความถี่ของโฟตอน

แทนค่าสมการที่ (8.1) ลงในสมการที่ (8.2) จะได้

$$E = \frac{hc}{\lambda} = \frac{\text{ค่าคงที่}}{\lambda} \quad \dots\dots\dots (8.3)$$

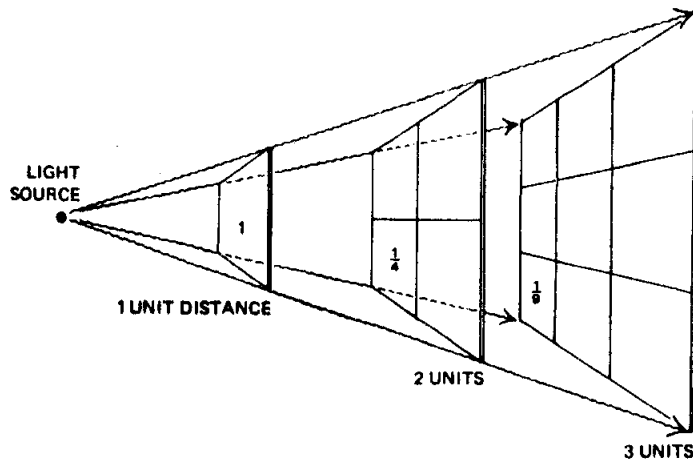
จากสมการที่ (8.3) แสดงให้เห็นว่า รังสีที่มีความยาวคลื่นยาวมาก ๆ จะมีค่าพลังงานน้อย, รังสีที่มีความยาวคลื่นสั้นมาก ๆ รังสีนั้นจะมีค่าพลังงานมาก แสงสว่างที่เรามองเห็นได้แสงสีม่วงมีความยาวคลื่นสั้นที่สุด ดังนั้นแสงสีม่วงจึงมีพลังงานมากที่สุด และแสงสีแดงมีความยาวคลื่นยาวที่สุด แสงสีแดงจึงมีพลังงานน้อยที่สุด

8.2 กฎกำลังสองผกผัน

ปริมาณของแสง (หรือความเข้มของแสง) จะลดลงตามระยะทางที่ห่างจากแหล่งกำเนิดแสง จากรูปที่ 8.5 สมมติที่ระยะ 1 เมตร (ห่างจากจุดกำเนิดแสง) พื้นที่ที่รับแสงมีขนาดเท่ากับ 1 หน่วย ถ้าระยะเพิ่มขึ้นเป็น 2 เมตร (หรือระยะทางเพิ่มขึ้นเป็น 2 เท่า) พื้นที่ที่รับแสงจะเพิ่มขึ้นเป็น 4 หน่วย นั่นคือ ความเข้มของแสงจะลดลงเป็น 1/4 เท่าของความเข้มแสงที่ระยะทาง 1 เมตร และถ้าระยะทางเพิ่มขึ้นเป็น 3 เมตร (หรือระยะทางเพิ่มขึ้นเป็น 3 เท่า) พื้นที่ที่รับแสงจะเพิ่มขึ้นเป็น 9 หน่วย ความเข้มของแสงจะลดลงเป็น 1/9 เท่าของความเข้มเริ่มต้น เราสามารถเขียนสูตรได้ง่าย ๆ ดังนี้

$$I_1 d_1^2 = I_2 d_2^2 \quad \dots\dots\dots (8.4)$$

- เมื่อ $I_1 =$ ความเข้มที่ระยะทาง d_1 หน่วยระยะทาง
 $I_2 =$ ความเข้มที่ระยะทาง d_2 หน่วยระยะทาง



รูปที่ 8.5 แสดงกฎกำลังสองผกผัน ระยะทางยิ่งมากความเข้มยิ่งลดตามกำลังสองของระยะทางที่เพิ่มขึ้น

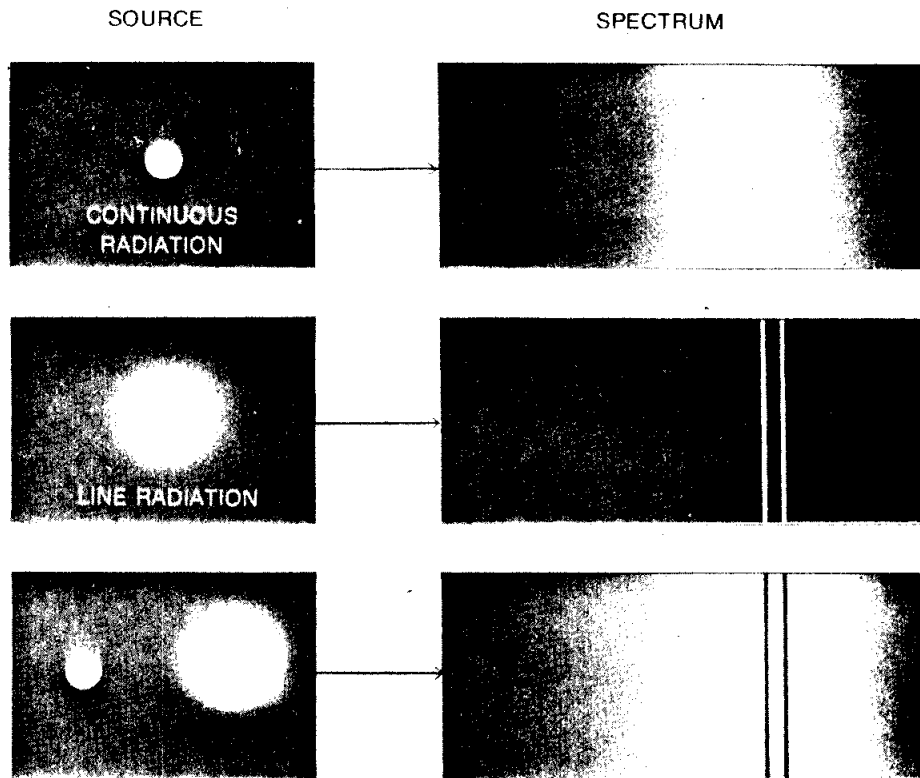
กฎกำลังสองผกผันนี้มีประโยชน์มากในการหาระยะทางของดาวฤกษ์ต่าง ๆ เช่น รู้ว่าดาวฤกษ์ดวงหนึ่งมีระยะทางห่างจากโลก 1 หน่วยระยะทาง ถ้าเราได้รับแสงจากดาวฤกษ์ดวงนี้ลดลง $1/4$ เท่า ระยะทางของดาวฤกษ์ดวงนี้จะเพิ่มขึ้นเป็น 2 เท่า เป็นต้น

8.3 สเปกโทรสโคปีทางด้านดาราศาสตร์

จากการที่นักวิทยาศาสตร์ได้สร้างอุปกรณ์วิเคราะห์เส้นสเปกตรัม ทำให้นักดาราศาสตร์รู้ว่าแหล่งกำเนิดแสงต่างกัน (จากดาวฤกษ์ต่างกัน) เส้นสเปกตรัมที่ถ่ายได้ก็มีความแตกต่างกันด้วย เส้นสเปกตรัมแบ่งออกเป็น 3 ชนิด คือ

1. แถบสเปกตรัมแบบต่อเนื่อง (continuous spectrum)
2. เส้นสเปกตรัมของการแผ่รังสี (emission line spectrum)
3. เส้นสเปกตรัมของการดูดกลืนรังสี (absorption spectrum)

นับตั้งแต่นั้นได้ค้นพบแถบสเปกตรัมแบบต่อเนื่องของแสงสีขาว ในต้นปี ค.ศ. 1800 วิลเลียม วอลลาสตัน (William Wollaston) ได้สังเกตเห็นเส้นสเปกตรัมของดวงอาทิตย์ โดยพบเส้นสีดำบาง ๆ อยู่ในแถบสเปกตรัมแบบต่อเนื่อง อีกหลายปีต่อมา โจเซฟ เฟร์ฮอฟ-



รูปที่ 8.8 รูปบนสุดแสดงเส้นสเปกตรัมแบบต่อเนื่อง รูปกลางแสดงเส้นสเปกตรัมของการแผ่รังสี รูปล่างสุดแสดงสเปกตรัมของการดูดกลืนรังสี

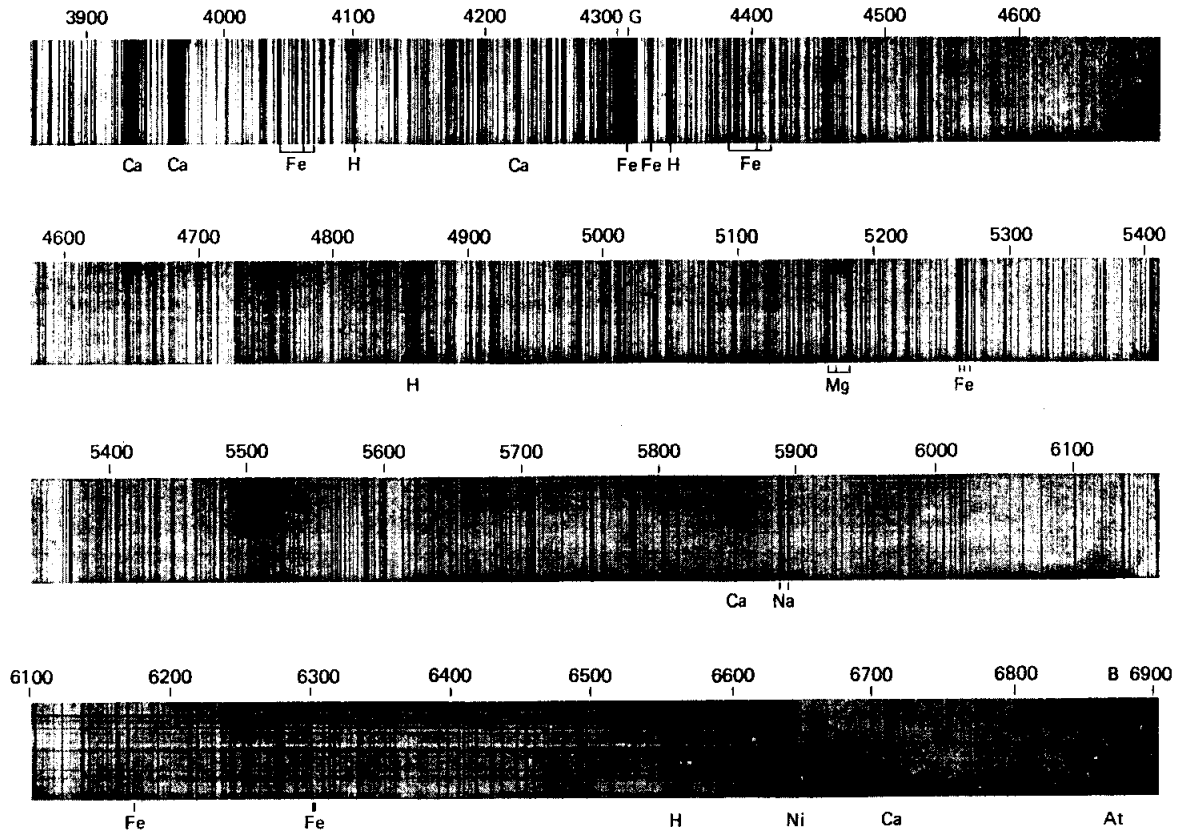
เฟอร์ (Joseph Fraunhofer) ก็ได้ค้นพบปรากฏการณ์นี้ด้วย และได้พบเส้นสเปกตรัมทั้งหมด 600 เส้น ในปัจจุบันนี้ ถ้าใช้ฟิล์มถ่ายรูปที่มีคุณภาพดีมากๆ ถ่ายเส้นสเปกตรัมของดวงอาทิตย์ จะพบเส้นสเปกตรัมมากมาย ดังรูปที่ 8.7

8.4 การดูดกลืนและการปล่อยแสงของอะตอม

ในระยะเริ่มแรกที่ค้นพบเส้นสเปกตรัมของดวงอาทิตย์นั้น เส้นสเปกตรัมเป็นสิ่งที่ลึกลับมากสำหรับนักวิทยาศาสตร์ โดยที่นักวิทยาศาสตร์ไม่สามารถเข้าใจได้ว่า เส้นสเปกตรัมคืออะไร เกิดขึ้นมาได้อย่างไร

ในปี ค.ศ. 1911 เซอร์ เออร์เนสต์ รัทเทอร์ฟอร์ด (Sir Ernest Rutherford) ได้เสนอว่า ภายในอะตอมประกอบด้วยนิวเคลียสซึ่งมีประจุไฟฟ้าบวกอยู่ตรงกลางและมีอิเล็กตรอนที่มีประจุไฟฟ้าลบบออยู่รอบนอก ในอะตอมที่เป็นกลางจะมีจำนวนประจุไฟฟ้าบวกและประจุไฟฟ้าลบ

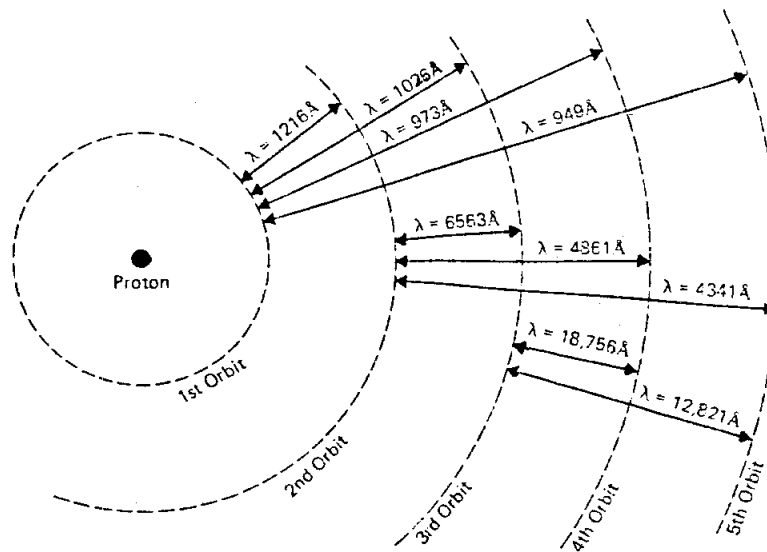
SOLAR SPECTRUM made with the 13-foot SPECTROHELIOGRAPH



รูปที่ 8.7 แสดงเส้นสเปกตรัมของดวงอาทิตย์ซึ่งแสดงถึงเส้นสเปกตรัมแบบดูดกลืนรังสีมากมาย เส้นสเปกตรัมเหล่านี้เกิดจากรธาตุต่าง ๆ ในบรรยากาศของดวงอาทิตย์

เท่ากัน ปัญหาในขณะนั้นก็คือ ยังไม่มีใครรู้ว่าอิเล็กตรอนอยู่อย่างไร มีคนเสนอว่าอิเล็กตรอนอยู่รอบ ๆ นิวเคลียสเหมือนกับระบบสุริยะของเรา โดยนิวเคลียสอยู่ตรงกลางเหมือนดวงอาทิตย์และมีอิเล็กตรอนโคจรรอบ ๆ นิวเคลียสนี้ ถ้าอิเล็กตรอนโคจรรอบ ๆ นิวเคลียส อิเล็กตรอนจะต้องเคลื่อนที่ด้วยความเร่งคงที่ เมื่ออนุภาคที่มีประจุไฟฟ้าเคลื่อนที่ด้วยความเร่ง อนุภาคนี้จะสูญเสียพลังงานโดยการส่งคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า (อยู่ในรูปของรังสีเอกซ์) ออกมา ซึ่งจากผลอันนี้ จะทำให้วงโคจรของอิเล็กตรอนแคบลง จนในที่สุดก็จะวิ่งเข้าไปสู่นิวเคลียส ดังนั้น ทฤษฎีเก่า ๆ จึงใช้ไม่ได้ นั่นคือ ฟิสิกส์จึงเริ่มเข้าสู่ยุคฟิสิกส์สมัยใหม่ (modern physics)

ในปี ค.ศ. 1913 นีล บอร์ (Niel Bohr) ได้อธิบายขยายโครงสร้างอะตอมของรัทเธอร์ฟอร์ดใหม่ โดยอาศัยทฤษฎีกลศาสตร์ควอนตัม (Quantum Mechanics) นีล บอร์ ได้สมมติว่า 1. อิเล็กตรอนที่โคจรรอบ ๆ นิวเคลียสเป็นชั้น ๆ โดยแต่ละชั้นจะมีรัศมีคงที่ เรียกว่า สถานะคงที่ (stationary state) 2. อิเล็กตรอนกระโดดจากระดับวงโคจรที่มีพลังงานสูงไปสู่วงโคจรที่มีพลังงานต่ำกว่า อิเล็กตรอนจะคายพลังงานที่เหลือออกมาในรูปของโฟตอน เช่น อะตอมของไฮโดรเจนเป็นตัวอย่างที่ง่ายที่สุด อะตอมของไฮโดรเจนประกอบด้วย นิวเคลียส (มีโปรตอน 1 ตัว) และอิเล็กตรอน 1 ตัว ให้วงโคจรของอิเล็กตรอนในอะตอมของไฮโดรเจนเป็นวงโคจรที่ 1, วงโคจรที่ 2, วงโคจรที่ 3, จากนิวเคลียส (ดูรูปที่ 8.8) วงโคจรที่อยู่ใกล้นิวเคลียสมากที่สุด (วงโคจรที่ 1) มีระดับพลังงานต่ำที่สุด วงโคจรนี้มีชื่อเรียกว่า สถานะพื้น (ground state) ถ้าอิเล็กตรอนกระโดดไปสู่วงโคจรที่มีระดับพลังงานสูงกว่า เราต้องให้พลังงานจำนวนหนึ่งแก่อิเล็กตรอนเพื่อที่อิเล็กตรอนจะได้กระโดดไปอยู่ในวงโคจรที่มีระดับพลังงานสูงกว่าได้ ค่าพลังงานที่เราให้กับอิเล็กตรอนนั้นมีค่าเท่ากับระดับพลังงานที่แตกต่างกันทั้งสองวงโคจรนั้น ในทำนองเดียวกัน ถ้าอิเล็กตรอนในวงโคจรที่ 2 (อิเล็กตรอนในวงโคจรนี้มีพลังงานมากกว่าอิเล็กตรอนในวงโคจรที่ 1) กระโดดลงไปอยู่ในวงโคจรที่ 1 อิเล็กตรอนจะคายพลังงานออกมาในรูปของโฟตอนที่มีพลังงานเท่ากับค่าความแตกต่างระหว่างระดับพลังงานทั้งสองวงโคจรนั้น



รูปที่ 8.8 แสดงโครงสร้างอะตอมของไฮโดรเจน นิวเคลียสประกอบด้วยโปรตอน 1 ตัว และมีอิเล็กตรอน 1 ตัวโคจรรอบ ๆ โปรตอน อิเล็กตรอนเคลื่อนที่จากชั้นหนึ่งไปอีกชั้นหนึ่ง จะดูดกลืนหรือปลดปล่อยแสงที่มีค่าความยาวคลื่นเฉพาะค่าหนึ่ง

โฟตอนที่อะตอมคายออกมา ถ้าใช้เครื่องสเปกโทรกราฟบันทึกภาพไว้ แผ่นฟิล์มจะปรากฏเป็นเส้นสว่าง เส้นเหล่านี้มีชื่อเรียกว่าเส้นสเปกตรัมของการแผ่รังสี และถ้าอิเล็กทรอนิกส์อนใช้พลังงานจากภายนอกอะตอมเพื่อกระโดดจากวงโคจรที่มีระดับพลังงานต่ำไปสู่วงโคจรที่มีระดับพลังงานสูงกว่า เส้นสเปกตรัมที่เครื่องสเปกโทรกราฟบันทึกได้จะปรากฏเป็นเส้นสีดำเล็ก ๆ เรียกว่าเส้นสเปกตรัมของการดูดกลืนรังสี

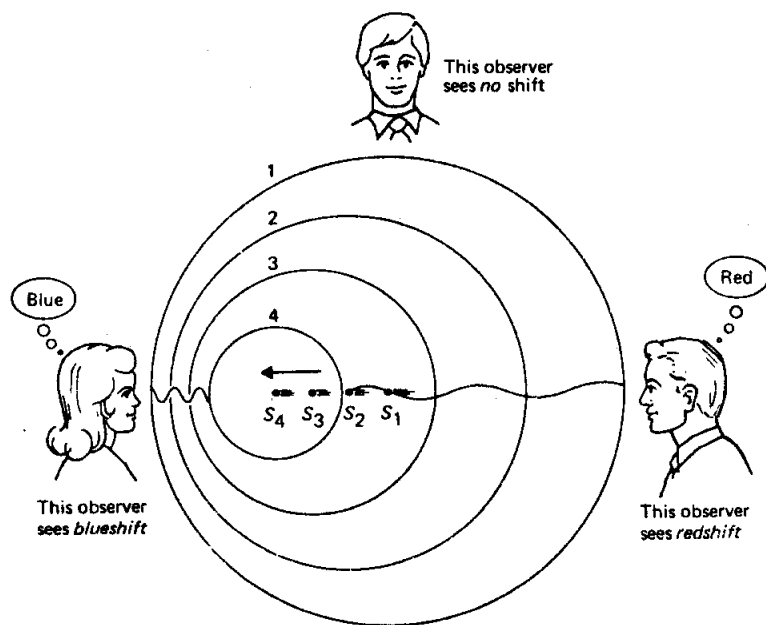
เส้นสเปกตรัมของธาตุต่าง ๆ นักวิทยาศาสตร์สามารถสร้างขึ้นในห้องทดลองได้ โดยการทำให้ธาตุต่าง ๆ กลายเป็นไอ (หรือแก๊ส) แล้วทำให้ร้อน เส้นสเปกตรัมที่ได้จะเป็นแบบเส้นสเปกตรัมของการแผ่รังสี ถ้าต้องการเส้นสเปกตรัมแบบดูดกลืนรังสี นักวิทยาศาสตร์ก็สามารถทำได้โดยให้แหล่งกำเนิดแสงสีขาวมีอุณหภูมิสูง แล้วให้แสงเหล่านี้ผ่านเข้าไปในกลุ่มไอ (หรือแก๊ส) ของธาตุต่าง ๆ ที่มีอุณหภูมิต่ำกว่า

เส้นสเปกตรัมของการแผ่รังสีกับเส้นสเปกตรัมของการดูดกลืนรังสีของธาตุนั้นเหมือนกัน ตำแหน่งและจำนวนเส้นที่เกิดขึ้นมาจะเหมือนกัน แตกต่างกันที่เส้นสเปกตรัมของการแผ่รังสีเป็นเส้นสว่าง ส่วนเส้นสเปกตรัมของการดูดกลืนรังสีเป็นเส้นสีดำ

เส้นสเปกตรัมของธาตุแต่ละชนิดมีลักษณะไม่เหมือนกัน (ทั้งตำแหน่งและจำนวนเส้น) เส้นสเปกตรัมจึงเป็นลักษณะเฉพาะของธาตุแต่ละชนิด ดังนั้น เมื่อนักดาราศาสตร์ถ่ายภาพเส้นสเปกตรัมของดวงอาทิตย์หรือของดาวฤกษ์ต่าง ๆ แล้วนำแผ่นฟิล์มเหล่านี้ไปเปรียบเทียบกับเส้นสเปกตรัมที่ได้จากห้องทดลอง นักดาราศาสตร์ก็จะสามารถสรุปได้ว่ามีธาตุอะไรบ้างที่อยู่บนดวงอาทิตย์หรือดาวฤกษ์ได้

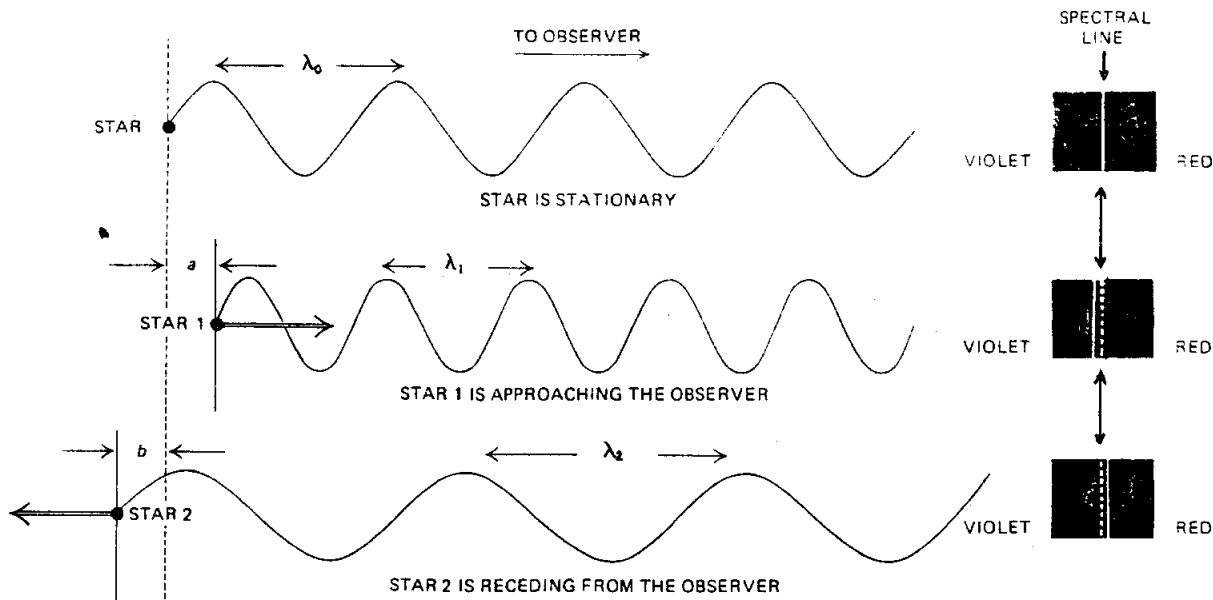
8.5 ผลดอปเพลอร์

ในปี ค.ศ. 1842 นักฟิสิกส์ชาวออสเตรีย ชื่อ คริสเตียน ดอปเพลอร์ (Christian Doppler) ได้แสดงปรากฏการณ์ของเสียงอย่างหนึ่งคือ เมื่อแหล่งกำเนิดเสียงเคลื่อนที่เข้าหาผู้สังเกต (หรือผู้สังเกตเคลื่อนที่เข้าหาแหล่งกำเนิดเสียง) ผู้สังเกตจะสังเกตได้ว่าความถี่ของเสียงมีค่าเพิ่มขึ้น และถ้าแหล่งกำเนิดเสียงเคลื่อนที่ออกจากผู้สังเกต (หรือผู้สังเกตเคลื่อนที่ออกจากแหล่งกำเนิดเสียง) ผู้สังเกตจะสังเกตได้ว่าความถี่ของเสียงมีค่าลดลง ปรากฏการณ์นี้มีชื่อเรียกว่า ผลดอปเพลอร์ (Doppler effect) เช่น การที่เรายืนอยู่ริมถนนแล้วได้ยินเสียงไซเรนของรถดับเพลิงหรือรถพยาบาล เราจะสังเกตได้ว่า ความถี่ของเสียง (หรือความถี่-แหลมของเสียง) มีการเปลี่ยนแปลง ถ้ารถดับเพลิงเคลื่อนที่เข้าหาเรา เราจะได้ยินเสียงไซเรนแหลมกว่าปกติ (ความถี่ของเสียงมีค่ามากขึ้น) และถ้ารถดับเพลิงเคลื่อนที่ออกห่างจากตัวเรา เราจะได้ยินเสียงไซเรนทุ้มกว่าปกติ (ความถี่น้อยลง)



รูปที่ 8.9 แสดงถึงผลดอปเพลอร์ที่มีต่อผู้สังเกตเนื่องจากการเคลื่อนที่ของแหล่งกำเนิดคลื่น

เช่นเดียวกับแสง (ดูรูปที่ 8.10) ผู้สังเกตอยู่กับที่และดาวฤกษ์อยู่กับที่ ถ้าแสงจากดาวฤกษ์มีความยาวคลื่น λ_0 เมื่อถ่ายรูปเส้นสเปกตรัมของดาวฤกษ์ เส้นสเปกตรัมจะปรากฏที่ตำแหน่งหนึ่ง แต่ถ้าดาวฤกษ์เคลื่อนที่เข้าหาเรา ความยาวคลื่นของแสงที่เราวัดได้จะมีค่าน้อยลง (λ_1) (หรือค่าความถี่เพิ่มขึ้น) เมื่อถ่ายเส้นสเปกตรัมของดาวฤกษ์ เส้นสเปกตรัมจะปรากฏเคลื่อนจากตำแหน่งเดิมไปทางแถบแสงสีม่วง ในทางตรงกันข้าม ถ้าดาวฤกษ์เคลื่อนออกจากเรา ความยาวคลื่นของแสงที่เราวัดได้จะมีค่ามากขึ้น (หรือความถี่ลดลง) เส้นสเปกตรัมของดาวฤกษ์จะปรากฏเคลื่อนจากตำแหน่งเดิมไปทางแถบแสงสีแดง การเคลื่อนของเส้นสเปกตรัม (จากตำแหน่งเดิม) จะมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับความเร็วของดาวฤกษ์ที่เคลื่อนที่เข้าหรือออกจากโลกเรามากหรือน้อย ถ้าดาวฤกษ์เคลื่อนที่ด้วยความเร็วมาก เส้นสเปกตรัมก็จะเคลื่อนจากตำแหน่งเดิมมาก ถ้าดาวฤกษ์เคลื่อนด้วยความเร็วช้า เส้นสเปกตรัมก็จะเคลื่อนจากตำแหน่งเดิมน้อย



รูปที่ 8.10 ภาพบนสุดแสดงเส้นสเปกตรัมของดาวฤกษ์เมื่อดาวฤกษ์อยู่นิ่ง ภาพกลางเมื่อดาวฤกษ์เคลื่อนที่เข้าหาผู้สังเกต เส้นสเปกตรัมจะเคลื่อนไปทางแถบแสงสีม่วง ภาพล่างสุดถ้าดาวฤกษ์เคลื่อนที่ออกจากผู้สังเกต เส้นสเปกตรัมจะเคลื่อนไปทางแถบแสงสีแดง

ความเร็วของเทห์ฟากฟ้าจึงสามารถวัดได้โดยวิธีผลดอปเพลอร์ ซึ่งมีสูตรคำนวณง่าย ๆ ดังนี้

$$\frac{\lambda - \lambda_0}{\lambda_0} = \frac{V}{C} \dots\dots\dots (8.5)$$

- เมื่อ λ_0 = ความยาวคลื่นของแสงเมื่อวัตถุอยู่นิ่ง (ได้จากห้องทดลอง)
- λ = ความยาวคลื่นของแสงของวัตถุที่เราสังเกตได้
- V = ความเร็วของวัตถุ หน่วย กิโลเมตรต่อวินาที
- C = ความเร็วของแสง = 300,000 กิโลเมตรต่อวินาที

จากสมการที่ (8.5) เมื่อแทนค่าต่าง ๆ แล้ว ถ้าได้ค่า V เป็นลบ (-) แสดงว่าวัตถุเคลื่อนที่เข้าหาเรา ถ้า V เป็นบวก (+) แสดงว่าวัตถุเคลื่อนที่ออกจากเรา ตัวอย่างเช่น เส้นสเปกตรัมของแกแลกซีระบบหนึ่ง ความยาวคลื่นของแสงไฮโดรเจนอัลฟา (H- α) โดยวัดในห้องปฏิบัติการได้ (λ_0) = 6563 Å แต่วัดเส้นสเปกตรัมของแสงไฮโดรเจนอัลฟาจากแกแลกซี

นี้พบว่า เส้นสเปกตรัมนี้มีความยาวคลื่น $(\lambda) = 7219 \text{ \AA}$ เราสามารถคำนวณหาความเร็วของ แกลกซีได้โดยใช้สมการที่ (8.5)

$$\frac{\lambda - \lambda_0}{\lambda_0} = \frac{V}{C}$$

แทนค่าจะได้ ;

$$\frac{7219 - 6563}{6563} = \frac{V}{300,000}$$

$$\frac{V}{300,000} = \frac{656}{6,563}$$

$$V = 30,000 \text{ กิโลเมตรต่อวินาที}$$

แกลกซีนี้เคลื่อนออกจากเราด้วยความเร็ว 30,000 กิโลเมตรต่อวินาที

8.6 กฎการแผ่รังสี

ถ้าเรานำแท่งเหล็กไปเผาไฟ อุณหภูมิของเหล็กจะค่อย ๆ เพิ่มขึ้น อะตอมของเหล็กมีการสั่นไปมาอย่างรวดเร็ว ถ้าให้อุณหภูมิของเหล็กสูงขึ้น อะตอมก็จะสั่นเร็วขึ้น จนกระทั่งสีของเหล็กเริ่มเป็นสีแดงเรื่อ ๆ ถ้าเราเผาเหล็กต่อไปอีก สีและความสว่างของเหล็กจะเปลี่ยนแปลงไปเรื่อย ๆ โดยสีเริ่มแดง-สว่าง แล้วเปลี่ยนเป็นสีค่อนข้างเหลือง ถ้าป้องกันไม่ให้เหล็กละลายกลายเป็นไอสีของเหล็กจะมีสีน้ำเงินและสว่างมาก

ในการพิจารณาถึงการเปลี่ยนแปลงของสีและความสว่างของแท่งเหล็กนี้ นักฟิสิกส์ได้สมมติให้มีวัตถุชนิดหนึ่งเรียกว่า วัตถุดำ (black body) วัตถุชนิดนี้มีคุณสมบัติที่ว่า จะดูดกลืนรังสีทุกชนิดที่ตกลงมาบนพื้นผิวของวัตถุนี้ รังสีทุกชนิดที่ถูกดูดกลืนจะไม่สามารถสะท้อนออกมาได้ วัตถุดำจึงเป็นวัตถุที่คายรังสีได้สมบูรณ์แบบที่สุด โดยการคายรังสีจะขึ้นอยู่กับอุณหภูมิของมันเพียงอย่างเดียว และการคายรังสีนี้เป็นอิสระต่อคุณสมบัติทางเคมีที่ประกอบเป็นวัตถุดำ วัตถุทุกชนิดที่มีอยู่ในโลกจึงมีการคายรังสีแตกต่างจากวัตถุดำ เนื่องจากคุณสมบัติทางเคมีและฟิสิกส์ต่างกัน

นักฟิสิกส์ชาวเยอรมัน ชื่อ วิลเฮล์ม เวน (Wilhelm Wien) ค้นพบว่า “สีของรังสีที่คายออกมาจากวัตถุที่ร้อนจะขึ้นอยู่กับอุณหภูมิของวัตถุนั้น” โดยที่วัตถุทุกชนิดที่มีอุณหภูมิสูงกว่าศูนย์องศาสัมบูรณ์ (หรือศูนย์เคลวิน) จะคายพลังงานออกมาในรูปของรังสี วัตถุที่เย็นจะคายรังสีที่มีความยาวคลื่นมากๆ เช่น ร่างกายของคนเรามีอุณหภูมิประมาณ 300 เคลวิน

เป็นแหล่งที่คายรังสีอินฟราเรด วัตถุที่ร้อนมาก ๆ (อุณหภูมิหลายล้านเคลวิน) จะคายรังสีที่มีความยาวคลื่นสั้นมาก ๆ เช่น รังสีเอกซ์ วัตถุที่มีอุณหภูมิ 3,000 ถึง 10,000 เคลวินเท่านั้นที่คายรังสีออกมาในรูปของแสงสว่างที่เรามองเห็นได้

รังสีที่วัตถุคายออกมาจะมีความยาวคลื่นทุก ๆ ค่า แต่มีความยาวคลื่นค่าหนึ่งเท่านั้นที่มีจำนวนมากที่สุด ความยาวคลื่นที่มีมากที่สุดเรียกว่า λ_{\max} ซึ่งขึ้นอยู่กับอุณหภูมิของวัตถุ เช่น จากการทดลองเผาเหล็ก รังสีที่มีความยาวคลื่นมากที่สุดที่เหล็กคายออกมาจะเป็นปฏิกาดผกผันกับอุณหภูมิ เหล็กที่อุณหภูมิสูงจะคายรังสีที่มีความยาวคลื่นสั้น เหล็กที่มีอุณหภูมิต่ำจะคายรังสีที่มีความยาวคลื่นยาว ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิ (T) ของวัตถุ กับความยาวคลื่น (λ_{\max}) ที่ซึ่งรังสีถูกคายออกมามากที่สุด เรียกว่า กฎของเวิน (Wien's law) ดูจากตารางที่ 8.1

ตารางที่ 8.1

Temperature (°K) of Black Body	Wavelength (λ_{\max}) at Which Most Radiation Is Emitted	Type of Radiation
3°	$\frac{1}{10}$ cm	Radiowaves
300°	$\frac{1}{1000}$ cm	"Far" infrared
3,000°	10,000 Å	"Near" infrared
4,000°	7,500 Å	Red light
6,000°	5,000 Å	Yellow light
8,000°	3,750 Å	Violet light
10,000°	3,000 Å	"Near" ultraviolet
30,000°	1,000 Å	"Far" ultraviolet
300,000°	100 Å	"Soft" X rays
1½ million°	20 Å	"Hard" X rays
3 billion°	$\frac{1}{100}$ Å	Gamma rays

กฎของเวินสามารถเขียนได้ในรูปของคณิตศาสตร์ ดังนี้

$$\lambda_{\max} = 2.898 \times 10^7 / T \quad \dots\dots\dots (8.6)$$

เมื่อ λ_{\max} = ความยาวคลื่นของรังสีที่วัตถุส่งออกมามากที่สุด มีหน่วยเป็นอังสตรอม (Å)

T = องศาสัมบูรณ์ของวัตถุ มีหน่วยเป็นเคลวิน (K)

ดังนั้น อุณหภูมิของดาวฤกษ์จึงสามารถวัดได้จากสีของมัน เช่น ดวงอาทิตย์จากการวัดค่าความยาวคลื่นมากที่สุดที่ดวงอาทิตย์ส่งออกมามีค่าประมาณ 4,700 Å เพราะฉะนั้นเราสามารถหาอุณหภูมิของดวงอาทิตย์ที่พื้นผิวได้โดยการใช้สมการที่ (8.6)

$$\begin{aligned}
\text{จากสูตร} \quad \lambda_{\max} &= 2.898 \times 10^7 / T \\
\text{แทนค่า} \quad \lambda_{\max} &= 4,700 \text{ \AA} = 4.7 \times 10^3 \text{ \AA} \\
4.7 \times 10^3 &= 2.898 \times 10^7 / T \\
T &= \frac{2.898 \times 10^7}{4.7 \times 10^3} \\
&= 6,164 \text{ เคลวิน}
\end{aligned}$$

อุณหภูมิพื้นผิวของดวงอาทิตย์มีค่า = 6,164 เคลวิน

ในปี ค.ศ. 1879 โจเซฟ สเตฟาน (Josef Stefan) ได้ตั้งกฎความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิกับพลังงานของรังสีจากวัตถุ ความสัมพันธ์นี้เรียกว่า กฎของสเตฟาน (Stefan's law) โดยกล่าวว่า “จำนวนของพลังงานที่ถูกส่งออกมาจากวัตถุจะมีค่าเพิ่มขึ้นเป็นปฏิกภาคโดยตรงกับอุณหภูมิของวัตถุยกกำลัง 4” โดยเขียนเป็นสูตรง่าย ๆ ดังนี้

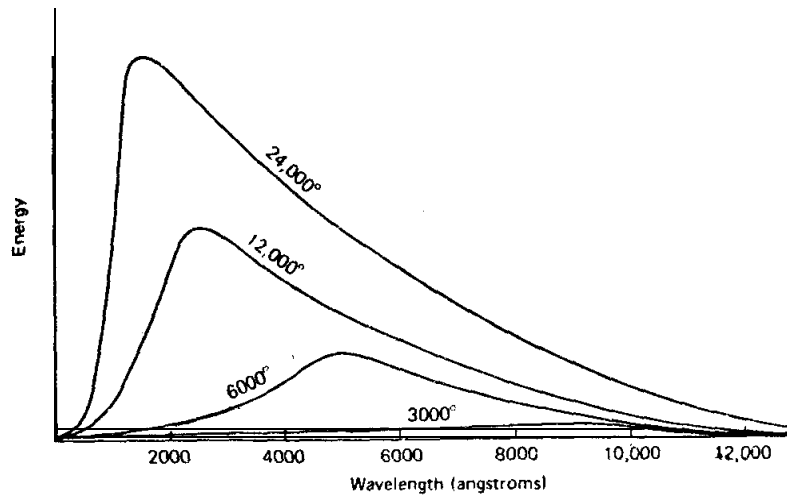
$$E = \sigma T^4 \quad \dots\dots\dots (8.7)$$

- เมื่อ E = พลังงานทั้งหมดที่อุณหภูมิ T หน่วยเป็น เอิร์ก
 T = อุณหภูมิสัมบูรณ์ของวัตถุ หน่วยเป็น เคลวิน
 σ = ค่าคงที่ของสเตฟาน (Stefan's constant)
 $= 5.67 \times 10^{-5}$ เอิร์ก·เซนติเมตร⁻²·องศา⁻⁴·วินาที⁻¹

ตัวอย่างเช่น วัตถุก้อนหนึ่งมีอุณหภูมิ 1,000 เคลวิน ให้พลังงานออกมาจำนวนหนึ่งทุก ๆ วินาทีในพื้นที่หนึ่งตารางเซนติเมตรที่ผิวของวัตถุ ถ้าอุณหภูมิเพิ่มขึ้นเป็น 2 เท่า คือ อุณหภูมิเท่ากับ 2,000 เคลวิน พลังงานที่วัตถุส่งออกมาจะเพิ่มขึ้นเป็น (2⁴) หรือ 16 เท่า และถ้าอุณหภูมิเพิ่มขึ้นเป็น 3 เท่า (หรืออุณหภูมิ = 3,000 เคลวิน) พลังงานที่ถูกส่งออกมาจากวัตถุเพิ่มขึ้นเป็น (3⁴) หรือ 81 เท่า

ในปี ค.ศ. 1900 นักฟิสิกส์ชาวเยอรมัน ชื่อ แมกซ์ แพลงค์ (Max Planck) ได้เสนอ กฎของแพลงค์ (Planck black body radiation law) โดยการพิสูจน์กฎของเวินและสเตฟาน โดยการคำนวณหาจำนวนพลังงานที่ส่งออกมาแต่ละความยาวคลื่นและทุก ๆ ความยาวคลื่นจากวัตถุ โดยที่วัตถุมีอุณหภูมิเฉพาะค่าหนึ่ง พิจารณาจากรูปที่ 8.11 เป็นกราฟแสดงถึงจำนวนพลังงานที่ถูกส่งออกมาที่ความยาวคลื่นต่าง ๆ กัน แกนตั้งเป็นแกนของพลังงาน แกนนอนเป็นแกนของความยาวคลื่น จากกราฟสามารถพิจารณากฎของเวินและสเตฟานได้พร้อมกัน ที่อุณหภูมิต่ำ เส้นกราฟจะแสดงลักษณะยอด (peak หรือ λ_{\max}) ที่มีความยาวคลื่นมาก ถ้าอุณหภูมิสูงขึ้น

ยอดของเส้นกราฟ (λ_{max}) เคลื่อนไปทางความยาวคลื่นสั้นลง และเส้นกราฟที่อุณหภูมิสูงยอดจะมีความสูงมากกว่าเส้นกราฟที่อุณหภูมิต่ำ ซึ่งแสดงถึงกฎของสเตฟานที่กล่าวว่า วัตถุที่ร้อนมากจะคายพลังงานออกมาจากรูปที่ 8.11 ที่สำคัญที่สุดคือ กฎของแพลงค์บอกให้ทราบถึงจำนวนพลังงานที่ส่งออกมาทุก ๆ ความยาวคลื่นโดยวัตถุดำมีอุณหภูมิเฉพาะค่าหนึ่ง



รูปที่ 8.11 กราฟแสดงถึงกฎของแพลงค์ซึ่งเป็นค่าที่ได้จากทฤษฎี

8.7 รังสีคอสมิก

รังสีคอสมิก (cosmic ray) ได้แก่ อนุภาคประจุไฟฟ้าต่าง ๆ ที่มาจากนอกโลก 90% ของรังสีคอสมิกเป็นนิวเคลียสของไฮโดรเจน (หรือเรียกว่าอนุภาคโปรตอน) 9% เป็นพวกนิวเคลียสของฮีเลียม (หรืออนุภาคอัลฟา) อีกประมาณ 1% ประกอบด้วยนิวเคลียสของธาตุอื่นรวมทั้งอิเล็กตรอนด้วย อนุภาคเหล่านี้เคลื่อนที่ด้วยความเร็วเกือบเท่าแสง ดังนั้น พลังงานของรังสีคอสมิกจึงมีค่าสูงมาก อนุภาคบางตัวอาจจะมีพลังงานถึง 10^{19} eV (อิเล็กตรอนโวลต์) ส่วนใหญ่รังสีคอสมิกมาจากดวงอาทิตย์, การระเบิดของดาวฤกษ์ (เรียกว่า Super nova)