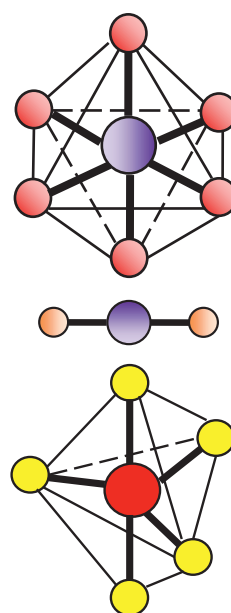




เคมี เล่ม 1

(หลักสูตร สอวน. ค่าย 1 วิชาเคมี)

	1	2	13	14	15	16	17	18
2	Li 152	Be 113	B 83	C 77	N 75	O 73	F 71	Ne
3	Na 154	Mg 160	Al 143	Si 117	P 115	S 104	Cl 99	Ar
4	K 227	Ca 197	Ga 122	Ge 123	As 125	Se 117	Br 114	Kr
5	Rb 248	Sr 215	In 163	Sn 141	Sb 141	Te 143	I 133	Xe
6	Cs 265	Ba 217	Tl 170	Pb 175	Bi 155	Po 167	At	Rn



	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
4	Sc 161	Ti 145	V 139	Cr 125	Mn 137	Fe 124	Co 125	Ni 125	Cu 128	Zn 133
5	Y 178	Zr 159	Nb 143	Mo 136	Tc 135	Ru 133	Rh 134	Pd 138	Ag 144	Cd 149
6	La 187	Hf 156	Ta 143	W 137	Re 137	Os 134	Ir 136	Pt 139	Au 144	Hg 150

โครงการตำราวิทยาศาสตร์และคณิตศาสตร์มูลนิธิ สอวน.

ตารางธาตุ

IA ← เลขหมู่แบบเดิม 1 ← เลขหมู่ตามระบบ IUPAC																		VIII A 18	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	2		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	He		
1.008	6.94	22.990	9.0122	40.078	50.942	54.938	55.845	58.933	58.693	63.546	65.38	69.723	72.630	74.922	78.971	79.904	4.0026		
H	Li	Na	Be	K	Ca	Sc	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	Ga	Ge	As	Se	Br	Ne		
11	12	22.990	9.0122	39.098	40.078	44.956	55.845	58.933	58.693	63.546	65.38	69.723	72.630	74.922	78.971	79.904	20.180		
Na	Mg	Na	Mg	K	Ca	Sc	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	Ga	Ge	As	Se	Br	Ar		
19	20	22.990	24.305	39.098	40.078	44.956	55.845	58.933	58.693	63.546	65.38	69.723	72.630	74.922	78.971	79.904	39.948		
K	Ca	Sc	Ca	K	Ca	Sc	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	Ga	Ge	As	Se	Br	Kr		
37	38	39	40	39	40	41	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54		
Rb	Sr	Y	Zr	Y	Zr	Nb	Ru	Rh	Pd	Ag	Cd	In	Sn	Sb	Te	I	Xe		
85.468	87.62	88.906	91.224	88.906	92.906	92.906	101.07	102.91	106.42	107.87	112.41	114.82	118.71	121.76	127.60	126.90	131.29		
Cs	Ba	*	Hf	*	Ta	W	Os	Ir	Pt	Au	Hg	Tl	Pb	Bi	Po	At	Rn		
132.91	137.33	57-71	178.49	180.95	183.84	186.21	190.23	192.22	195.08	196.97	200.59	204.38	207.2	208.98	(209)	(210)	(222)		
Fr	Ra	89-103	104	105	106	107	108	109	110	111	112	113	114	115	116	117	118		
(223)	(226)	**	(265)	(268)	(271)	(270)	(277)	(276)	(281)	(280)	(285)	(286)	(289)	(289)	(293)	(294)	(294)		

- โลหะแอลคาไล

อโลหะ

ไม่ทราบสมบัติชัดเจน
- โลหะแอลคาไลเอิร์ท

แฮโลเจน
- โลหะทรานซิชัน

แก๊สมีสกุล
- โลหะกึ่งโลหะ

แก๊สมีสกุล
- โลหะกึ่งโลหะ

แก๊สมีสกุล

เคมี เล่ม 1

(หลักสูตร สอน. ค่าย 1 วิชาเคมี)



**มูลนิธิส่งเสริมโอลิมปิกวิชาการและพัฒนามาตรฐานวิทยาศาสตร์ศึกษา
ในพระอุปถัมภ์สมเด็จพระเจ้าพี่นางเธอ เจ้าฟ้ากัลยาณิวัฒนา
กรมหลวงนราธิวาสราชนครินทร์ (สอวน.)**

ความเป็นมา

ประเทศไทยส่งนักเรียนเข้าแข่งขันคณิตศาสตร์โอลิมปิกระหว่างประเทศครั้งแรกในปี พ.ศ. 2532 ที่ประเทศเยอรมนี โดยความร่วมมือระหว่างสมาคมวิทยาศาสตร์แห่งประเทศไทยในพระบรมราชูปถัมภ์ และสมาคมคณิตศาสตร์แห่งประเทศไทย ในพระบรมราชูปถัมภ์ สมเด็จพระเจ้าพี่นางเธอ เจ้าฟ้ากัลยาณิวัฒนา (พระยศในขณะนั้น) ได้พระราชทานเงินส่วนพระองค์ จำนวนหนึ่งเพื่อเป็นค่าใช้จ่าย

การคัดเลือกนักเรียนเพื่อไปแข่งขันคณิตศาสตร์โอลิมปิกระหว่างประเทศ ครั้งที่ 30 สมาคมคณิตศาสตร์แห่งประเทศไทยฯ ได้จัดคณาจารย์มหาวิทยาลัยจำนวนหนึ่งมาช่วยฝึกอบรมรวมเป็นเวลาประมาณสองเดือน เพื่อให้ให้นักเรียนได้เรียนรู้เนื้อหาเพิ่มเติมครอบคลุมหลักสูตรที่จะใช้แข่งขัน ซึ่งอยู่ในระดับชั้นปีที่ 1-2 ของมหาวิทยาลัย จากผลสำเร็จในปีแรก ทำให้รัฐบาลเห็นความสำคัญจึงได้จัดสรรงบประมาณให้กับโครงการนี้ผ่านสถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี (สสวท.) ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2533 เป็นต้นมา สมทบกับเงินพระราชทานเป็นรายปีจากสมเด็จพระเจ้าพี่นางเธอ เจ้าฟ้ากัลยาณิวัฒนา กรมหลวงนราธิวาสราชนครินทร์ เพื่อสนับสนุนการส่งนักเรียนไทยไปแข่งขันโอลิมปิกวิชาการระหว่างประเทศ 5 สาขา จนถึงปัจจุบันรวม 14 ปี นักเรียนไทยได้ทำชื่อเสียงได้เหรียญทองรวม 17 เหรียญ เหรียญเงิน 53 เหรียญ เหรียญทองแดง 93 เหรียญ และเกียรติคุณประกาศอีก 35 ราย รวมทั้งสิ้น 198 รางวัล จากจำนวนนักเรียนที่ส่งไปแข่งขัน 276 คน (72%)

อย่างไรก็ตาม จากการที่ประเทศไทยดำเนินการจัดส่งนักเรียนเข้าร่วมการแข่งขันคณิตศาสตร์ วิทยาศาสตร์ โอลิมปิกระหว่างประเทศ ตั้งแต่ พ.ศ.2532 จนถึงปัจจุบัน ทำให้เห็นว่ามาตรฐานการศึกษาด้านคณิตศาสตร์และวิทยาศาสตร์ของไทยยังต่ำกว่ามาตรฐานสากล การเตรียมตัวของนักเรียนยังใช้เวลานานเกินไป

เพื่อให้การส่งเสริมและสนับสนุน โครงการจัดส่งผู้แทนประเทศไทยไปแข่งขันโอลิมปิกวิชาการระหว่างประเทศมีประสิทธิภาพยิ่งขึ้นสมเด็จพระเจ้า พี่นางเธอ เจ้าฟ้ากัลยาณิวัฒนา กรมหลวงนราธิวาสราชนครินทร์ จึงมีพระดำริให้จัดตั้งมูลนิธิ สอวน. และได้รับอนุมัติจากกระทรวงมหาดไทยเมื่อวันที่ 12 ตุลาคม 2542 โดยมีวัตถุประสงค์หลัก 2 ประการ

วัตถุประสงค์

1. ส่งเสริมให้นักเรียนในระดับมัธยมศึกษาตอนปลายทั่วประเทศที่มีความสามารถทางวิทยาศาสตร์และคณิตศาสตร์ มีโอกาสได้รับการพัฒนาศักยภาพทางด้านคณิตศาสตร์ คอมพิวเตอร์ เคมี ฟิสิกส์ และชีววิทยา ตามความถนัดทั้งด้านทฤษฎีและทักษะด้านปฏิบัติ ให้สามารถคิดวิเคราะห์และแก้ปัญหาที่ซับซ้อนได้ โดยจัดให้มีศูนย์อบรมทั่วประเทศเป็นการเพิ่มเวลาฝึกอบรม เพื่อช่วยให้นักเรียนมีความพร้อมที่จะเข้ารับการคัดเลือกไปแข่งขันโอลิมปิกวิชาการระหว่างประเทศให้ได้ผลดียิ่งขึ้น ตามพระดำริของสมเด็จพระเจ้าพี่นางเธอเจ้าฟ้ากัลยาณิวัฒนา กรมหลวงนราธิวาสราชนครินทร์ องค์ประธานมูลนิธิ สอวน.
2. เพื่อนำประสบการณ์ที่ได้จากการแข่งขันโอลิมปิกวิชาการระหว่างประเทศมาพัฒนามาตรฐานคณิตศาสตร์และวิทยาศาสตร์ศึกษาของไทยให้สูงขึ้นเทียบเท่าระดับสากล

โครงการตำราวิทยาศาสตร์และคณิตศาสตร์มูลนิธิ สอน.

มูลนิธิส่งเสริมโอลิมปิกวิชาการและพัฒนามาตรฐานวิทยาศาสตร์ศึกษา ในพระอุปถัมภ์สมเด็จพระเจ้าพี่นางเธอ เจ้าฟ้ากัลยาณิวัฒนา กรมหลวงนราธิวาสราชนครินทร์ (สอน.) ได้ร่วมมือกับคณาจารย์มหาวิทยาลัยของรัฐ 20 แห่ง และกระทรวงศึกษาธิการ ดำเนินการจัดตั้งศูนย์ สอน. ในภูมิภาค 12 ศูนย์ และในกรุงเทพฯ 1 ศูนย์ (5 โรงเรียน) เพื่อพัฒนาศักยภาพทางปัญญาของนักเรียนที่มีความพร้อมในด้านวิทยาศาสตร์ คณิตศาสตร์และคอมพิวเตอร์จากทั่วประเทศ เพื่อให้นักเรียนได้มีความรู้ความสามารถเทียบเท่ามาตรฐานสากล และพร้อมที่จะสอบคัดเลือกเป็นผู้แทนประเทศไทยไปร่วมการแข่งขันโอลิมปิกวิชาการระหว่างประเทศในสาขาวิชาต่างๆ ได้ และเพื่อขยายผลจากประสบการณ์ที่ได้เข้าแข่งขันโอลิมปิกวิชาการระหว่างประเทศมาพัฒนามาตรฐานวิทยาศาสตร์และคณิตศาสตร์ของไทยให้สูงขึ้นเทียบเท่าสากล

ในการอบรมนักเรียนของศูนย์ สอน. มูลนิธิ สอน. ได้พิจารณาเห็นว่าตำราที่มีความสมบูรณ์ของเนื้อหาตามหลักสูตรของสอน. จะช่วยพัฒนาศักยภาพของนักเรียนในศูนย์สอน. ให้สูงขึ้นได้ นอกจากนั้นตำราเรียนในวิชาวิทยาศาสตร์และคณิตศาสตร์ในระดับมัธยมศึกษาตอนปลายที่มีความสมบูรณ์ถูกต้องยังขาดแคลน นักเรียนและครูสามารถนำตำราที่พัฒนาขึ้นมาไปใช้เป็นหนังสืออ้างอิงประกอบการเรียนการสอนได้อีกด้วย มูลนิธิ สอน. จึงได้มี “โครงการจัดทำตำราส่งเสริมพัฒนาศักยภาพของนักเรียนด้านวิทยาศาสตร์ คณิตศาสตร์และคอมพิวเตอร์” ขึ้น เพื่อผลิตตำราคณิตศาสตร์ คอมพิวเตอร์ เคมี ชีววิทยาและฟิสิกส์ที่มีเนื้อหาหลักสูตรตามมาตรฐานสากล โดยมีวัตถุประสงค์

1. เพื่อเป็นที่ระลึกในมหามงคลสมัยที่สมเด็จพระเจ้าพี่นางเธอ เจ้าฟ้ากัลยาณิวัฒนา กรมหลวงนราธิวาสราชนครินทร์ ทรงเจริญพระชนมายุ 80 พรรษา ซึ่งพระองค์ทรงมีพระมหากรุณาธิคุณต่อโครงการจัดส่งผู้แทนประเทศไทยไปแข่งขันโอลิมปิกวิชาการระหว่างประเทศและทรงสนับสนุนการดำเนินงานเพื่อพัฒนามาตรฐานการศึกษาวิทยาศาสตร์และคณิตศาสตร์ของไทยอย่างหาที่สุดมิได้

2. เพื่อผลิตหนังสือคณิตศาสตร์ คอมพิวเตอร์ เคมี ชีววิทยาและฟิสิกส์ระดับมัธยมศึกษาตอนปลายถึงระดับชั้นปีที่ 1 ของคณะวิทยาศาสตร์ในมหาวิทยาลัยให้มีคุณภาพเทียบเท่าสากล เรียบเรียงโดยคณาจารย์จากมหาวิทยาลัยของรัฐที่มีประสบการณ์สูงและที่มีส่วนรวมในการฝึกอบรมนักเรียนในค่าย สอน. ค่าย สสวท. และควบคุมนักเรียนไปแข่งขันโอลิมปิกวิชาการระหว่างประเทศ เนื้อหาในหนังสือเน้นกระบวนการคิดแบบวิทยาศาสตร์ เพื่อฝึกฝนให้นักเรียนสามารถคิดวิเคราะห์และแก้ปัญหาที่ซับซ้อนทั้งในเชิงทฤษฎีและประยุกต์ได้โดยจัดพิมพ์บนกระดาษอาร์ตอย่างดีและมีภาพสีประกอบคำบรรยาย

โครงการตำราวิทยาศาสตร์และคณิตศาสตร์ของมูลนิธิ สอน. มีเป้าหมายในการผลิตตำราคณิตศาสตร์ รวม 5 เล่ม คอมพิวเตอร์ 3 เล่ม เคมี 4 เล่ม ชีววิทยา 5 เล่ม และฟิสิกส์ 3 เล่ม โดยหนังสือชุดแรกจะนำขึ้นทูลเกล้าถวายในวันที่ 6 มิถุนายน 2547 ซึ่งเป็นวันประชุมสามัญประจำปี พ.ศ. 2547 ของคณะกรรมการบริหาร และสมเด็จพระเจ้าพี่นางเธอ เจ้าฟ้ากัลยาณิวัฒนา กรมหลวงนราธิวาสราชนครินทร์ เสด็จเป็นองค์ประธานที่ประชุม ส่วนที่เหลือคาดว่าจะจัดพิมพ์ให้แล้วเสร็จภายในปี พ.ศ. 2547 นี้ นอกจากนั้นคณะกรรมการโครงการผลิตตำราวิทยาศาสตร์และคณิตศาสตร์มูลนิธิ สอน. มีเป้าหมายจะผลิตตำราที่มีคุณภาพสูงนี้ในระดับมัธยมศึกษาตอนต้นโดยคณาจารย์จากมหาวิทยาลัย เพื่อวางรากฐานวิทยาศาสตร์และคณิตศาสตร์พื้นฐานและเพื่อสร้างแรงบันดาลใจและความสนใจทางด้านวิทยาศาสตร์ คณิตศาสตร์แก่เยาวชนอีกด้วย หากได้รับความอนุเคราะห์ช่วยเหลือด้านงบประมาณจากภาครัฐและเอกชน

คณะจัดทำหนังสือคณิตศาสตร์ วิทยาศาสตร์หวังว่าโครงการตำราคณิตศาสตร์ วิทยาศาสตร์ของมูลนิธิ สอน. จะมีส่วนร่วมในการปฏิรูปการเรียนรู้และยกระดับมาตรฐานวิทยาศาสตร์และคณิตศาสตร์ของไทยให้เทียบเท่ากับระดับสากลเพื่อสนองพระดำริของสมเด็จพระเจ้าพี่นางเธอ เจ้าฟ้ากัลยาณิวัฒนา กรมหลวงนราธิวาสราชนครินทร์

คณะกรรมการโครงการตำราวิทยาศาสตร์และคณิตศาสตร์มูลนิธิ สอวน.

คณะกรรมการที่ปรึกษา

- | | |
|--|------------------------|
| 1. ศาสตราจารย์ นายแพทย์จรัส สุวรรณเวลา | รองประธานมูลนิธิ สอวน. |
| 2. ศาสตราจารย์ศักดา ศิริพันธุ์ | กรรมการมูลนิธิฯ (อดีต) |
| 3. รองศาสตราจารย์ ดร.กำจัด มงคลกุล | กรรมการมูลนิธิฯ |
| 4. รองศาสตราจารย์เย็นใจ สมวิเชียร | กรรมการมูลนิธิฯ |
| 5. รองศาสตราจารย์ ดร. คุณหญิงสมรนาท พรหมบุญ | กรรมการมูลนิธิฯ |
| 6. ศาสตราจารย์ ดร. ม.ร.ว. ชื่นสุวรรณ สวัสดิวัตน์ | กรรมการมูลนิธิฯ |

คณะกรรมการดำเนินงานตำราเคมี

- | | |
|--|---------------------|
| 1. รองศาสตราจารย์ ดร.พินิติ รตะนานุกูล | ประธานคณะกรรมการ |
| 2. รองศาสตราจารย์ ดร.นันทมน คุณแสง | กรรมการ |
| 3. ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.จินดา แท้มบรรจง | กรรมการ |
| 4. ผู้ช่วยศาสตราจารย์พรณี รัตนชัยสิทธิ์ | กรรมการ |
| 5. รองศาสตราจารย์ ดร.สุชาดา จุณนุวัฒน์กุล | กรรมการ |
| 6. ดร.บัณฑิต ลีละศาสตร์ | กรรมการ |
| 7. ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อรอนงค์ อาร์คีโรปัญญา | กรรมการและเลขานุการ |

คณะผู้เขียนตำราเคมี เล่ม 1

- | | |
|--|--|
| 1. รองศาสตราจารย์ ดร.อภิรัตน์ เล่าห์บุตรี | ปร.ด. วิทยาศาสตร์พอลิเมอร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย |
| 2. ดร.ศรัณพงค์ ยิ้มกลิ่น | Ph.D. (Chemistry), The University of Liverpool, UK |
| 3. รองศาสตราจารย์ ดร.นันทมน คุณแสง | Ph.D. (Inorganic Chemistry), The National University of Ireland, University College Cork, Ireland (ผู้ประสานงาน) |
| 4. ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อรอนงค์ อาร์คีโรปัญญา | Ph.D. (Physical Chemistry), University of Bradford, UK |

คณะบรรณาธิการกิจตำราเคมี เล่ม 1

- | | |
|---|------------------------|
| 1. ผู้ช่วยศาสตราจารย์เยอรี มหาทุมะรัตน์ | มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ |
| 2. รองศาสตราจารย์ ดร.นภดล ไชยคำ | มหาวิทยาลัยมหิดล |

คำนำ

หนังสือเคมี เล่ม 1 นี้ได้จัดทำและเรียบเรียงขึ้นเพื่อใช้ประกอบการอบรมนักเรียนที่ได้ผ่านการคัดเลือกเข้าค่ายศูนย์ สอวน. ค่าย 1 เพื่อให้นักเรียนสามารถติดตามการเรียนรู้ได้อย่างมีประสิทธิภาพ เพราะประกอบไปด้วยเนื้อหาที่จะทำการอบรมในการเตรียมความพร้อมสำหรับการคัดเลือกในการเข้าค่าย 2 ต่อไป

หนังสือเคมี เล่ม 1 ฉบับใหม่นี้ได้มีการปรับปรุงเนื้อหาวิชาให้ทันสมัยยิ่งขึ้น ในส่วนของสาระที่ได้มีการเปลี่ยนแปลงไปโดยเฉพาะในส่วนที่เกี่ยวกับตารางธาตุ การเรียบเรียงเนื้อหาต่าง ๆ ที่ทำให้ผู้เรียนได้เข้าใจง่ายขึ้น การสอดแทรกแบบฝึกหัดเพื่อเป็นแนวทางให้ผู้เรียนได้ฝึกทักษะการเรียนรู้

นอกจากนี้หนังสือเคมี เล่ม 1 ยังเป็นประโยชน์สำหรับนักเรียนอื่น ๆ ที่ต้องการแสวงหาความรู้เพิ่มเติมจากการเรียนวิชาเคมี และต้องการเตรียมความพร้อมสำหรับการเรียนในหัวข้อถัดไปที่ต้องใช้ความรู้พื้นฐานเคมีในการทำความเข้าใจ และอธิบายการเกิดปฏิกิริยาทางเคมีต่อไปได้

ทางมูลนิธิ ฯ หวังว่าหนังสือเคมี เล่ม 1 นี้จะเป็นประโยชน์ต่อนักเรียนและทำให้นักเรียนได้มีพื้นฐานการเรียนรู้วิชาเคมีที่เข้มแข็งอันจะเป็นประโยชน์ต่อการเรียนวิชาเคมีขั้นสูงต่อไป

รองศาสตราจารย์ ดร.พินิติ รตะนานุกูล

ISBN : 978-616-91775-9-3

สงวนลิขสิทธิ์

จัดพิมพ์โดย มูลนิธิ สอวน.

พิมพ์ครั้งที่ 2 พ.ศ. 2562 (2019)

ออกแบบโดย รศ.ดร.พินิติ รตะนานุกูล

พิมพ์ที่ บริษัท ด้านสุทธาการพิมพ์ จำกัด

แยกสี/เพลท บริษัท ด้านสุทธาการพิมพ์ จำกัด

จัดจำหน่ายโดย ศูนย์หนังสือจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ถนนพญาไท เขตปทุมวัน กรุงเทพฯ 10330

CALL CENTER โทร. 0-2255-4433 <http://www.chulabook.com>

ร้านค้า ติดต่อแผนกขายส่ง สาขาหัวหมาก โทร. 0-2374-1374-5 โทรสาร 0-2374-1377

สารบัญ

บทที่	หน้า
1 โครงสร้างอะตอม	1
1.1 วิวัฒนาการของโครงสร้างอะตอม	1
1.2 เลขอะตอม เลขมวล และสัญลักษณ์นิวเคลียร์	5
1.3 ทฤษฎีควอนตัม	8
1.3.1 แสง	8
1.3.2 ทฤษฎีควอนตัมของแสง	10
1.3.3 ปรากฏการณ์โฟโตอิเล็กทริก	11
1.4 แบบจำลองอะตอมของโบร์	14
1.4.1 สเปกตรัมของไฮโดรเจน	15
1.4.2 ทฤษฎีอะตอมของโบร์ และเส้นสเปกตรัมของไฮโดรเจน	17
1.5 สมมติฐานของเดอ บรอยล์	22
1.6 หลักความไม่แน่นอนของไฮเซนเบิร์ก	25
1.7 โครงสร้างอะตอมตามแบบกลศาสตร์คลื่น	26
1.7.1 สมการชเรอดิงเงอร์	26
1.7.2 เลขควอนตัม	28
1.7.3 โครงแบบอิเล็กตรอน	32
1.8 โครงแบบอิเล็กตรอนและตำแหน่งของธาตุในตารางธาตุ	38
1.9 รูปแบบของตารางธาตุ	39
1.10 สมบัติของธาตุในตารางธาตุ	42
1.10.1 ขนาดอะตอมและไอออน	42
1.10.2 พลังงานไอออไนเซชัน	46
1.10.3 สัมพรรคภาพอิเล็กตรอน	49
1.10.4 อิเล็กโตรเนกาติวิตี	50
1.11 สถานะออกซิเดชัน	51
การหาสถานะออกซิเดชันโดยการคำนวณประจุสุทธิ	51
แบบฝึกหัด	54
เอกสารอ้างอิง	55

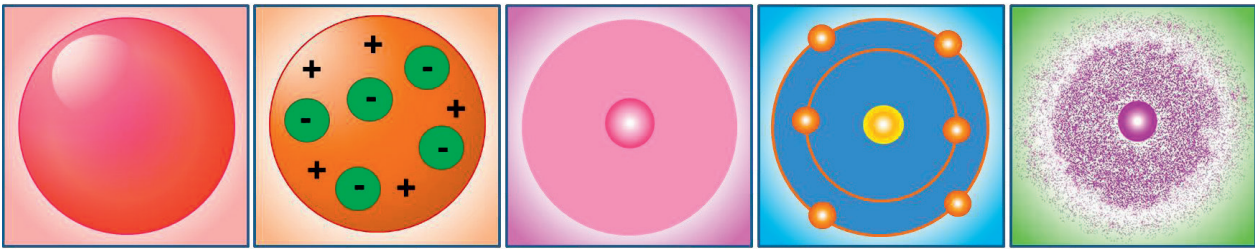
บทที่	หน้า
2 พันธะเคมี 1	57
2.1 สัญลักษณ์แบบจุดของอะตอม	57
2.2 พันธะไอออนิก	58
2.2.1 การเกิดพันธะไอออนิก	59
2.2.2 พลังงานที่เกี่ยวข้องในการเกิดพันธะไอออนิก	63
2.2.3 สารประกอบไอออนิก	71
สูตรเคมีและชื่อสารประกอบไอออนิก	71
การเขียนสูตรลิวอิสของสารประกอบไอออนิก	74
สมบัติของสารประกอบไอออนิก	77
2.3 พันธะโคเวเลนต์	79
2.3.1 การเกิดพันธะโคเวเลนต์	79
2.3.2 สมบัติของพันธะโคเวเลนต์	83
2.3.3 สภาพขั้วของพันธะ	90
2.3.4 สารประกอบโคเวเลนต์	91
สูตรเคมีและชื่อสารประกอบโคเวเลนต์	91
สมบัติของสารโคเวเลนต์	95
2.3.5 การเขียนสูตรลิวอิสของโมเลกุลโคเวเลนต์	96
สูตรลิวอิสของโมเลกุลพันธะเดี่ยว	96
สูตรลิวอิสของโมเลกุลพันธะคู่ และ พันธะสาม	98
2.3.6 โครงสร้างลิวอิสและโครงสร้างเรโซแนนซ์	100
2.3.7 ประจุฟอร์มัล	102
2.3.8 สูตรโครงสร้างลิวอิสที่ไม่เป็นไปตามกฎออกเตต	105
โมเลกุลที่อะตอมมีเวเลนซ์อิเล็กตรอนน้อยกว่าแปดอิเล็กตรอน	105
โมเลกุลที่อะตอมมีเวเลนซ์อิเล็กตรอนเป็นเลขคี่	106
โมเลกุลที่อะตอมมีเวเลนซ์อิเล็กตรอนเกินแปดอิเล็กตรอน	107
2.4 พันธะโลหะ	109
แบบจำลองทะเลอิเล็กตรอน	109
แบบฝึกหัด	112
เอกสารอ้างอิง	114

บทที่	หน้า
3 พันธะเคมี 2	115
3.1 ทฤษฎีการผลักรู้อิเล็กตรอนในวงเวเลนซ์	116
3.1.1 กรณีที่อะตอมกลางไม่มีอิเล็กตรอนคู่โดดเดี่ยว	116
3.1.2 กรณีที่อะตอมกลางมีอิเล็กตรอนคู่โดดเดี่ยว	118
3.1.3 โมเลกุลที่มีอะตอมกลางหลายอะตอม	123
3.2 รูปร่างโมเลกุลและสภาพขั้วโมเลกุล	124
3.3 ทฤษฎีพันธะเวเลนซ์	129
3.4 ไฮบริไดเซชัน	133
3.4.1 การสร้างไฮบริดออร์บิทัลจาก s และ p ออร์บิทัล	135
3.4.2 การสร้างไฮบริดออร์บิทัลจาก s, p และ d ออร์บิทัล	139
3.4.3 การใช้ทฤษฎี VSEPR ทำนายไฮบริไดเซชัน	143
3.4.4 ไฮบริไดเซชันในโมเลกุลที่อะตอมกลางมีอิเล็กตรอนคู่โดดเดี่ยว	144
3.4.5 ไฮบริไดเซชันในโมเลกุลที่มีพันธะคู่และพันธะสาม	145
3.5 ทฤษฎีออร์บิทัลโมเลกุล	153
3.5.1 การสร้างออร์บิทัลโมเลกุล	153
3.5.2 ออร์บิทัลโมเลกุลของ H_2 และ He_2	155
3.5.3 การคิดอันดับพันธะในโมเลกุล	157
3.5.4 ออร์บิทัลโมเลกุลของ O_2	158
3.5.5 โมเลกุลอะตอมคู่ชนิดเดียวกัน	162
3.5.6 โมเลกุลอะตอมคู่ต่างชนิดกัน	166
3.6 ทฤษฎีแถบพลังงาน	167
3.7 แรงดึงดูดระหว่างโมเลกุล	170
3.7.1 แรงแวนเดอร์วาลส์	170
แรงไดโพล-ไดโพล	170
แรงไดโพล-ไดโพลเหนี่ยวนำ	171
แรงแผ่กระจาย	172
3.7.2 พันธะไฮโดรเจน	173
แบบฝึกหัด	178
เอกสารอ้างอิง	180

บทที่	หน้า
4 สมบัติของธาตุหมู่หลัก	183
4.1 ธาตุหมู่ 1 และหมู่ 2	183
4.1.1 ธาตุหมู่ 1	183
4.1.2 ธาตุหมู่ 2	187
4.2 ธาตุหมู่ 13 ถึงหมู่ 18	191
4.2.1 ธาตุหมู่ 13	191
4.2.2 ธาตุหมู่ 14	193
4.2.3 ธาตุหมู่ 15	198
4.2.4 ธาตุหมู่ 16	205
4.2.5 ธาตุหมู่ 17	208
4.2.6 ธาตุหมู่ 18	211
4.3 ความสัมพันธ์ตามแนวทแยงของธาตุหมู่หลัก	213
4.4 ธาตุไฮโดรเจน	215
4.5 สมบัติของสารประกอบคลอไรด์และออกไซด์ของธาตุในคาบที่ 2 และ 3	218
4.5.1 สารประกอบคลอไรด์	219
4.5.2 สารประกอบออกไซด์ เปอร์ออกไซด์ และซูเปอร์ออกไซด์	223
แบบฝึกหัด	231
เอกสารอ้างอิง	234
เฉลยแบบฝึกหัดบทที่ 1	237
เฉลยแบบฝึกหัดบทที่ 2	238
เฉลยแบบฝึกหัดบทที่ 3	241
เฉลยแบบฝึกหัดบทที่ 4	243
ดัชนี	245

บทที่ 1

โครงสร้างอะตอม



แนวคิดเกี่ยวกับองค์ประกอบของสสารที่ประกอบด้วยหน่วยที่เล็กที่สุดนั้นเกิดขึ้นประมาณ 400 ปีก่อนคริสต์ศักราช อาริสโตเติล (Aristotle) เสนอว่า สสารมีเนื้อที่ต่อเนื่องกัน สามารถลดขนาดลงเป็นหน่วยเล็กๆ ไม่มีที่สิ้นสุด ต่อมานักปราชญ์ชาวกรีกชื่อ ดีโมคริตุส (Democritus) ได้เสนอแนวคิดเพิ่มเติมว่า เมื่อลดขนาดสสารลงไปเรื่อย ๆ ในที่สุดจะได้หน่วยที่เล็กที่สุดที่ไม่สามารถแบ่งแยกออกไปได้อีก เรียกว่า อะตอม (atom) ซึ่งมาจากภาษากรีกว่า atomos แปลว่า แบ่งแยกอีกไม่ได้ อย่างไรก็ตาม ในขณะนั้นยังไม่มี การทดลองเพื่อยืนยันแนวคิดเกี่ยวกับอะตอม

1.1 วิวัฒนาการของโครงสร้างอะตอม

ปี ค.ศ. 1774 อองตวน ลาวัวซิเย (Antoine Lavoisier) ทำการทดลองและตั้งกฎอนุรักษ์สสาร (law of conservation of matter) มีใจความว่า ในปฏิกิริยาเคมีใด ๆ สสารไม่สามารถทำให้เกิดใหม่และทำลายได้ ในปี ค.ศ. 1799 โจเซฟ เพราสต์ (Joseph Proust) ทำการทดลองเกี่ยวกับปฏิกิริยาเคมีและสารประกอบ และได้ตั้งกฎสัดส่วนคงที่ (law of constant composition) มีใจความว่า สารบริสุทธิ์มีสัดส่วนโดยมวลของธาตุองค์ประกอบคงที่ ต่อมาในปี ค.ศ. 1803 จอห์น ดอลตัน (John Dalton) ได้นำกฎทั้งสองนี้มาพัฒนาเป็นทฤษฎีอะตอม (atomic theory) ซึ่งสรุปได้ดังนี้

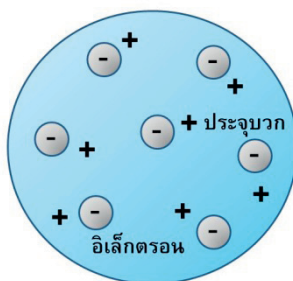
- (1) สสารทุกชนิดประกอบด้วยอนุภาคขนาดเล็กมาก เรียกว่า อะตอม ซึ่งไม่สามารถแบ่งแยกได้ และไม่สามารถทำให้เกิดขึ้นใหม่ หรือทำลายให้สูญหายไปได้
- (2) ธาตุแต่ละชนิดประกอบด้วยอะตอมชนิดเดียวกันที่มีสมบัติเหมือนกันทุกประการ แต่มีสมบัติแตกต่างไปจากอะตอมของธาตุชนิดอื่น ๆ
- (3) การเกิดปฏิกิริยาเคมีสามารถทำให้อะตอมของธาตุต่างชนิดกันรวมตัวกัน ในอัตราส่วนที่คงที่เพื่อเกิดเป็นสารประกอบ

แม้ว่าทฤษฎีอะตอมของดอลตันไม่สามารถอธิบายได้ว่า เพราะเหตุใดธาตุบางชนิด เช่น ออกซิเจน หรือไฮโดรเจน ไม่อยู่ในลักษณะที่เป็นอะตอมโดด ๆ หรืออะตอมของธาตุชนิดเดียวกันมีมวลแตกต่างกัน อย่างไรก็ตามทฤษฎีนี้เป็นทฤษฎีที่นำไปสู่การพัฒนาทฤษฎีอะตอมใหม่ ๆ ภายหลัง

ปี ค.ศ. 1831 ไมเคิล ฟาราเดย์ (Michael Faraday) ทดลองแยกสลายสารละลายอิเล็กโทรไลต์ด้วยไฟฟ้า พบความสัมพันธ์ระหว่างพลังงานไฟฟ้ากับการเปลี่ยนแปลงทางเคมี รวมถึงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณไฟฟ้ากับปริมาณสารที่เกิดขึ้น ฟาราเดย์จึงเสนอว่า ในอะตอมมีอนุภาคไฟฟ้าอยู่ด้วย ต่อมา ปี ค.ศ. 1891 จอร์จ จอห์นสโตน สโตนีย์ (Goerge Johnstone Stoney) จึงตั้งชื่ออนุภาคไฟฟ้านี้ว่า อิเล็กตรอน (electron)

ปี ค.ศ. 1886 ออยเกน โกลด์สไตน์ (Eugen Goldstein) พบรังสีแคแนล (canal ray) หรือรังสีที่ประกอบด้วยอนุภาคไฟฟ้าประจุบวก (positive ray) และหาค่าอัตราส่วนประจุต่อมวล (e/m) ของอนุภาคประจุบวกซึ่งมีค่าเปลี่ยนแปลงไปตามชนิดของแก๊สที่บรรจุในหลอดทดลอง ต่อมาเรียกอนุภาคประจุบวกนี้ว่า โปรตอน (proton)

ปี ค.ศ. 1897 โจเซฟ จอห์น ทอมสัน (Joseph John Thomson) ศึกษาสมบัติของรังสีแคโทด (cathode ray) ในสนามแม่เหล็กและสนามไฟฟ้า ทำให้ทอมสันสามารถหาอัตราส่วนประจุต่อมวล (e/m) ของอิเล็กตรอนได้เท่ากับ 1.76×10^8 คูลอมป์ต่อกรัม ($C g^{-1}$) ซึ่งเป็นค่าคงที่เสมอไม่ขึ้นกับชนิดของโลหะที่เป็นขั้วไฟฟ้าและชนิดของแก๊สที่บรรจุอยู่ในหลอดรังสีแคโทด และจากการทดลองของทอมสัน สรุปได้ว่า อะตอมของธาตุทุกชนิดมีอนุภาคไฟฟ้าประจุลบ หรืออิเล็กตรอนเป็นองค์ประกอบ ต่อมาทอมสันเสนอว่า อะตอมเป็นรูปทรงกลมประกอบด้วยอิเล็กตรอนที่มีประจุลบกระจายตัวอยู่ในเนื้ออะตอมที่มีประจุบวกในสัดส่วนที่เท่ากัน ทำให้อะตอมมีสภาพทางไฟฟ้าเป็นกลาง ดังรูปที่ 1.1 อย่างไรก็ตาม แบบจำลองของอะตอมตามทัศนะของทอมสันนี้ยังไม่ถูกต้อง เพราะไม่สามารถใช้อธิบายผลการทดลองที่เกิดขึ้นจริงได้ แต่ถือว่าเป็นจุดเริ่มต้นในการศึกษาโครงสร้างของอะตอมในยุคต่อมา



รูปที่ 1.1 แบบจำลองอะตอมของทอมสัน

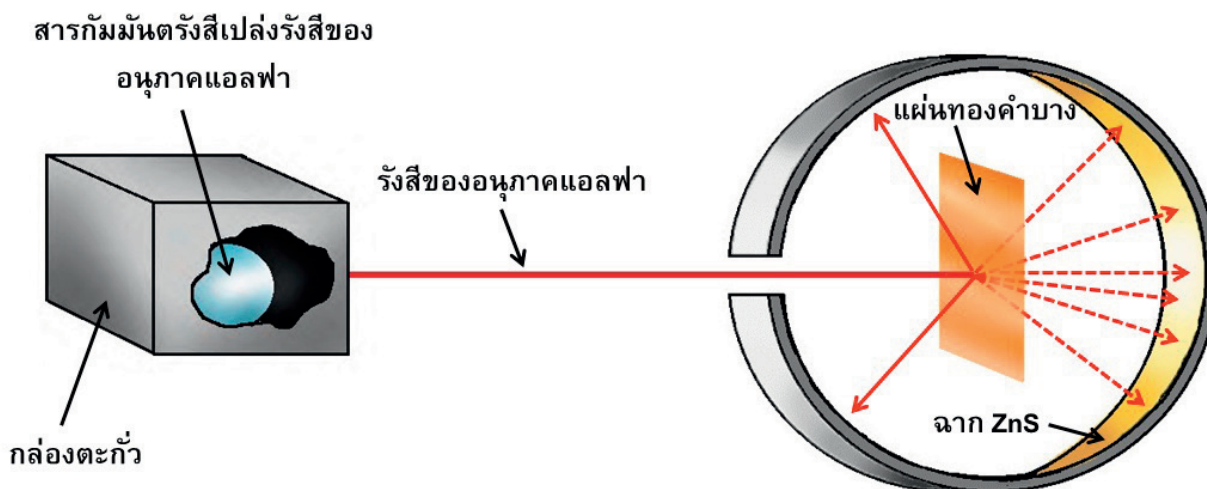
ปี ค.ศ. 1908 รอเบิร์ต แอนดรูส์ มิลลิแกน (Robert Andrews Millikan) หาค่าประจุของอิเล็กตรอนโดยอาศัยการทดลองหยดน้ำมัน (oil drop experiment) พบว่า ประจุที่เกาะติดบนหยดน้ำมัน

มีค่าเท่ากับ 1.60×10^{-19} , 3.20×10^{-19} , 4.80×10^{-19} , คูลอมป์ ซึ่งเท่ากับเลขจำนวนเต็มคูณด้วยค่าประจุ 1.60×10^{-19} คูลอมป์ จึงกำหนดค่า 1.60×10^{-19} ที่เป็นค่าต่ำที่สุดเป็นค่าประจุของอิเล็กตรอน (e) โดยเมื่อใช้ค่าประจุของอิเล็กตรอนนี้แทนในอัตราส่วนประจุต่อมวล (e/m) ของทอมสัน จะสามารถคำนวณหามวลของอิเล็กตรอน (m) ได้จาก

$$\begin{aligned}
 e/m &= 1.76 \times 10^8 \text{ C g}^{-1} \\
 1.60 \times 10^{-19} \text{ C} / m &= 1.76 \times 10^8 \text{ C g}^{-1} \\
 m &= 1.60 \times 10^{-19} \text{ C} / 1.76 \times 10^8 \text{ C g}^{-1} \\
 &= 9.10 \times 10^{-28} \text{ g}
 \end{aligned}$$

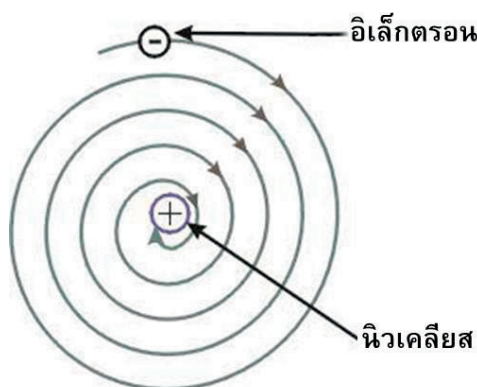
โดยมวลของอิเล็กตรอนจากการคำนวณมีค่าเท่ากับ 9.10×10^{-28} กรัม

ปี ค.ศ. 1911 เออร์เนสต์ รัทเทอร์ฟอร์ด (Ernest Rutherford) ทำการทดลองยิงอนุภาคแอลฟาความเร็วสูงผ่านเข้าไปยังแผ่นทองคำบางๆ ดังรูปที่ 1.2



รูปที่ 1.2 การทดลองของรัทเทอร์ฟอร์ด

จากผลการทดลองนี้ รัทเทอร์ฟอร์ดได้เสนอแบบจำลองอะตอมขึ้นใหม่ โดยเสนอว่า อะตอมมีที่ว่างเป็นส่วนใหญ่ ประกอบด้วยนิวเคลียส (nucleus) อยู่ตรงกลางซึ่งมีอนุภาคประจุบวกทั้งหมดรวมตัวกันอย่างหนาแน่น และมีอิเล็กตรอนเคลื่อนที่เป็นวงอยู่รอบๆ เหมือนระบบสุริยะ (solar system) อย่างไรก็ตาม แบบจำลองดังกล่าวขัดแย้งกับทฤษฎีพลศาสตร์ไฟฟ้าดั้งเดิม เพราะเมื่ออิเล็กตรอนเคลื่อนที่เป็นวงกลมอย่างต่อเนื่องรอบนิวเคลียสจะเปล่งรังสีแม่เหล็กไฟฟ้า (electromagnetic radiation) ออกมา ทำให้เกิดการสูญเสียพลังงานอย่างต่อเนื่อง และจะทำให้รัศมีวงโคจรอิเล็กตรอนลดลงเรื่อยๆ ในที่สุดอิเล็กตรอนจะวิ่งเข้าหานิวเคลียส ดังรูปที่ 1.3



รูปที่ 1.3 การเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอนรอบนิวเคลียสตามทฤษฎีฟิสิกส์ไฟฟ้าดั้งเดิม

ปี ค.ศ. 1932 เจมส์ แชดวิก (James Chadwick) ทดลองยิงอนุภาคแอลฟา ($\alpha = {}^4_2\text{He}$) เข้าไปในธาตุเบริลเลียม (Be) เกิดปฏิกิริยาดังสมการ



ทำให้พบนิวตรอน (neutron) ซึ่งเป็นอนุภาคที่เป็นกลางหลุดออกมาจากอะตอมของธาตุ

จากที่กล่าวมาข้างต้นสรุปได้ว่า อะตอมประกอบด้วยอนุภาคสามชนิด ได้แก่ อิเล็กตรอน โปรตอน และนิวตรอน ที่มีมวลและประจุดังตารางที่ 1.1 โดยโปรตอนที่มีประจุบวกจะอยู่รวมกันกับนิวตรอนที่เป็นกลางอย่างหนาแน่นในนิวเคลียส ซึ่งเป็นบริเวณใจกลางของอะตอม และมีอิเล็กตรอนที่มีประจุลบวิ่งด้วยความเร็วสูงปกคลุมนิวเคลียสซึ่งมีขนาดเล็กมากเมื่อเทียบกับขนาดของอะตอม ในขณะที่บริเวณที่ว่างจะถูกครอบครองโดยอิเล็กตรอน

ตารางที่ 1.1 มวลและประจุของอนุภาคในอะตอม

อนุภาค	มวล		ประจุ	
	กรัม	amu	คูลอมบ์	หน่วยประจุ
อิเล็กตรอน (e)	9.109389×10^{-28}	0.000548	-1.6022×10^{-19}	-1
โปรตอน (p)	1.672623×10^{-24}	1.007276	$+1.6022 \times 10^{-19}$	+1
นิวตรอน (n)	1.674928×10^{-24}	1.008665	0	0

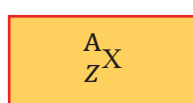
เนื่องจากอะตอมมีขนาดเล็กมากทำให้มีมวลน้อย ดังนั้นจึงไม่นิยมแสดงค่ามวลของอะตอมเป็นหน่วยกิโลกรัมตามระบบ SI เพื่อความสะดวกจึงกำหนดหน่วยของมวลอะตอมเป็น unified atomic mass unit (u) หรือ atomic mass unit (amu) โดย 1 u หรือ 1 amu เท่ากับ 1.6602×10^{-24} กรัม จึงสามารถแสดงมวลของอนุภาคทั้งสามชนิดในหน่วย amu ดังตารางที่ 1.1 ซึ่งจะเห็นว่า มวลของโปรตอนและนิวตรอนมีค่าใกล้เคียงกัน และมากกว่ามวลของอิเล็กตรอนถึง 1836 เท่า ดังนั้นมวลของอะตอมจึงใกล้เคียงมวลรวมของโปรตอนและนิวตรอนในนิวเคลียส

นอกจากอนุภาคทั้งสามชนิดแล้ว เมื่อการศึกษาและการทดลองมีความก้าวหน้าขึ้นทำให้มีการค้นพบอนุภาคที่ไม่เสถียร ในอะตอมอีกหลายชนิด เช่น โพสิตรอน (positron) นิวทริโน (neutrino) แอนตินิวทริโน (antineutrino) มีซอน (meson)

1.2 เลขอะตอม เลขมวล และสัญลักษณ์นิวเคลียร์

การที่อะตอมของธาตุแต่ละชนิดแตกต่างกันนั้น เนื่องจากจำนวนโปรตอนในนิวเคลียสของอะตอมแต่ละชนิดไม่เท่ากัน จำนวนโปรตอนในนิวเคลียสของอะตอมของธาตุหนึ่งๆ เรียกว่า เลขอะตอม (atomic number, Z) เนื่องจากอะตอมเป็นกลางทางไฟฟ้า อะตอมจึงมีจำนวนโปรตอนเท่ากับจำนวนอิเล็กตรอนเสมอ สำหรับผลรวมของจำนวนโปรตอนกับนิวตรอนที่อยู่ในนิวเคลียสของอะตอมของธาตุ เรียกว่า เลขมวล (mass number, A) เมื่อทราบเลขมวลและเลขอะตอมจะสามารถคำนวณหาจำนวนนิวตรอนได้ ธาตุชนิดเดียวกันต้องมีจำนวนโปรตอนหรือเลขอะตอมเท่ากันเสมอ แต่อาจมีจำนวนนิวตรอนต่างกัน ดังนั้นเลขมวลอาจต่างกัน

โดยทั่วไป การเขียนสัญลักษณ์ของอะตอมของธาตุมักจะต้องระบุเลขอะตอมและเลขมวลไว้ด้วย สัญลักษณ์ดังกล่าวนี้ เรียกว่า สัญลักษณ์นิวเคลียร์ (nuclear symbol) ซึ่งเขียนแสดงได้ดังนี้



X	=	สัญลักษณ์ของธาตุ
A	=	เลขมวล (จำนวนโปรตอน + นิวตรอน)
Z	=	เลขอะตอม (จำนวนโปรตอน)

เช่น $^{90}_{38}\text{Sr}$ เป็นสัญลักษณ์นิวเคลียร์ของธาตุสตรอนเชียม (strontium) โดย Sr เป็นสัญลักษณ์ของธาตุ และจากเลขอะตอม เลขมวล แสดงว่าธาตุนี้มี 38 โปรตอน 38 อิเล็กตรอน และมี 52 นิวตรอน ซึ่งเป็นผลต่างระหว่างเลขมวลกับเลขอะตอม ($90 - 38 = 52$)

ธาตุชนิดเดียวกันที่มีเลขมวลหรือจำนวนนิวตรอนต่างกัน เรียกว่าเป็นไอโซโทป (isotope) กัน เช่น ไอโซโทปของโพแทสเซียมและไอโซโทปของคาร์บอน ดังแสดงในตารางที่ 1.2

ตารางที่ 1.2 ไอโซโทปของโพแทสเซียมและไอโซโทปของคาร์บอน

ไอโซโทป	จำนวนโปรตอน	จำนวนอิเล็กตรอน	จำนวนนิวตรอน
$^{39}_{19}\text{K}$	19	19	20
$^{40}_{19}\text{K}$	19	19	21
$^{41}_{19}\text{K}$	19	19	22
$^{12}_6\text{C}$	6	6	6
$^{13}_6\text{C}$	6	6	7
$^{14}_6\text{C}$	6	6	8

สำหรับธาตุต่างชนิดกันที่มีเลขมวลเท่ากัน แต่เลขอะตอมต่างกันจะมีจำนวนนิวตรอนต่างกัน เรียกว่าเป็นไอโซบาร์ (isobar) กัน เช่น $^{27}_{12}\text{Mg}$ $^{27}_{13}\text{Al}$ $^{27}_{14}\text{Si}$ โดยแมกนีเซียม อะลูมิเนียม และซิลิคอน มีจำนวนนิวตรอนเท่ากับ 15, 14 และ 13 ตามลำดับ สำหรับธาตุต่างชนิดกันที่มีเลขมวลและเลขอะตอมต่างกัน แต่มีจำนวนนิวตรอนเท่ากัน เรียกว่าเป็นไอโซโทน (isotone) กัน เช่น $^{13}_6\text{C}$ เป็นไอโซโทนกับ $^{14}_7\text{N}$ เพราะมี 7 นิวตรอนเท่ากัน ส่วน $^{24}_{12}\text{Mg}$ เป็นไอโซโทนกับ $^{22}_{10}\text{Ne}$ เพราะมี 12 นิวตรอนเท่ากัน

ตัวอย่างที่ 1.1 กำหนดสัญลักษณ์นิวเคลียร์ของธาตุดังนี้ $^{14}_6\text{C}$ $^{15}_7\text{N}$ $^{16}_8\text{O}$ และ $^{20}_{10}\text{Ne}$ ธาตุใดเป็นไอโซโทนกัน

วิธีคิด ธาตุที่เป็นไอโซโทนกันจะเป็นธาตุที่มีทั้งเลขมวลและเลขอะตอมต่างกัน แต่มีจำนวนนิวตรอนเท่ากัน ในที่นี้ ธาตุที่เป็นไอโซโทนกันคือ $^{14}_6\text{C}$ $^{15}_7\text{N}$ และ $^{16}_8\text{O}$ เนื่องจากธาตุทั้งสามชนิดนี้ต่างก็มีจำนวนนิวตรอนเท่ากับ 8 นิวตรอน

ตัวอย่างที่ 1.2 ธาตุไฮโดรเจนมีสามไอโซโทป โดยแต่ละไอโซโทปมี 1 โปรตอนและมี 0, 1 และ 2 นิวตรอน ตามลำดับ จงเขียนสัญลักษณ์นิวเคลียร์ของทั้งสามไอโซโทปนี้

วิธีทำ จำนวนโปรตอน = เลขอะตอม (Z) = 1
 และเลขมวล (A) = จำนวนโปรตอน + จำนวนนิวตรอน
 โดยไอโซโทปที่ 1 ของไฮโดรเจนมีค่า A = 1 + 0 = 1
 ไอโซโทปที่ 2 ของไฮโดรเจนมีค่า A = 1 + 1 = 2
 ไอโซโทปที่ 3 ของไฮโดรเจนมีค่า A = 1 + 2 = 3

ดังนั้น สัญลักษณ์นิวเคลียร์ของไฮโดรเจน ได้แก่

^1_1H (ไฮโดรเจนหรือโปรเทียม (protium)), ^2_1H (ดิวเทอเรียม (deuterium, D)) และ ^3_1H (ทริเทียม (tritium, T))

ตัวอย่างที่ 1.3 เมื่อเปรียบเทียบจำนวนโปรตอนและนิวตรอนของธาตุ X กับของ $^{24}_{12}\text{Mg}$ พบว่า ธาตุ X มีจำนวนอิเล็กตรอนครึ่งหนึ่งของ Mg และมีจำนวนนิวตรอนมากกว่าของ Mg 1 อนุภาค จงเขียนสัญลักษณ์นิวเคลียร์ของธาตุ X

วิธีทำ ธาตุ $^{24}_{12}\text{Mg}$ มีจำนวนอิเล็กตรอน = 12 โปรตอน = 12 และนิวตรอน = 12

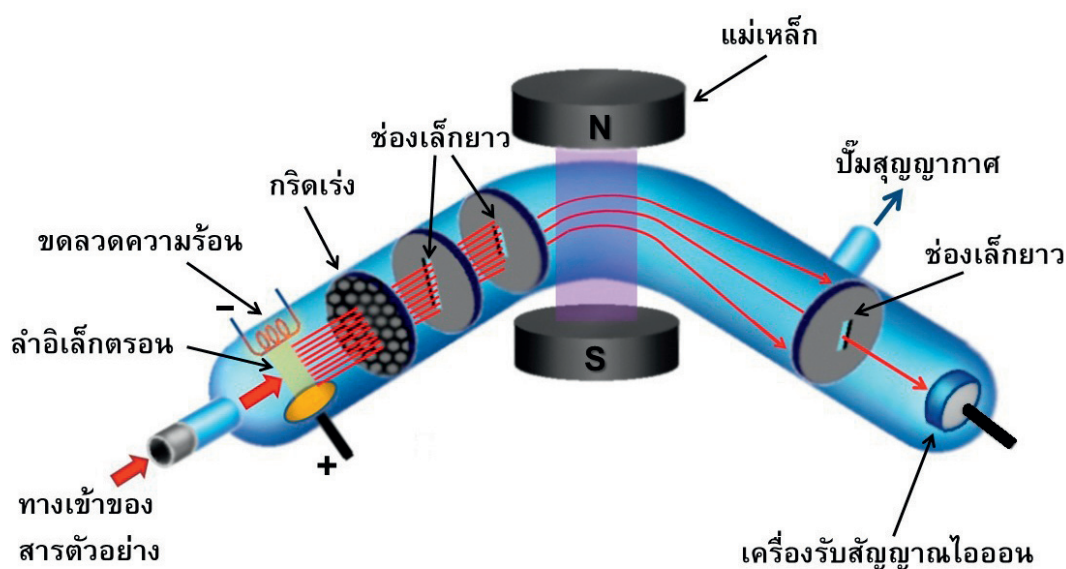
ดังนั้น ธาตุ X จะมีจำนวนอิเล็กตรอน = 6 โปรตอน = 6 และนิวตรอน = 13

จึงมีเลขอะตอม = 6 และเลขมวล = 13 + 6 = 19

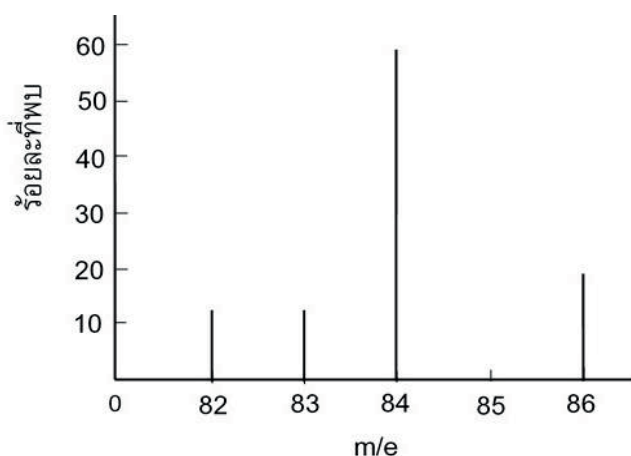
สัญลักษณ์นิวเคลียร์ของธาตุ X จึงเขียนได้เป็น $^{19}_6\text{X}$

เฮนรี โมสลีย์ (Henry Moseley) ศึกษาสเปกตรัมรังสีเอกซ์ของธาตุต่างๆ พบว่าความถี่ของรังสีเอกซ์ของอะตอมจะเพิ่มขึ้นตามเลขอะตอม ซึ่งเลขอะตอมสามารถพิจารณาได้จากจำนวนประจุบวกในนิวเคลียสของอะตอม จึงทำให้สรุปได้ว่า อะตอมของธาตุแต่ละชนิดมีเลขอะตอมเฉพาะตัว ดังนั้น ธาตุต่างชนิดกันจะมีเลขอะตอมที่ไม่เหมือนกัน

การหามวลอะตอมของไอโซโทปของธาตุสามารถใช้เครื่องมือที่เรียกว่า **สเปกโตรมิเตอร์มวล (mass spectrometer)** ดังรูปที่ 1.4 จะได้ข้อมูลออกมาเป็นกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่ามวลต่อประจุ (m/e) และร้อยละของแต่ละไอโซโทปของธาตุในธรรมชาติ เรียกว่า **สเปกตรัมมวล (mass spectrum)** ดังรูปที่ 1.5 ซึ่งเป็นสเปกตรัมมวลของธาตุ Kr



รูปที่ 1.4 การทำงานและส่วนประกอบที่สำคัญของเครื่องสเปกโตรมิเตอร์มวล



รูปที่ 1.5 สเปกตรัมมวลของธาตุ Kr (krypton)

จากรูปที่ 1.5 แสดงให้เห็นว่า ในธรรมชาติ ธาตุ Kr มี 4 ไอโซโทป ได้แก่ $^{82}_{36}\text{Kr}$, $^{83}_{36}\text{Kr}$, $^{84}_{36}\text{Kr}$ และ $^{86}_{36}\text{Kr}$ ซึ่งพบอยู่ในปริมาณร้อยละ 12.0, 12.0, 58.0 และ 18.0 ตามลำดับ

1.3 ทฤษฎีควอนตัม

เนื่องจากการใช้ทฤษฎีดั้งเดิม (classical theory) ไม่สามารถอธิบายพฤติกรรมของวัตถุที่มีขนาดเล็กมากๆ (microscopic level) และปรากฏการณ์ต่างๆ ที่พบในปลาย ค.ศ. 1990 ได้แก่ การแผ่รังสีของวัตถุดำ (black body radiation) ปรากฏการณ์โฟโตอิเล็กทริก (photoelectric effect) และสเปกตรัมของอะตอม (atomic spectrum) ทำให้มีการปรับปรุงเป็นทฤษฎีแผนใหม่สำหรับใช้อธิบายปรากฏการณ์ดังกล่าวนี้ เรียกว่า ทฤษฎีควอนตัม (quantum theory) ซึ่งทฤษฎีแผนใหม่จะเกี่ยวข้องกับแสง (light) ซึ่งเป็นรังสีแม่เหล็กไฟฟ้า (electromagnetic radiation)

1.3.1 แสง

แสงเป็นพลังงานที่มีสมบัติเป็นคลื่นสามารถเคลื่อนที่ได้โดยไม่ต้องอาศัยตัวกลางจึงสามารถเคลื่อนที่ผ่านสุญญากาศได้โดยเคลื่อนที่ด้วยความเร็วคงที่เท่ากับ 3.00×10^8 เมตรต่อวินาที (ซึ่งหมายถึงความเร็วของแสงในสุญญากาศ, c) ความสัมพันธ์ระหว่างความถี่ (frequency) ของคลื่น และความยาวคลื่น (wavelength) เป็นดังสมการที่ (1.1)

$$v = \frac{c}{\lambda} \quad \dots(1.1)$$

เมื่อ v = ความถี่ของคลื่น หน่วยเฮิรตซ์ (hertz; Hz) หรือต่อวินาที (s^{-1})
และ $1 \text{ Hz} = 1 \text{ s}^{-1}$ (รอบต่อวินาที)

c = ความเร็วแสงในสุญญากาศ เท่ากับ 3.00×10^8 เมตรต่อวินาที (m s^{-1})

λ = ความยาวคลื่น หน่วยเมตร (m) หรือเซนติเมตร (cm) หรือนาโนเมตร (nm)

ส่วนกลับของความยาวคลื่นเรียกว่า เลขคลื่น (wave number, $\bar{\nu}$) ซึ่งหมายถึง จำนวนคลื่น ในระยะทาง 1 เซนติเมตร ดังสมการที่ (1.2)

$$\bar{\nu} = \frac{1}{\lambda} \quad \text{.....(1.2)}$$

เมื่อ $\bar{\nu}$ = เลขคลื่น หน่วยต่อเซนติเมตร (cm^{-1})

จากความสัมพันธ์ดังสมการที่ (1.1) และ (1.2) พบว่า ความยาวคลื่นแสงแปรผกผัน กับเลขคลื่นและความถี่ ดังนั้น แสงที่มีความยาวคลื่นสั้น จะมีเลขคลื่นและความถี่สูง

ตัวอย่างที่ 1.4 รังสีไมโครเวฟมีความถี่ 1.37×10^{11} Hz จงหาความยาวคลื่น และเลขคลื่นของรังสีนี้

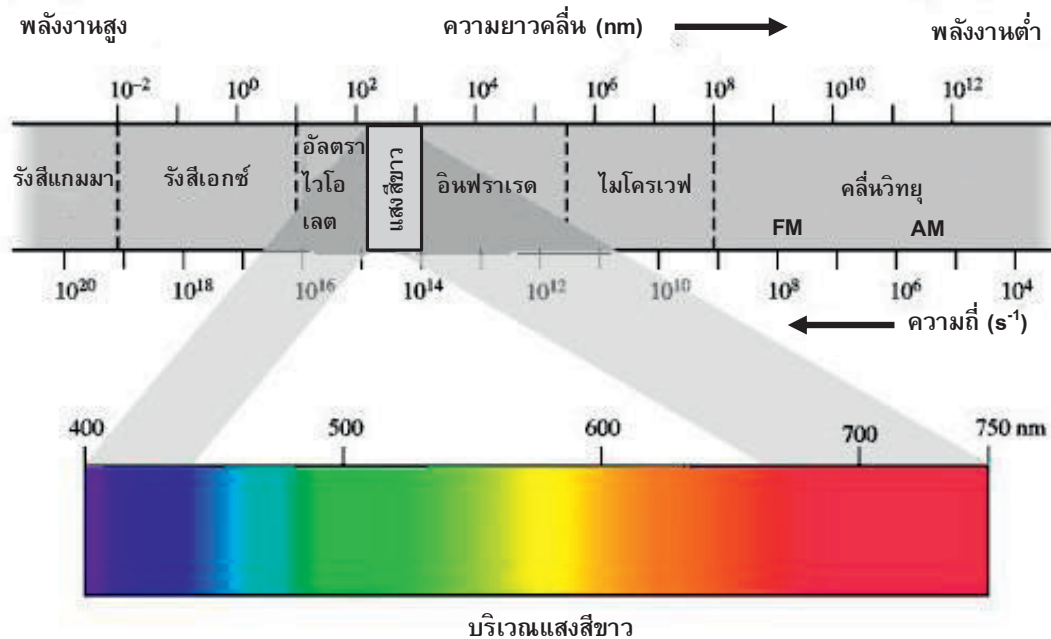
วิธีทำ จากสูตร

$$\begin{aligned} \lambda &= \frac{c}{\nu} \\ &= \frac{3.00 \times 10^8 \text{ m s}^{-1}}{1.37 \times 10^{11} \text{ s}^{-1}} \\ &= 2.19 \times 10^{-3} \text{ m} \\ &= 0.219 \text{ cm} \end{aligned}$$

และจากสูตร

$$\begin{aligned} \bar{\nu} &= \frac{1}{\lambda} \\ &= \frac{1}{0.219} \\ &= 4.57 \text{ cm}^{-1} \end{aligned}$$

แสงจากดวงอาทิตย์ประกอบด้วยคลื่นที่มีความยาวคลื่นแตกต่างกัน แสงที่มองเห็นได้ (visible light) หรือที่เรียกว่า แสงขาว (white light) มีความยาวคลื่นอยู่ในช่วงประมาณ 400-750 นาโนเมตร (รูปที่ 1.6) เนื่องจากประสาทตาไม่สามารถแยกแสงออกเป็นสีต่างๆ ได้ ต้องอาศัยอุปกรณ์ เช่น ปริซึม (prism) เมื่อแสงสีขาวผ่านปริซึมจะเกิดการแยกออกเป็นแถบสีรุ้งต่อเนื่องกันไป เรียกว่า แถบสเปกตรัม (continuous spectrum) และเมื่อเรียงลำดับความยาวคลื่นของแถบสีจากสั้นไปยาวจะเป็น ดังนี้ ม่วง (400-420 นาโนเมตร) คราม-น้ำเงิน (420-490 นาโนเมตร) เขียว (490-580 นาโนเมตร) เหลือง (580-590 นาโนเมตร) ส้ม (590-650 นาโนเมตร) และแดง (650-750 นาโนเมตร)



รูปที่ 1.6 แถบสเปกตรัมของแสงสีขา

1.3.2 ทฤษฎีควอนตัมของแสง

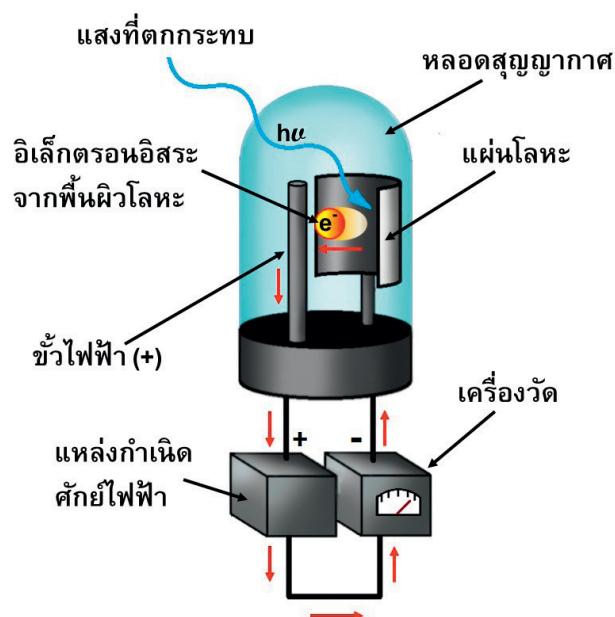
ปี ค.ศ. 1900 มักซ์ พลังค์ (Max Planck) นักฟิสิกส์ชาวเยอรมัน เสนอแนวคิดที่ว่า เมื่อวัตถุได้รับความร้อนจะคายรังสีแม่เหล็กไฟฟ้าออกมาเป็นกลุ่ม ๆ เรียกว่า ควอนตัม (quantum) ซึ่งแปรผันโดยตรงกับความถี่ของคลื่น ซึ่งสามารถเขียนความสัมพันธ์ได้ดังสมการที่ (1.3)

$$E = h\nu = h\frac{c}{\lambda} = hc\bar{\nu} \quad \dots\dots(1.3)$$

เมื่อ	E	=	พลังงานแสง หน่วยจูล (J)
	h	=	ค่าคงที่ของพลังค์ มีค่า 6.626×10^{-34} จูลวินาที (J s)
	ν	=	ความถี่ของคลื่น หน่วยเฮิรตซ์ (Hz) หรือต่อวินาที (s ⁻¹)
	c	=	ความเร็วแสงในสุญญากาศ เท่ากับ 3.00×10^8 เมตรต่อวินาที (m s ⁻¹)
	λ	=	ความยาวคลื่น หน่วยเมตร (m) หรือเซนติเมตร (cm) หรือนาโนเมตร (nm)
	$\bar{\nu}$	=	เลขคลื่น หน่วยต่อเซนติเมตร (cm ⁻¹)

1.3.3 ปรากฏการณ์โฟโตอิเล็กทริก

ปรากฏการณ์โฟโตอิเล็กทริกเป็นปรากฏการณ์ที่เมื่อฉายแสงที่มีความถี่เหมาะสมตกกระทบพื้นผิวโลหะในหลอดสุญญากาศ ทำให้มีอิเล็กตรอนหลุดออกมาไปเกาะที่ขั้วบวก และอิเล็กตรอนที่หลุดออกมานั้นเรียกว่า **โฟโตอิเล็กตรอน (photoelectron)** ดังรูปที่ 1.7



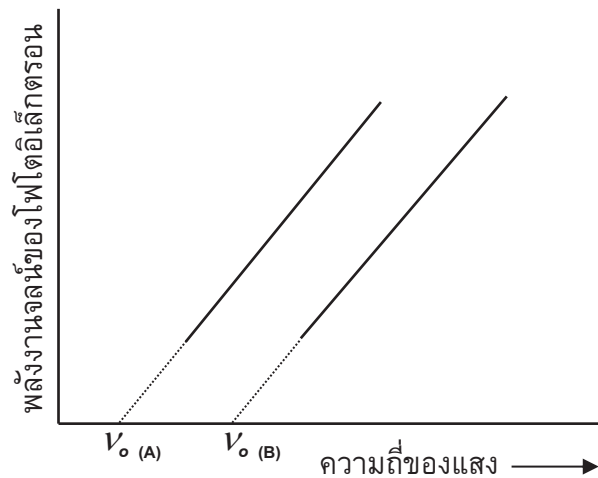
รูปที่ 1.7 ปรากฏการณ์โฟโตอิเล็กทริก

ค่าความถี่ต่ำสุดของแสงตกกระทบที่สามารถทำให้เกิดโฟโตอิเล็กตรอนได้ เรียกว่า ความถี่ขีดเริ่ม (threshold frequency, V_0) ซึ่งส่วนใหญ่อยู่ในช่วงอัลตราไวโอเลต (ultraviolet) โลหะต่างชนิดกันจะมีค่าความถี่ขีดเริ่มต่างกัน พลังงานต่ำสุดที่ทำให้เกิดโฟโตอิเล็กตรอนแสดงได้ดังสมการที่ (1.4)

$$E = hV_0 \quad \text{.....(1.4)}$$

เมื่อ V_0 = ความถี่ขีดเริ่มของโลหะ หน่วยเฮิรตซ์ (Hz) หรือต่อวินาที (s^{-1})

หากแสงที่ตกกระทบผิวหน้าของโลหะมีค่าความถี่สูงกว่าความถี่ขีดเริ่ม พลังงานส่วนเกินจะทำให้โฟโตอิเล็กตรอนมีพลังงานจลน์มากขึ้น ความสัมพันธ์ระหว่างพลังงานจลน์ของโฟโตอิเล็กตรอนกับความถี่ของแสงเป็นเส้นตรง ดังแสดงในรูปที่ 1.8 โดยจำนวนโฟโตอิเล็กตรอนไม่ขึ้นกับความถี่ แต่ขึ้นกับความเข้มของแสงที่ตกกระทบ ถ้าความเข้มของแสงเพิ่มขึ้น จำนวนโฟโตอิเล็กตรอนจะเพิ่มขึ้นด้วย



รูปที่ 1.8 พลังงานจลน์ของโฟโตอิเล็กตรอนที่เกิดจากแสงความถี่ต่างๆ ตกกระทบผิวหน้าของโลหะ A และ B

จากปรากฏการณ์โฟโตอิเล็กทริก ในปี ค.ศ. 1905 อัลเบิร์ต ไอน์สไตน์ (Albert Einstein) เสนอว่า แสงนอกจากมีสมบัติเป็นคลื่นแล้วยังมีสมบัติเป็นอนุภาคด้วย เรียกอนุภาคแสงนี้ว่า โฟตอน (photon) โดยแต่ละอนุภาคมีพลังงานแปรผันตามความถี่ของแสง ดังสมการที่ (1.5)

$$E_{\text{photon}} = h \nu_{\text{photon}} \quad \text{.....(1.5)}$$

พลังงานของโฟตอนที่ค่าความถี่ขีดเริ่ม (ν_o) สอดคล้องกับพลังงานที่โลหะยึดเหนี่ยวอิเล็กตรอน (electron binding energy) ไว้ ส่วนพลังงานส่วนที่เกินค่าความถี่ขีดเริ่มจะไปเพิ่มพลังงานจลน์ของโฟโตอิเล็กตรอน (KE) ซึ่งอธิบายได้ดังสมการที่ (1.6) และ (1.7)

$$E_{\text{photon}} = h \nu_o + KE \quad \text{.....(1.6)}$$

$$h \nu_{\text{photon}} = h \nu_o + \frac{1}{2} m v^2 \quad \text{.....(1.7)}$$

เมื่อ m = มวลของอิเล็กตรอน
 v = ความเร็วของอิเล็กตรอนที่หลุดจากผิวโลหะ

ถ้าพลังงานของโฟตอนต่ำกว่า $h \nu_o$ จะไม่มีอิเล็กตรอนหลุดออกจากผิวหน้าของโลหะ ไม่ว่าความเข้มของแสงจะเป็นเท่าใดก็ตาม แต่เมื่อพลังงานของโฟตอนสูงกว่า $h \nu_o$ อิเล็กตรอนจะหลุดออกมาและพลังงานส่วนเกินจะถ่ายโอนไปเป็นพลังงานจลน์ของอิเล็กตรอนนั้น

ตัวอย่างที่ 1.5 เมื่อฉายแสงที่มีความถี่ 2.00×10^{16} ต่อวินาที ลงบนผิวหน้าของโลหะชนิดหนึ่ง ถ้าโฟโตอิเล็กตรอนที่เกิดขึ้นมีพลังงานจลน์เท่ากับ 6.00×10^{-18} จูล จงหาความถี่ขีดเริ่มของโลหะชนิดนี้

วิธีทำ

$$E_{\text{photon}} = h\nu_0 + KE$$

$$h\nu_{\text{photon}} = h\nu_0 + KE$$

$$KE = h\nu_{\text{photon}} - h\nu_0$$

$$KE = h(\nu_{\text{photon}} - \nu_0)$$

$$6.00 \times 10^{-18} \text{ J} = (6.626 \times 10^{-34} \text{ J s})(2.00 \times 10^{16} - \nu_0) \text{ s}^{-1}$$

$$\nu_0 = 1.09 \times 10^{16} \text{ s}^{-1}$$

ตัวอย่างที่ 1.6 โลหะ M มีความถี่ขีดเริ่ม 1.13×10^{17} ต่อวินาที จงหาพลังงานจลน์สูงสุดของโฟโตอิเล็กตรอนที่เกิดจากการฉายแสงอัลตราไวโอเล็ตที่มีความยาวคลื่น 15.0 อังสตรอม ลงบนผิวหน้าของโลหะ M นี้

วิธีทำ

$$KE = h(\nu_{\text{photon}} - \nu_0)$$

และจาก

$$\nu = \frac{c}{\lambda}$$

$$= (3.00 \times 10^8 \text{ m s}^{-1} / 15.0 \text{ Å})(10^{10} \text{ Å} / 1 \text{ m})$$

$$= 2.00 \times 10^{17} \text{ s}^{-1}$$

เมื่อนำค่าความถี่ของแสงอัลตราไวโอเล็ตความยาวคลื่น 15.0 Å แทนค่าในสมการ KE จะได้พลังงานจลน์สูงสุดของโฟโตอิเล็กตรอน

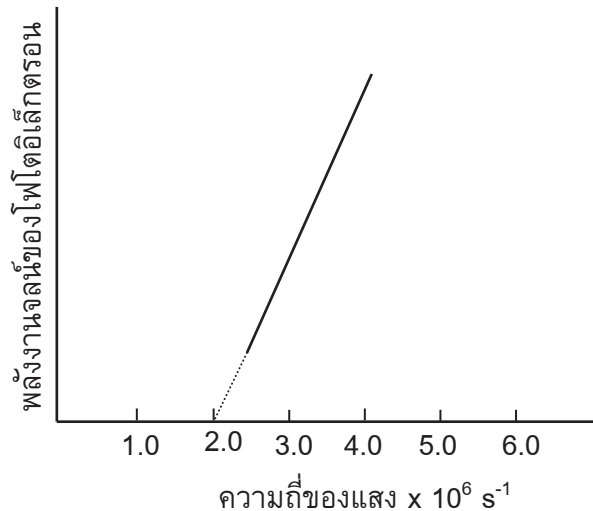
$$KE = (6.626 \times 10^{-34} \text{ J s})(2.00 \times 10^{17} - 1.13 \times 10^{17}) \text{ s}^{-1}$$

$$= 5.76 \times 10^{-17} \text{ J}$$

ตัวอย่างที่ 1.7 จากผลการทดลองปรากฏการณ์โฟโตอิเล็กทริกของโลหะ A แสดงได้ดังรูป

(ก) จงหาความถี่ขีดเริ่มของโลหะ A

(ข) พลังงานต่ำสุดของแสงที่สามารถทำให้เกิดปรากฏการณ์โฟโตอิเล็กทริกกับโลหะ A ได้มีค่าเท่าใด



วิธีทำ

(ก) จากรูปเมื่อลากเส้นต่อจากกราฟเส้นตรง

พบว่าตัดแกนนอนที่ค่าความถี่เท่ากับ $2.0 \times 10^6 \text{ s}^{-1}$

ดังนั้น ความถี่ขีดเริ่ม (V_0) ของโลหะ A = $2.0 \times 10^6 \text{ s}^{-1}$

$$\begin{aligned}
 \text{(ข)} \quad E &= hV_0 \\
 &= (6.626 \times 10^{-34} \text{ J s}) (2.0 \times 10^6 \text{ s}^{-1}) \\
 &= 1.3 \times 10^{-27} \text{ J}
 \end{aligned}$$

1.4 แบบจำลองอะตอมของโบร์

ปี ค.ศ. 1913 นีลส์ โบร์ (Niels Bohr) ชาวเดนมาร์กได้นำแนวคิดเกี่ยวกับควอนตัมมาใช้ โดยยอมรับแบบจำลองอะตอมของรัทเทอร์ฟอร์ดที่ประกอบด้วยนิวเคลียสอยู่ในแก่นกลางของอะตอม และมีอิเล็กตรอนวิ่งวนรอบๆ นิวเคลียส แต่ได้เสนอทฤษฎีใหม่ที่ใช้ในการอธิบายแบบจำลองดังกล่าวเพื่อให้สามารถอธิบายเกี่ยวกับความเสถียรของอะตอมที่อิเล็กตรอนจะไม่สูญเสียพลังงานและวิ่งเข้าหานิวเคลียสตามทฤษฎีดั้งเดิม รวมถึงการที่อิเล็กตรอนคายพลังงานออกมาเป็นช่วงๆ ดังปรากฏในการเกิดสเปกตรัมอะตอมได้